



**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TALAŞLI İMALAT PARAMETRELERİNİN
YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ**

MEHMET TUNCAY KAYA

DOKTORA TEZİ

Danışman: Prof.Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ

**OCAK – 2025
YOZGAT**

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TALAŞLI İMALAT PARAMETRELERİNİN
YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ

MEHMET TUNCAY KAYA

DOKTORA TEZİ

Danışman: Prof.Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ

OCAK – 2025
YOZGAT

	YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ LİSANSÜSTÜ TEZ ONAY FORMU
---	---

T.C.

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Doktora Programı öğrencisi Mehmet Tuncay KAYA'nın hazırladığı “**Talaşlı İmalat Parametrelerinin Yorulma Ömrüne Etkisi**” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 22/01/2025 Çarşamba günü saat 14:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Zakir TAŞ

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ (**Danışman**)

Jüri Üyesi : Dr. Öğ. Albay Kadir AZTEKİN

Jüri Üyesi : Dr. Öğretim Üyesi Özgür TEKASLAN

Jüri Üyesi : Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Akif DÜNDAR

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr. Ümit BUDAK

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdığı yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Tuncay KAYA

22/01/2025

ÖN SÖZ

Doktora eğitimim süresince, kıymetli bilgi ve tecrübeleriyle bana her zaman destek olan, araştırmamın planlanmasından yazılmasına kadar her aşamada yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden ve yönlendiren değerli hocam Prof.Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ'a en derin şükranlarımı sunarım.

Tez izleme komitemde bulunarak değerli bilgi ve fikirleriyle beni yönlendiren kıymetli hocalarım Prof.Dr. Zakir TAŞ ve Dr. Kadir AZTEKİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca daima yanımda olan, sabırla bana destek olan emeklerinin karşılığını asla tam olarak ödeyemeyeceğim kıymetli eşime ve kızıma en derin minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Tuncay KAYA

22/01/2025

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TALAŞLI İMALAT PARAMETRELERİNİN YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ

MEHMET TUNCAY KAYA

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. HAMZA KEMAL AKYILDIZ

İş parçası yüzeyinde oluşan mekanik değişimler malzemenin yorulma ömrünü etkilemektedir. Yorulma ömrünü artırmak için malzeme yüzeyine birçok farklı yöntem uygulanmaktadır. Kesici takım ve tezgâh teknolojilerindeki gelişmelerle kullanımı artan sert tornalama işleminde, kesme parametreleri malzeme yüzeyinde kalıcı değişimlere yol açmaktadır. Talaşlı imalat parametrelerinin yorulma ömrüne etkisi konulu doktora tez çalışmasında, birinci aşamada farklı malzemelerde kesme hızı, kesici malzemesi, ilerleme hızı, talaş derinliği, kesici geometrisi ve kesme açıları gibi imalat parametrelerinin etkileri araştırılarak, malzemenin yüzey tabakasında mekanik etkileri oluşturacak en kararlı imalat parametrelerin optimizasyonu Taguchi ve Yanıt Yüzey Yöntemleriyle yapılmıştır. Bu aşamada elde edilen verilerle, yorulma deneylerinin güvenilirliğini artırmak için en uygun imalat parametre sonuçlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. İkinci aşamada ise DIN 100Cr6 malzemesinin, optimizasyon yapılan parametrelerin alt ve üst değerlerine duyarlılığının araştırılması için, R.R. Moure yorulma makinası tasarlanmış, üretilmiş ve yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerde mikrosertlik değişimi ölçülmüş, deneyler sonucu elde edilen verilerle yorulma dayanımı grafikleri ve ASME eliptik master diyagramları oluşturularak sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

2025, xxiii + 179 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Sert Tornalama, Yorulma Mukavemeti, Taguchi Metodu, Yanıt Yüzey Yöntemi, İmalat Parametreleri, R.R.Moure Yorulma Makinası, Kesme Kuvvetleri.

ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

EFFECT OF MACHINING PARAMETERS ON FATIGUE LIFE

MEHMET TUNCAY KAYA

YOZGAT BOZOK UNIVERSITY

SCHOOL of GRADUATE STUDIES

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

SUPERVISOR: PROF.DR. HAMZA KEMAL AKYILDIZ

Mechanical changes occurring on the workpiece surface affect the fatigue life of the material. Many different methods are applied to the material surface to increase fatigue life. In the hard-turning process, the use of which has increased with the developments in cutting tool and machine technologies, cutting parameters cause permanent changes on the material surface. In his doctoral thesis on the effect of machining parameters on fatigue life, in the first stage, the effects of manufacturing parameters such as cutting speed, cutter material, feed rate, depth of cut, cutter geometry and cutting angles in different materials were investigated, and the optimization of the most stable manufacturing parameters that would create mechanical effects on the surface layer of the material Taguchi and Response Surface Methods. With the data obtained at this stage, it is aimed to obtain the most appropriate manufacturing parameter results to increase the reliability of fatigue tests. In the second stage, to investigate the sensitivity of DIN 100Cr6 material to the lower and upper values of the optimized parameters, R.R. Moure fatigue machine was designed, manufactured and fatigue tests were carried out. Microhardness changes were measured in the produced samples, fatigue strength graphs and ASME elliptical master diagrams were created with the data obtained as a result of the experiments, and the results were interpreted by comparing them with the literature.

2025, xxiii + 179 Page

Keywords: Hard Turning, Fatigue Strength, Taguchi Method, Response Surface Method, Manufacturing Parameters, R.R. Moure Fatigue Machine, Cutting Forces.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAY SAYFASI.....	ii
TEZ BEYANI.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvi
RESİMLER LİSTESİ.....	xx
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problem Durumu / Konunun Tanımı	1
1.2. Araştırmanın Amacı.....	14
1.3. Araştırmanın Önemi	15
1.4. Varsayımlar.....	15
1.5. Sınırlılıklar.....	15
2. GENEL BİLGİLER	17
2.1. Kesme Mekaniği	17
2.2. Dik Kesme Mekaniği	17
2.2.1. Birinci Kayma Bölgesi	19
2.2.2. İkinci Kayma Bölgesi.....	19
2.3. Yorulma	20
2.3.1. Yorulma Türleri.....	21
2.3.1.1. Kısa Ömürlü Yorulma.....	21
2.3.1.2. Uzun Ömürlü Yorulma	22
2.3.2. Yorulma Çeşitleri	22

2.3.2.1. Malzemede Isıl Yorulma.....	22
2.3.2.2. Malzemede Korozyonlu Yorulma.....	22
2.3.3. Yorulma Hasarı Oluşum Mekanizması	23
2.3.3.1. Yorulma Çatlağı Oluşumu	23
2.3.3.2. Yorulma Çatlağının Kayma Bantlarında İlerlemesi.....	24
2.3.3.3. Yorulma Çatlağının Gerilmeye Dik Yönde İlerlemesi	25
2.3.3.4. Yorulmada Zorunlu Kırılma	26
2.3.4. Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler.....	26
2.3.5. Zorlanma Türleri	27
2.3.5.1. Rassal (Düzensiz) Zorlanma	27
2.3.5.2. Değişken Zorlanma	27
2.3.6. Yorulma Diyagramları	28
2.3.6.1. Wöhler Yorulma Diyagramı	28
2.3.6.2. Gerber - Goodman – Soderberg – ASME Yorulma Diyagramı.....	29
2.3.6.3. Master Yorulma Diyagramı	30
2.3.7. Yorulma Makineleri	30
2.3.8. Yorulma Test Numuneleri.....	33
2.3.9. Yorulma Kırılması Hasar Analizi	35
2.4. Teorik Hesaplamalar	36
2.4.1. Eğme Gerilmesi Hesabı.....	36
2.4.2. Sürekli Mukavemet Değeri Hesabı	36
2.4.3. Teorik Yorulma Ömrü Hesabı.....	41
2.4.4. ASME Eliptik Eğrisi Teorik Hesaplama	42
3. GEREÇ ve YÖNTEM	44
3.1. Malzeme.....	44
3.1.1. SAE 4140 Malzeme	44

3.1.2. DIN 2379 Malzeme	44
3.1.3. DIN 3343 Malzeme	45
3.1.4. DIN 100Cr6 Malzeme	45
3.2. Mekanik Ölçümler	45
3.3. Test Numunesi Üretimi	46
3.4. Yorulma Numunesi Eksen Kaçıklığı Giderme	48
3.5. Kesici Takım	50
3.6. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	50
3.7. Kesme Kuvveti Ölçümü	51
3.8. CNC Torna Tezgâhı	51
3.9. R.R. Moure Yorulma Makinası	52
3.10. Sağ ve Orta Kalem Genel Talaş Alanı Hesabı	59
3.11. Kesme Kuvveti Analizi	60
3.11.1. Sağ Kalem Kesme Kuvveti Analizi	61
3.11.2. Orta Kalem Kesme Kuvveti Analizi	62
3.11.3. Sağ Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi	63
3.11.4. Orta Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi	64
3.12. Kesme Kenarı Kuvvet Analizi	65
3.13. Araştırma Deney Planları	65
3.13.1. Birinci Aşama Deney Planları	67
3.13.2. İkinci Aşama Deney Planları	71
4. BULGULAR	74
4.1. Birinci Grup Deney Analizleri	74
4.1.1. Deney No:01 Analizi	74
4.1.2. Deney No:02 Analizi	80
4.1.3. Deney No:03 Analizi	86

4.1.4. Deney No:04 Analizi.....	94
4.1.5. Deney No:05 Analizi.....	102
4.2. İkinci Grup Deney Analizleri.....	113
4.2.1. Deney No:11 Analizi.....	113
4.2.2. Deney No:12 Analizi.....	122
4.2.3. Deney No:13 Analizi.....	130
4.2.4. Deney No:12 Optimizasyon.....	142
4.2.5. Deney No:12 Kesme Kuvveti Analizleri	143
4.2.5.1. Deney No:12 Kesme Hızı Değişimi Kuvvet Analizi	144
4.2.5.2. Deney No:12 İlerleme Değişimi Kuvvet Analizi.....	145
4.2.5.3. Deney No:12 Talaş Derinliği Değişimi Kuvvet Analizi.....	146
4.2.6. Bileşke Kuvvet Dağılımı.....	147
4.2.6.1. 121 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi	147
4.2.6.2. 127 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi	149
4.2.6.3. 128 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi	150
4.2.6.4. 129 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi	151
4.2.7. Yorulma Deney Numuneleri Üretimi.....	153
4.2.7.1. Yorulma Deneyi İmalat Parametreleri	153
4.2.7.2. Mikrosertlik Ölçümü	154
4.2.8 Yorulma Deneyleri.....	155
4.2.8.1. Teorik Hesaplama Grafikleri.....	155
4.2.8.2. 1 Numaralı Yorulma Deneyi.....	156
4.2.8.3. 2 Numaralı Yorulma Deneyi.....	157
4.2.8.4. 3 Numaralı Yorulma Deneyi.....	159
4.2.8.5. Yorulma Yüzeyleri.....	161
5. TARTIŞMA	164
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	169

6. KAYNAKLAR.....	172
-------------------	-----



TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Yüzey Faktörü ve Üstel Katsayısı	37
Tablo 2.2. Kc Yükleme Faktörü Katsayı Tablosu	38
Tablo 2.3. Sıcaklık Faktörü Katsayı Değerleri	39
Tablo 2.4. Güvenilirlik Katsayı Tablosu	39
Tablo 3.1. SAE 4140 Çeliği Kimyasal Bileşimi	44
Tablo 3.2. DIN 2379 Çeliği Kimyasal Bileşimi.....	45
Tablo 3.3. DIN 3343 Çeliği Kimyasal Bileşimi.....	45
Tablo 3.4. DIN 100Cr6 Çeliği Kimyasal Bileşimi.....	45
Tablo 3.5. Çekme Deney Numunesi Ölçüleri	46
Tablo 3.6. Kesici Takım Listesi	50
Tablo 3.7. Kistler 9129AA Dinamometre Cihazı Teknik Özellikleri.....	51
Tablo 3.8. CNC Torna Tezgâhı Teknik Özellikleri	52
Tablo 3.9. Deney No:01 Parametreler Tablosu.....	67
Tablo 3.10. Deney No:02 Parametreler Tablosu.....	68
Tablo 3.11. Deney No:03 Parametreler Tablosu.....	69
Tablo 3.12. Deney No:04 Parametreler Tablosu.....	70
Tablo 3.13. Deney No:05 Parametreler Tablosu.....	70
Tablo 3.14. Deney No:11 Parametreler Tablosu.....	71
Tablo 3.15. Deney No:12 Parametreler Tablosu.....	71
Tablo 3.16. Deney No:13 Parametreler Tablosu.....	72
Tablo 4.1. Deney No:01 Sonuçlar Tablosu	74
Tablo 4.2. Deney No:01 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.....	75
Tablo 4.3. Deney No:01 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.....	76
Tablo 4.4. Deney No:01 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.....	77
Tablo 4.5. Deney No:01 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu	77
Tablo 4.6. Deney No:01 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu	78
Tablo 4.7. Deney No:02 Sonuçlar Tablosu	80
Tablo 4.8. Deney No:02 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.....	81
Tablo 4.9. Deney No:02 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.....	82
Tablo 4.10. Deney No:02 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu...	82
Tablo 4.11. Deney No:02 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu	83
Tablo 4.12. Deney No:02 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu	84

Tablo 4.13. Deney No:03 Sonuçlar Tablosu.....	86
Tablo 4.14. Deney No:03 Fx Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi	87
Tablo 4.15. Deney No:03 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu...	87
Tablo 4.16. Deney No:03 Fx Kuvveti Model Özeti.....	87
Tablo 4.17. Deney No:03 Fy Kuvveti SN oranları için Varyans Analizi	88
Tablo 4.18. Deney No:03 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu...	88
Tablo 4.19. Deney No:03 Fy Kuvveti Model Özeti.....	89
Tablo 4.20. Deney No:03 Fz Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi	89
Tablo 4.21. Deney No:03 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu...	90
Tablo 4.22. Deney No:03 Fz Kuvveti Model Özeti.....	90
Tablo 4.23. Deney No:03 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Varyans Analizi.....	91
Tablo 4.24. Deney No:03 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu	91
Tablo 4.25. Deney No:03 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Model Özeti	91
Tablo 4.26. Deney No:03 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu	93
Tablo 4.27. Deney No:03 Model Özeti.....	93
Tablo 4.28. Deney No:04 Sonuçlar Tablosu.....	95
Tablo 4.29. Deney No:04 Fx Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi	95
Tablo 4.30. Deney No:04 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu...	95
Tablo 4.31. Deney No:04 Fx Kuvveti Model Özeti.....	96
Tablo 4.32. Deney No:04 Fy Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi	97
Tablo 4.33. Deney No:04 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu...	97
Tablo 4.34. Deney No:04 Fy Kuvveti Model Özeti.....	97
Tablo 4.35. Deney No:04 Fz Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi	98
Tablo 4.36. Deney No:04 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu...	98
Tablo 4.37. Deney No:04 Fz Kuvveti Model Özeti.....	99
Tablo 4.38. Deney No:04 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Varyans Analizi.....	100
Tablo 4.39. Deney No:04 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu	100
Tablo 4.40. Deney No:04 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Model Özeti	100
Tablo 4.41. Deney No:04 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu	101
Tablo 4.42. Deney No:04 Model Özeti.....	102
Tablo 4.43. Deney No:05 Sonuçlar Tablosu.....	102
Tablo 4.44. Deney No:05 Fx Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi	104
Tablo 4.45. Deney No:05 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.	105
Tablo 4.46. Deney No:05 Fx Kuvveti Model Özeti.....	105
Tablo 4.47. Deney No:05 Fy Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi	106

Tablo 4.48. Deney No:05 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.	106
Tablo 4.49. Deney No:05 Fy Kuvveti Model Özeti.....	107
Tablo 4.50. Deney No:05 Fz Kuvveti Kuvveti SN oranları için Varyans Analizi	108
Tablo 4.51. Deney No:05 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu.	108
Tablo 4.52. Deney No:05 Fz Kuvveti Model Özeti.....	109
Tablo 4.53. Deney No:05 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Varyans Analizi.....	110
Tablo 4.54. Deney No:05 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu	110
Tablo 4.55. Deney No:05 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Model Özeti	111
Tablo 4.56. Deney No:05 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu	111
Tablo 4.57. Deney No:05 Model Özeti.....	112
Tablo 3.17. Kesme Parametreleri.....	113
Tablo 3.18. Tezgâh Kapasitesi Değerlendirme Tablosu	113
Tablo 4.58. Deney No:11 Sonuçlar Tablosu.....	113
Tablo 4.59. Deney No:11 Fn Kuvveti Varyans Analizi.....	115
Tablo 4.60. Deney No:11 Fn Model Özeti.....	115
Tablo 4.61. Deney No:11 Ra Kuvveti Varyans Analizi	118
Tablo 4.62. Deney No:11 Ra Model Özeti	119
Tablo 4.63. Deney No:11 Model Özeti.....	120
Tablo 4.64. Deney No:12 Sonuçlar Tablosu.....	122
Tablo 4.65. Deney No:12 Fn Kuvveti Varyans Analizi.....	123
Tablo 4.66. Deney No:12 Fn Model Özeti.....	124
Tablo 4.67. Deney No:12 Ra Kuvveti Varyans Analizi	126
Tablo 4.68. Deney No:12 Ra Model Özeti	127
Tablo 4.69. Deney No:12 Model Özeti.....	129
Tablo 4.70. Deney No:13 Sonuçlar Tablosu.....	130
Tablo 4.71. Deney No:13 Fn Kuvveti Varyans Analizi.....	131
Tablo 4.72. Deney No:13 Fn Model Özeti.....	132
Tablo 4.73. Deney No:13 Ra Kuvveti Varyans Analizi	136
Tablo 4.74. Deney No:13 Ra Model Özeti	137
Tablo 4.75. Deney No:13 Model Özeti.....	141
Tablo 4.76. Düşük Kesme Hızı Sonuç Tablosu	144
Tablo 4.77. Yüksek Kesme Hızı Sonuç Tablosu	145
Tablo 4.78. Düşük İlerleme Sonuç Tablosu.....	146
Tablo 4.79. Yüksek İlerleme Sonuç Tablosu	146
Tablo 4.80. Düşük Talaş Derinliği Sonuç Tablosu.....	146

Tablo 4.81. Yüksek Talaş Derinliği Sonuç Tablosu	147
Tablo 4.82. Kesme Parametreleri.....	153



ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Dik ve Eğik Kesme Geometrisi.....	17
Şekil 2.2. Bileşke Kuvvet Diyagramı	18
Şekil 2.3. Dik Kesme Deformasyon Bölgeleri.	19
Şekil 2.4. Gerilme Genliği - Şekil Değişimi Grafiği	21
Şekil 2.5. Tam Değişken Yorulma Çevrimi Grafiği.....	22
Şekil 2.6. Yüzeyde Yorulma Çatlağı Oluşumu	23
Şekil 2.7. Kayma Bantlarında Çatlağın İlerlemesi	24
Şekil 2.8. Çatlağın Gerilmeye Dik Yönde İlerlemesi.....	25
Şekil 2.9. Yorulma Çatlağı İlerleme Mekanizması	25
Şekil 2.10. Düzensiz Gerilme Diyagramı.....	27
Şekil 2.11. Tam Değişken Gerilme Diyagramı	27
Şekil 2.12. Ön Yüklemeli Sabit Genlikli Gerilme Diyagramı.....	27
Şekil 2.13. Ön Yüklemeli Sabit Genlikli Gerilme Diyagramı.....	28
Şekil 2.14. Wöhler Eğrisi	28
Şekil 2.15. Gerber – Goodman – Soderberg - ASME Yorulma Diyagramı.....	29
Şekil 2.16. Master Yorulma Diyagramı	30
Şekil 2.17. Yorulma Deneyi Test Numunesi Bölümleri.....	33
Şekil 2.18. Kontrollü Gerinim Termomekanik Yorulma Test Numunesi	34
Şekil 2.19. Kontrollü Eksenel Gerinim ve Burulma Testi Boru Numunesi	34
Şekil 2.20. Tekrarlı Eğilme Yorulması Test Numunesi	34
Şekil 2.21. Dönel Eğmeli Yorulma Test Numunesi	34
Şekil 2.22. Kontrollü Eksenel Gerinim Düz Yorulma Test Numunesi	35
Şekil 2.23. Kontrollü Eksenel Gerinim Silindirik Yorulma Test Numunesi.....	35
Şekil 2.24. Çok Eksenli Test Numunesi.....	35
Şekil 2.25. Yorulma Kırığı Yüzeyi.....	36
Şekil 2.26. Eğme Gerilmesi.....	36
Şekil 2.27. K_t Katsayısı	40
Şekil 2.28. q Katsayısı	40
Şekil 2.29. f Katsayısı.....	41
Şekil 2.30. Teorik Yorulma Eğrisi	42
Şekil 2.31. ASME Eliptik Eğrisi	43
Şekil 3.1. Çekme Deney Numunesi.....	46

Şekil 3.2. Yorulma Deney Numunesi Ölçüleri.....	47
Şekil 3.3. Yorulma Deney Numunesi.....	49
Şekil 3.4. R.R. Moure Yorulma Makinası Şeması	52
Şekil 3.5. Yükleme Mekanizması.....	55
Şekil 3.6. R.R.Moure Yorulma Makinası Kalibrasyon Eğrisi.....	58
Şekil 3.7. Sağ Kalem Talaş Alanı.....	60
Şekil 3.8. Orta Kalem Talaş Alanı.....	60
Şekil 3.9. Sağ Kalem Kesme Kuvveti Analizi	61
Şekil 3.10. Orta Kalem Kesme Kuvveti Analizi	62
Şekil 3.11. Sağ Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi.....	63
Şekil 3.12. Orta Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi	64
Şekil 3.13. Kesme Kenarı Kuvvet Analizi	65
Şekil 4.1. Deney No:01 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	74
Şekil 4.2. Deney No:01 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	75
Şekil 4.3. Deney No:01 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	76
Şekil 4.4. Deney No:01 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği.....	78
Şekil 4.5. V:100 m/dk. Kesme Hızı Kesme Kuvvetleri Grafiği.....	79
Şekil 4.6. V:300 m/dk. Kesme Hızı Kesme Kuvvetleri Grafiği.....	79
Şekil 4.7. Deney No:02 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	81
Şekil 4.8. Deney No:02 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	82
Şekil 4.9. Deney No:02 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	83
Şekil 4.10. Deney No:02 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği.....	84
Şekil 4.11. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği	85
Şekil 4.12. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği	85
Şekil 4.13. Deney No:03 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	88
Şekil 4.14. Deney No:03 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	89
Şekil 4.15. Deney No:03 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	91
Şekil 4.16. Deney No:03 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği	92
Şekil 4.17. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği	94
Şekil 4.18. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği	94
Şekil 4.19. Deney No:04 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	96
Şekil 4.20. Deney No:04 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	98
Şekil 4.21. Deney No:04 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	99
Şekil 4.22. Deney No:04 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği.....	101
Şekil 4.23. Deney No:05 Fx SN Oranları için Ana Etki Grafiği.....	105

Şekil 4.24. Deney No:05 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği	107
Şekil 4.25. Deney No:05 Fz SN Oranları için Ana Etki Grafiği	109
Şekil 4.26. Deney No:05 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği.....	111
Şekil 4.27. Deney No:11 Fn İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği	116
Şekil 4.28. Deney No:11 Fn Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği.....	116
Şekil 4.29. Deney No:11 Fn Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği.....	117
Şekil 4.30. Deney No:11 Fn Olasılık Grafiği	117
Şekil 4.31. Deney No:11 Ra İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği	119
Şekil 4.32. Deney No:11 Ra Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği.....	120
Şekil 4.33. Deney No:11 Ra Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği	120
Şekil 4.34. Deney No:11 Ra Olasılık Grafiği.....	121
Şekil 4.35. Deney No:12 Fn İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği	124
Şekil 4.36. Deney No:12 Fn Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği.....	124
Şekil 4.37. Deney No:12 Fn Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği.....	125
Şekil 4.38. Deney No:12 Fn Olasılık Grafiği	125
Şekil 4.39. Deney No:12 Ra İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği	127
Şekil 4.40. Deney No:12 Ra Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği.....	127
Şekil 4.41. Deney No:12 Ra Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği	128
Şekil 4.42. Deney No:12 Ra Olasılık Grafiği.....	128
Şekil 4.43. Deney No:13 Fn İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği	132
Şekil 4.44. Deney No:13 Fn Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği.....	133
Şekil 4.45. Deney No:13 Fn Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği.....	133
Şekil 4.46. Deney No:13 Fn Kesme Hızı - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği.....	134
Şekil 4.47. Deney No:13 Fn Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği.....	134
Şekil 4.48. Deney No:13 Fn İlerleme - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği	135
Şekil 4.49. Deney No:13 Fn Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği.....	135
Şekil 4.50. Deney No:13 Fn Olasılık Grafiği	136
Şekil 4.51. Deney No:13 Ra İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği	137
Şekil 4.52. Deney No:13 Ra Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği.....	138
Şekil 4.53. Deney No:13 Ra Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği	138
Şekil 4.54. Deney No:13 Ra Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği	139
Şekil 4.55. Deney No:13 Ra Kesme Hızı - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği.....	139
Şekil 4.56. Deney No:13 Ra İlerleme - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği	140
Şekil 4.57. Deney No:13 Ra Olasılık Grafiği.....	140
Şekil 4.58. Maksimum Fn Kuvveti Optimizasyonu Grafiği.....	142

Şekil 4.59. Minimum F_n Kuvveti Optimizasyonu Grafiği.....	142
Şekil 4.60. Maksimum R_a Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu Grafiği	143
Şekil 4.61. Minimum R_a Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu Grafiği	143
Şekil 4.62. Düşük Kesme Hızı Grafiği.....	144
Şekil 4.63. Yüksek Kesme Hızı Grafiği	144
Şekil 4.64. Düşük İlerleme Grafiği.....	145
Şekil 4.65. Yüksek İlerleme Grafiği.....	145
Şekil 4.66. Düşük Talaş Derinliği Grafiği.....	146
Şekil 4.67. Yüksek Talaş Derinliği Grafiği	147
Şekil 4.68. 121 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği.....	148
Şekil 4.69. 121 Numaralı Deney $2\theta_F$ Yay Kuvvet Dağılım Grafiği	148
Şekil 4.70. 127 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği.....	149
Şekil 4.71. 127 Numaralı Deney $2\theta_F$ Yay Kuvvet Dağılım Grafiği	150
Şekil 4.72. 128 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği.....	150
Şekil 4.73. 128 Numaralı Deney $2\theta_F$ Yay Kuvvet Dağılım Grafiği	151
Şekil 4.74. 129 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği.....	152
Şekil 4.75. 129 Numaralı Deney $2\theta_F$ Yay Kuvvet Dağılım Grafiği	153
Şekil 4.76. Mikroserlik Değişim Grafiği.....	154
Şekil 4.77. Teorik Wöhler Yorulma Ömrü Grafiği	155
Şekil 4.78. Teorik ASME Eliptik Yorulma Ömrü Grafiği	156
Şekil 4.79. 1 Numaralı Yorulma Deneyi Wöhler Diyagramı.....	156
Şekil 4.80. 1 Numaralı Yorulma Deneyi ASME Eliptik Master Diyagramı.....	157
Şekil 4.81. 2 Numaralı Yorulma Deneyi Wöhler Diyagramı.....	158
Şekil 4.82. 2 Numaralı Yorulma Deneyi ASME Eliptik Master Diyagramı.....	158
Şekil 4.83. 3 Numaralı Yorulma Deneyi Wöhler Diyagramı.....	159
Şekil 4.84. 3 Numaralı Yorulma Deneyi ASME Eliptik Master Diyagramı.....	160

RESİMLER LİSTESİ

<u>Resim</u>	<u>Sayfa</u>
Resim 2.1. Yorulma Kırığı Yüzeyi	21
Resim 2.2. Isıl Yorulma Çatlağı.....	22
Resim 2.3. Korozyonlu Yorulma Kırığı Yüzeyi.	23
Resim 2.4. Yüzeyde Oluşan Yorulma Çatlağı Başlangıcı	24
Resim 2.5. Zorunlu Yorulma Kırılması	26
Resim 2.6. Dönel Eğmeli Ankastre Tip Yorulma Makinesi	31
Resim 2.7. R. R. Moore Dört Noktalı Dönel Eğmeli Yorulma Makinesi	31
Resim 2.8. Tekrarlı Eğme Yorulma Makinesi	32
Resim 2.9. Çok Eksenli Yorulma Makinesi	32
Resim 2.10. Servo Hidrolik Yorulma Makinesi.....	32
Resim 2.11. Burulma Yorulma Makinesi	33
Resim 3.1. Çekme Deney Numunesi	46
Resim 3.2. Çekme Deney Makinası	46
Resim 3.3. Ayna-Punta Arasında Yorulma Numunesi Üretimi	47
Resim 3.4. Yorulma Deney Numunesi Üretimi	47
Resim 3.5. Yorulma Deney Numuneleri	48
Resim 3.6. Punta-Punta Arası Tornalama	48
Resim 3.7. Yorulma Numunesi Sap Kısım Tornalama	49
Resim 3.8. Yorulma Numunesi Eksen Kaçıklığı Giderme	49
Resim 3.9. Mahr Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı.....	50
Resim 3.10. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı	51
Resim 3.11. Goodway GS-260 CNC Torna Tezgâhı	51
Resim 3.12. Lazer Kesim Parçalar	53
Resim 3.13. Parçaların Kaynak ile Birleştirme	53
Resim 3.14. Lineer Kızak Yatakları İşleme	53
Resim 3.15. Lineer Kızak Yatakları İşleme	54
Resim 3.16. Lineer Kızak ve Araba Montajı	54
Resim 3.17. Dengeleme Ağırlığı	54
Resim 3.18. Yük Ağırlığı	55
Resim 3.19. Kontrol Paneli	56
Resim 3.20. Kalibrasyon Ekranı	56
Resim 3.21. Kalibrasyon Ekranı	57

Resim 3.22. Enkoder Sensörü	57
Resim 3.23. Kırılma Uyarı Ekranı	57
Resim 3.24. R.R. Moure Yorulma Makinası.....	58
Resim 4.1. Yorulma Kırıkları.....	161
Resim 4.2. Yüksek Yükleme Altında Yorulma Kırığı	162
Resim 4.3. Orta Yükleme Altında Yorulma Kırığı	162
Resim 4.4. Düşük Yükleme Altında Yorulma Kırığı.....	163



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

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

Simgeler	Açıklamalar
b	: Kesme genişliği
h	: Kesme derinliği
F_t	: Teğetsel kuvvet
F_f	: İlerleme kuvveti
F_r	: Radyal kuvvet
i	: Kesici kenar eğim açısı
V_c	: Talaş hızı
V	: Kesme hızı
h_c	: Deforme olmuş talaş kalınlığı
F_c	: Bileşke kuvvet
F_s	: Teğetsel kesme kuvveti
F_n	: Normal kesme kuvveti
F_v	: Talaş yüzeyi üzerine etki eden normal kuvvet
F_u	: Talaş yüzeyi üzerine etki eden sürtünme kuvveti
F_{fc}	: İlerleme kuvveti
F_{tc}	: Teğetsel kuvvet
ϕ_c	: Kayma açısı
α_r	: Eğim açısı
β_a	: Sürtünme açısı
σ_{max}	: Maksimum gerilme

σ_{ak}	: Akma gerilmesi
σ_{min}	: Minumum gerilme
σ_m	: Ortalama gerilme
σ_a	: Gerilme genliği
N	: Devir sayısı
σ	: Gerilme
M	: Moment
d	: ap
S/G	: Sinya Gürültü Oranı
HRC	: Rockwel sertlik Değeri
HV	: Mikrosertlik Değeri
L	: Yük kolu uzunluğu
$\sigma_{}$	: Çekme mukavemeti
σ_Y	: Sürekli mukavemet gerilmesi
k_a	: Yüzey faktörü
k_b	: Boyut faktörü
k_c	: Yükleme faktörü
k_d	: Sıcaklık faktörü
k_e	: Güvenilirlik faktörü
r	: Yarıçap
σ_Y^*	: Teorik yorulma gerilmesi
σ_{ao}	: Kontrol edilemeyen faktör etkili gerilme
z_a	: Dönüşüm katsayısı
k_f	: Diğer etkiler faktörü
q	: entik duyarlılığı
K_t	: ap oranı faktörü

σ_a	: Gerime genliği (N/mm ²)
σ_m	: Ortala gerilme (N/mm ²)
A	: Yükleme oranı
$\sigma_{\text{ç}}$	: Çekme gerilmesi (N/mm ²)
σ_{AK}	: Akma gerilmesi (N/mm ²)
$2\theta_F$	: Takım Uç Radyusu Temas Açısı
f_o	: İlerleme Değeri
a_p	: Talaş Derinliği
V	: Kesme hızı

Kısaltmalar Açıklamalar

ASM	: Handbook Committee United States of America
ASTM	: ASTM International, United States of America

1. GİRİŞ

Makine parçalarının çalışma ortamında, tasarımda planlanan fonksiyonlarını yerine getirmeleri oldukça önemlidir. Tasarım aşamasında öngörülenin aksine makine elemanları çalışma şartlarında statik zorlamalardan daha fazla, yönü ve büyüklüğü düzensiz değişen kuvvetlerin etkisi altında çalışır. İmalat sırasında parça üzerinde oluşan kalıcı gerilmeler, parça ömürlerinin planlanandan daha kısa sürede dolmasına sebep olmaktadır.

Verimliliği artırmanın temeli, düşük maliyetli, fonksiyonel ve uzun periyotlara sahip bakım gerektiren makine veya makine elemanları üretmektir. Seçilen malzemeye ait mekanik verilerin güvenilirliği, makine elemanının düşük emniyet katsayıları ile tasarlanması ve uzun süre elemanın görevini yerine getirmesi için önemlidir. Bu sebeple; yorulma dayanımının ve çevrim sayılarının net olarak belirlenmesi, günümüzde makina elemanı tasarımı için daha da önem kazanmıştır. Mekanik verilerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen yorulma deneyleri, maliyetleri ve deney sürelerinin uzunluğu sebebiyle, oldukça zor deneylerdir. Ayrıca; makine elemanının çalışma şartlarının, deney ortamına aktarılabilmesi de diğer bir önemli zorluktur. Çalışma şartlarında yapılan deneylerde elde edilen veriler, deney şartlarını içeren makine parçaları için gerçek sonuçları vermektedir.

Talaşlı imalat ile üretilen parçaların yüzey tabakalarının oluşumu, parça ömürleri açısından son derece önemlidir. Son yıllarda kesici takım ve tezgâh teknolojisindeki gelişmeler, parça üretim proseslerinde birtakım iyileşmelere imkân sağlamıştır. Sertleştirilmiş parçaların son yüzey işlemleri, yüksek kesme hızlarına dayanabilen kesici takımlar sayesinde, taşlama yerine tornalama ile imal edilmelerine olanak sağlamaktadır. Uzun ömürlü parça imalatı açısından, son yüzey tabakasının oluşumu sırasında kullanılan imalat parametrelerinin belirlenmesi ve yorulma ömrüne etkisinin araştırılması oldukça önem arz etmektedir.

Çalışmada R.R. Moure yorulma makinası tasarlanarak üretilmiş, istatistiksel yöntemler kullanılarak sertleştirilmiş DIN 100Cr6 malzemedan üretilen parçaların tornalama ile imalatı sırasında, kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyonu ve yorulma ömrüne etkisi araştırılmıştır.

1.1. Problem Durumu / Konunun Tanımı

Sertleştirilmiş malzemelerin tornalama yöntemiyle imalatı sırasında kullanılacak parametrelerin belirlenmesi, parça üretiminin verimliliği, boyutsal ve fonksiyonel olarak parça kalitesi açısından son derece önemlidir. Üretilen parçaların yorulma deneylerinin sürelerinin uzun olması göz önüne alındığında, en uygun imalat parametrelerinin belirleme

aşaması önem arz etmektedir. Parametrelerin belirlenmesinde daha önceden araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların incelenmesi, kullandıkları yöntem ve parametrelerle elde ettikleri sonuçlar üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesi, doğru imalat parametrelerinin belirlenmesine kilit rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde;

Atakök (2008) tarafından CNC Tornada Talaş Kaldırma İşlemlerinde Talaş Kırıcı Geometrisinin İşlenebilirliğe Etkilerinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi” isimli doktora çalışmasında AISI 1040 ve AISI 1060 malzemesinin işlenmesi sırasında yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve kesme kuvveti (F_{max}) incelenmiştir. İki farklı kesici uç açısı (55° ve 80°), üç farklı talaş kırıcı geometrisi (K1, K2, ve K3), uç yarıçapı (0.4, 0.8 ve 1.2 mm), ilerleme değeri (0.1, 0.2 ve 0.3 mm) ve talaş derinliği (0.4, 0.6, 0.8 mm) Taguchi L_{18} ortogonal dizini kullanılarak deneysel çalışma yapılmış ve elde edilen sonuçlar ANOVA analizi yapılarak yorumlanmıştır. Kesme kuvveti ve sıcaklık değerleri DEFORM 3-D simülasyon yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Çalışma sonucunda;

- AISI 1040 ve AISI 1060 çeliklerinin tornalanmasında, yüzey pürüzlülüğünün oluşmasında etkili faktörlerin sırasıyla, ilerleme hızı, takım uç yarıçapı, takım uç açısı, talaş derinliği ve talaş kırıcı geometrisi olduğu,
- İlerleme hızının artırılmasıyla kesici takım ile iş parçası arasında oluşan ısı oranının arttığı,
- İlerlemenin artırılmasıyla, iş parçası-kesici takım arasında kararlılığın azaldığı ve bu durumun kesici takım yüzeyine yapışan küçük talaşçıkların oluşmasına yol açtığı,
- Artan ilerlemeyle kesici takım uç bölgesinde talaş birikmesi ve aşınma olduğu, bu durumun yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olduğu,
- Kesme kuvvetlerinin oluşumunda etkin parametrelerin sırasıyla; AISI 1040 çeliği için talaş derinliği, takım uç yarıçapı, ilerleme hızı, talaş kırıcı ve takım uç açısı olduğu, AISI 1060 çeliği için ise bu sıralamanın talaş derinliği, ilerleme oranı, uç yarıçapı, talaş kırıcı ve uç açısı olduğu,
- Bunun yanı sıra takım uç yarıçapının ve ilerleme hızının kesme kuvvetinin oluşumunda belirleyici rol oynadığı,
- Takım uç açısının artırılmasıyla iş parçasının kesilen yüzeyinde temas alanının arttığı, bu durumda kesme kuvvetini artırdığını gözlemiştir (Atakök, 2008).

Zeqiri tarafından “İnconel 625 Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetleri, Kesici Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkiyen Parametrelerin Deneysel Araştırılması ve Matematiksel Modellenmesi” isimli doktora çalışmasında Taguchi metodu L_9 ortogonal dizini kullanılarak üç farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametre değeri kullanılarak İnconel 625 malzemesinin işlenmesinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda;

- Kesme kuvvetlerinin, kesme hızının artırılmasıyla azaldığı, ilerleme hızı, kesme derinliği, sıcaklık ve titreşimin artırılmasıyla arttığı,
- Yüzey pürüzlülüğü R_{a1} ve R_{a2} 'nin ilerleme hızı, kesme derinliği ve titreşimlerin artırılmasıyla arttığı, kesme hızının ve sıcaklığın artırılmasıyla azaldığı,
- Yüzey pürüzlülüğü R_{t1} ve R_{t2} 'nin kesme hızı ve titreşimlerin artırılmasıyla azaldığı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve sıcaklığın artırılmasıyla arttığı,
- Yüzey pürüzlülüğü R_{z1} ve R_{z2} 'nin ilerleme hızı ve kesme hızının artırılmasıyla arttığı, kesme derinliği, titreşim ve sıcaklığın artırılmasıyla azaldığı,
- Takım aşınmasının kesme hızı, kesme derinliği ve titreşimin artırılmasıyla azalmakta, sıcaklık ve ilerleme miktarının belirgin bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir (Zeqiri, 2018).

Sekmen (2013) tarafından “Talaş Açısının Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmeler Üzerindeki Etkilerinin Simülasyonu ve Deneysel Olarak Doğrulanması” isimli doktora çalışmasında AISI 1050, AA 2011 ve AA7075 malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerle yapılan deneylerde beş farklı kesme hızında, üç farklı uç yarıçısı ve talaş kırıcı geometrisine sahip kesici ile sabit ilerleme ve talaş derinliğinde tornalama işleminde elde edilen sonuçlar DEFORM yazılımıyla simüle edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda;

- Kesme derinliği ve ilerleme hızındaki artışın, deneylerde ve DEFORM 3D simülasyon programından elde edilen sonuçlarda, kesme kuvveti bileşenlerini artırdığı,
- AISI 1050 üzerinde yapılan deneyler incelendiğinde, talaş kırıcı açısı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı,
- AA 2011 ve AA 7075 alüminyum alaşımlarında, kesme hızı ve talaş açısının artırılmasıyla kesme kuvvetlerinde azalma gözlemlendiği tespit edilmiştir (Sekmen, 2013).

Neşeli (2013) tarafından “Tırlama Titreşimleri Üzerine Süreç Sönümleme Etkisinin Analitik Olarak Araştırılması ve Tornalamada Kararlı Kesme Derinliği ile Süreç Sönümleme Değerlerine Bağlı Parametre Optimizasyonu” isimli doktora çalışmasında üç farklı kesme hızı, ön boşluk açısı, malzeme, ilerleme hızı ve talaş derinliğinde L_{27} ortogonal dizini kullanılmıştır. Yanıt yüzey yöntemi yardımıyla iş parçası kalitesinin ve imalat verimliliğinin azalmasına sebep olan tırlamanın azaltılması için, düşük kesim hızlarında takım ucunun iş parçasına dalması sonucu oluşan süreç sönümlemenin, kesme kararlılığına olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda;

- Dalmadan kaynaklı süreç sönümleme incelendiğinde, sert malzemelerde oluşan dalma kuvvetlerinin, yumuşak malzemelere göre daha fazla olması nedeniyle iş parçası malzemesi sertleştikçe sönümlemenin arttığı,
- Takım ucu ön boşluk yüzeyinin baskı yaptığı iş parçası malzemesinde, sürtünmeden dolayı ısı oluşumunun arttığı, takım ucu basıncından kaynaklı plastik deformasyon olduğu sonucuna varılmıştır (Neşeli, 2013).

Mavi (2013) tarafından “Kesici Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Ti6Al4V Titanyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Performansının Etkisi” isimli doktora çalışmasında kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmış kaplamalı ve kaplamasız kesicilerin Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesinde kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma davranışlarına etkileri incelenmiştir. İmalat deneyleri kuru ve ıslak kesme şartlarında dört farklı kesme hızında (30, 45, 60, 75 m/dk.), üç farklı ilerleme hızında (0.20 0.25 ve 0.30 mm/dev.) ve 1 mm kesme derinliğinde, aşınma deneyleri ise dört farklı kesme hızında (30, 45, 60, 75 m/dk.), ilerleme hızında ve 1 mm kesme derinliğinde, 20, 40, 60 ve 80 cm³ talaş hacminde kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada;

- Takım aşınması en az kriyojenik işlem uygulanmış çok katlı kaplanmış kesici takımda oluşurken, en fazla aşınmanın ise işlem uygulanmamış kaplamasız kesici takımda görüldüğü,
- Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonucun çok katlı kaplanmış ve kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmış kaplamalı kesici takımla elde edildiği,
- Kaplamasız takımlarla yapılan kuru kesme şartlarındaki deneylerde, ilerleme hızının artırılmasıyla esas kesme kuvvetlerinin de arttığı ve ıslak kesme şartlarında da aynı durumun gözlemlendiği,

- Islak kesme şartlarıyla, kuru kesme şartları karşılaştırıldığında kesme kuvvetlerinde düşüş görüldüğü gözlemlenmiştir (Mavi, 2013).

Gürbüz (2012) tarafından “AISI 316L Çeliğin İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi ve Kaplama Tiplerinin Yüzey Bütünlüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması” isimli doktora çalışmasında, AISI 316L çeliğin işlenmesinde kesici takım geometrisi (kesici kenar formu, talaş açısı ve takım uç yarıçapı) ve kaplama tiplerinin (CVD ve PVD) yüzey bütünlüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde, farklı takım uç yarıçapları, talaş açıları, kesici kenar formları ve iki farklı kaplama uygulanmış (CVD ve PVD) sementit karbür kesici takımlar ve ISO 3685’e uygun 75° yanaşma açısına sahip PSBNR 2525M12 formunda takım tutucu kullanılmıştır. Kesme parametreleri dört farklı kesme hızı (125, 150, 175, 200 m/dk.), üç farklı ilerleme miktarı (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev.) ve iki farklı kesme derinliğini (1.25 ve 2.5 mm) kapsayacak şekilde seçilmiştir. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri, işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülükleri değerleriyle işlenmiş parçalardaki kalıntı gerilmeler ölçülmüş ve işleme sonucu oluşmuş yüzey katmanlarının metalurjik yapısı (mikrosertlik ve mikroyapısal değişimler) değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda;

- Kesme derinliği ve ilerleme değeri arttığında, kesme kuvvetleri esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_f) ve pasif kuvvet (F_t) olmak üzere bu üç bileşenin de arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin azaldığı,
- Kesici takım kaplama türüne (CVD ve PVD) bağlı olarak elde edilen en yüksek kesme kuvvetleri CVD Kaplamalı kesici takımında, en düşük kesme kuvvetlerinin ise PVD Kaplamalı kesici takımında gözlemlendiği,
- En yüksek kesme kuvveti bileşenlerinin ise; kesme hızı 125 m/dk., ilerleme 0,3 mm/dev. ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edildiği,
- Kesici takım uç yarıçapının değişimine bağlı olarak uç yarıçapı arttıkça F_c esas kesme kuvvetinde pek bir değişimin olmadığı, buna karşın F_t pasif kuvvetinin arttığı F_f ilerleme kuvvetinin ise azaldığı,
- Kesme derinliği ve ilerleme değeri arttığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüş,

- En yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin CVD Kaplamalı kesici takımlarla, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin ise PVD Kaplamalı kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde elde edildiği,
- Yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerlemenin etkisinin, kesme hızı ve kesme derinliğinden daha etkili olduğu,
- Tüm işleme deneyleri için en yüksek çekme kalıntı gerilmelerin çevresel yönde, en düşük çekme kalıntı gerilmelerin eksenel yönde gerçekleştiği,
- Deneysel çalışmalarda, genel olarak kesme derinliği ve ilerleme arttığında çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) arttığı, buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) azaldığı,
- Çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel yönde) üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin etkisinin, kesme derinliğinden daha etkili olduğu,
- En düşük çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) kesme hızı 200 m/dk., ilerleme 0,1 mm/dev. ve kesme derinliği 1,25 mm olduğunda, en yüksek çekme kalıntı gerilmelerinin ise (çevresel ve eksenel yönde) ise; kesme hızı 125 m/dk., ilerleme 0,3 mm/dev. ve kesme derinliği 2,5 mm olduğunda elde edilmiş,
- Takım uç radiusunun artırılmasıyla çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) arttığı,
- PVD kaplı kesici takımlarla işlenmiş yüzeylerde çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) CVD kaplı kesici takımlarla işlenen yüzeylerde elde edilen çekme kalıntı gerilmelerine göre daha düşük olduğu,
- İşlenmiş yüzey altındaki deformasyon miktarının, uç radiusu $r = 0,8 \text{ mm}$ ($\sim 67\mu\text{m}$), $r = 1,2 \text{ mm}$ ($\sim 113\mu\text{m}$) ve $r = 1,6 \text{ mm}$ ($\sim 143\mu\text{m}$) olduğu,
- Kesme derinliği ve ilerleme hızının artmasıyla, mikrosertlik değerinin arttığı ve buna karşın kesme hızındaki artışla birlikte mikrosertlik değerlerinin de azaldığı,
- Kesici takım uç radiusunun artırılmasıyla, talaş kaldırılan yüzey altındaki mikrosertlik değerlerinin arttığı,
- PVD kaplı kesici takımlarla işlenmiş yüzey altında elde edilen mikrosertlik değerlerinin, CVD kaplı kesici takımlara göre daha düşük olduğu görülmüştür (Gürbüz, 2012).

Uysal (2012) tarafından “Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Aşınmış Kesici Takımlar ile Ortogonal Talaş Kaldırmanın Kayma Hatları ile Modellenmesi ve Analizi” isimli doktora çalışmasında az aşınmış takımlarda ölü bölge oluşumunu göz önüne alan kayma hattı modeli geliştirilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, kesici ağzı aşınmamış ve kesici ağzı aşınmış takımlara ait kayma hattı modelleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonunda kesici ağzı yuvarlatılmış aşınmış takımlara ait kayma hattı modeli oluşturularak, deneylerle modelin doğruluğu ortaya konmuştur. Çalışma sonunda;

- Kesme kuvveti olan radyal kuvvet ve bileşke kuvvetinin kesme hızı arttıkça azaldığı, kesme derinliğinin artmasıyla arttığı,
- Kesici ağzı aşınmış takımlarda, serbest yüzey aşınmasının kesme kuvvetlerini arttırmasına karşın, talaş açısının arttırılmasının kesme kuvveti, radyal kuvvet ile bileşke kuvvetini bir miktar azalttığı,
- 100, 150 ve 200 μm kesme derinliği değerlerinde ve 0.25, 0.5 ve 0.75 m/dk. kesme hızlarında yapılan deneysel çalışmalarda, kesme kuvveti, radyal ve bileşke kuvvetinin kesme hızının ve talaş açısının artırılmasıyla azaldığı tespit edilmiştir (Uysal, 2012).

Akkuş (2006) çalışmasında; üç farklı sac kombinasyonuna sahip nokta kaynaklı özdeş sekiz adet deney numunesi hazırlamış ve servo hidrolik yorulma makinesi kullanarak uzun ömürlü yorulma deneyleri yapmıştır. Numuneler hasara uğrayıncaya kadar geçen tekrar sayılarıyla S-N eğrilerini oluşturmuştur. En yüksek yorulma gerilmesi değerinin, galvanizli çelik saclardan oluşan bağlantıda elde etmiştir. Yorulma deneyleri sonucunda çekirdekten oluşan boyut değişimlerini incelemiştir. Yorulma deneyleri sonrası çekirdek boyutlarındaki değişimler ve çatlak boyları mekanik yöntem ve bilgisayar programları yardımıyla belirlemiştir. Bu tip nokta kaynaklı bağlantıya ait malzeme sabitleri ve çatlak ilerleme hızını veren bağıntıyı elde etmiştir (Akkuş, 2006).

Öncel (2011) çalışmasında; AISI 4140 çeliğine iyon nitrasyon ile indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemleri uygulamış ve yorulma davranışını incelemiştir. Yorulma deneyleri için numunelere 450 °C’de 18 ve 19,5 saat iyon nitrürleme işlemi uygulamıştır. 850 °C’de indüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş numuneler hazırlamıştır. Aynı zamanda yorulma dayanımlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla, herhangi bir işlem uygulanmamış AISI 4140 çelik numuneleri de hazırlamıştır. Yüzey sertleştirme işlemleriyle hazırlanmış yorulma numunelerine, dönen eğmeli ankastre tip yorulma makinesinde yorulma deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonunda iyon nitrürlemeyle yüzey sertleştirme işleminin,

indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemine göre yorulma dayanımını artırdığını tespit etmiştir (Öncel, 2011).

Akyıldız (2005) çalışmasında; talaşlı imalatla vida açma işleminde, parça yüzey tabakasında oluşan mekanik değişimlere sebep faktörleri, imalat şartlarının yorulma dayanımına etkilerini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmasında R.R. Moure yorulma test makinası tasarlayarak üretmiştir. Üretilen makinada yaptığı deneylerde, yorulma ömrünü etkileyen en önemli faktörün, yüzey tabakasının fiziksel ve mekanik özellikleri olduğunu belirlemiştir (Akyıldız, 2005).

Tan (2013) çalışmasında; Al-25Zn-3Cu alaşımının, dökülmüş ve ısıtıl işlem görmüş durumlardaki numunelerle, yorulma özelliklerini ankastre tip dönen eğmeli yorulma makinasında incelemiştir. Al-25Zn-3Cu alaşımından en yüksek yorulma dayanımını ısıtıl işlemi görmüş, en düşük yorulma dayanımı ise dökülmüş numunelerde elde etmiştir (Tan, 2013).

Saçkesen (2007) çalışmasında; uçaklarda kullanılan yüksek mukavemetli metal malzemelerde karşılaşılan yorulma ve korozyon problemlerini araştırmıştır. Deneylerde servo hidrolik yorulma test cihazı kullanılmıştır. Yüksek mukavemetli 7075 alüminyum alaşımının yorulma ve korozyon özelliklerini iyileştirmek için, son zamanlarda geliştirilmiş bir ısıtıl işlem olan RRA (gerilmeye bağlı korozyon çatlaması, işlemi, Retrogression and re-aging) yanında, ısıtıl işlemle mekanik yüzey işlemi birleştirilerek termomekanik bir süreç geliştirmiştir. Her iki yaklaşım da incelenmiş ve termomekanik işlemin yorulma ömrünü artırdığını gözlemiştir (Saçkesen, 2007).

Genel (2000) çalışmasında; iyon nitrürlenmiş AISI 4140 çeliğinin yorulma ve korozyonlu ortam yorulma davranışını araştırmıştır. Araştırmasında ankastre tip dönen eğilmeli yorulma makinesi kullanmıştır. Hava ortamı ve iyon nitrürlenen parçaların yorulma dayanımları ile parça yüzeyi kabuk kalınlığı arasında ampirik bağıntı kurmaya çalışmıştır. Araştırmasında artırılmış parça yüzeyi kabuk kalınlığının, yorulma dayanımını önemli ölçüde artırdığını gözlemiştir (Genel, 2000).

Subaşı (2006) çalışmasında; AISI 4140 çeliğinde malzeme sertliği, yorulma dayanımı ve kalıcı gerilme ilişkisini araştırmıştır. Deneylerinde döner eğmeli ankastre tip yorulma test makinesi kullanmıştır. Numunelerini sertleştirme işlemine tabi tutmuş ve farklı sertlik değerleri elde etmiştir. AISI 4140 çelik malzemesinde katman kaldırma (elektro kimyasal) yöntemiyle kalıcı gerilme etkisinin yorulma dayanımına etkisini incelemiştir. Araştırmada

numuneler 40, 45 ve 50 HRC sertlik değerinde sertleştirilmiş, tornalanmış ve yorulma testlerine tabi tutulmuştur. Deneylerde 40, 45 ve 50 HRC sertleştirilmiş numuneler kullanılmış ve yorulma dayanımları 463, 783, 792 N/mm² olarak bulunmuştur. 45 HRC sertleştirilmiş numunede en iyi yorulma dayanımı değeri elde edilmiştir. Kalıcı gerilme ölçümlerinde numune yüzeylerinde 203, 210, 299 N/mm² kalıcı çekme gerilmeleri ölçülmüştür (Subaşı, 2006).

Turan (2011) alışmasında; mekanik yüzey işlemlerinin, alüminyum bakır alaşımı olan AA2014 malzemesinin yorulma davranışına etkisini araştırmıştır. Araştırmasında R.R. Moore yorulma makinesi kullanarak çalışmalarını yapmıştır. alışmasında derin haddeleme işleminin yüzey pürüzlülüğü, Vickers sertliği ve yorulma dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Araştırmasında deney numunelerini 14 adet numuneden oluşan üç farklı gruba ayırmıştır. İlk grup derin haddeleme işlemine tabi tutulmamış, kalan iki farklı gruba ise 50 ve 75 bar basınç altında derin haddeleme işlemi uygulanmıştır. Haddeleme sonucu malzeme yüzeyinde deformasyon sertleşmesi ve buna bağlı olarak yüzey sertliğinde seçilen haddeleme basıncına bağlı olarak artışlar olduğunu gözlemlemiştir. Sertliğin ve yüzey pürüzlülüğünün yorulmayı etkileyen en önemli faktör olduğunu belirlemiştir (Turan, 2011).

Akbulut (2011) alışmasında; AISI 1045 eliğinin yorulma davranışı üzerinde, mekanik yüzey işleminin etkisini araştırmıştır. alışmasında, AISI 1045 eliğinin yorulma davranışı üzerinde, üç farklı basınçta (100, 200 ve 300 bar) bilyeli parlatmanın etkisini araştırmıştır. Bilyeli parlatma işlemi uygulanmış numuneler, döner eğilmeli yorulma makinesinde yorulma testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen yorulma sonuçları, sertleştirme işlemi uygulanmamış numunelerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar sertleştirme işlemi uygulanmayan numunelerle karşılaştırıldığında, farklı basınçlarda bilyeli parlatma işlemi uygulanan numunelerde yorulma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Yorulma dayanımında olan bu artışın, mekanik yüzey işleminin yüzey tabakasında sebep olduğu soğuk deformasyon, artan yüzey sertliği ve yüzeye yakın tabakadaki basma artık gerilmelerinin bir sonucu olabileceğini değerlendirmiştir (Akbulut, 2011).

Saygın (2006) alışmasında; AISI 1020 çeliklerinden imal edilmiş olan yorulma numunelerine farklı sıcaklık ve sürelerde borlama işlemi uygulamıştır. 900, 950, 1000 ve 1050 °C’de 2, 4 ve 6 saat sürelerle borlama işlemine tabi tutulan numunelerin dönen eğmeli ankastre tip yorulma makinesinde yorulma ömürlerini belirlemiştir. Uzun süreli borlama ısılı işlem koşullarının yorulma ömrü üzerine olumlu etkisini gözlemlemiştir (Saygın, 2006).

Kumru (2007) çalışmasında; ETİAL 141, ETİAL 145 ve ETİAL 160 malzemesinden döküm yoluyla yorulma numuneleri hazırlamıştır. Araştırmasında kullanmak amacıyla, düzlemsel eğme gerilmeli yorulma makinesi tasarlamış ve makinanın imalatını yaparak yorulma deneylerini bu makinada yapmıştır. Çalışmasında yorulma ömür sınırı olarak, ortalama $N = 10^7$ çevrimine karşılık gelen eğilme gerilmesini temel almıştır. Deneyleri sonuçlarında en yüksek yorulma ömrünün, ETİAL 160 serisi döküm malzemesinden elde edilmiş numunelerde olduğunu gözlemlemiştir (Kumru, 2007).

Kovan (2006) çalışmasında; nikel esaslı süper alaşım PM 1000'in termomekanik davranışını yapay sinir ağları modeli oluşturarak, 450 - 850 °C sıcaklık aralığında servo hidrolik yorulma makinesinde incelemiştir. PM 1000 alaşımı için oluşturulan yüksek sıcaklık yorulma ömrü tahmin modelinde, yapay sinir ağları yöntemi kullanmıştır. Oluşturulan bu modelin hem termomekanik yorulma, hem de izotermal yorulma için uygun sonuçlar verdiğini tespit etmiştir (Kovan, 2006).

Akyıldız ve arkadaşları (2009) çalışmalarında; SAE 4340 çeliğinden imal edilen vidalı yorulma numuneleri üzerinde, imalat faktörlerinin etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarında yorulma ömrü üzerinde takım aşınması ve kesme hızının en etkili faktör olduğunu gözlemlemişlerdir (Akyıldız vd., 2009).

Novovic ve arkadaşları (2003) çalışmalarında; makina elemanlarına mekanik ve termal yüzey işleme yöntemlerinin yorulma ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarında mekanik ve termal işlemler sonucu oluşan, yüzey pürüzlülüğü ve kalıntı artık gerilmelerinin yorulma ömrü üzerinde önemli artış sağladığını ve etkisinin olduğunu belirlemişlerdir (Novovic vd., 2003).

Bayraktar ve arkadaşları (2009) çalışmalarında; SAE 8620 çeliğinde bileşik gerilme altında $R = 1$ ve $R = 0,7$ yükleme oranı için yorulma davranışını incelemiştir. Malzemede yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü ve korozyonun yorulma davranışı üzerine etkilerini araştırmışlar, yüzey sertliğinin yorulma ömrü üzerinde olumlu yönde etki sağladığını, yüzey pürüzlülüğünün $R = 0,7$ oranında etkili olmadığını, korozyonun ise yüzeyde çatlak başlamasından sonra etkili olduğunu belirlemişlerdir (Bayraktar vd., 2009).

Benedetti ve arkadaşları (2013) çalışmalarında; Al-7075-T6 malzemesinde artık gerilme ve yüzey pürüzlülüğünün yorulma dayanımına etkilerini, çok eksenli gerilme altında incelemişlerdir. Bilyeli dövme yönteminin yüzey pürüzlülüğünü azalttığını ve yüzey

tabakasında oluşan artık gerilmelerin yorulma ömrünü artırdığını gözlemlemişlerdir (Benedetti vd., 2013).

Mercan ve arkadaşları (2015) çalışmalarında; AISI 2205 ve AISI 1020 çeliğini sürtünme kaynağı ile birleştirerek, yapılan kaynaklı birleştirmelerin dönel eğmeli yorulma cihazında yorulma davranışlarını incelemişler, karıştırma basıncından daha ziyade, karıştırma ucu devir sayısının en önemli parametre olduğunu belirlemişlerdir (Mercan vd., 2015).

Nagarajan ve arkadaşları (2013) çalışmalarında; AISI 4140 malzemesinde yorulma çatlak büyümesine çözünmüş hidrojen etkisini incelemişlerdir. Araştırmalarında hidrojen yüklü numunelerin yorulma çatlak büyümesi davranışını çözünmüş hidrojen olmayan numunelerle mukayese etmişlerdir. Haddelenmiş, tavlanmış ve östemperlenmiş numunelerde çatlak büyüme hızının, östemperlenmiş örneklerde daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir (Nagarajan vd., 2013).

Şirin ve arkadaşları (2007) çalışmalarında; AISI 4340 çeliğine korozyon direnci, yüzey sertliği ve yorulma dayanımını artırmak amacıyla iyon nitrürleme uygulamışlardır. İyon nitrürleme ile yüzey işlemenin yorulma dayanımını artırdığını belirtmişlerdir (Şirin vd., 2007).

Hosseini ve arkadaşları (2014) tarafından sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin sert tornalanmasıyla indüklenen beyaz tabaka oluşumu sırasında sıcaklık gelişimini, kesme sıcaklıklarının ve yüzey soğuma hızlarının etkileşimi sonucu oluşan beyaz katmanların mikro yapısı ve özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kesme sıcaklığı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, beyaz katmanların, etkilenmemiş malzemeyle karşılaştırıldığında yüksek miktarlarda çekme artık gerilmeleri sergilediğini gözlemlemiştir. Kesme hızının artmasıyla çekme artık gerilmelerinin arttığını tespit etmişlerdir (Hosseini vd., 2014).

Duan ve arkadaşları (2022) AISI 52100 çeliğine uygulanan bilyeli dövme ve ultrasonik yüzey haddeme kombine işlem teknolojisini incelenmiştir. Çelik bilyalı dövmenin yüzey sertliği ve artık gerilmeleri artırdığını yüzey pürüzlülüğünü ise azalttığını gözlemlemişlerdir. Bu işlem yorulma ömrünü önemli ölçüde artırmıştır. Bilyeli dövme ve ultrasonik yüzey haddemenin kombinasyonunun ise yüzey pürüzlülüğünü artırdığını gözlemlemişlerdir (Duan vd., 2022).

Literetürde yapılan çalışmalar imalat parametrelerinin değerlendirilmesi ve yorulma deneylerinin değerlendirilmesi olarak aşağıda iki aşamada değerlendirilmiştir.

Talaşlı imalat parametreleri değerlendirildiğinde;

- Farklı tür ve sertlikte malzemeler kullanılarak, en iyi sonuçların alınmasına yönelik çalışma yapılması gerektiği,
- Malzeme farklılıklarıyla parametrelerin önem düzeylerinin değiştiği (AISI 1040 için talaş derinliği, takım uç yarıçapı, ilerleme hızı, talaş kırıcı ve uç açısı olduğu, AISI 1060 için ise bu sıralamanın talaş derinliği, ilerleme hızı, takım uç yarıçapı, talaş kırıcı ve uç açısı olduğu),
- Sonuçların ANOVA analizi yaparak yorumlanmasının güvenilirlik açısından önemli olduğu,
- İlerleme hızının artmasıyla, ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı,
- İlerleme hızının artırılmasıyla, kesici takımla iş parçası arasındaki ısı oranının arttığı,
- İlerleme hızının artırılmasıyla, iş parçası ile kesici takım arasındaki kararlılığın azaldığı,
- İlerleme hızının artırılmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı,
- Kesme hızının artırılmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı,
- Kesme hızı değerinin, kesme sıcaklığı üzerindeki etkisinin etkili olduğunu,
- Yüzey pürüzlülüğünün kesme derinliği artırılmasıyla arttığı,
- Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızının artırılmasıyla azaldığı,
- Kesme derinliğiyle ilerleme hızındaki artışın, kesme kuvvetlerini artırdığı,
- Kesme derinliği ve ilerleme değeri artığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı,
- Kesici uç yarıçapı arttıkça kesme kuvvetlerinin, artış gösterdiği,
- Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme hızının, kesme hızı ve kesme derinliğinden daha etkili olduğu.
- Talaşlı imalat sonunda çekme kalıntı gerilmelerin en fazla çevresel yönde, çekme kalıntı gerilmelerin en az eksenel yönde olduğu,
- Kesme derinliği ve ilerleme hızı artığında, çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) arttığı,
- Kesme hızındaki artışa paralel çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) azaldığı,

- Çekme kalıntı gerilmeleri (çevresel ve eksenel yönde) üzerinde kesme hızı ve ilerlemenin etkisinin, kesme derinliğinden daha etkili olduğu,
- Kesici uç radiusunun artırılmasıyla çekme kalıntı gerilmelerinin (çevresel ve eksenel yönde) arttığı,
- Malzeme sertliğinin artmasıyla, malzemenin yüzey tabakasında kalıcı gerilmelerin arttığı,
- İşlenmiş yüzey altındaki deformasyon miktarının kesici takım uç radiusunun artmasıyla arttığı (takım uç radiusu $r= 0,8 \text{ mm} \sim 67\mu\text{m}$, $r= 1,2 \text{ mm} \sim 113\mu\text{m}$ ve $r= 1,6 \text{ mm} \sim 143\mu\text{m}$),
- Kesme derinliği ve ilerleme hızı arttığında mikrosertlik değerlerinin arttığı,
- Kesme hızındaki artışla birlikte mikrosertlik değerlerinin azaldığı,
- Kesici takım uç radiusunun artırılmasıyla işlenmiş yüzey altındaki mikrosertlik değerlerinin arttığı,
- Farklı kaplamaya sahip kesici takımlarla işlenmiş yüzey altında elde edilen mikrosertlik değerlerinin farklılık yarattığı belirlenmiştir.

Yorulma deneyleri değerlendirildiğinde;

- Yorulma deneyleri için Dönel Eğmeli Ankastre Tip veya R.R. Moure Yorulma Makinaları kullanıldığı ve üretilen makinalarda önce kalibrasyon deneyleriyle makinaların kalibre edildiği,
- Malzeme yüzeyine uygulanan yüzey sertleştirme işlemlerinin yorulma mukavemetini artırdığı,
- Malzeme yüzeyine imalat sırasında etki eden fiziksel ve mekanik etkilerin, yorulma için en önemli parametreler olduğu,
- Numuneler üzerine uygulanan termomekanik işlemlerin yorulma dayanımı üzerinde olumlu etkiler yaptığı,
- Malzeme yüzeyinde farklı basınçla yapılan bilyeli dövme mekanik yüzey işlemi ile oluşturulan kabuk kalınlığının yorulma dayanımını önemli ölçüde artırdığı,
- Yorulma dayanımlarının malzeme sertliği ile birlikte arttığı belirlenmiştir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Makina elemanlarının yorulma ömürlerinin artırılması amacıyla, yüzey tabakasına literatürdeki çalışmalar da incelendiğinde birçok yöntem uygulanmaktadır (Akbulut, 2011; Genel, 2000; Öncel, 2011; Turan, 2011). Son yüzey tabakasına uygulanan yöntemlerin çeşidine göre, bu tabakanın mekanik özellikleri iç tabakaya göre farklılıklar göstermektedir. Yüzey tabakasına uygulanan mekanik işlemlerin parametrelerinin ayarlanması bir çok yöntemde oldukça esneklik. Talaşlı imalat ile son yüzey tabakasının oluşumunda malzeme sertliği, talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı gibi parametrelere bağlı oluşan kesme kuvvetleri, kesici takımların hasara uğramadan görevlerini yapabilmelerinin önünde sınırlayıcı etkindir. Kesici takımlar üzerine gelen kuvvetlerin etkisi altında kolayca kırılabilirler. Kesici takımların hasara uğramadan yüzey iş parçası yüzey tabakasında, malzemenin yorulma ömrünün artırılması için oluşturulmak istenen imalat parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Son yıllarda kesici takım ve tezgâh teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, sertleştirilmiş makine parçalarının son yüzey işlemlerinin, taşlama yerine sert tornalama yöntemiyle yapılması giderek yaygınlaşmaktadır. Taşlama işlemine göre sert tornalamada, kesme işlemine etki eden kesme hızı, kesici malzemesi, ilerleme hızı, talaş derinliği, kesici geometrisi ve katere bağlı farklı kesme açıları gibi faktörler, imalat şartlarını fazlasıyla etkilemektedir. Bu faktörlerin optimizasyonu ve yorulma ömrüne etkilerinin araştırılması son yıllarda önem kazanmıştır. Prodüktiviteyi artırmak için tercih edilen sert tornalama işleminin, yorulma ömrüne etkisi üzerine yapılan çalışmalar literatürde oldukça azdır. Bu doktora tez çalışmasında, imalat sırasında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, yorulma ömrü tespiti teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Deney sonuçları ANOVA analizi yapılarak yorumlanmış ve optimum imalat parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametrelerin en düşük ve en yüksek değerlerinde optimizasyonla belirlenen parametre düzeylerinde yorulma numuneleri üretilmiştir. Numunelerin test edilmesi için özel olarak R.R. Moure yorulma makinası tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen makina kalibrasyon deneyi yapılarak kalibre edilmiştir. Yorulma makinasında optimizasyon parametreleriyle üretilen yorulma numuneleri test edilerek, yorulma mukavemet değerleri %95 güvenlilikle belirlenmiştir. Çalışma sonunda, sertleştirilmiş makine parçalarına sert tornalama işlemi sırasında uygulanan imalat faktörlerinin, yorulma ömrüne etkilerinin tespiti ve imalat parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

1.3. Araştırmanın Önemi

Makine elemanı üzerine etki eden kuvvet sonucu oluşan gerilme, makine elemanı yüzey tabakasında en büyük değere ulaşır. Çevrimsel zorlanmalar neticesinde malzemenin kristal yapısında oluşan kayma hareketleri, yüzeyde son bulur. Yorulma çatlağı parçanın yüzeyinde başlar ve önce mikro ölçekte plastik şekil değişimlerinden kaynaklı kararlı kayma bantları meydana gelir. Gerilmenin yön değiştirmesiyle, kayma bantlarında meydana gelen deformasyon, bazı yan etkilerden kaynaklı tam anlamıyla geri dönemez ve bu durum malzemenin yüzey tabakasında girinti/çıkıntılarının oluşmasına sebep olur. Atomik boyutta oluşan deformasyon, zorlanmalar sırasında gerilme yığılmalarına yol açar. Bu gerilme yığılmaları sonucunda büyük değerlere ulaşan gerilmeler, yorulma çatlağının çekirdeklenmesine ve yorulma çatlağının başlamasına sebep olur.

Yorulmaya yol açan etkileri azaltmak maksadıyla, makine elemanının üretim sırasında yüzey tabakasının oluşumuna etki eden faktörlerin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle hacim ve ağırlık problemi olan uzay ve havacılık alanında kullanılan sınırlı yorulma ömrüne sahip makine elemanlarında, yorulma ömrüne bu imalat parametrelerinin etki ettiği değerlendirilmektedir. Literatür çalışmaları da değerlendirildiğinde, yüzey tabakasına uygulanan imalat parametrelerinin yüzeyde oluşturdukları artık gerilmelerde göz önüne alındığında, yorulma ömrünü azaltmakta veya artırmaktadır. Bu parametrelerin belirlenmesi ve optimize edilmesi makine elemanlarının yorulma ömrü tayini açısından önemlidir.

1.4. Varsayımlar

Bu araştırmanın varsayımları şunlardır;

Çalışmada malzeme içinde üretim aşamasında oluşan kusurların minimum düzeyde olduğu varsayılmaktadır.

Malzemenin ıslah işlemi sırasında bünyesinde oluşan kalıcı artık gerilmelerin deney numuneleri üzerinde oluşturduğu deformasyonun iki punta arasında tornalama ile ortadan kaldırıldığı varsayılmaktadır.

1.5. Sınırlılıklar

Bu araştırmanın sınırlılıkları şunlardır;

Çalışma sadece belirli bir sertlikte DIN 100Cr6 malzemenin üretim sırasında kullanılan parametrelerin yorulma ömrüne etkisinin araştırılması için yapılmıştır.

Sertlik değişiminin ve üretim parametrelerinin değişiminin yorulma ömrü üzerinde oluşturacağı etkiler farklılık gösterebilir.

Malzemenin izotrop ve sürekli olduğu kabul edilmiş, sesle çatlak testi yapılmıştır.



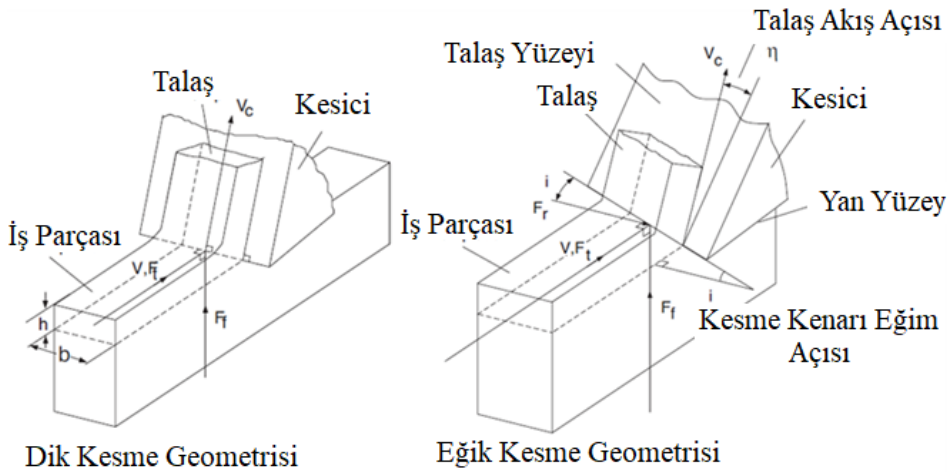
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kesme Mekanikliği

Makina parçasının son şekilleri, talaşlı ve talaşsız imalat yöntemleri kullanılarak elde edilir. Dövme ve haddeleme işlemlerinin sonunda, hedeflenen şekil, boyut ve yüzey kalitesi elde etmek için talaş kaldırma yöntemi malzemeye uygulanır. Talaşlı imalat yöntemleri, kesme ve taşlama işlemi olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Kesme işlemi, ham malzemeden parçanın son şeklini elde etmek için talaş formunda malzeme çıkarmak için uygulanır. Taşlama işlemlerinde ise amaç, parçada iyi bir yüzey kalitesi ve hassas boyut elde etmektir. Genel olarak talaşlı imalat işlemleri tornalama, frezeleme ve delme işlemleridir. Geometrilere ve kinematiği birbirinden farklı olmakla birlikte tüm metal kesme işlemleri, aynı mekanik prensiplerle yapılır (Altıntaş, 2012; Arshinov, 1976).

2.2. Dik Kesme Mekanikliği

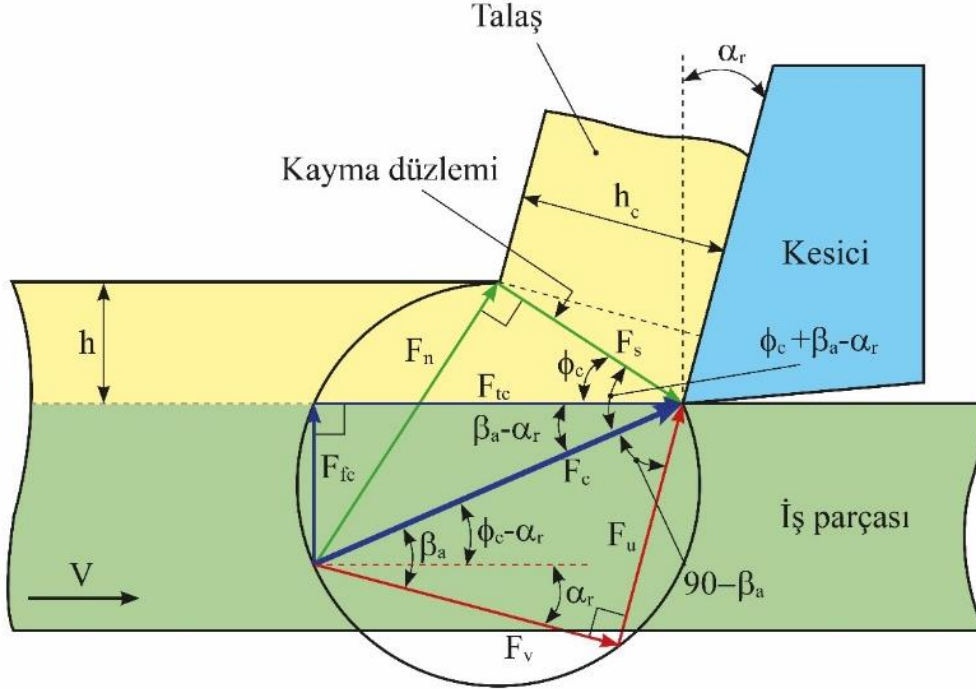
Talaş kaldırma işlemi üç boyutlu ve geometrik olarak karmaşık olsa da, talaş kaldırmanın mekanikliğini açıklamada iki boyutlu dik kesme işlemi kullanılır. Dik kesmede takım ana malzemeden talaş, iş parçası hareketinin yönüne dik bir yönde hareket ederek, kesme kenarı yardımıyla çıkarır. Dik ve eğik kesme işlemlerinin şematik gösterimleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Dik ve Eğik Kesme Geometrisi (Kaynak: Altıntaş, 2012; Kaymakçı, 2009; Kaymakçı vd., 2012)

Dik kesme, kesici kenarı kesme hızına dik olan düz bir aletle talaş kaldırma işlemidir. Kesme genişliği (b) ve kesme derinliği (h) olan bir parça talaş iş parçasından kesilir. Dik kesme işleminde malzemenin yandan yayılması olmaksızın, kesimin kesme kenarı boyunca eşit olduğu varsayılır. Bu nedenle, kesme kuvvetleri kesme düzlemi boyunca teğet (F_t) kuvvet ve kesilmemiş talaş kalınlığı yönünde ilerleme (F_f) kuvveti olarak uygulanır. Bununla

birlikte, eğik kesimde, kesici kenar bir eğim açısı (i) ile yönlendirilir ve ilave üçüncü kuvvet radyal yönde (F_r) ortaya çıkar. Kesilen malzeme kesici yüzeyinden V_c talaş akış hızında uzaklaşır.



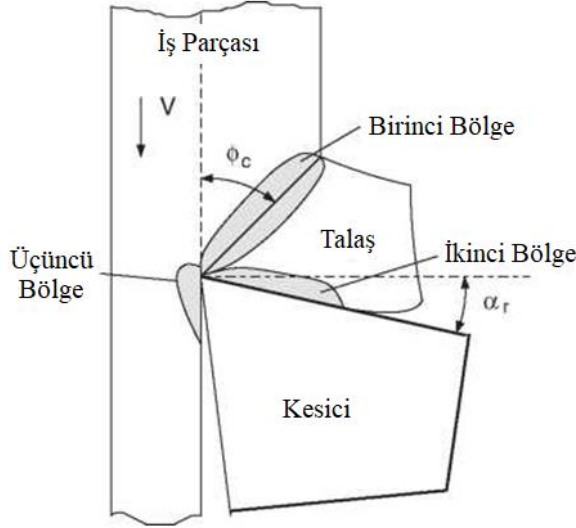
Şekil 2.2. Bileşke Kuvvet Diyagramı (Kaynak: Klocke, 2011; Merchant, 1945; Shi, 2018; Wei vd., 2023; Zhang vd., 2024)

Kesme düzleminde Şekil 2.2’de de belirtildiği gibi talaş üzerine uygulanan bileşke kuvvet (F_c)’dir. Talaş ile kesici takım talaş yüzeyi temas bölgesi arasında, ortalama bir sabit sürtünme olduğu varsayılmaktadır. Kesme kuvvetleri kesme işleminden veya talaş ile kesici takım talaş yüzeyi temasından kaynaklanır. Kuvvet dengesinden, Denklem 2.1 eşitliğinde ortaya çıkan bileşke kuvvet (F_c), ilerleme (F_{fc}) ve teğet (F_{tc}) kesme kuvvetlerinden oluşur (Movahhedy, 2000).

$$F_c = \sqrt{F_{tc}^2 + F_{fc}^2}$$

Denklem 3.1. Bileşke Kuvvet

İlerleme kuvveti (F_{fc}) kesilmemiş talaş kalınlığı yönünde, teğetsel kesme kuvveti (F_{tc}) ise kesme düzlemi doğrultusundadır. Kesici üzerinde etkili olan kesme kuvvetleri, talaş üzerinde etkili olan kuvvetlere göre eşit genliğe, ancak zıt yönlerde sahiptir. İki deformasyon bölgesi Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Dik Kesme Deformasyon Bölgeleri (Kaynak: Altıntaş, 2012; Garekani., 2013).

2.2.1. Birinci Kayma Bölgesi

Kesme düzlemine etki eden kesme kuvveti (F_s), Şekil 2.2'deki geometriden Denklem 2.2'deki gibi türetilir.

$$F_s = F_c \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)$$

Denklem 3.2. Kesme Düzlemine Etki Eden Kesme Kuvveti

Burada β_a , Talaş yüzeyi üzerine etki eden normal kuvvet ile kesicinin eğim yüzeyi arasında kalan açıdır. ϕ_c kayma düzlemi ile kesilen yüzey arası açı ve α_r kesicinin eğim açısıdır. Kesme kuvveti ayrıca ilerleme ve teğetsel kesme kuvvetlerinin bir fonksiyonu olarak Denklem 2.3'te şu şekilde ifade edilebilir.

$$F_s = F_{tc} \cos \phi_c - F_{fc} \sin \phi_c$$

Denklem 3.3. Kesme Düzlemine Etki Eden Kesme Kuvveti

Benzer şekilde, kesme düzlemine etkiyen normal kuvvet

$$F_n = F_c \sin(\phi_c + \beta_a - \alpha_r) \text{ veya } F_n = F_{tc} \sin \phi_c + F_{fc} \cos \phi_c$$

Denklem 3.4. Normal Kuvvet

2.2.2. İkinci Kayma Bölgesi

Kesme kuvvetinin iki bileşeni normal kuvvet (F_v) ve sürtünme kuvveti (F_u)'dur. Kesicinin talaş yüzüne F_v kuvveti dik etki ederken, F_u kesici talaş yüzeyine paralel etki eder. F_v ve F_u Denklem 2.5-2.6 eşitlikleri yardımıyla bulunur.

$$F_v = F_{tc} \cos \alpha_r - F_{fc} \sin \alpha_r$$

Denklem 3.5. Normal Kuvvet

$$F_u = F_{tc} \sin \alpha_r + F_{fc} \cos \alpha_r$$

Denklem 3.6. Sürtünme Kuvveti

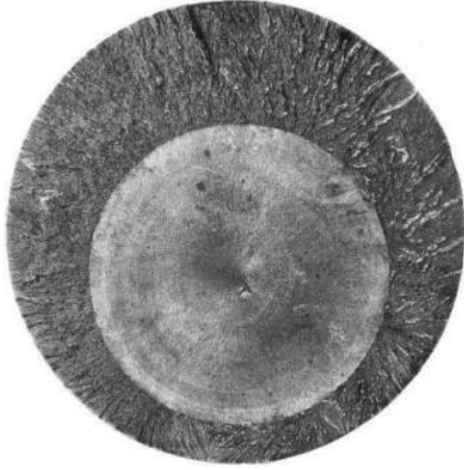
2.3. Yorulma

Makine elemanları dinamik çalışma şartlarında, üzerine etki eden değişken yüklerin ve gerilmelerin etkisi altında çalışır. Çalışma şartlarında elemana etki eden yük statik olsa da, elemanın kesitinde meydana gelen gerilmeler tam değişken olabilir. Bir milin üzerine etki eden kuvvet durur pozisyonda bir statik iken, mil dönmeye başladığında milin kesitinde oluşan gerilmeler tam değişken olur. Makina elemanının, malzemenin içyapı kusurları veya yüzeysel faktörlerine bağlı olarak, kesitte bu gerilmeler hasarların oluşmasına sebep olur. Yorulma hasarı sebebiyle, makine elemanı akma gerilmesinin altında yüklemelere maruz kalmasına rağmen kesitinde oluşan hasar, zamanla elemanın kopmasına sebep olur. Gerilmelerin etkisi altında malzemenin içyapısında oluşan değişimlere yorulma, elemanın işlevini yitirerek kopuncaya kadar dayandığı süreye de ömür adı verilir.

Gemi zincirlerinde oluşan kopmaların incelenmesi sonucu, ilk olarak W.A.S. Alber tarafından yorulma adı verilen bu olay gözlemlenmiştir. W.A.S. Alber gemi zincirlerine, tekrarlı yükler uygulanmış ve sonuçlarını incelenmiştir. 19'uncu yüzyılın ortalarında demiryolu araçlarının lokomotif akslarında oluşan kırılmalar, yorulma olayının daha detaylı incelenmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Alman demir yolu mühendisi olan August WÖHLER, bu sorunu araştırmak için 1852 ve 1870 yılları arasında laboratuvar ortamında bir dizi deneyler yapmış ve elde ettiği verileri kendi adıyla anılan diyagramla yorumlamıştır (ASM, 1997; McKeighan, 2005). Makine elemanın ömrü yorulma olayında, genellikle çevrim sayısı ile tarif edilir.

Değişken zorlanma altında çalışan makine elemanında çatlak, içyapıda veya dış yüzeyde oluşan bir süreksizlik noktasında başlar. Gerilme altında, süreksizlik noktası civarında malzeme yorulur ve çatlak meydana gelir. Makine elemanı yüzeyinde oluşan çatlak çevrim sayısına bağlı olarak zamanla ilerler. Çatlak dışında kalan bölgede yükleme sonucu oluşan gerilme, makine elemanı üzerinde mukavemet sınırını aşarak elemanın birdenbire kırılmasına sebep olur. Kırılma yüzeylerinde parlak ve mat olmak üzere iki bölge bulunur. Kırılma yüzeyinin Resim 2.1'de görüldüğü gibi bir bölümü mat ve düz, diğer bölümü ise parlak ve tanelidir. Parlak bölge önceden meydana gelen ve zamanla ilerleyerek büyüyen

çatlağı, mat bölge ise birdenbire kopan bölgeyi temsil eder. Başlangıçta çok iyi çalışan makine elemanı yükleme sonucu, çalışma sırasında bir süre sonra çevrim sayısına bağlı olarak yorulma hasarına uğrayarak işlevselliğini kaybedebilir (Almen vd., 1963).

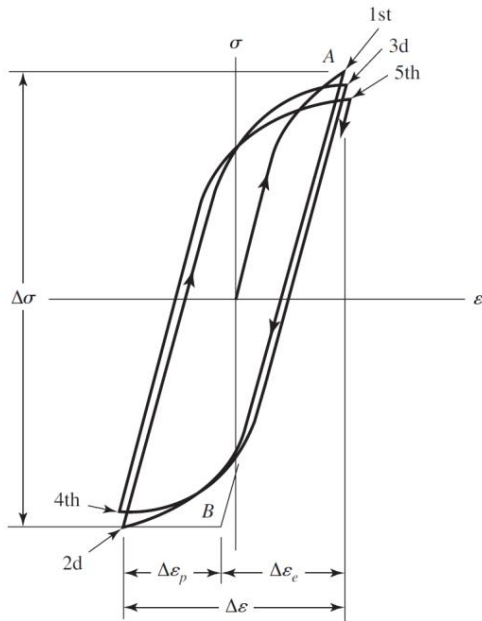


Resim 2.1. Yorulma Kırığı Yüzeyi (Kaynak: Budynas vd., 2011)

2.3.1. Yorulma Türleri

2.3.1.1. Kısa Ömürlü Yorulma

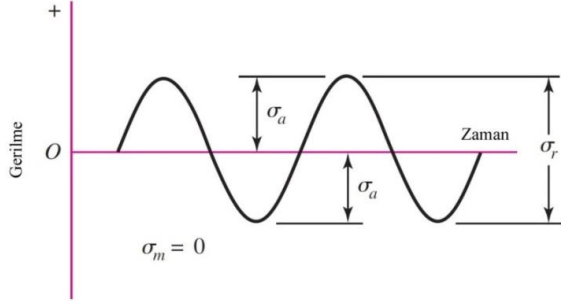
Makina elemanın çevrim sayısı 10^4 'den daha düşük olan yorulma hasarlarına kısa ömürlü yorulma denir. Kısa ömürlü yorulmada, akmanın ötesinde plastik şekil değişimleri söz konusudur. Kısa ömürlü yorulma gerilme genliği ile değil Şekil 2.4'te görüldüğü gibi birim şekil değişimi genliği ile yapılmaktadır.



Şekil 2.4. Gerilme Genliği - Şekil Değişimi Grafiği (Kaynak: ASM, 1997; Kalluri vd., 2000)

2.3.1.2. Uzun Ömürlü Yorulma

Hasar çevrim sayısı 10^5 'ten daha büyük olan uzun ömürlü yorulma, Şekil 2.5'te görülen tam değişken olan yorulma hasarlarına verilen genel isimdir. Akmanın olmadığı uzun ömürlü yorulma deneylerinde, gerilme genliği ve devir sayısı kontrol edilmektedir.



Şekil 2.5. Tam Değişken Yorulma Çevrimi Grafiği (Kaynak: Budynas vd., 2011)

2.3.2. Yorulma Çeşitleri

2.3.2.1. Malzemede Isıl Yorulma

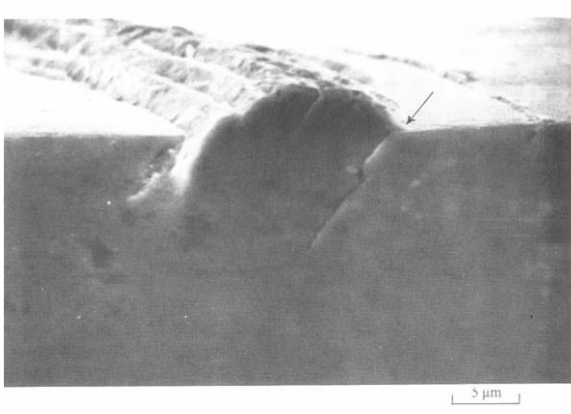
Sıcaklık değişimleri sırasında, parçanın boyut değiştirmesi engellenirse, makine elemanında oluşan iç gerilmeler ısı yorulma hasarını ortaya çıkarır. Sıcaklık azalmasıyla çekme yönünde, sıcaklık artışıyla basma yönünde gerilmeler oluşur. Gerilmeler sonucu yorulma çatlağı, çevrim sayısına bağlantılı olarak ilerler ve Şekil 2.2'de görüldüğü gibi makine elemanının yorulma hasarına uğramasına yol açar.



Resim 2.2. Isıl Yorulma Çatlağı (Kaynak: Kalluri vd., 2000)

2.3.2.2. Malzemede Korozyonlu Yorulma

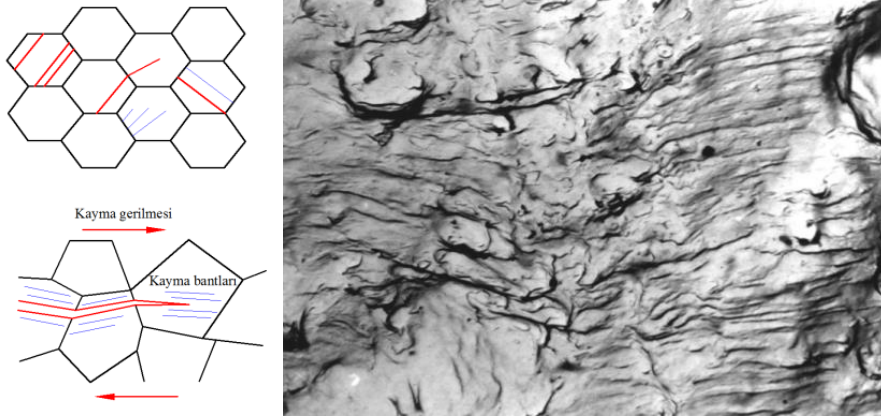
Makina elemanının korozyon ortamında çalışması sırasında, çevrimsel gerilmenin saldırgan bir ortamda etkimesi sonucu Şekil 2.3'te görüldüğü gibi korozyonlu yorulma meydana gelir (Tauscher, 1983). Korozyon ortamlarda malzemenin yorulma dayanımı, önemli ölçüde azalır. Korozyon ortamında, çatlak ilerleme hızında büyük artışlar görülür. Korozyon ortam, malzemenin



Resim 2.4. Yüzeyde Oluşan Yorulma Çatlağı Başlangıcı (Kaynak: Lee vd., 2005)

Yorulma çatlağının Resim 2.4'te görüldüğü gibi, büyük olasılıkla parçanın yüzeyinde başladığı öngörülmektedir. Gerilme altında, yüzeyde önce mikro ölçekte plastik şekil değişimlerinden etkilenen kararlı kayma bantları oluşmaktadır. Malzeme üzerine etki eden gerilmenin yön değiştirmesiyle, kayma bantlarında meydana gelen kayma olayı, bazı yan etkilerden dolayı tam olarak geri dönememektedir. Bu durum malzeme yüzeyinde girinti ve çıkıntıların oluşmasına sebep olmaktadır. Atomik mertebede malzeme yüzeyinde oluşan pürüzlülük, makina elemanına etki eden zorlanmalara bağlı gerilme yığılmalarının oluşumuna sebep olmaktadır. Bu noktada gerilme yığılmaları neticesinde büyük değerlere ulaşan gerilme, malzeme yüzeyinde yorulma çatlağının çekirdeklenmesine yol açmaktadır. Bu olay toplam yorulma ömrünün yaklaşık % 10'nunu kapsamaktadır.

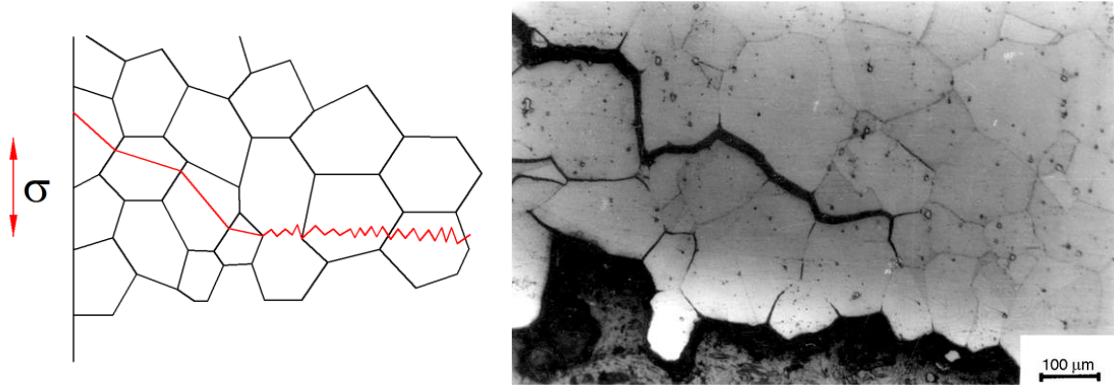
2.3.3.2. Yorulma Çatlağının Kayma Bantlarında İlerlemesi



Şekil 2.7. Kayma Bantlarında Çatlağın İlerlemesi (Kaynak: Reddy, 2004; Socie, 2005)

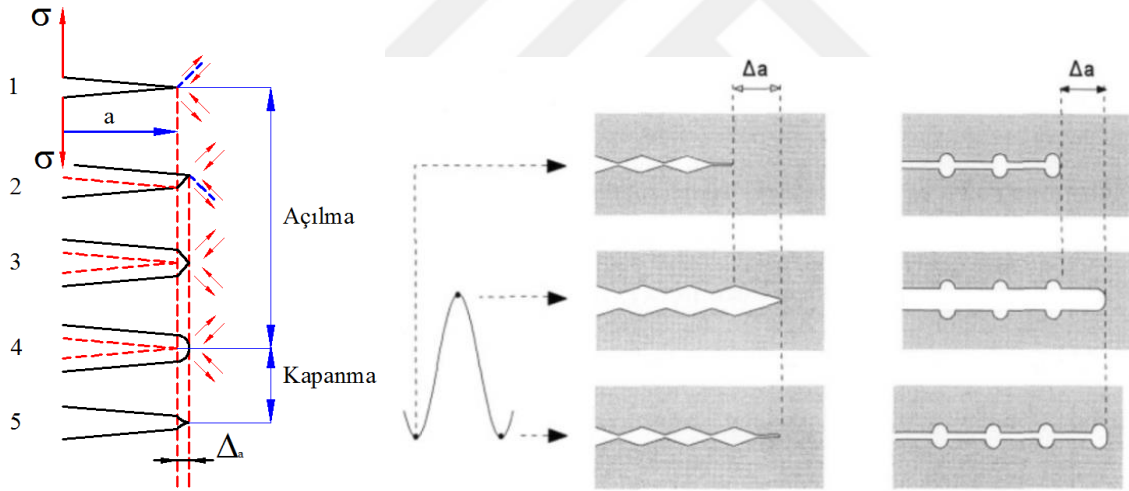
Tane içinde oluşan mikro çatlaklar Şekil 2.7'de görüldüğü gibi önce tane içi kayma bantları boyunca ilerler. Tane sınırına kadar ilerleyen çatlak, genellikle parça üzerine etki eden gerilmenin eksenine 45°'lik bir açı yaparak, taneler içinde ilerlemesine devam eder.

2.3.3.3. Yorulma Çatlağının Gerilmeye Dik Yönde İlerlemesi



Şekil 2.8. Çatlağın Gerilmeye Dik Yönde İlerlemesi (Kaynak: Socie, 2005; Stephens vd., 2000)

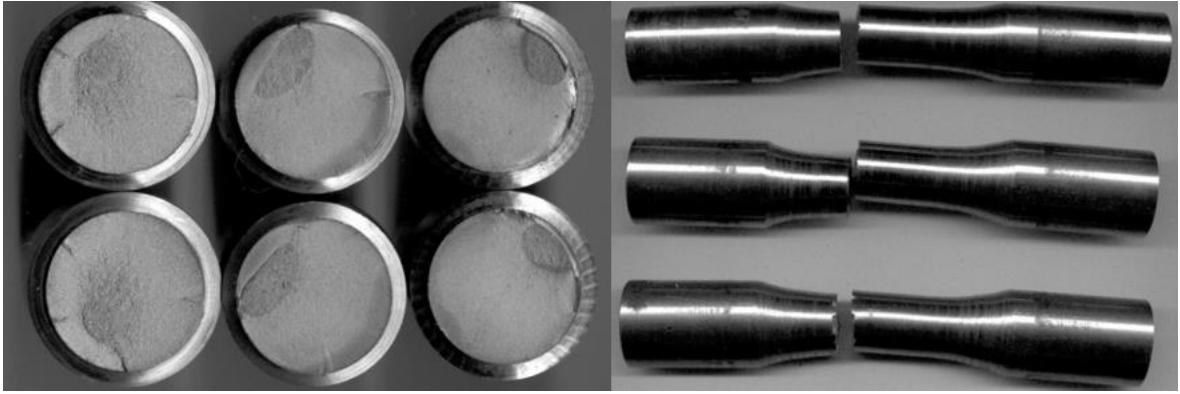
Önce kayma bantları ve daha sonra taneler içinde ilerleyen çatlak, belirli bir boyuta geldikten sonra gerilme yönüne dik olarak ilerlemeye başlar. Çatlak boyunun artmasıyla, Şekil 2.8’de görülen kararlı çatlak ilerleme safhaları oluşur. Çatlak bu safhadan sonra gerilme eksenine dik istikamette ilerler.



Şekil 2.9. Yorulma Çatlağı İlerleme Mekanizması (Kaynak: Demirkol, 2004; Gladwell, 2007; Schijve, 2001)

Çatlak üzerine etki eden çekme gerilmesi sonucu, Şekil 2.9’da görüldüğü gibi açılma sırasında kayma mekanizması yardımıyla bir miktar uzamaktadır. Çatlak dibinde bu sırada oluşan plastik şekil değişimi neticesinde körelme (blunting) gerçekleştiğinden, gerilmenin şiddeti azalmakta ve çatlak ilerlemesi durmaktadır. Basma gerilmesi sonucu çatlakın kapanması sırasında, çentik dibi keskinleşmekte ve takip eden açılma sırasında çekme gerilmesi oluşmaktadır. Her çevrim sonunda oluşan bu olay yorulma striasyonlarının (çizgileri) oluşumuna sebep olmaktadır.

2.3.3.4. Yorulmada Zorunlu Kırılma



Resim 2.5. Zorunlu Yorulma Kırılması (Kaynak: Akyıldız, 2005)

Makine elemanı kesitinde oluşan gerilme, kesitin taşıyamayacağı değerlere ulaştığında Resim 2.5’te görüldüğü gibi makina elemanı kırılarak işlevini yitirir. Ani oluşan bu kırılma yüzeyi, yorulma yüzeyinden farklı olarak gözenekli ve mat bir görünümündedir. Kırılma yüzeyinin şekli ve büyüklüğü makina elemanın gerilme şiddeti konusunda bilgi verir.

2.3.4. Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler

Yorulma dayanımına etki eden bazı faktörler vardır. Bu faktörlerin yorulma dayanımı üzerine etkisinin araştırılması, ayrı ayrı çalışılması gereken hususlardır. Bu faktörler;

Ortalama ve Bileşik Gerilmenin Etkisi,

Boyut Etkisi,

Parça Biçiminin Etkisi,

Yüzey İşlemlerinin Etkisi,

Korozif Ortamın Etkisi,

Sıcaklığın Yorulmaya Etkisi,

Metal ve Alaşımın Soğuk İşlenmesi,

Frekansın Etkisi,

Mikro Yapının Etkisi,

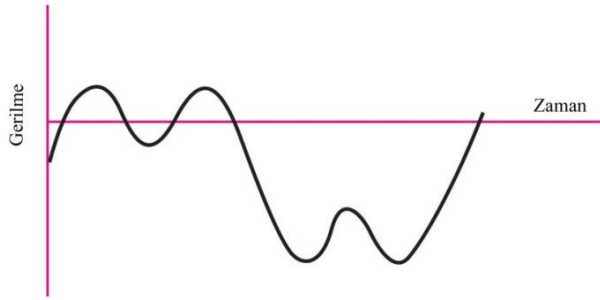
Artık Gerilmelerin Etkisi,

Yüzey Sertliğinin Etkisi,

Darbe Etkisi.

2.3.5. Zorlanma Türleri

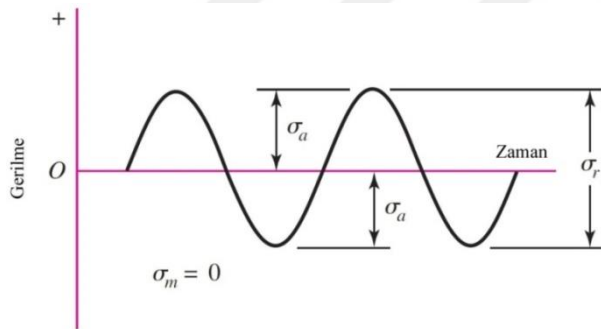
2.3.5.1. Rassal (Düzensiz) Zorlanma



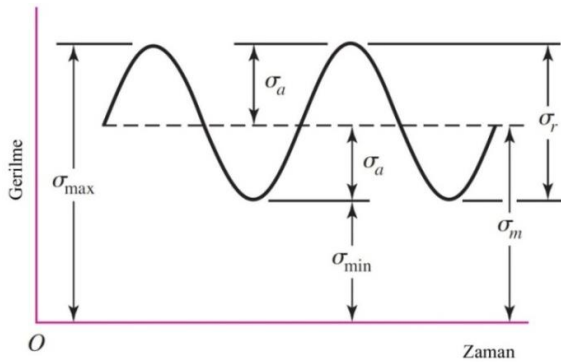
Şekil 2.10. Düzensiz Gerilme Diyagramı (Kaynak: Budynas vd., 2011; Gdoutos vd., 2023)

Düzensiz zorlanma, Şekil 2.10’da görüldüğü gibi makine veya elemanı zorlayan momentin veya meydana gelen gerilmenin zamana göre değiştiği zorlanma türüdür (ASTM E 1049, 1997). Bu tür zorlanmalar dinamik çalışan makine elemanlarında görülür. Rassal zorlanma genellikle iş makinası ve arazi araçlarında sıkça görülen zorlanma türüdür (Weissbach, 1993; Vlack, 1990).

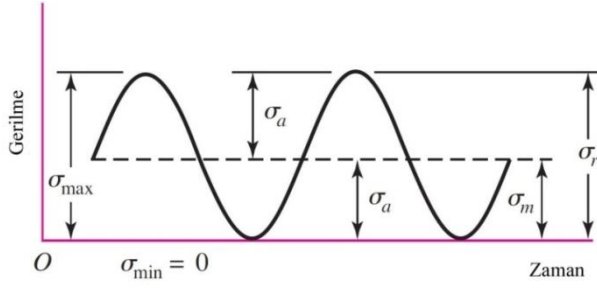
2.3.5.2. Değişken Zorlanma



Şekil 2.11. Tam Değişken Gerilme Diyagramı (Kaynak: Budynas vd., 2011)



Şekil 2.12. Ön Yükleli Sabit Genlikli Gerilme Diyagramı (Kaynak: Budynas vd., 2011)



Şekil 2.13. Ön Yükleme Sabit Genlikli Gerilme Diyagramı (Kaynak: Budynas vd., 2011)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Denklem 3.7. Ortalama Gerilme

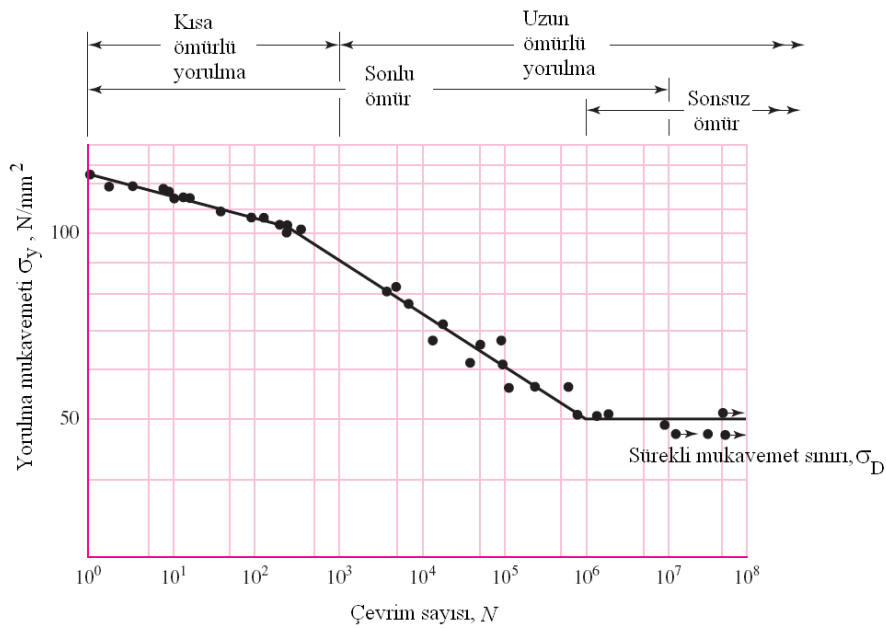
$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Denklem 3.8. Gerilme Genliği

Değişken zorlanma, Şekil 2.11-2.13'te belirtilen şekillerde makine elemanına etki eden kuvvetin veya momentin, elemanının kesitinde oluşturduğu gerilmenin zamana göre düzenli değiştiği zorlanma türüdür. Bu tür zorlanmalar dinamik çalışan makine elemanlarında görülür. Genellikle bu tür gerilmeler ön gerilmeli muyluların kesitinde oluşur. Ortala gerilme Denklem 2.7 ve gerilme genliği Denklem 2.8 eşitliği ile hesaplanır.

2.3.6. Yorulma Diyagramları

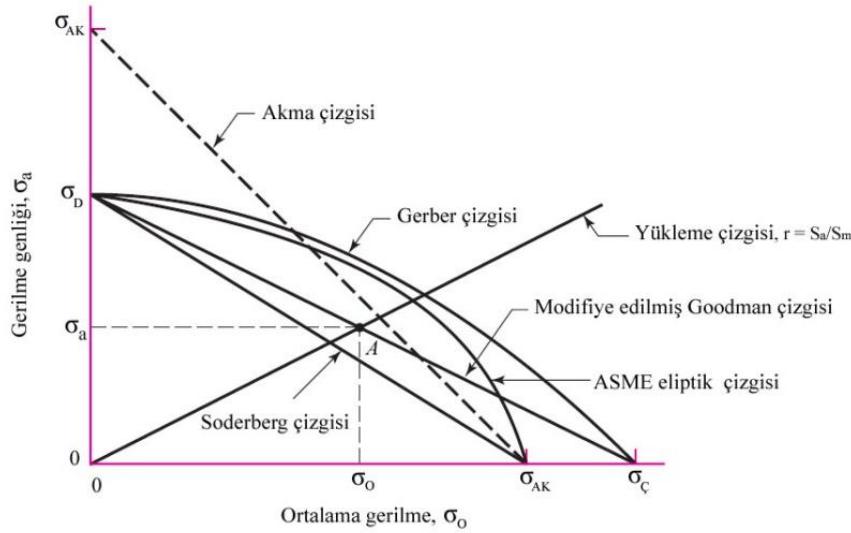
2.3.6.1. Wöhler Yorulma Diyagramı



Şekil 2.14. Wöhler Eğrisi (Kaynak: ASTM E 468, 2004; ASTM E 739, 2004; Budynas vd., 2011)

1866'da Wöhler tarafından gerilme genliği ve yük tekrar sayısı arasındaki bağıntıyı veren deney sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen verilerle Şekil 2.14'te belirtilen grafikler oluşturulmuş ve bu grafiklere de Wöhler Eğrisi denilmiştir. Grafikte yatay eksen ile gösterilen çevrim sayısını, dikey eksen ile gösterilen ise gerilme genliğini temsil etmektedir. Tasarımcılar tarafından hacim ve ağırlık sorunu olan hava araçlarının parçalarının tasarımında, Wöhler eğrisi hasar çizgisinin üzerine çıkılmamalıdır (Weilbull, 1961). Wöhler eğrisi oluşturulurken yorulma deneyleri merdiven yöntemiyle yapılmalıdır. Deneyler, hasara uğrayacak gerilme genliğinden, hasara uğramayacağı gerilme genliğine doğru gerilme genliği azaltılarak yapılmalıdır. Çelik malzemeler için sürekli mukavemet sınırı değeri (yorulma dayanımı) $N=1.10^7$ çevrim olmalıdır. Bazı kaynaklara göre ise 2.10^6 çevrim sayısında hasara uğramayan malzemenin, artık hasara uğramayacağı kabul edilerek deney durdurulabilir. Hafif metallerin yorulma dayanımının tespiti için ise çevrim sayısı $N=5.10^7-1.10^8$ olmalıdır.

2.3.6.2. Gerber - Goodman – Soderberg – ASME Yorulma Diyagramı



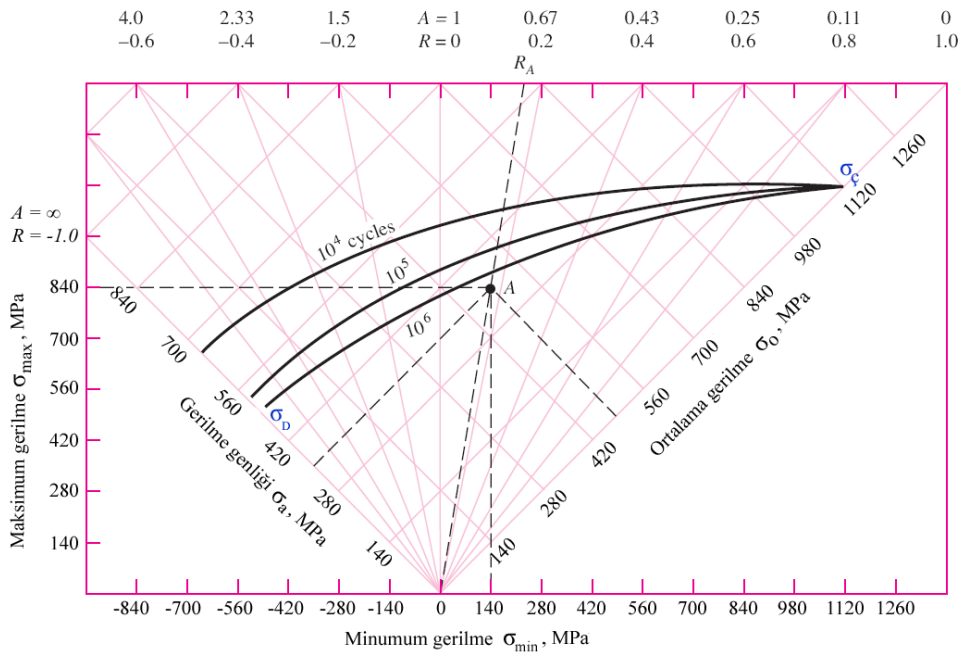
Şekil 2.15. Gerber – Goodman – Soderberg - ASME Yorulma Diyagramı (Kaynak: Budynas vd., 2011; Swanson, 1974)

Sünek malzemeler çekme dayanımını referans alan Gerber ve modifiye edilmiş Goodman diyagramı kullanılır. Gevrek malzemelerde ise akma dayanımını referans alan Soderberg ve ASME eliptik diyagramı kullanılır. Şekil 2.15'te diyagramların birleştirilmiş bir örneği sunulmuştur. Genellikle eliptik olmaları sebebiyle mukavemet hesaplamalarında gevrek malzemeler için ASME, sünek malzemeler için ise Gerber diyagramı kullanılır. Bu grafiklerde ortalama gerilmeyi yatay eksen, gerilme genliğini ise dikey eksen temsil

etmektedir. Bu diyagramlar tasarımcılar tarafından genellikle sonsuz ömürlü parça tasarımında kullanılır. Ömürlü yorulma hesaplaması yapmak bu diyagramlarla mümkün değildir. Genellikle bileşik gerilmeye maruz kalan makine elemanlarının tasarımı için oldukça kullanışlı diyagramlardır.

2.3.6.3. Master Yorulma Diyagramı

Makine elemanları çalışma şartlarında, bileşik gerilmelerin etkisi altında yorulmaya maruz kalırlar. Bileşik gerilmeler, tasarım sırasında mukavemet hesaplarının güvenlik katsayısı belirleme aşamasında oldukça önemlidir. Özellikle boyut ve kütlenin önemli olduğu hava taşıtlarında yorulma ömrü çok önemlidir. Burada birçok parça sonsuz ömürlü olarak tasarlanamadığı için, parçanın hangi gerilme etkisi altında fonksiyonunu yerine getirebileceğinin bilinmesi kıymetlidir.



Şekil 2.16. Master Yorulma Diyagramı (Kaynak: Budynas vd., 2011)

Master yorulma diyagramında Şekil 2.16’da görüldüğü gibi minimum gerilmeyi yatay eksen, maksimum gerilmeyi ise dikey eksen temsil eder. Ortadaki kısım gevrek malzemeler için ASME veya sünek malzemeler için Gerber diyagramının 45° dönmüş halidir. Burada sağa 45° olan eksen ortalama gerilmeyi, sola 45° olan eksen ise gerilme genliğini gösterir. Grafiğin üst kısmında ise yükleme oranı olan R ve A oranları bulunmaktadır.

2.3.7. Yorulma Makineleri

Yorulma test cihazları amaçları, yükleme mekanizmaları, kritik kesitte oluşturulan gerilmenin türü, işlem karakteristikleri, vs. bakış açılarına göre değişik şekillerde

sınıflandırılabilir. Deneyin en önemli aşaması, deneyin amacı ve buna uygun yorulma makinesinin araştırmacı tarafından tespittir. Araştırmacı numune üzerine ne tür gerilmeleri uygulayacağını araştırmalı ve bu gerilmeleri numune üzerinde hangi makineyle oluşturabileceğine karar vererek uygun makineyi seçmelidir. Kritik kesitte oluşan gerilme türlerine göre yorulma test makineleri çeşitli isimlerle adlandırılır.

Bu makineler; Resim 2.6’da belirtilen dönen eğmeli ankastre tip yorulma makinesi (WP, 2020), Resim 2.7’de belirtilen R. R. Moore dört noktalı dönen eğmeli yorulma makinesi (Rotating Bending Fatigue Test, 2019), Resim 2.8’de belirtilen tekrarlı eğme yorulma makinesi, Resim 2.9’da belirtilen çok eksenli yorulma makinesi, Resim 2.10’da belirtilen servo hidrolik yorulma makinesi (ASTM E 1942, 2004; ASTM E 467, 2004) ve Resim 2.11’de belirtilen burulma yorulma makinesidir (MT, 2018).



Resim 2.6. Dönel Eğmeli Ankastre Tip Yorulma Makinesi (Kaynak: Gunt, 2024)



Resim 2.7. R. R. Moore Dört Noktalı Dönel Eğmeli Yorulma Makinesi (Kaynak: Gunt, 2024)



Resim 2.8. Tekrarlı Eğme Yorulma Makinesi (Kaynak: Kalluri vd., 2000)



Resim 2.9. Çok Eksenli Yorulma Makinesi (Kaynak: Instron, 2024)



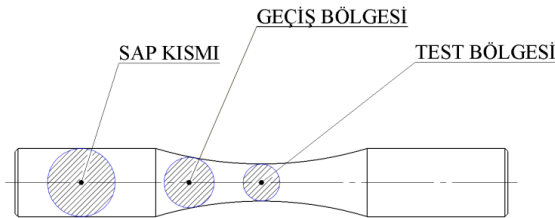
Resim 2.10. Servo Hidrolik Yorulma Makinesi (Kaynak: Dang vd., 2024)



Resim 2.11. Burulma Yorulma Makinesi (Kaynak: Instron, 2024)

2.3.8. Yorulma Test Numuneleri

Yorulma deney numunesi, deneyin amacına ve kullanılan yorulma makinesinin türüne göre değişik şekil ve boyutlarda olabilir. Numune; test bölgesi, geçiş bölgesi ve tutuculara bağlanan sap kısmı olmak üzere temel olarak üç bölümden oluşur. Numunenin test bölgesi kritik gerilmenin oluşturulduğu kısım olması sebebiyle, numunenin en önemli bölgesidir. Güvenilir sonuçların alınabilmesi için deney numunesi, araştırılacak malzemenin özelliklerini yansıtacak boyutta ve kesitte olmalıdır. Bu çalışmada numune üzerine etki eden yük sonucu, kesitte oluşan gerilmenin istenilen noktada oluşması amaçlanmış ve Şekil 2.17’de da belirtildiği gibi diğer kısımlara göre kesiti azaltılmıştır.

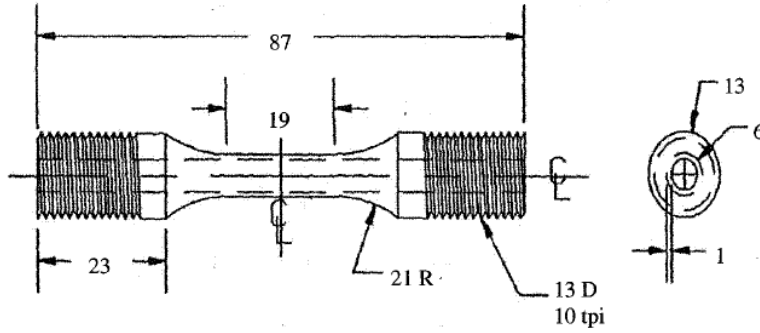


Şekil 2.17. Yorulma Deneyi Test Numunesi Bölümleri (Kaynak: Kaya vd., 2010)

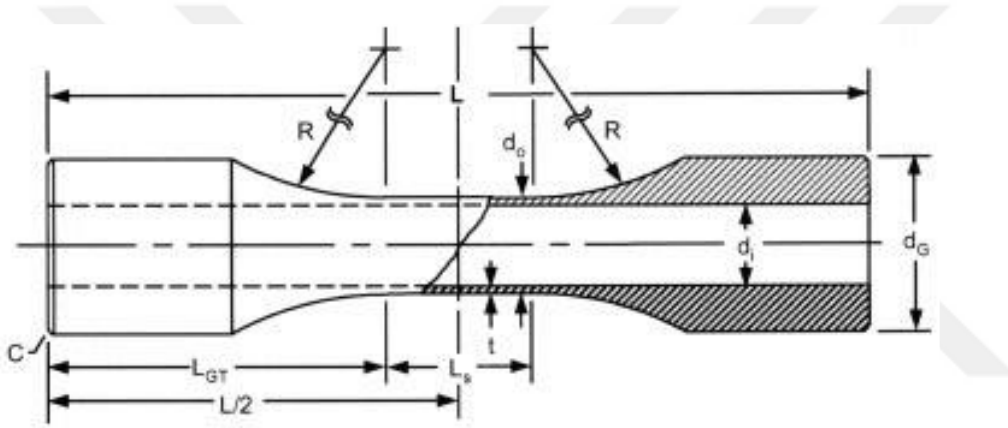
Test bölgesinde çentik etkisi oluşturacak çiziklerin olmaması gerekmektedir (ASTM E 1823, 2002). Yüzeyde olacak çentikler gerilme yığılmalarına yol açıp, oluşturulmak istenen gerilmenin farklı noktalarda oluşmasına sebep olabilir. Bu çizikleri ortadan kaldırmak için numuneler, yüzeyleri numune eksenine boyunca olacak şekilde parlatılır ve parlatma işlemi sırasında yüzeyde artık gerilmelerin oluşturulmamasına dikkat edilir.

Deney numunelerinin sap kısımları kullanılacak makineye göre tasarlanır. Şekil 2.18-24’te ASTM yorulma numuneleri verilmiştir. Yorulma numuneleri her ne kadar standartlaştırılmaya çalışılsa da, test edilecek makine parçasını simüle etmesi istendiğinden

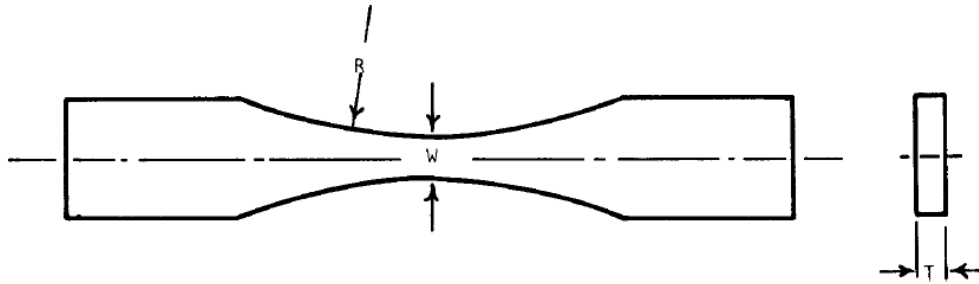
çok eksenli yorulma testlerinde kullanılan deney numunelerinin Şekil 2.26’da da görüldüğü gibi şekil ve kesitlerinde farklılıklar görülebilmektedir.



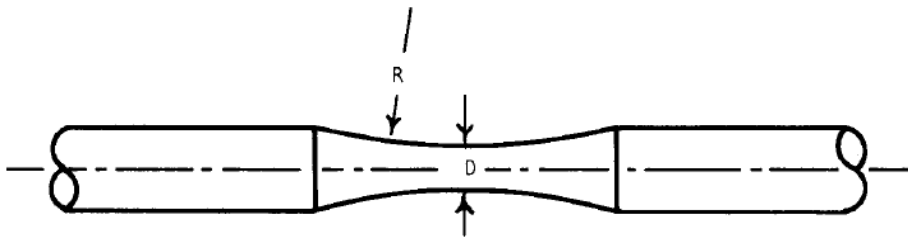
Şekil 2.18. Kontrollü Gerinim Termomekanik Yorulma Test Numunesi (Kaynak: ASTM E 606, 1993; ASTM E 2368, 2002; Ghiotti vd., 2022)



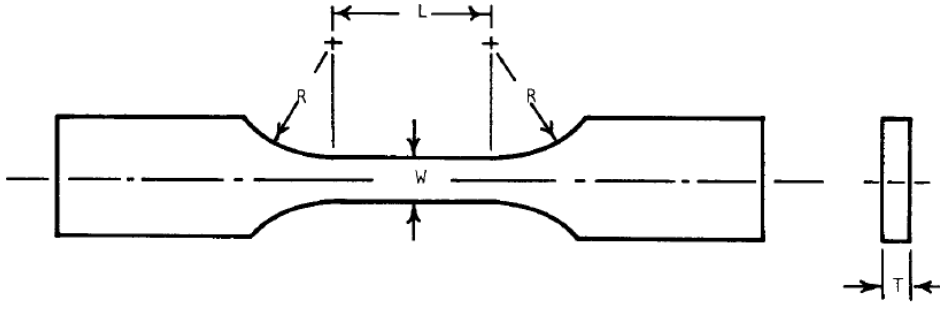
Şekil 2.19. Kontrollü Eksenel Gerinim ve Burulma Testi Boru Numunesi (Kaynak: ASTM E 2207, 2002)



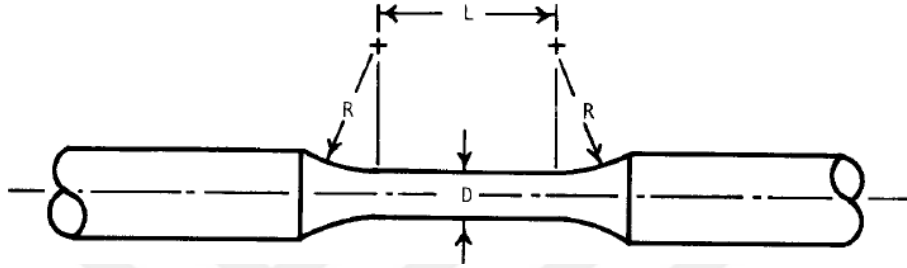
Şekil 2.20. Tekrarlı Eğilme Yorulması Test Numunesi (Kaynak: ASTM E 2207, 2002; ASTM E 466, 2002; Jiang vd., 2024)



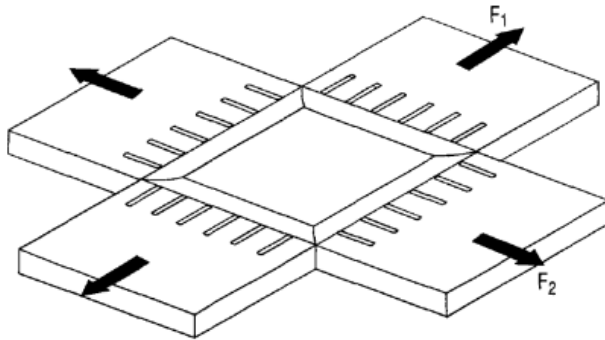
Şekil 2.21. Dönel Eğmeli Yorulma Test Numunesi (Kaynak: ASTM E 2207, 2002; ASTM E 466, 2002)



Şekil 2.22. Kontrollü Eksenel Gerinim Düz Yorulma Test Numunesi (Kaynak: ASTM E 2207, 2002; ASTM E 466, 2002; Okenyi vd., 2024)



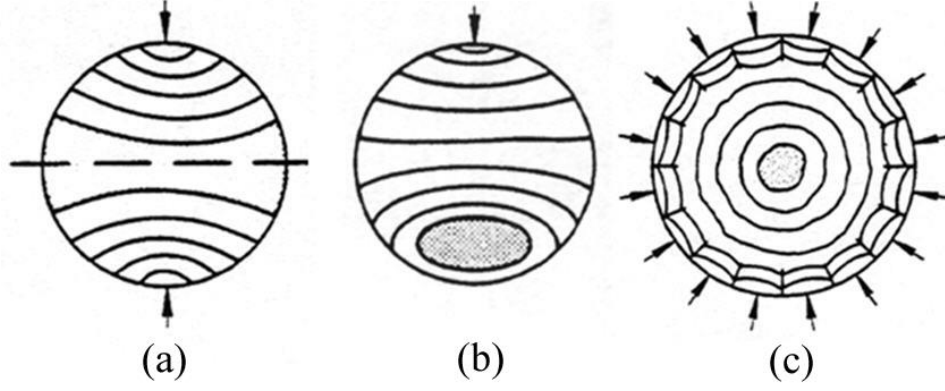
Şekil 2.23. Kontrollü Eksenel Gerinim Silindirik Yorulma Test Numunesi (Kaynak: ASTM E 2207, 2002)



Şekil 2.24. Çok Eksenli Test Numunesi (Kaynak: ASTM E 2207, 2002; Backstrom, 2003; Carpinteri vd., 2001)

2.3.9. Yorulma Kırılması Hasar Analizi

Makine elemanının bünyesinde, dinamik çalışma ortamında maruz kaldığı yüklemeler neticesinde farklı gerilmeler oluşur. Makina elemanı bünyesinde oluşan gerilmelerin etkisiyle, makine elemanları yorulmaya maruz kalarak kırılır. Elemanda oluşan hasarın hangi gerilmenin sonucu oluşmuş olabileceğini kırılma yüzeylerine bakarak belirlemek mümkündür. Şekil 2.27 (a)'da tekrarlı eğme gerilmesine maruz kalmış bir parçada oluşan kırık yüzeyi, (b) ve (c)'de dönen eğmeli gerilme maruz kalmış bir parçada oluşan kırık yüzeyi görülmektedir. Makine elemanının tasarımında bu gerilmelere karşı önlemler alınarak, bir daha bu tür hasarların oluşmasının önlenmesi yapılacak olan analizle mümkündür (Kinyon vd., 2001).



Şekil 2.25. Yorulma Kırığı Yüzeyi (Kaynak: ASTM E 2207, 2002)

2.4. Teorik Hesaplamalar

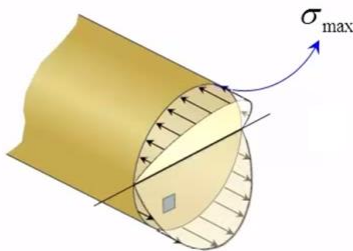
Yorulma deneylerinin doğruluğunun ispatı için, ampirik denklemler kullanılarak yapılan teorik hesaplamalar mümkündür. Araştırma sırasında elde edilen bulguların doğruluğunun karşılaştırılması, deneyin güvenilirliği açısından çok önemlidir. Bu maksatla, çalışmada önce değerler teorik olarak hesaplanmış ve daha sonra deneysel olarak araştırılmıştır.

2.4.1. Eğme Gerilmesi Hesabı

Kesitte oluşan eğme gerilmesi ve yorulma makinasında yükleme ağırlığının konumlanacağı mesafenin tespiti amacıyla Şekil 2.26'daki kesitte oluşturulan gerilme değeri Denklem 2.9 yardımıyla hesaplanır (Hibbeler, 2008).

$$\sigma = \frac{M \cdot \frac{d}{2}}{I} = \frac{M \cdot d \cdot 64}{2 \cdot \pi \cdot d^4}$$

Denklem 3.9. Kesitte Oluşan Eğme Gerilmesi



Şekil 2.26. Eğme Gerilmesi (Kaynak: Budynas vd., 2011)

2.4.2. Sürekli Mukavemet Değeri Hesabı

Makine parçalarının, üzerlerine etki eden yükleme sonucu oluşan gerilme etkisi altında hangi çevrim sayılarına kadar, görevlerini yerine getirebilecekleriyle ilgili ampirik hesaplamalar

mevcuttur. Fakat yapılan hesaplamalara, kontrol edilemeyen birçok etken tam olarak yansıtılamadığı için genellikle elde edilen değerler, net olarak tespit edilebilen değerler değildir. Denklem 2.10 teorik sürekli mukavemet değeri hesaplamalarında kullanılmaktadır. Çekme deneyi sonucu elde edilen mukavemet değerleri kullanılarak, Denklem 2.10 yardımıyla sürekli mukavemet değeri hesaplanmış ve yorulma grafiği çizim aşamasında bu veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada numunelere etki eden gerilmelerin etkisi altında, çalışma ömürleri teorik olarak hesaplanmış ve elde edilen değerlerle deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalarda aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. (Budynas vd., 2011).

$$\sigma_Y = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * \sigma'_Y$$

Denklem 3.10. Sürekli Mukavemet Gerilmesi

Yüzey iyileştirme veya düzeltme faktörü de denilen yüzey faktörü (k_a); parçanın yüzeyine uygulanan son imalat işlemine ve parça malzemesinin çekme mukavemetine bağlı olarak değişir. Yüzey faktörünü hesaplamak için Denklem 2.11 ve Tablo 2.1'deki değerler kullanılır.

$$k_a = a * \sigma_C^b$$

Denklem 3.11. Yüzey Faktörü

k_a : Yüzey faktörü

a : Yüzey faktörü katsayısı

b : Yüzey faktörü üstel katsayısı

σ_C : Çekme mukavemeti (N/mm^2)

Tablo 2.1. Yüzey Faktörü ve Üstel Katsayısı

Son yüzey işlemi	Faktör “a”	Üstel katsayı
Taşılama	1,58	-0,085
İşleme veya soğuk çekme	4,51	-0,265
Sıcak haddeleme	57,7	-0,718
Soğuk Dövme	272	-0,995

Boyut faktörü (k_b); boyut faktörü hesaplanırken birçok veriye ihtiyaç vardır. Bu verileri sadeleştirmek için yataklama ve moment (k_b) katsayı değerleri Denklem 2.12’de verilmiştir.

$$k_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} = \begin{cases} \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107} = 1,27 * d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51 * d^{-0,157} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Denklem 3.12. Yataklama Katsayı Değeri

k_b : Boyut faktörü

d : İş parçası çapı (mm)

Yüklem faktörü (k_c); yorulma deneyleri sırasında eğilme, eksenel çekme-basma ve moment etkisi altında yorulma dayanımı çekme dayanımına bağlı olarak farklılıklar gösterir. Yorulma dayanımı hesaplamalarında genel olarak Tablo 2.2’de verilen katsayılar kullanılır.

Tablo 2.2. Kc Yüklem Faktörü Katsayı Tablosu

Eğme	1
Çekme -Basma	0,85
Burulma	0,59

k_c : Yüklem faktörü

Sıcaklık faktörü (k_d); yorulma dayanımına sıcaklığın etkisi büyüktür. Ortam sıcaklığı malzemenin çalışma performansını etkilediği için malzemenin oda sıcaklığı ile çalışma ortamı sıcaklığına bağlı olarak belirli katsayılar belirlenmiştir. Denklem 2.13’te k_d eşitliği ve Tablo 2.3’te katsayılar verilmiştir.

$$k_d = \frac{\sigma_t}{\sigma_{rt}}$$

Denklem 3.13. Sıcaklık Faktörü

k_d : Sıcaklık faktörü

Güvenilirlik faktörü (k_e); genellikle güvenilirlik katsayısı iki alındığında en iyi ortalama yorulma dayanımı verisini elde etmek için $\sigma'_Y = 0,5 * \sigma_{\text{ç}}$ eşitliği kullanılır. Bu eşitlikten de anlaşılacağı üzere güvenilirlik faktörü birçok hesaplamada % 100’e yakındır. Ağırlığın önemli olduğu durumlarda güvenilirlik faktörü önem kazanır. Haugen ve Wirching tarafından yayınlanan bilgilerde Denklem 2.14 eşitliği güvenilirlik faktörü için en iyi katsayıyı verdiği belirtilmiştir (Budynas vd., 2011). Güvenilirlik katsayısına bağlı olarak dönüşüm katsayısı (z_a) değerleri Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.3. Sıcaklık Faktörü Katsayı Değerleri

Sıcaklık °C	σ_t/σ_{rt}
20	1,000
50	1,010
100	1,020
150	1,025
200	1,020
250	1,000
300	0,975
350	0,943
400	0,900
450	0,843
500	0,768
550	0,672
600	0,549

$$k_e = 1 - 0.08 \cdot z_a$$

Denklem 3.14. Güvenilirlik Faktörü z_a : Dönüşüm katsayısı**Tablo 2.4.** Güvenilirlik Katsayı Tablosu (Kaynak: Budynas vd., 2011)

Güvenilirlik %	Dönüşüm katsayısı z_a	Güvenilirlik faktörü k_e
50	0	1,000
90	1,288	0,897
95	1,645	0,868
99	2,326	0,814
99.9	3,091	0,753
99.99	3,719	0,702
99.999	4,265	0,659
99.9999	4,743	0,620

Diğer etkiler (k_f); faktörü kontrol edilemeyen faktörlerden dolayı yorulma dayanımında meydana gelen azalmaları incelemeye yarar (Murakami, 2002). Fakat bu faktörün gerçek değerleri her zaman bulunamayabilir. k_f faktörünü etkileyen etkilere ait katsayı değerleri Şekil 2.27 ve Şekil 2.28 kullanılarak belirlenir ve Denklem 2.15 ile hesaplanır.

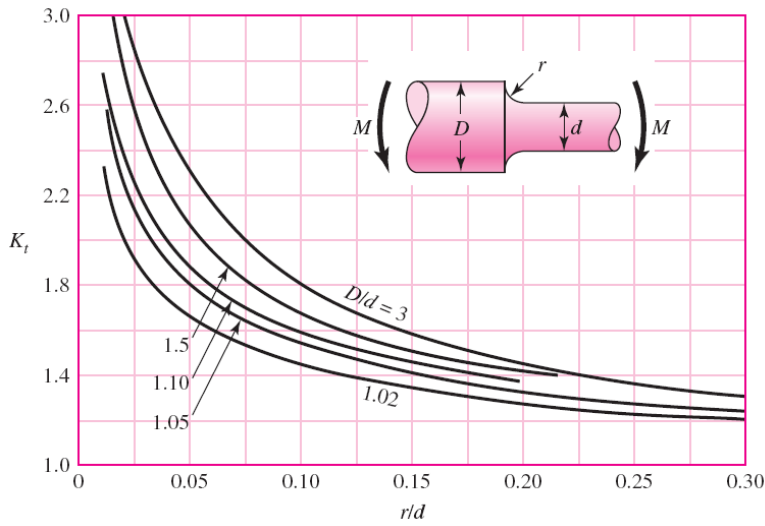
$$k_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Denklem 3.15. Diğer Etkiler Faktörü

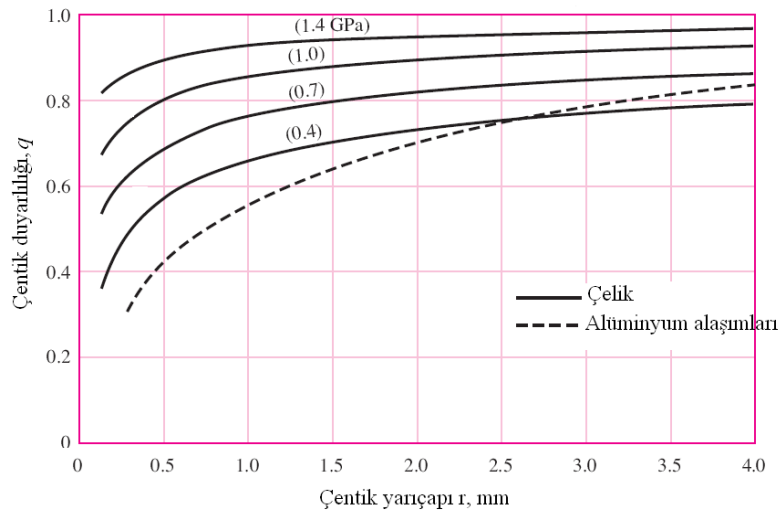
k_f : Diğer etkiler faktörü

q : Çentik duyarlılığı

K_t : Çap oranı faktörü



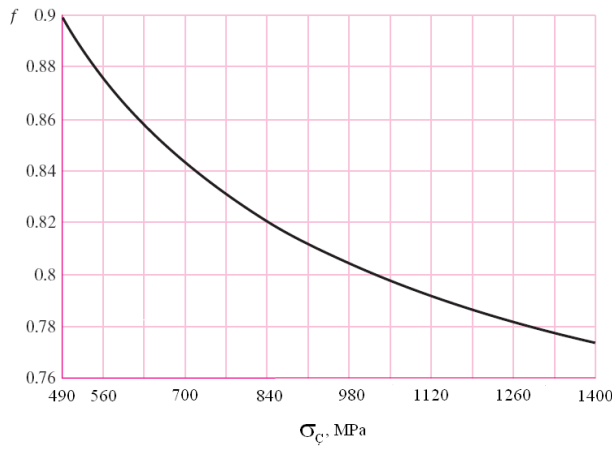
Şekil 2.27. K_t Katsayısı (Kaynak: Budynas vd., 2011)



Şekil 2.28. q Katsayısı (Kaynak: Budynas vd., 2011)

2.4.3. Teorik Yorulma Ömrü Hesabı

Çekme deneyi sonucu elde edilen veriler kullanılarak teorik Wöhler yorulma grafiği, Denklem 2.18 kullanılarak elde edilen verilerle oluşturulmaktadır. Çekme deneyi sonucu elde edilen σ_c değeri kullanılarak f değeri Şekil 2.29'dan bulunmaktadır. f değeri kullanılarak Denklem 2.16-2.17 yardımıyla a ve b katsayıları hesaplanmakta, Denklem 2.18 eşitliği kullanılarak yorulma devir sayıları (N) elde edilmektedir. Eşitliklerde elde edilen değerler yardımıyla Şekil 2.30'da belirtilen örnek Wöhler yorulma eğrisi grafikleri oluşturulmaktadır. Bu eşitlikler yardımıyla bu çalışmada teorik yorulma eğrisi grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 2.29. f Katsayısı (Kaynak: Budynas vd., 2011)

$$a = \frac{(f \cdot \sigma_c)^2}{\sigma_Y}$$

Denklem 3.16. a Katsayısı Hesaplama

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{f \cdot \sigma_c}{\sigma_Y} \right)$$

Denklem 3.17. b Katsayısı Hesaplama

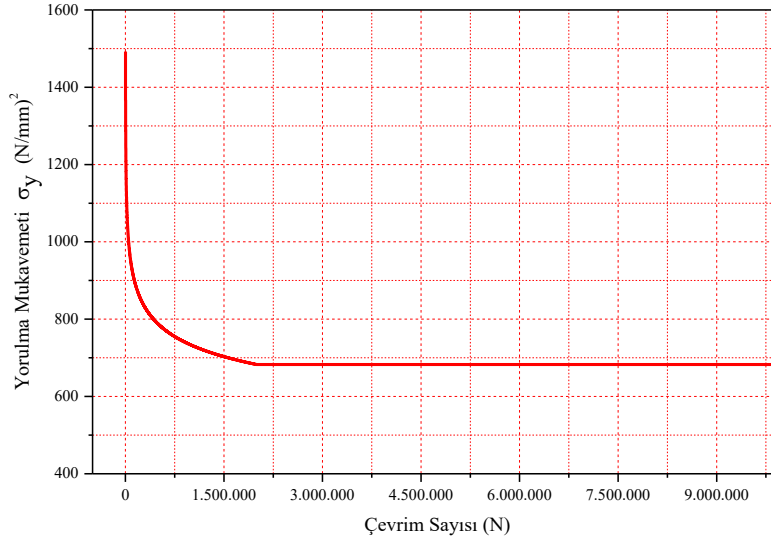
$$\sigma_Y^* = a \cdot N^b$$

Denklem 3.18. Teorik Yorulma Ömrü

a : a Katsayısı

b : b Katsayısı

σ_Y^* : Sürekli mukavemet değeri (N/mm^2)



Şekil 2.30. Teorik Yorulma Eğrisi

2.4.4. ASME Eliptik Eğrisi Teorik Hesaplama

ASME Eliptik teorik eğrisi Denklem 2.19-2.22 denklemleri kullanılarak elde edilen veriler kullanılarak oluşturulur. Bu çalışmada çekme deneyi sonucu elde edilen veriler kullanılarak teorik ASME Eliptik Grafiği oluşturulmuştur. Bu teorik hesaplamalarla oluşturulan Şekil 2.31'deki grafikler, yorulma deneyleri sırasında yükleme değerlerinin yaklaşık olarak hangi aralıkta olması gerektiği konusunda fikir sahibi olunmasını sağlamaktadır. Teorik olarak hesaplanarak elde edilen verilerle oluşturulan grafikler, gerçek çalışma şartlarını tam olarak yansıtmamaktadır. ASME Eliptik Yorulma Eğrileri kullanılarak tasarımcılar için tüm verileri içeren MASTER diyagramları oluşturulmaktadır. Yorulma deneyleri sonucu elde edilen verilerle oluşturulan MASTER diyagramları, ilerleyen bölümlerde sunulacaktır.

σ_a : Gerime genliği (N/mm²)

σ_m : Ortala gerilme (N/mm²)

A : Yükleme oranı

σ_{ζ} : Çekme gerilmesi (N/mm²)

σ_{AK} : Akma gerilmesi (N/mm²)

$$\sigma_a = \frac{A \cdot \sigma_Y \cdot \sigma_{\zeta}}{A \cdot \sigma_{\zeta} + \sigma_{AK}} \quad \text{veya} \quad \sigma_a = \sigma_{AK} - \sigma_m$$

Denklem 3.19. Gerilme Genliği

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

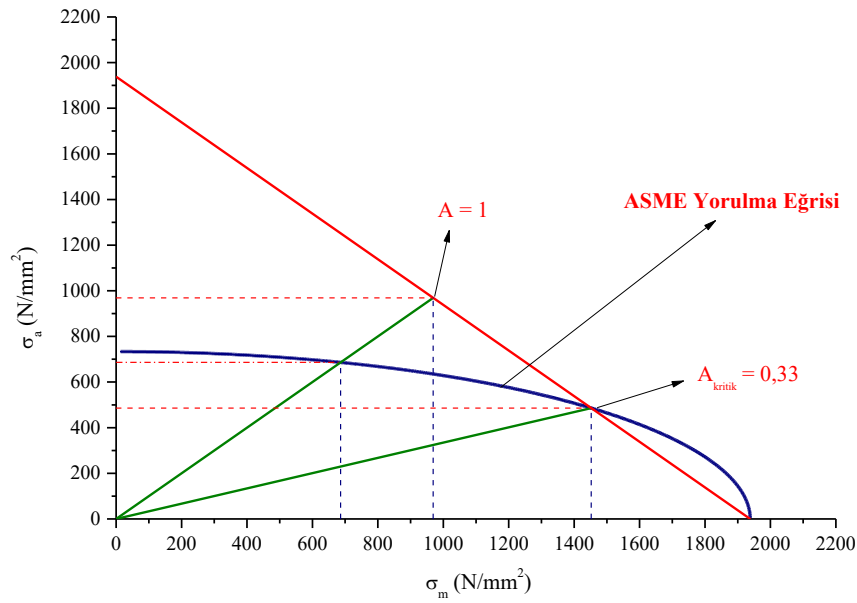
Denklem 3.20. A Yükleme Oranı

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_{Ak} - \sigma_{AK}) * \sigma_{\zeta}}{\sigma_{\zeta} - \sigma_{AK}}$$

Denklem 3.21. Ortalama Gerilme

$$A_{\text{kritik}} = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

Denklem 3.22. r kritik Yükleme Oranı



Şekil 2.31. ASME Eliptik Eğrisi

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Malzeme

Sertleştirilmiş malzemelerde talaşlı imalat sırasında mekanik etkilerin tespiti oldukça önemlidir. İmalat sırasında üretilen parça yüzeyinde oluşan mekanik deformasyonların ve kalıcı gerilmelerin parça yüzeyinde oluşmasına sebep olduğu literatür çalışmalarında ifade edilmiştir. Bu deformasyonların parça yüzeyinde oluşturduğu artık gerilmeler, parçaların yorulma ömürlerini olumlu ya da olumsuz etkileyebilir. Bu çalışmanın talaşlı imalat bölümünde öncelikle, farklı malzemelerin talaş kaldırma ile imalatı sırasında, parametrelerin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde oluşan etkileri incelenmiştir. Ön testler sırasında kullanılan malzemeler aşağıda belirtilmiştir.

3.1.1. SAE 4140 Malzeme

Numuneler fırın içi sıcaklığı 870 °C'ye (ASM, 1991) ulaştıktan sonra 20 dakika bekletilmiş ve yağ banyosuna dik olarak daldırılarak sertleştirilmiştir. Numunelerin ısıtma işlem sonucu malzeme sertliği 52 HRC olarak ölçülmüştür. Sertleştirilen numuneler daha sonra fırın içi sıcaklığı 540 °C'de 1,5 saat süre ile mavişlenmiştir. Isıtma işlem sonrası malzemenin sertliği 40 HRC olarak ölçülmüştür. SAE 4140 malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. SAE 4140 Çeliği Kimyasal Bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni
0,41	0,27	0,67	0,011	0,002	0,95	0,18	0,94	0,01
Cu	Al	Ti	Nb	V	Sn			
0,02	0,035	0,006	0,002	0,005	0,001			

3.1.2. DIN 2379 Malzeme

Malzemeye vakum fırınında 650 °C ön ısıtma işlemi uygulanmış, 1040 °C sıcaklıkta 45 dakika tavlınmış ve 5 bar basınçta azot ile soğutulmuştur. Temperleme öncesi öncesi 59-60 HRC sertlik elde edilmiş ve 250 °C sıcaklıkta 1,5 saat temperleme işlemi uygulanmıştır. Temperleme işlemi sonucu havada soğumaya bırakılmış ve nihai sertlik 59-60 HRC olarak ölçülmüştür. AISI 2379 malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2. DIN 2379 Çeliği Kimyasal Bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni
1,5	0,21	0,32	0,021	0,009	11,03	0,63	0,94	0,17
Cu	Al							
0,1	0,039							

3.1.3. DIN 3343 Malzeme

Malzemeye vakum fırınında 650 °C ön ısıtma işlemi uygulanmış, 1040 °C sıcaklıkta 45 dakika tavllanmış ve 5 bar basınçta azot ile soğutulmuştur. Temperleme öncesi öncesi 59-60 HRC sertlik elde edilmiş ve 250 °C sıcaklıkta 1,5 saat temperleme işlemi uygulanmıştır. Temperleme işlemi sonucu havada soğumaya bırakılmış ve nihai sertlik 59-60 HRC olarak ölçülmüştür. AISI 3343 malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 3.3'te belirtilmiştir.

Tablo 3.3. DIN 3343 Çeliği Kimyasal Bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	V
0,92	0,36	0,29	0,26	0,003	4,02	4,82	0,10	1,92
W								
6,23								

3.1.4. DIN 100Cr6 Malzeme

DIN 100Cr6 malzemeye gaz atmosferli fırında 650 °C ön ısıtma uygulanmış ve 780-800 °C'de 0,5 saat tavlandırılmıştır. Malzeme suda sertleştirilmiştir. 200 °C'de 1,5 saat temperleme işlemi uygulanmış ve havada soğumaya bırakılmıştır. Isıl işlemler sonucu 58-60 HRC sertlik elde edilmiştir. DIN 100Cr6 malzemeye ait kimyasal bileşim Tablo 3.4'te belirtilmiştir.

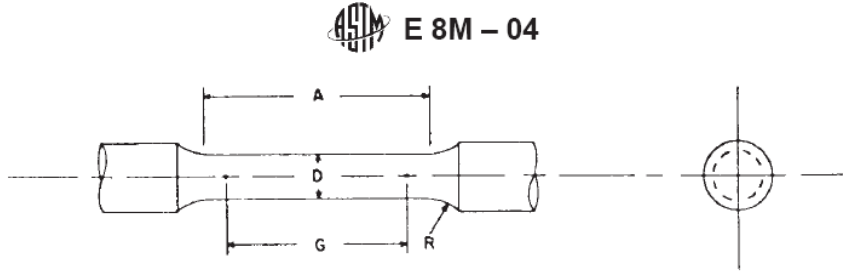
Tablo 3.4. DIN 100Cr6 Çeliği Kimyasal Bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0,94	0,22	0,34	0,04	0,02	1,45	0,01	0,07	0,12
Cu	Sn							
0,15	0,013							

3.2. Mekanik Ölçümler

DIN 100Cr6 Malzemedan çekme deneyi numuneleri Şekil 3.1'de ASTM E8M-04 standardına göre Tablo 3.5'teki ölçülerde üretilmiştir. Resim 3.1'de belirtilen çekme

numunesi sertleştirilmiş ve Resim 3.2’de görünen 500 kN kapasiteli INSTRON 8803 çekme cihazında çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme deneyi sonucu 1938 N/mm^2 çekme mukavemeti elde edilmiştir. Malzeme sertleştirildikten sonra, gevrek malzeme davranışı sergilemiş ve akma gerçekleşmeden kopmuştur.



Şekil 3.1. Çekme Deney Numunesi (Kaynak: ASMHC, 2000)

Tablo 3.5. Çekme Deney Numunesi Ölçüleri

D (mm)	R (mm)	G (mm)	A (mm)
9	8	50	54



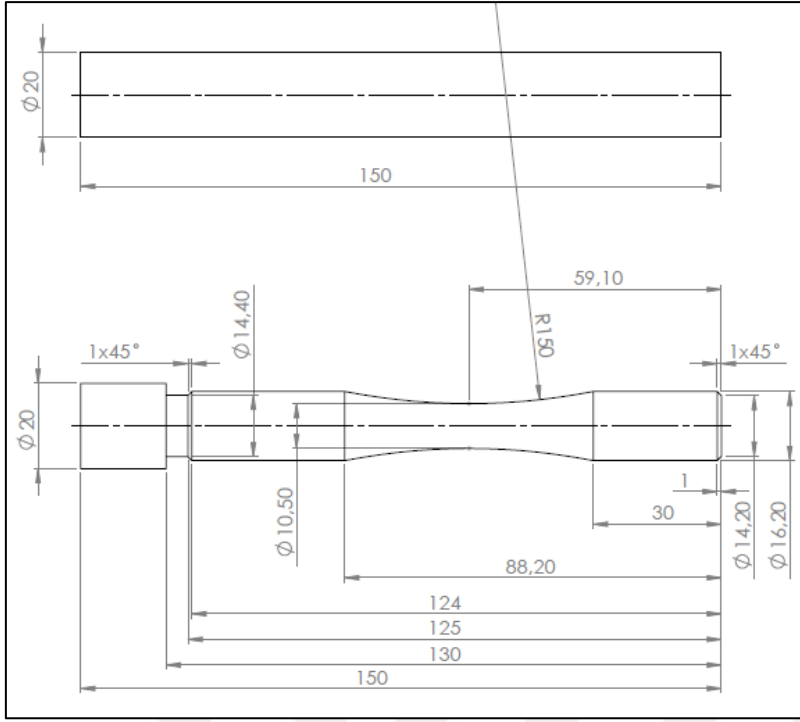
Resim 3.1. Çekme Deney Numunesi



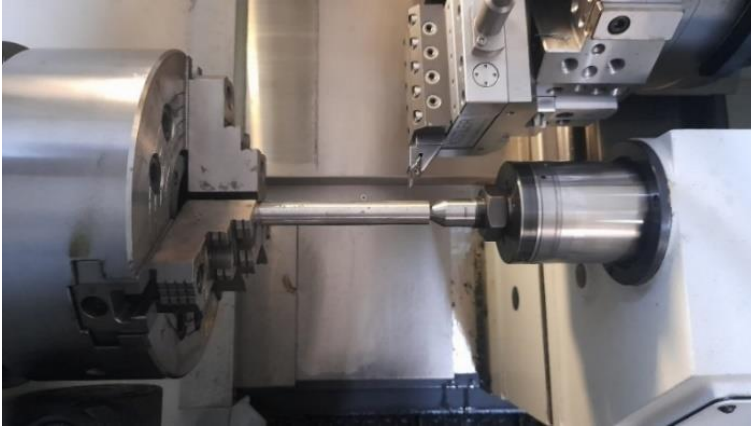
Resim 3.2. Çekme Deney Makinası

3.3. Test Numunesi Üretimi

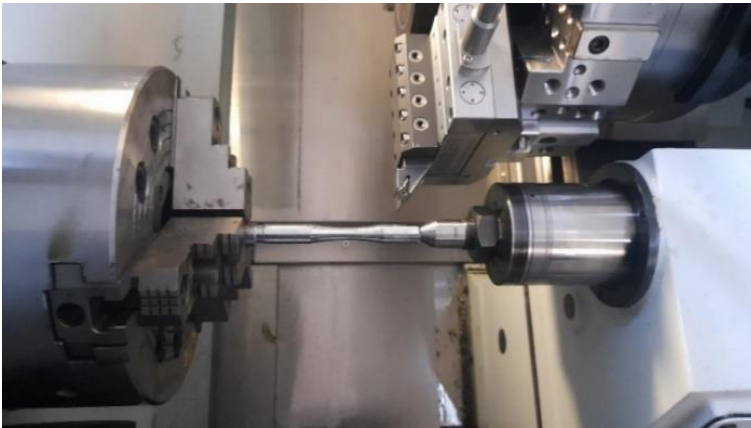
Deneylerde kullanılacak numuneler, ısıtılma işlem sonrası oluşan çarpılmaları da imalat sırasında telafi edecek şekilde, Şekil 3.2’de belirtilen ölçülerde üretilmiştir. Yorulma deney numuneleri üretim süreci Resim 3.3-3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yorulma Deney Numunesi Ölçüleri



Resim 3.3. Ayna-Punta Arasında Yorulma Numunesi Üretimi



Resim 3.4. Yorulma Deney Numunesi Üretimi



Resim 3.5. Yorulma Deney Numuneleri

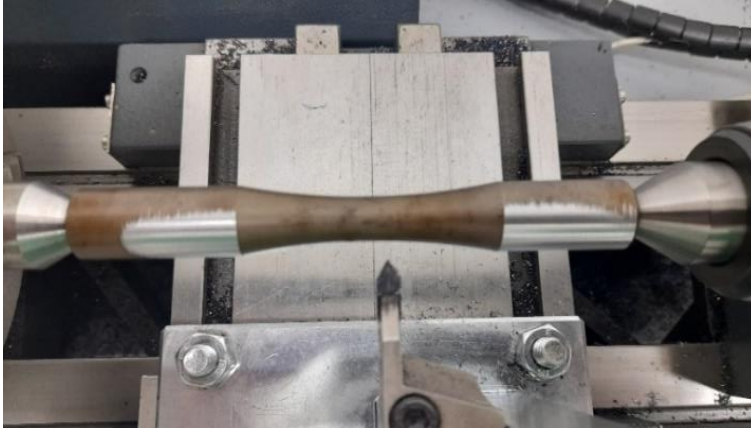
3.4. Yorulma Numunesi Eksen Kaçıklığı Giderme

Yorulma deneylerinde kullanılan numunelerin üretim aşaması, deneylerin sağlıklı yapılabilmesi için önemlidir. Numunelerin salgısız üretilmesi için her aşamasının titizlikle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sertleştirme işlemi sonucu yorulma numunelerinde çarpılma oluşmaktadır. Isıl işlem sırasında parçanın soğutma sıvısına daldırılması esnasında parçanın ilk soğuyan yüzeyi yönünde çarpılmalar meydana gelmektedir. Yorulma numunesinin ısıl işlem sonrası test bölgesinin tornalanması öncesi, sap kısımları Resim 3.6’de belirtildiği gibi iki punta arasında tornalanarak Resim 3.6’da görülen çarpılmadan kaynaklı eksantriklik giderilmiştir.

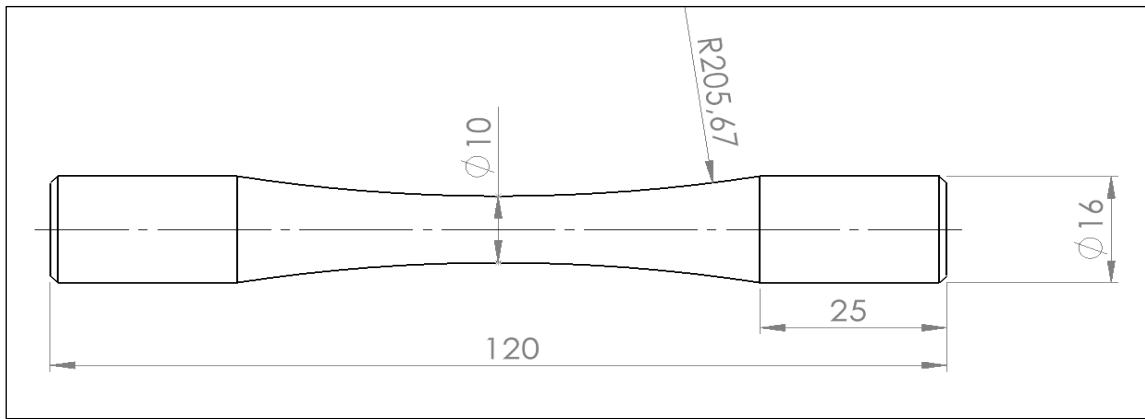


Resim 3.6. Punta-Punta Arası Tornalama

Eksantrikliğin kaldırılması amacıyla, ısıl işlem sırasında oluşan çarpılmaların kaldırılması için numune üzerinde bırakılan fazla talaş kaldırılmıştır. Şekil 3.3’te belirtilen ölçülerde iki punta arasında yapılan boyuna tornalama sonucu, Resim 3.8’de belirtildiği gibi numunenin sap kısımları tek eksenli olacak şekilde üretim gerçekleştirilmiştir.

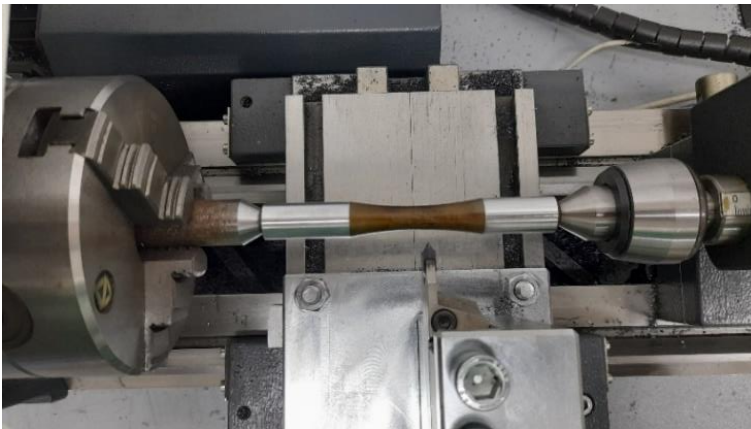


Resim 3.7. Yorulma Numunesi Sap Kısım Tornalama



Şekil 3.3. Yorulma Deney Numunesi

Eksantrikliğin kaldırılması amacıyla, ısıtım sırasında oluşan çarpılmaların kaldırılması için numune üzerinde bırakılan fazla talaş kaldırılmıştır. Şekil 3.3'te belirtilen ölçülerde iki punta arasında yapılan boyuna tornalama sonucu, Resim 3.8'de belirtildiği gibi numunenin sap kısımları tek eksenli olacak şekilde üretim gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.8. Yorulma Numunesi Eksen Kaçıklığı Giderme

3.5. Kesici Takım

Talaşlı imalata etki eden parametrelerin belirlenmesinde Tablo 3.6’da belirtilen kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takım seçiminde; uç radiusu, kesici kaplaması, kesici malzemesi ve kesici profilinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelemesi amaçlanmıştır.

Tablo 3.6. Kesici Takım Listesi

Kesici Markası	Kesici Kodu	Kesici Malzemesi
Kenna Metal	TNGA 160404 T01020 KY4400	Seramik
Kenna Metal	TNGA 160408 T01020 KY4400	Seramik
Kenna Metal	TNGA 160412 T01020 KY4400	Seramik
Kenna Metal	TNGA 160408 T01020 KY1615	Seramik
TaeguTec	VBGW 160402 LS2 TB670	CBN
TaeguTec	VBGW 160404 LS2 TB670	CBN
TaeguTec	VBGW 160408 LS2 TB670	CBN
Kenna Metal	160408 S01025MT KB1630	CBN
Kenna Metal	160412 S01025MT KB1630	CBN

3.6. Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

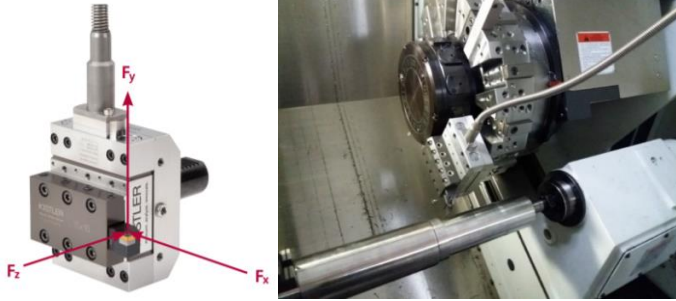
Deney numunelerinin imalatı sırasında, imalat parametrelerinin etkileriyle ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğünün ölçümleri için Resim 3.9’da görülen Mahr MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Resim 3.9. Mahr Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

3.7. Kesme Kuvveti Ölçümü

Talaşlı imalat sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçümünde Resim 3.10’da belirtilen Kistler 9129AA piezoelektrik dinamometre ve Kistler TYPE 5070 amplifikatör cihazı kullanılmıştır. Dinamometre cihazının teknik özellikleri Tablo 3.7’de gösterilmiştir.



Resim 3.10. Kesme Kuvveti Ölçüm Cihazı

Tablo 3.7. Kistler 9129AA Dinamometre Cihazı Teknik Özellikleri

Ölçüm Eksen	Ölçüm Kapasitesi	Birim
Fx	5	kN
Fy	8	kN
Fz	5	kN

3.8. CNC Torna Tezgâhı

Çalışma sırasında imalat işlemleri Resim 3.11’de görülen Goodway GS-260 CNC Torna Tezgâhında yapılmıştır. Tezgâhta 12 istasyon bulunmakta olup CNC torna tezgahına ait teknik veriler Tablo 3.8’de sunulmuştur.

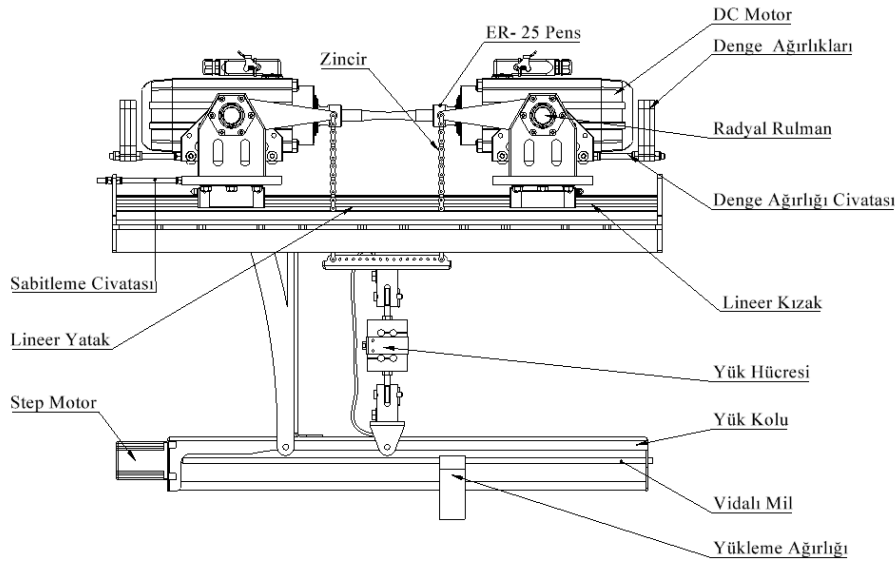


Resim 3.11. Goodway GS-260 CNC Torna Tezgâhı

Tablo 3.8. CNC Torna Tezgâhı Teknik Özellikleri

Ölçüm Eksen	Ölçüm Kapasitesi	Birim
İş Mili Devri	40-4000	dev/dk.
Motor Gücü	15	kW
X Eksen Hızı	20	m/dk.
Z Eksen Hızı	24	m/dk.

3.9. R.R. Moure Yorulma Makinası



Şekil 3.4. R.R. Moure Yorulma Makinası Şeması

Yorulma makinaları yorulma deneylerinde kullanılan makinalardır. Yorulma deneylerinin test edilecek parçanın çalışma şartlarına en yakın koşullarda yapılması oldukça önemlidir. Yorulma deneylerinde en yaygın olarak kullanılan yorulma makinalarından birisi R.R. Moure yorulma makinasıdır. Geçmişte Akyıldız ve Kaya tarafından tasarlanan makinalar, Bozok üniversitesinde bulunan yorulma makinası ve açık kaynaklarda çeşitli firmalar tarafından üretilmiş yorulma makinaları incelenmiştir. Makine tasarımında, yorulma deney numunesi üzerinde, yükleme mekanizmasından kaynaklı ön yüklemelere yol açan sistemlerin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Yük hücresi olarak 20 gram hassasiyetli, 200 kg kapasiteli Esit-200 yük hücresi kullanılmıştır. Ana motor olarak 24000 dev/dk. devir sayısı sahip Forza DC motor kullanılmıştır. Yorulma deneylerinde kullanmak amacıyla Şekil 3.4'te detay gösterimi verilen makina tasarlanarak üretilmiştir.



Resim 3.12. Lazer Kesim Parçalar



Resim 3.13. Parçaların Kaynak ile Birleştirme

Tasarlanan makinanın parçaları Resim 3.12’de görüldüğü gibi önce lazer kesim ile kesilmiş ve daha sonra Resim 3.13’te sunulduğu şekilde kaynakla sabitleştirilmiştir. Kaynak sonrası oluşan gerilmelerden kaynaklı çarpılmaların ortadan kaldırılması amacıyla, kızak bağlantı yüzeyleri Resim 3.14-3.15’te görüldüğü gibi frezelenek kaynak işlemi sonrası oluşan, çarpılmadan kaynaklı olumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır.



Resim 3.14. Lineer Kızak Yatakları İşleme

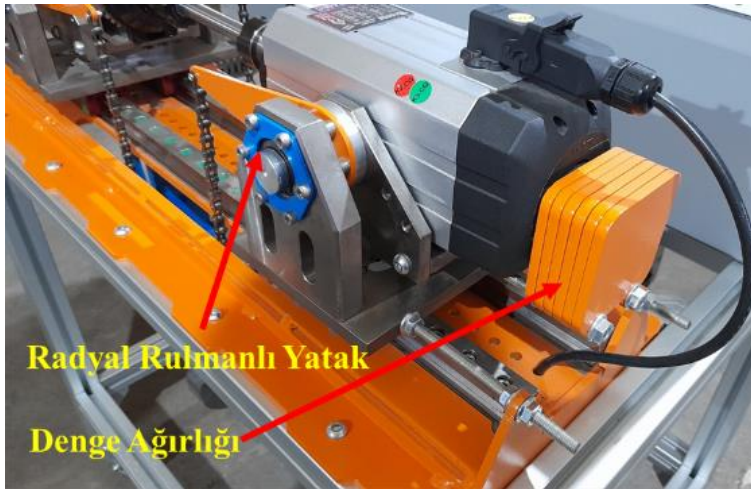


Resim 3.15. Lineer Kızak Yatakları İşleme



Resim 3.16. Lineer Kızak ve Araba Montajı

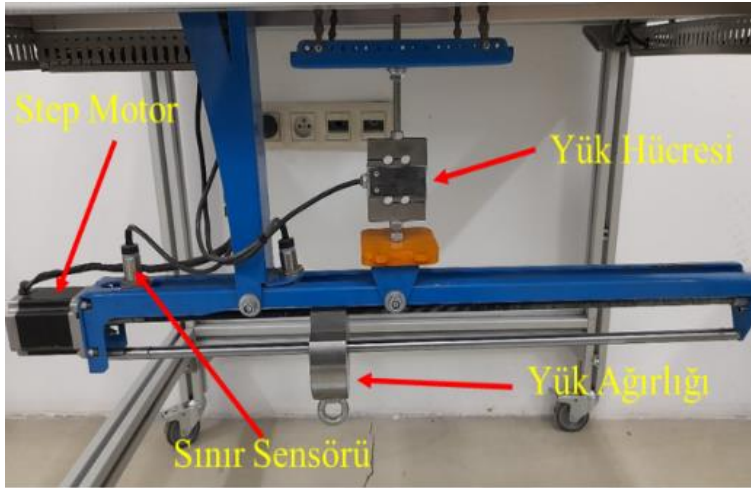
Frezelenen yüzeylere Resim 3.16’da görüldüğü gibi lineer kızak montajı yapılmıştır. Lineer arabalar üzerine DC motorlar monte edilerek numunenin direkt döndürülmesi sağlanmıştır. Motorların dengelenmesi için motorların arkasına denge ağırlıkları bağlanmıştır. Radyal rulmanlı yatak ile mafsallanmış motor bağlantı mili ekseninde dönebilen motorlar, Resim 3.17’de görüldüğü gibi denge ağırlıklarıyla dengelenmiştir. Bu dengeleme işlemi, motorların yüklemesi olmaması durumunda yatay olarak durmaları amacıyla yapılmıştır.



Resim 3.17. Dengeleme Ağırlığı

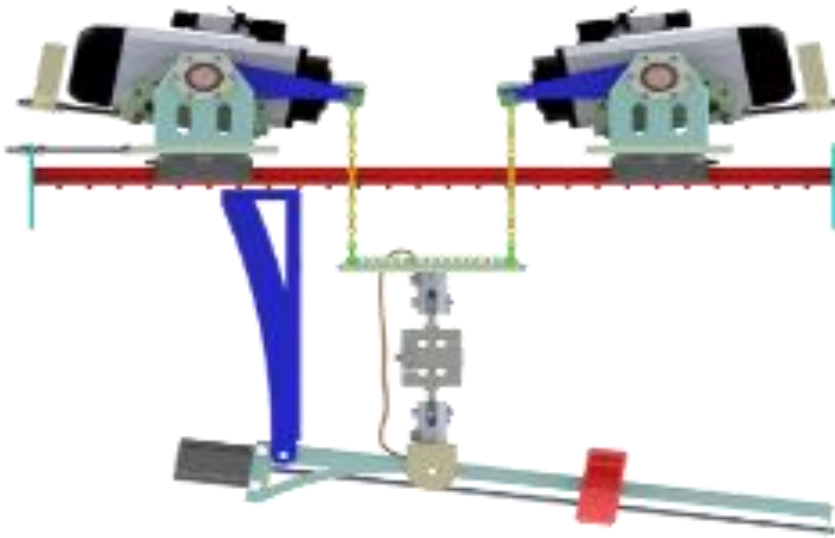
Deney numunesi DC motorlara direkt ER-25 pens yardımıyla bağlanabilmesi sağlanmıştır. Numune üzerine yükleme yapmak amacıyla Resim 3.18’de görülen makine altına yerleştirilen yük kolu mekanizması kullanılmıştır. Yük kolu üzerinde step motor ile yükleme ağırlığı vidalı mil sayesinde ileri geri hareket ettirmek suretiyle yükleme yapılabilmektedir.

Numune üzerine istenilen yükleme miktarı sürekli olarak Resim 3.18’de sunulan yük hücresi ile kontrol edilmekte, böylece yük kolunda yükleme sırasında oluşan sehimden dolayı oluşacak yükleme değerinin değişiminin önlenmesi sağlanabilmektedir.



Resim 3.18. Yükleme Mekanizması

Yükleme sonrası yataklardaki sürtünmelerden dolayı ortaya çıkabilecek etkileri önlemek amacıyla, Şekil 3.5’te belirtilen zincir yardımıyla DC motorların yanında bulunan kollara yük aktarımı yapılmıştır.



Şekil 3.5. Yükleme Mekanizması



Resim 3.19. Kontrol Paneli



Resim 3.20. Kalibrasyon Ekranı

Makine açılışta yükleme kolu üzerinde bulunan yük ağırlığı step motor tarafında bulunan sensöre kadar otomatik giderek, makinanın yük kalibrasyonunu gerçekleştirmektedir. Makine açıldığında Resim 3.19’da belirtilen makine kontrol paneli üzerinde, Resim 3.20’de görüldüğü gibi “Kalibrasyon Yapılıyor” uyarısı çıkmaktadır. Makine kalibrasyona başladığında Resim 3.18’de görülen sınır sensörüne kadar yük ağırlığını hareket ettirerek, yükleme kolunu dengeleme işlemini gerçekleştirir. Step motor tarafındaki sınır anahtarı yük ağırlığını görür görmez durur ve step motor ters yönde hareket etmeye başlayarak dengeleme işlemini gerçekleştirir. Dengele işlemi sonucunda yük hücresi üzerinde yük değeri sıfır okunur.

Yorulma makinası kalibrasyon işleminin bitirir bitirmez, ekranda Resim 3.21’deki ayar menüsü gelir. Bu menüden yükleme değeri ve makinanın test sırasında çalışması için gerekli devir sayısı değerleri girilir. Makina 18000 dev/dk. devir sayısına kadar ayarlanabilir.



Resim 3.21. Kalibrasyon Ekranı



Resim 3.22. Enkoder Sensörü

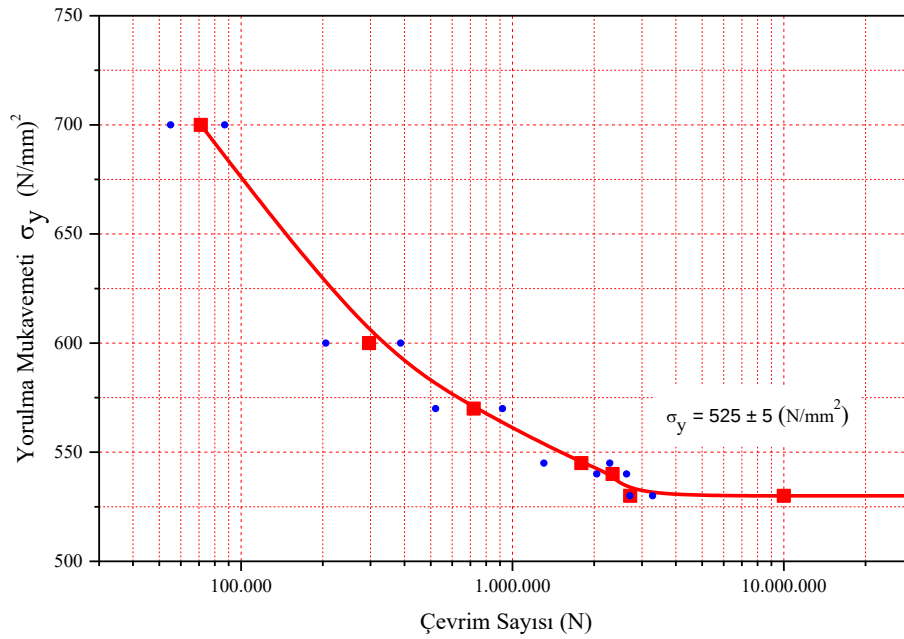


Resim 3.23. Kırılma Uyarı Ekranı



Resim 3.24. R.R. Moure Yorulma Makinası

DC motorların birisi dönme hareketini sağlarken karşı motor avare olarak çalışmaktadır. Resim 3.22’de görülen avare motor miline takılan enkoder ile devir sayısı sisteme saydırılmaktadır. Yorulma numunesinin kırılmasıyla birlikte avare motor dönme hareketini sonlandırmakta ve enkoder tarafından makine durdurma sinyali makine kontrol kartına gönderilmektedir. Makine kontrol kartı, durdurma sinyalini alır almaz sistemi durdurmakta ve ekranda Resim 3.23’deki görülen Kırılma Gerçekleşti uyarısını çıkarmaktadır. Toplam devir sayısı ekranda görülmekte ve devir sayısı Resim 3.19’da belirtilen kontrol panelinde kayıt altına alınmaktadır. Yorulma deneylerinde Resim 3.24’te sunulan R.R. Moure Yorulma Makinası kullanılmıştır.



Şekil 3.6. R.R.Moure Yorulma Makinası Kalibrasyon Eğrisi

Yorulma makinası üretildikten sonra 32 HRC sertliğe sahip AISI 4340 (Akyıldız, 2005) malzeme kullanılarak yorulma deneyi yapılmış ve Şekil.3.6'da yorulma mukavemeti $\sigma_y = 525 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Benzer çalışmalar (Akyıldız, 2005) incelenmiş ve AISI 4340 malzemenin yorulma mukavemetinin $400\text{-}600 \text{ N/mm}^2$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Akyıldız (Akyıldız, 2005) tarafından yapılan çalışmada da aynı malzeme için $\sigma_y = 536 \text{ N/mm}^2$ yorulma mukavemeti değeri tespit edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen verilerle, kaynaklarda geçen veriler karşılaştırıldığında yorulma makinasının kalibrasyonunun iyi seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Malzemenin yorulma mukavemet değeri %95 güvenilrlikle Şekil 3.6'da grafikte görüldüğü gibi $\sigma_y = 525 \pm 5 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, her gerilme değeri için ortalama gerilme ve %95 güven aralığı istatistiksel olarak hesaplanmış ve grafikte gösterilmiştir. $\sigma_y = 525 \text{ N/mm}^2$ ortalama gerilmenin üzerindeki değerlerde malzeme hasara uğrarken, $\sigma_y = 525 \text{ N/mm}^2$ ortalama gerilmede yapılan deneylerde malzeme hasara uğramamıştır.

3.10. Sağ ve Orta Kalem Genel Talaş Alanı Hesabı

Sağ kalem ve orta kalem ile talaş kaldırma sırasında Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de belirtilen $2\theta_F$ yayı, iş parçasıyla kesici takım arasında oluşan kuvvetlerin parça üzerinde bıraktığı artık gerilmelerin oluştuğu bölge olarak kabul edilir. Kesme sırasında $2\theta_F$ yayı dışında kalan kesme kenarı hattında oluşan mekanik etkiler talaş ile birlikte iş parçasından uzaklaşmaktadır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de belirtilen talaş kesiti, Denklem 3.1-3.3'te sunulan eşitlikler yardımıyla hesaplanır. Burada belirtilen eşitlikler kesme kuvveti grafiklerinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

$$S_{\text{real}} = S_1 + S_2 = \frac{1}{2} * r^2 (2\theta_F - \sin(2\theta_F)) + (f_o * (a_p - r * (1 - \cos(\theta_F))))$$

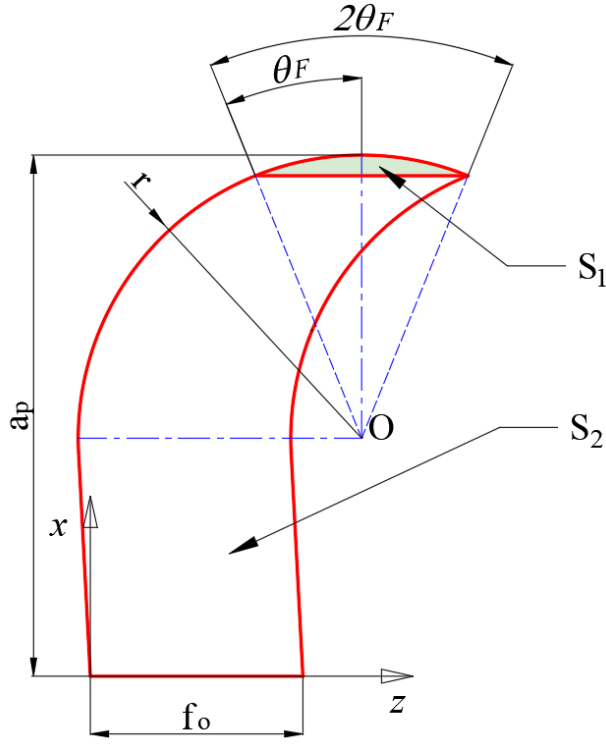
Denklem 3.1. Toplam Kesit Alanı Denklemi

$$S_1 = \left(\frac{2 * \theta_F}{360} * \pi * r^2 \right) - \left(\frac{1}{2} * r^2 * \sin(2 * \theta_F) \right)$$

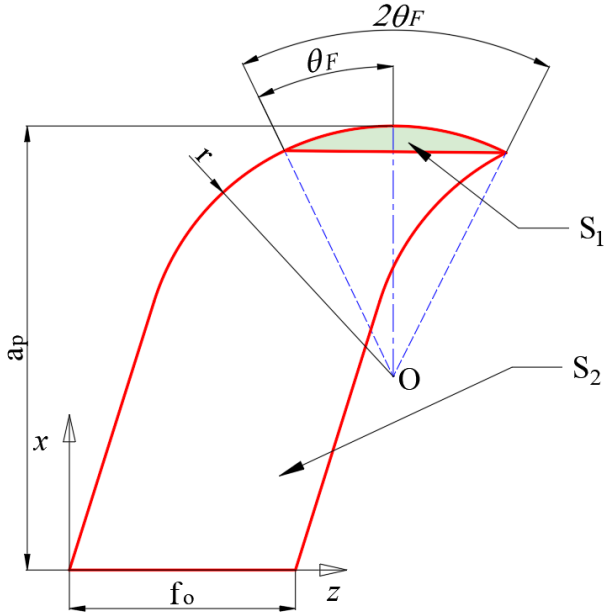
Denklem 3.2. S_1 Kesit Alanı Denklemi

$$S_2 = f_o * (a_p - r * (1 - \cos(\theta_F)))$$

Denklem 3.3. S_2 Kesit Alanı Denklemi



Şekil 3.7. Sağ Kalem Talaş Alanı



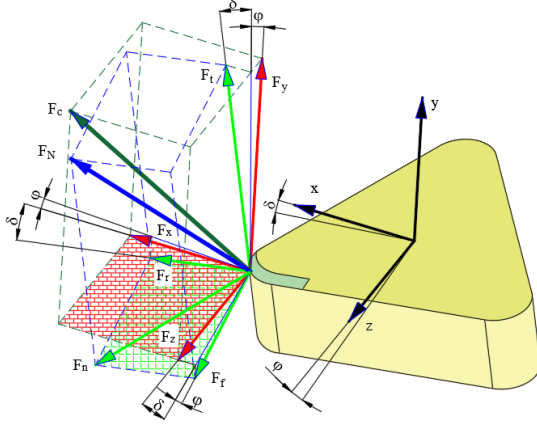
Şekil 3.8. Orta Kalem Talaş Alanı

3.11. Kesme Kuvveti Analizi

İmalat sırasında kullanılan kesici ve katere bağlı oluşan kesme açıları, kesme kuvvetlerinin oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Kesici takımın katere montajı sonrası oluşan açılar, talaş kaldırma sonunda parça yüzeyinde istenmeyen artık gerilmelerin oluşmasına sebep olduğu yapılan çalışmalarda öngörülmektedir. Ölçülen ana kesme kuvvetlerinin sağ kalem

bileşenleri Şekil 3.9’da, orta kalem bileşenleri ise Şekil 3.10’da gösterilmiştir. İlgili eksenlere ilişkin denklemler Denklem 3.4-3.15’te belirtilmiştir. Burada belirtilen eşitlikler ve kuvvet analizleri kesme kuvvetlerinin F_n bileşke kuvvet grafiklerinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

3.11.1. Sağ Kalem Kesme Kuvveti Analizi



Şekil 3.9. Sağ Kalem Kesme Kuvveti Analizi

$$F_r = \left(\frac{F_x}{\cos \delta * \cos \varphi} \right)$$

Denklem 3.4. Sağ Kalem Radyal Kuvvet Denklemi

$$F_t = \left(\frac{F_y}{\cos \delta * \cos \varphi} \right)$$

Denklem 3.5. Sağ Kalem Teğet Kuvvet Denklemi

$$F_f = \left(\frac{F_z}{\cos \delta * \cos \varphi} \right)$$

Denklem 3.6. Sağ Kalem İlerleme Kuvveti Denklemi

$$F_c = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

Denklem 3.7. Sağ Kalem Bileşke Kuvvet Denklemi

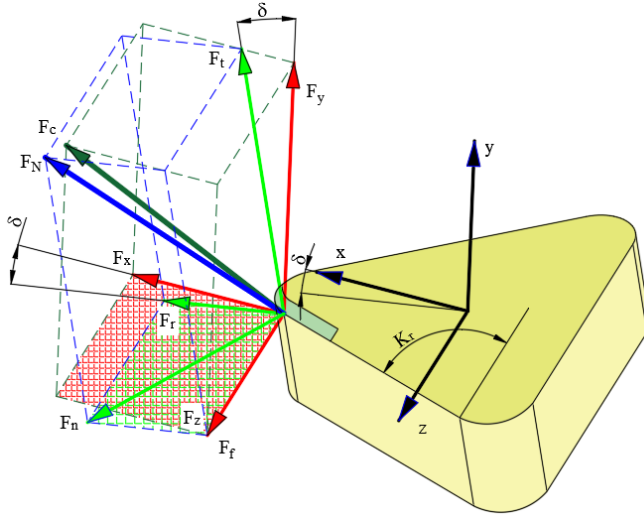
$$F_n = \sqrt{F_r^2 + F_f^2}$$

Denklem 3.8. Sağ Kalem Kesme Yüzeyi Denklemi

$$F_N = \sqrt{F_r^2 + F_t^2 + F_f^2}$$

Denklem 3.9. Sağ Kalem Eğik Düzlem Bileşke Kuvvet Denklemi

3.11.2. Orta Kalem Kesme Kuvveti Analizi



Şekil 3.10. Orta Kalem Kesme Kuvveti Analizi

$$F_r = \left(\frac{F_x}{\cos \delta} \right)$$

Denklem 3.10. Orta Kalem Radyal Kuvvet Denklemi

$$F_t = \left(\frac{F_y}{\cos \delta} \right)$$

Denklem 3.11. Orta Kalem Teğet Kuvvet Denklemi

$$F_f = F_z$$

Denklem 3.12. Orta Kalem İlerleme Kuvveti Denklemi

$$F_c = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

Denklem 3.13. Orta Kalem Bileşke Kuvvet Denklemi

$$F_n = \sqrt{F_r^2 + F_f^2}$$

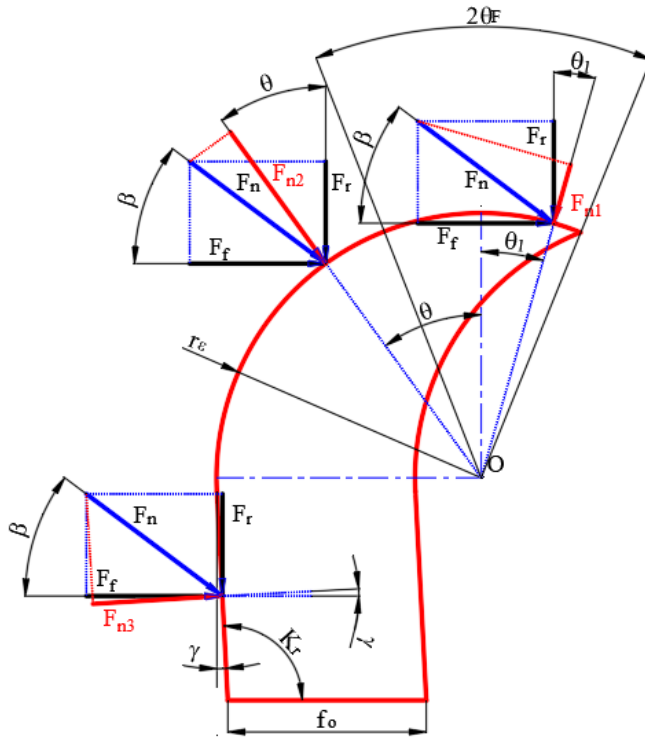
Denklem 3.14. Orta Kalem Kesme Yüzeyi Denklemi

$$F_N = \sqrt{F_r^2 + F_t^2 + F_f^2}$$

Denklem 3.15. Orta Kalem Eğik Düzlem Bileşke Kuvvet Denklemi

3.11.3. Sağ Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi

İmalat sırasında iş parçası ile son temas, kesici takımın uç radyusu bölgesindeki kesme kenarı bölgesinde gerçekleşir. Bu temas hattına iş parçası eksenine dik F_r kuvveti, iş parçası eksenine paralel ilerleme yönünde ise F_f kuvveti etki eder. Bu iki kuvvetin bileşkesi olan F_n kuvveti, kesici takımın uç radyusu kenar profiline bağlı olarak iş parçası eksenine dik istikamette farklı büyüklükte ve açıda oluşur. İş parçası yüzeyinde oluşan mekanik değişimler F_n kuvvetinin etkisiyle şekillenir ve artık gerilmelerin oluşmasına etki eden ana kuvvet F_n kuvveti olduğu öngörülmektedir. İş parçası malzemesinde talaş kaldırma sırasında, bu kuvvetin oluşturduğu etkilerin büyük bir kısmı talaş ile uzaklaşır, fakat iş parçasına kesici ucun temas eden $2\theta_F$ açısı üzerinde bulunan kuvvetlerin oluşturduğu mekanik etkiler iş parçası yüzeyinde kalır. F_n kuvvetinin analizi Şekil 3.11’de ve eşitlikleri Denklem 3.16-3.18’de belirtilmiştir. Burada belirtilen eşitlik ve şekiller kesici takımın kesme kenarında oluşan, kesme kenarı kuvvet analizi grafiklerinin oluşturulmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Sağ Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi

$$F_{n1} = \cos((90 + \beta) + \theta_1) * F_n$$

Denklem 3.16. Sağ Kalem Kesme Kenarı F_{n1} Denklemi

$$F_{n2} = \cos(90 - (\beta + \theta)) * F_n$$

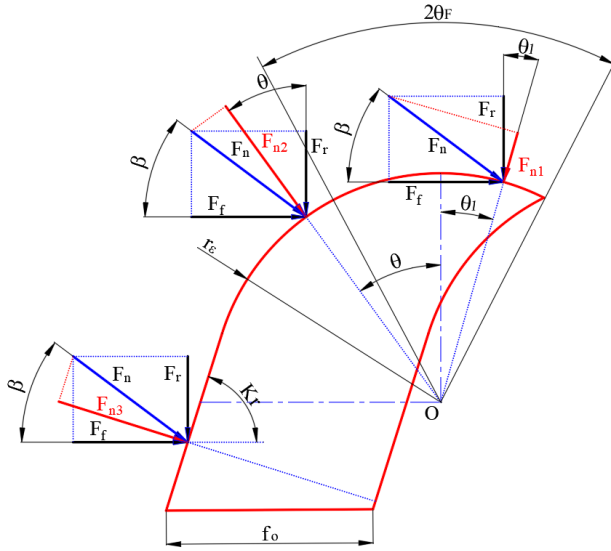
Denklem 3.17. Sağ Kalem Kesme Kenarı F_{n2} Denklemi

$$F_{n3} = \cos(\beta + \gamma) * F_n$$

Denklem 3.18. Sağ Kalem Kesme Kenarı F_{n3} Denklemi

3.11.4. Orta Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi

Orta kalem ile imalat sırasında takım uç radiusunun iş parçasına temas eden yayı sağ kaleme göre daha küçüktür. Sağ kalemde kesici takımın düz kenarında oluşan F_n kuvveti, F_f kuvvetinden düşük iken orta kalemin düz kenarında F_n kuvveti F_f kuvvetinden büyüktür. F_n kuvvetinin analizi Şekil 3.12’de ve eşitlikleri Denklem 3.19-3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Orta Kalem Kesme Kenarı Kuvveti Analizi

$$F_{n1} = \cos((90 - \beta) + \theta_1) * F_n$$

Denklem 3.19. Orta Kalem Kesme Kenarı F_{n1} Denklemi

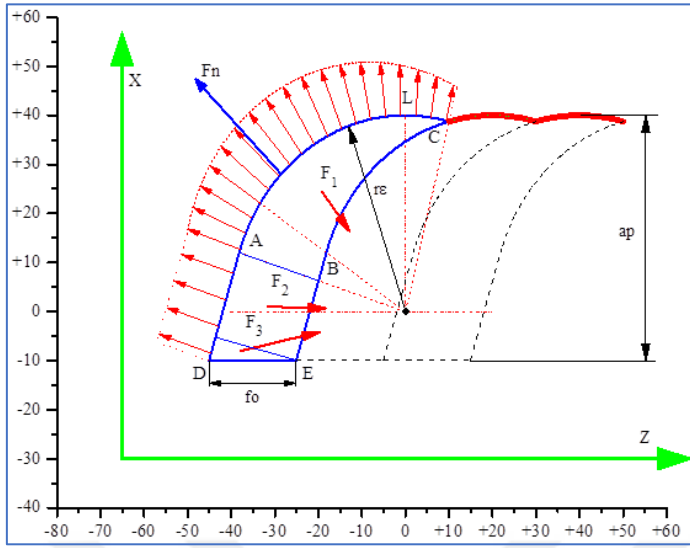
$$F_{n2} = \cos(90 - (\beta + \theta)) * F_n$$

Denklem 3.20. Orta Kalem Kesme Kenarı F_{n2} Denklemi

$$F_{n3} = \cos(\beta - (90 - K_r)) * F_n$$

Denklem 3.21. Orta Kalem Kesme Kenarı F_{n3} Denklemi

3.12. Kesme Kenarı Kuvvet Analizi



Şekil 3.13. Kesme Kenarı Kuvvet Analizi

Talaşlı imalat sırasında, kesici takımın kesme kenarında oluşan bileşke kuvvet ve talaş bölgelerinde oluşan kuvvetlerin gösterimi Şekil 3.13'te gösterilmiştir. F_n kuvveti incelendiğinde takım uç radiusunun ilerleme yönünde en büyük değere ulaştığı, kesici takımın iş parçasıyla temas ettiği son yüzey hattı 20_F açısı bölgesinde ise eşit kuvvet dağılımının olmadığı gözlemlenmektedir. Şekil 3.13'te belirtilen talaş bölgelerinin ağırlık merkezlerinden, kesici takım uç radiusu eksenine istikametine kuvvetlerin etkilemesi sonucu talaş şekillenmektedir.

Excel yazılımı kullanılarak, kuvvet analizinin yapılması için üretilen denklemlerle program hazırlanmış ve Şekil 3.13'te belirtilen kuvvet dağılımlarının gösterimi için grafikler oluşturulmuştur. İlerleyen bölümlerde, deneyler sırasında ölçülen kesme kuvvetleriyle oluşturulan grafikler sunulacaktır. Yorulma deneyi sonuçlarının yorumlanmasında, kesme kuvvetlerinin parça üzerinde oluşturduğu etkilerin değerlendirilebilmesi için bu grafiklere ihtiyaç vardır.

3.13. Araştırma Deney Planları

Yorulma deneylerinin uzun ve maliyetli deneyler olması sebebiyle, yorulma deney numunelerinin üretim aşamalarında kullanılan parametrelerin doğru belirlenmesi, güvenilir deney sonuçlarının elde edilebilmesi için önemlidir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, kesme parametrelerinin herbirinin kesme kuvvetleri üzerinde ayrı ayrı analizinin yapıldığı çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Yorulma deney sonuçlarının doğru yorumlanabilmesi için imalat sırasında kullanılan parametrelerin etkilerinin tam olarak

bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple bu çalışmada, literatür taraması da göz önünde bulundurularak, imalat sırasında kullanılabilecek tüm parametreler, iki aşamalı olarak ön hazırlık deneyleri sırasında denenmiştir. Bu aşamalar ilerleyen bölümde detaylı olarak sunulmuştur. Bu aşamalarda eksen kuvvetleri üzerinde hangi parametrelerin etkili olduğu araştırılmış, her deney sonunda deney değerlendirmesi literatür ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarla öncelikle odaklanılması gereken parametreler belirlenmiştir. Öncelikle talaşlı imalat faktörlerinin malzemeye göre farklılıklarının tespiti (Sekmen, 2013; Tan, 2013) için literatürde yapılan çalışmalarda olduğu gibi, deneylerde AISI 4340, DIN 3343, DIN 2379 ve DIN 100Cr6 malzeme kullanılmıştır. Diğer belirlenen parametreler kesici malzemesi, kesici uç yarıçapı, kesici kaplaması, kesici geometrisi, kater, kesme hızı, ilerleme, talaş derinliğidir. Tüm bu parametreler arasında en güvenilir sonuçların elde edilmesi için Tablo 3.11-3.18’de detayları verilen deneyler yapılmış ve Taguchi ve Yanıt Yüzey istatistik yöntemleriyle ANOVA analizi yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır. Sinyal gürültü oranlarının hesaplanmasında Denklem 3.54’teki en küçük en iyidir amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

$$S / G = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right)$$

Denklem 3.22. En Küçük En İyidir Amaç Fonksiyonu Denklemi

Çalışmada parametrelerin etkilerinin araştırılması iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçların %95 güvenilirlikle elde edilmesi amaçlanmıştır. Her deney çalışmasının sonunda parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkilerine yönelik değerlendirme literatürle karşılaştırılarak yapılmıştır.

Birinci aşamada; sertleştirilmiş AISI 4340, DIN 3343, DIN 2379 ve DIN 100Cr6 malzemesi kullanılarak, kesici malzemesi, kesici uç yarıçapı, kesici kaplaması, kesici geometrisi, kater, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği arasındaki etkileşimler araştırılmıştır. Ana prensip olarak en az enerji kullanılarak en verimli imalatın gerçekleşmesi için, en küçük ana eksen kuvvetinin (F_x , F_y , F_z) ve R_a yüzey pürüzlülüğü değerinin elde edilmesi olmuştur. Bu amaçla en küçük değerleri elde edecek parametrelerin optimum düzeyleri, Taguchi yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Deney No:1-2 deneylerinde, parametrelerin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileşimleri, Deney No:3-5 deneylerinde ise parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığı ve modelin güvenilirliği araştırılmıştır. Bu aşamada yorulma deneylerinde kullanılacak malzeme ve kesici türü ve uç yarıçapının belirlenmesi amaçlanmıştır.

İkinci aşamada; Yorulma makinası tasarımı yapılarak, üretim gerçekleştirilmiş ve makina kalibrasyonu yapılmıştır. Yorulma deneylerinde kullanılacak, sertleştirilmiş DIN 100Cr6 malzeme ile kater, kesme hızı, takım uç radiusu ve talaş derinliğinin, bileşke kuvvetler olan F_c ve F_n ile R_a yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İmalat parametreleri arası etkileşimler, Yanıt Yüzey istatistik yöntemi kullanılarak araştırılmış ve parametreler arası etkileşimler yorumlanmıştır. Bu aşamada yorulma deneylerinde kullanılacak en güvenilir deney sonuçlarının elde edilmesi ve deney parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

3.13.1. Birinci Aşama Deney Planları

Tablo 3.9. Deney No:01 Parametreler Tablosu

Malzeme	: AISI 4340 (40 HRC)
Malzeme Çapı	: 40 mm
Kesici	: Kenna Metal TNGA 160404 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160408 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160412 T01020 KY4400
Kater	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Dinamometre	: Kistler TYPE 9129AA
Amplifikatör	: Kistler TYPE 5070
Kesme Hızı (m/dk.)	: 100 / 200 / 300
İlerleme (mm)	: 0,10 / 0,25 / 0,40
Talaş Derinliği (mm)	: 0,10 / 0,30 / 0,50
Kesme Kuvvetleri	: F_x / F_y / F_z
Yüzey Pürüzlülüğü	: R_a
Deney Düzeni	: L_9

Tablo 3.9’da belirtilen Deney No:01 verileriyle AISI 4340 malzemede, Kenna Metal TNGA profil KY4400 kaplamalı seramik kesici uç ile kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici uç radiusunun kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Taguchi L_9 (3^4) ortogonal dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış ve en küçük en iyidir amaç fonksiyonu kullanılarak sinyal gürültü oranları hesaplanmıştır.

Tablo 3.10. Deney No:02 Parametreler Tablosu

Malzeme	: AISI 4340 (52 HRC)
Malzeme Çapı	: 80 mm
Kesici	: Kenna Metal TNGA 160408 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160408 T02020 KY1615
Kater	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Dinamometre	: Kistler TYPE 9129AA
Amplifikatör	: Kistler TYPE 5070
Kesme Hızı (m/dk.)	: 65 / 100 / 135
İlerleme (mm)	: 0,10 / 0,15 / 0,20
Talaş Derinliği (mm)	: 0,2 / 0,4 / 0,6
Kesme Kuvvetleri	: Fx / Fy / Fz
Yüzey Pürüzlülüğü	: Ra
Deney Düzeni	: L ₁₈

Tablo 3.10’da belirtilen Deney No:02 verileriyle AISI 4340 malzemede, Kenna Metal TNGA profil KY4400 ve KY1615 kaplamalı seramik kesici uç ile kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve kesici uç yarıçapının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada sonuçlar üzerine farklı kesici kaplama malzemesinin etkisinin araştırılması odaklanılan nokta olmuştur. Taguchi L₁₈ (2¹*3³) ortogonal dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış ve en küçük en iyidir amaç fonksiyonu kullanılarak sinyal gürültü oranları hesaplanmıştır.

Tablo 3.11’de belirtilen Deney No:03 verileriyle DIN 100Cr6 malzemede, Kenna Metal TNGA profil KY4400 kaplamalı seramik kesici ile 0,25 mm sabit talaş derinliğinde takım uç yarıçapı, kesme hızı ve ilerleme etkisinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Çalışma sırasında talaş derinliği sabit tutulmuştur. Taguchi L₉ (3³) ortogonal dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış ve en küçük en iyidir amaç fonksiyonu kullanılarak sinyal gürültü oranları hesaplanmıştır.

Tablo 3.12’de belirtilen Deney No:04 verileriyle AISI 3343 malzemede, TaeguTec VBGW profil TB670 kaplamalı CBN kesici ile takım uç yarıçapı, talaş derinliği ve ilerleme etkisinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması

hedeflenmiştir. Çalışma sırasında kesme hızı sabit tutulmuştur. Bu çalışmada kesici takımlarda özel bir durum olan 0,2 mm takım uç radiusunun sonuçlara olan etkisine odaklanılmıştır. Taguchi $L_9 (3^3)$ ortogonal dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış ve en küçük en iyidir amaç fonksiyonu kullanılarak sinyal gürültü oranları hesaplanmıştır.

Tablo 3.11. Deney No:03 Parametreler Tablosu

Malzeme	: DIN 100Cr6 (60 HRC)
Malzeme Çapı	: 100 mm
İşleme Boyu	: 20 mm
Kesici	: Kenna Metal TNGA 160404 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160408 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160412 T01020 KY4400
Kater	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Dinamometre	: Kistler TYPE 9129AA
Amplifikatör	: Kistler TYPE 5070
Kesme Hızı (m/dk.)	: 175 / 225 / 275
İlerleme (mm)	: 0,04 / 0,10 / 0,16
Talaş Derinliği (mm)	: 0,25
Kesme Kuvvetleri	: F_x / F_y / F_z
Yüzey Pürüzlülüğü	: R_a
Deney Düzeni	: L_9

Tablo 3.13'te belirtilen Deney No:05 verileriyle AISI 2379 malzemede, Kenna Metal seramik ve CBN kesici ile takım uç radiusu, talaş derinliği ve ilerleme etkisinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada seramik ve CBN ucun sonuçlara olan etkisine odaklanılmıştır. Taguchi $L_{36} (2^1 * 3^3)$ ortogonal dizini kullanılarak deney tasarımı yapılmış ve en küçük en iyidir amaç fonksiyonu kullanılarak sinyal gürültü oranları hesaplanmıştır.

Tablo 3.12. Deney No:04 Parametreler Tablosu

Malzeme	: DIN 3343 (60 HRC)
Malzeme Çapı	: 70 mm
Kesici	: TaeguTec VBGW 160402 LS2 TB670 : TaeguTec VBGW 160404 LS2 TB670 : TaeguTec VBGW 160408 LS2 TB670
Kater	: ISCAR SVJCL 2525 M16
Dinamometre	: Kistler TYPE 9129AA
Kesme Hızı (m/dk.)	: 150
İlerleme (mm)	: 0,025 / 0,050 / 0,075
Talaş Derinliği (mm)	: 0,05 / 0,10 / 0,15
Kesme Kuvvetleri	: Fx / Fy / Fz
Yüzey Pürüzlülüğü	: Ra
Deney Düzeni	: L ₉

Tablo 3.13. Deney No:05 Parametreler Tablosu

Malzeme	: DIN 2379 (60 HRC)
Malzeme Çapı	: 100 mm
Kesici	: Kenna Metal TNGA 160408 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160412 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160408 S01025 MT KB1630 : Kenna Metal TNGA 160412 S01025 MT KB1630
Kater	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Amplifikatör	: Kistler TYPE 5070
Kesme Hızı (m/dk.)	: 90 / 130 / 170
İlerleme (mm)	: 0,05 / 0,15 / 0,25
Talaş Derinliği (mm)	: 0,15 / 0,30 / 0,45
Kesme Kuvvetleri	: Fx / Fy / Fz
Yüzey Pürüzlülüğü	: Ra
Deney Düzeni	: L ₃₆

3.13.2. İkinci Aşama Deney Planları

Tablo 3.14'te belirtilen Deney No:11 ile DIN 100Cr6 malzemede WTJNL katere takılmış 0,4 mm uç radiusunda seramik kesici uç ile talaş derinliğinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Talaş kaldırma sırasında oluşan ana eksen kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülerek, sonuçlara etki eden parametrelerin etkinliği incelenmiştir. Yanıt Yüzey Yöntemiyle L_{20} ortogonal dizininde merkezi kompozit dizayn metoduyla, parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkileşiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 3.14. Deney No:11 Parametreler Tablosu

Malzeme	: DIN 100Cr6 (60 HRC)
Malzeme Çapı	: 20 mm
Kesici	: Kenna Metal TNGA 160404 T01020 KY4400
Kater	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Dinamometre	: Kistler TYPE 9129AA
Tezgâh	: GOODWAY GS-260Y
Kesme Hızı (m/dk.)	: 50 / 75 / 100
İlerleme (mm)	: 0,06 / 0,09 / 0,12
Talaş Derinliği (mm)	: 0,10 / 0,25 / 0,40
Kesme Kuvvetleri	: F_x / F_y / F_z
Yüzey Pürüzlülüğü	: R_a
Deney Düzeni	: L_{20}

Tablo 3.15'te belirtilen Deney No:12 ile DIN 100Cr6 malzemede WTJNL katere takılmış 0,4 mm uç radiusunda seramik kesici uç ile talaş derinliğinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Talaş kaldırma sırasında oluşan ana eksen kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülerek, sonuçlara etki eden parametrelerin etkinliği incelenmiştir. Yanıt Yüzey Yöntemiyle L_{20} ortogonal dizininde merkezi kompozit dizayn metoduyla, parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkileşiminin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 3.15. Deney No:12 Parametreler Tablosu

Malzeme	: DIN 100Cr6 (60 HRC)
Malzeme Çapı	: 20 mm
Kesici	: Kenna Metal TNGA 160404 T01020 KY4400
Kater	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Dinamometre	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Tezgâh	: GOODWAY GS-260Y
Kesme Hızı (m/dk.)	: 50 / 75 / 100
İlerleme (mm)	: 0,06 / 0,09 / 0,12
Talaş Derinliği (mm)	: 0,20 / 0,50 / 0,80
Kesme Kuvvetleri	: Fx / Fy / Fz
Yüzey Pürüzlülüğü	: Ra
Deney Düzeni	: L ₂₀

Tablo 3.16. Deney No:13 Parametreler Tablosu

Malzeme	: DIN 100Cr6 (60 HRC)
Malzeme Çapı	: 20 mm
Kesici	: Kenna Metal TNGA 160404 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160408 T01020 KY4400 : Kenna Metal TNGA 160412 T01020 KY4400
Kater	: TaeguTec WTJNL 2525 M16
Dinamometre	: Kistler TYPE 9129AA
Tezgâh	: GOODWAY GS-260Y
Kesme Hızı (m/dk.)	: 50 / 75 / 100
İlerleme (mm)	: 0,06 / 0,09 / 0,12
Talaş Derinliği (mm)	: 0,10 / 0,45 / 0,80
Kesme Kuvvetleri	: Fx / Fy / Fz
Yüzey Pürüzlülüğü	: Ra
Deney Düzeni	: L ₂₇

Tablo 3.16’da belirtilen Deney No:13 ile DIN 100Cr6 malzemedede WTJNL katere takılmış farklı uç radyusunda seramik kesici uç ile talaş derinliğinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Talaş kaldırma sırasında oluşan ana eksen kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülerek, sonuçlara etki eden parametrelerin etkinliği incelenmiştir. Yanıt Yüzey Yöntemiyle L_{27} ortogonal dizininde merkezi kompozit dizayn metoduyla, parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkileşiminin incelenmesi amaçlanmıştır.



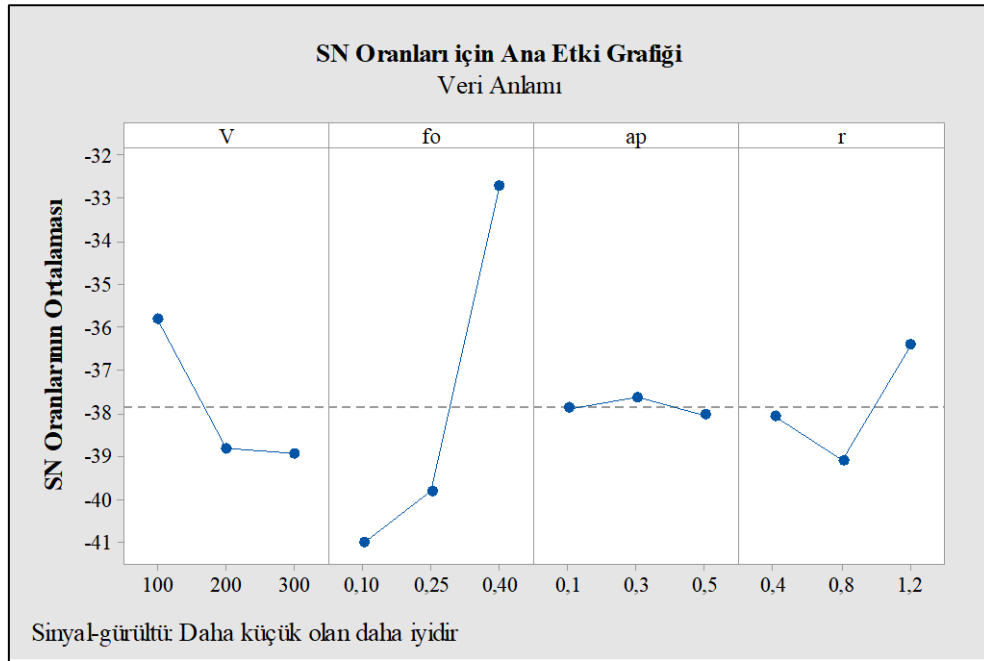
4. BULGULAR

4.1. Birinci Grup Deney Analizleri

4.1.1. Deney No:01 Analizi

Tablo 4.1. Deney No:01 Sonuçlar Tablosu

Deney No	V (m/dk.)	fo (mm)	ap (mm)	r (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Ra (μm)
1	100	0,10	0,1	0,4	91,21	213,5	143,2	0,813
2	100	0,25	0,3	0,8	86,74	150	88,22	0,829
3	100	0,40	0,5	1,2	29,63	32,16	37,77	0,973
4	200	0,10	0,3	1,2	103,7	155,8	115,1	0,259
5	200	0,25	0,5	0,4	114,2	144,5	90,42	1,493
6	200	0,40	0,1	0,8	55,77	60,35	40,4	1,426
7	300	0,10	0,5	0,8	220	312,7	160,4	0,423
8	300	0,25	0,1	1,2	94,02	110,3	72,38	0,446
9	300	0,40	0,3	0,4	48,76	53,84	38,09	2,685



Şekil 4.1. Deney No:01 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Deney No:01’de AISI 4340 (40 HRC) malzemeyle TNGA profilli Kenna Metal KY4400 kaplamalı seramik uç ile Tablo 4.1’de belirtilen üç farklı uç yarıçapı, ilerleme değeri ve talaş

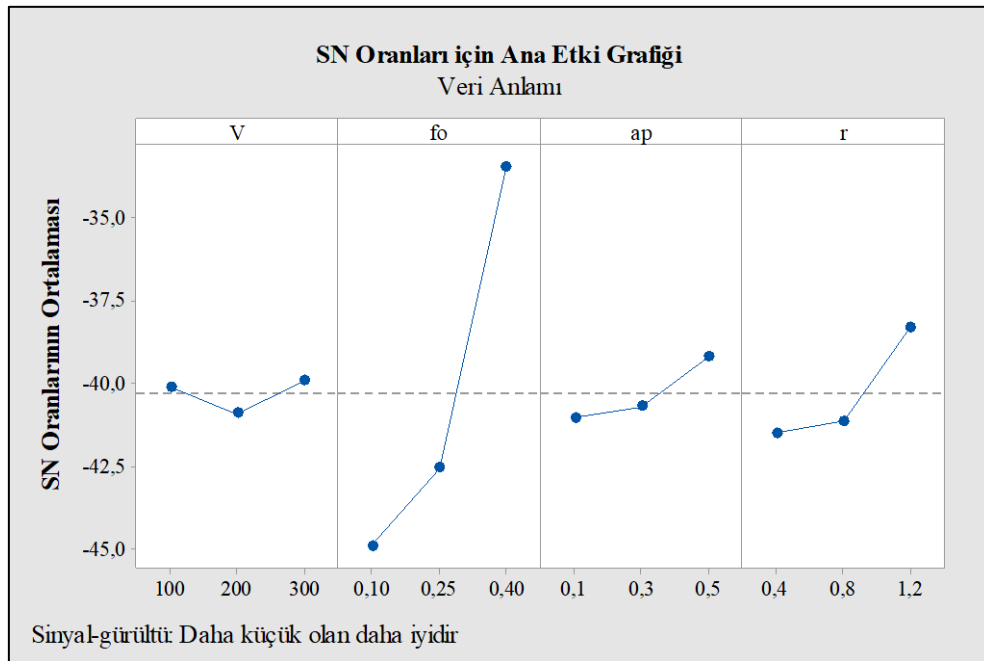
derinliği değeriinde, Taguchi L_9 (3^3) ortogonal dizini kullanılarak deney yapılmıştır. Elde edilen ana eksen kesme kuvveti değeri ve yüzey pürüzlülüğü değeri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Fx kuvveti için en küçük değeri elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.1'deki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinde kesme hızı değeri 100 m/dk., ilerleme değeri 0,4 mm, talaş derinliği değeri 0,3 mm ve takım uç radiusu değeri ise 1,2 mm olmasının uygun olacağı görülmektedir.

Tablo 4.2. Deney No:01 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	V	fo	ap	r
1	-35,80	-41,01	-37,86	-38,04
2	-38,80	-39,79	-37,61	-39,07
3	-38,92	-32,71	-38,04	-36,40
Delta	3,12	8,30	0,42	2,67
Sıra	2	1	4	3

Tablo 4.2'deki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fx kuvvetine en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da kesme hızı, takım uç radiusu ve talaş derinliği parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.



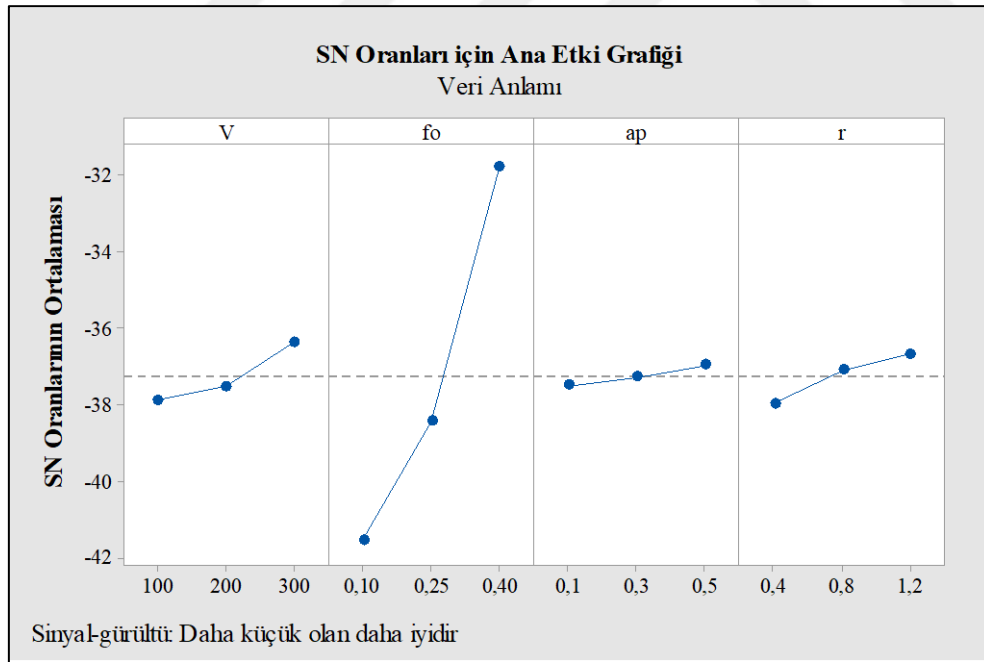
Şekil 4.2. Deney No:01 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Fy kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.2'deki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinde kesme hızı değerinin 300 m/dk., ilerleme değerinin 0,4 mm, talaş derinliği değerinin 0,5 mm ve takım uç yarıçapı değerinin ise 1,2 mm olmasının uygun olacağı görülmektedir.

Tablo 4.3. Deney No:01 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	V	fo	ap	r
1	-40,09	-44,88	-41,02	-41,47
2	-40,89	-42,52	-40,67	-41,11
3	-39,89	-33,46	-39,18	-38,28
Delta	1,00	11,42	1,84	3,19
Sıra	4	1	3	2

Tablo 4.3'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fy kuvvetine en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da takım uç yarıçapı, talaş derinliği ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Deney No:01 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Fz kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.3'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinde kesme hızı değerinin 300 m/dk., ilerleme değerinin 0,4 mm, talaş

derinliği değerinin 0,5 mm ve takım uç radyusu değerinin ise 1,2 mm olmasının uygun olacağı görülmektedir.

Tablo 4.4'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fz kuvvetine en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da kesme hızı, uç radyusu ve talaş derinliği parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Deney No:01 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

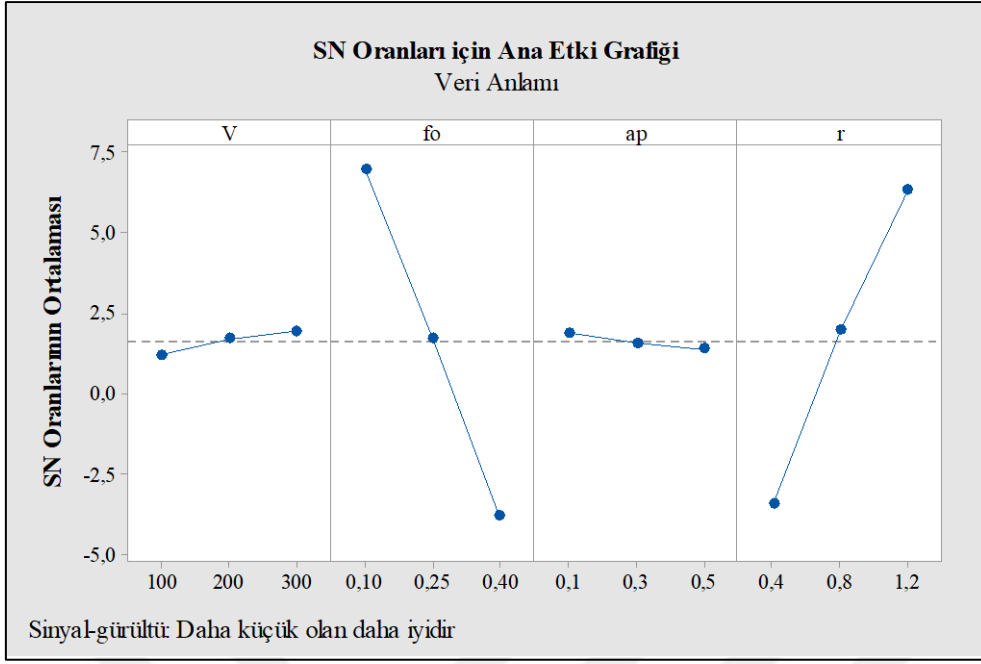
Seviye	V	fo	ap	r
1	-37,86	-41,50	-37,48	-37,95
2	-37,49	-38,41	-37,25	-37,07
3	-36,33	-31,76	-36,95	-36,65
Delta	1,53	9,74	0,53	1,30
Sıra	2	1	4	3

Tablo 4.5. Deney No:01 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	V	fo	ap	r
1	1,222	7,002	1,910	-3,421
2	1,723	1,720	1,595	2,007
3	1,969	-3,808	1,410	6,328
Delta	0,748	10,810	0,500	9,749
Sıra	3	1	4	2

Tablo 4.5'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da uç radyusu, kesme hızı ve talaş derinliği parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Ra Yüzey Pürüzlülüğü için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, şekil 4.4'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiği incelendiğinde kesme hızı için 300 m/dk., ilerleme için 0,1 mm, talaş derinliği için 0,1 mm ve takım uç radyusu için ise 1,2 mm değerinin kullanılmasının uygun olacağı görülmektedir.



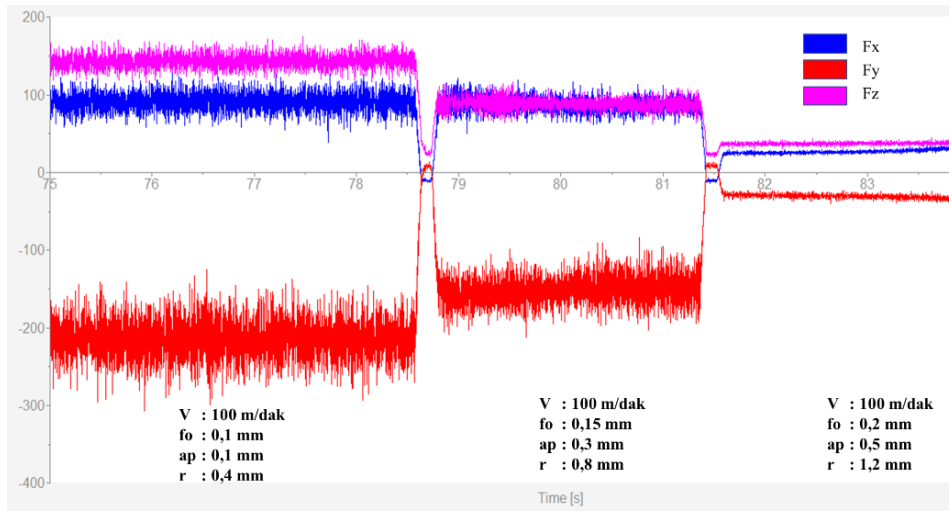
Şekil 4.4. Deney No:01 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.6. Deney No:01 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu

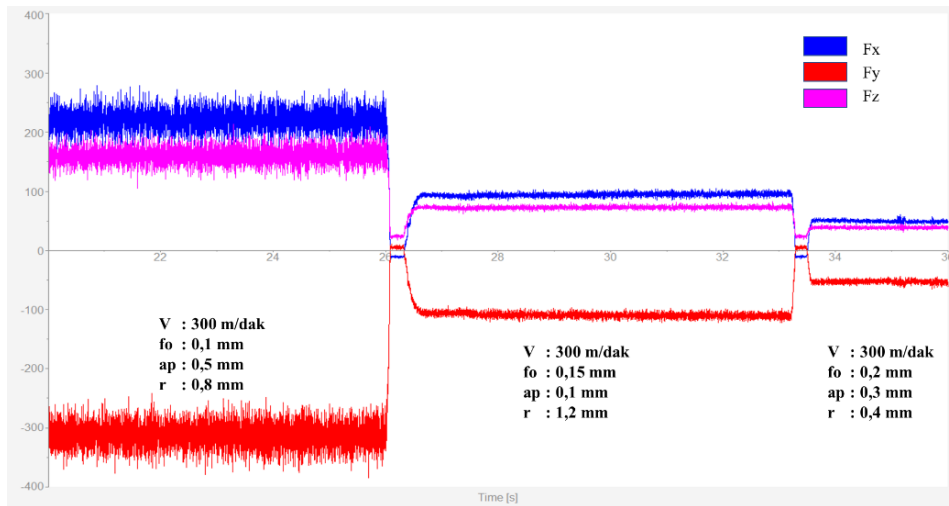
Parametreler	V	fo	ap	r
Fx için Önem Seviyesi	2	1	4	3
Fy için Önem Seviyesi	4	1	3	2
Fz için Önem Seviyesi	2	1	4	3
Ra için Önem Seviyesi	3	1	4	2

Sonuç olarak; Tablo 4.6'daki parametrelerin önem seviyeleri incelendiğinde Fx, Fy, Fz kuvvetleri üzerinde, ilerleme parametresinin en önemli parametre olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuç literatür (Sekmen, 2013) ile uyumludur. Kesme hızı parametresinin ise Fx ve Fz kuvveti için ikinci önemli parametre olduğu tespit edilmiş ve Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki kesme kuvvetleri grafikleri incelendiğinde kesme hızının düşmesiyle Fz kuvvetinin Fx'e göre arttığı, kesme hızının artmasıyla Fz kuvvetinin talaş kesit alanı artmasına rağmen azaldığı belirlenmiştir. 0,8 mm takım uç radiusuyla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde Fz ve Fy kuvvetlerinin birbirine yaklaştığı tespit edilmiştir. İş parçası üzerinde talaş kaldırma sırasında kalıcı mekanik etkilerin oluşumuna, Fx ve Fz kuvvetinin bileşkesi olan Fn kuvvetinin ana etken olduğu düşünüldüğünde, Fn kuvvetinin iş parçası eksenine dik doğrultuda oluşması amacıyla, Fx kuvvetinin artırılması için kesme hızının artırılması gerektiği sonucu Şekil 4.6'dan anlaşılmaktadır. Kesme ucu radiusunun artmasıyla Fx

kuvvetinin arttığı Tablo 4.1'deki sonuçlardan da anlaşılmakta olup, elde edilen veriler literatür (Sekmen, 2013) ile uyumludur. Kesme hızının azalmasıyla F_y kuvvetinde genlik artışı ve tırlamaya sebep olabilecek dalgalanmalar (Karagüzel, 2016) Şekil 4.5 grafiğinden anlaşılmaktadır. Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da takım uç yarıçapı, kesme hızı ve talaş derinliği parametresinin etki ettiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün düştüğü, kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve literatürle (Zeqiri, 2018) benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. F_y eksenindeki kuvvette oluşan genlik artışının pürüzlülüğe etkisinin olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4.5. V:100 m/dk. Kesme Hızı Kesme Kuvvetleri Grafiği



Şekil 4.6. V:300 m/dk. Kesme Hızı Kesme Kuvvetleri Grafiği

Parametre ve seviyelerinin fazla olması durumunda odaklanılması gereken parametre sayısının fazla olduğu, bu sebeple parametre sayısının azaltılarak çalışmalara devam edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

4.1.2. Deney No:02 Analizi

Tablo 4.7. Deney No:02 Sonuçlar Tablosu

Deney No	Kaplama	V (m/dk.)	fo (mm)	ap (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Ra (μm)
1	KY1615	65	0,1	0,2	79,3	92,4	61,0	0,604
2	KY1615	65	0,15	0,4	170,9	237,8	138,0	1,060
3	KY1615	65	0,2	0,6	250,8	413,9	249,3	1,687
4	KY1615	100	0,1	0,2	70,1	83,3	57,5	0,584
5	KY1615	100	0,15	0,4	160,0	229,4	132,4	1,095
6	KY1615	100	0,2	0,6	232,4	393,6	229,8	1,652
7	KY1615	135	0,1	0,4	112,7	156,2	106,3	0,539
8	KY1615	135	0,15	0,6	184,4	313,5	197,3	0,968
9	KY1615	135	0,2	0,2	111,8	146,1	71,4	1,605
10	KY4400	65	0,1	0,6	136,6	209,1	144,4	0,435
11	KY4400	65	0,15	0,2	73,4	85,8	49,4	0,853
12	KY4400	65	0,2	0,4	163,3	236,9	114,0	1,547
13	KY4400	100	0,1	0,4	99,2	132,1	89,6	0,482
14	KY4400	100	0,15	0,6	168,1	278,2	164,6	0,756
15	KY4400	100	0,2	0,2	80,7	100,6	50,6	1,521
16	KY4400	135	0,1	0,6	124,9	199,6	137,1	0,429
17	KY4400	135	0,15	0,2	64,3	79,1	48,3	0,816
18	KY4400	135	0,2	0,4	152,3	224,9	111,8	1,419

Deney No:2’de DIN 4340 (52 HRC) malzemeyle TNGA profilli Kenna Metal KY4400 ve KY1615 kaplamalı 0,8 mm uç radiusuna sahip seramik kesici uç kullanılarak Tablo 4.7’de belirtilen üç farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde, Taguchi L₁₈ (2¹-3³) ortogonal dizininde kullanılarak deney yapılmıştır. Bu çalışmada kaplama malzemesinin sonuçlar üzerindeki etkilerinin tespiti amaçlanmıştır. Elde edilen ana eksen kesme kuvveti değerleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

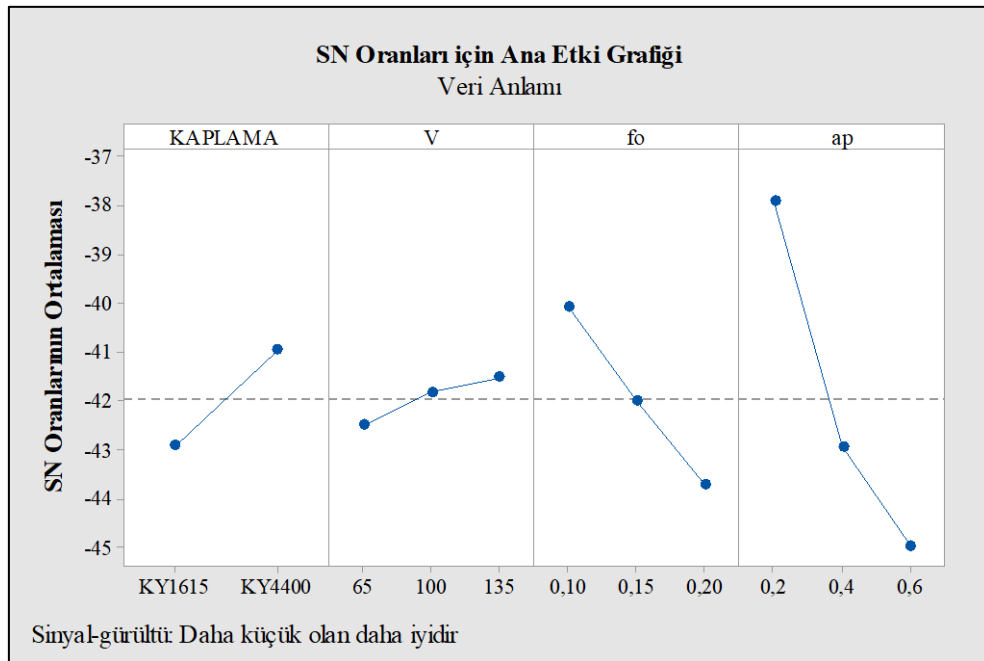
Tablo 4.8. Deney No:02 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	Kaplama	V	fo	ap
1	-42,92	-42,49	-40,08	-37,92
2	-40,96	-41,82	-42,01	-42,94
3		-41,51	-43,72	-44,96
Delta	1,96	0,97	3,64	7,05
Sıra	3	4	2	1

Tablo 4.8’de parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fx kuvvetine en fazla talaş derinliği parametresinin, sırasıyla da ilerleme, kaplama malzemesi ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Fx kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.7’deki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kaplama malzemesinin KY4400, kesme hızı değerinin 135 m/dk., ilerleme değerinin 0,1 mm ve talaş derinliği değerinin 0,2 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.9’da parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fy kuvvetine en fazla talaş derinliği değerinin, sırasıyla ilerleme parametresi, kaplama malzemesi ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

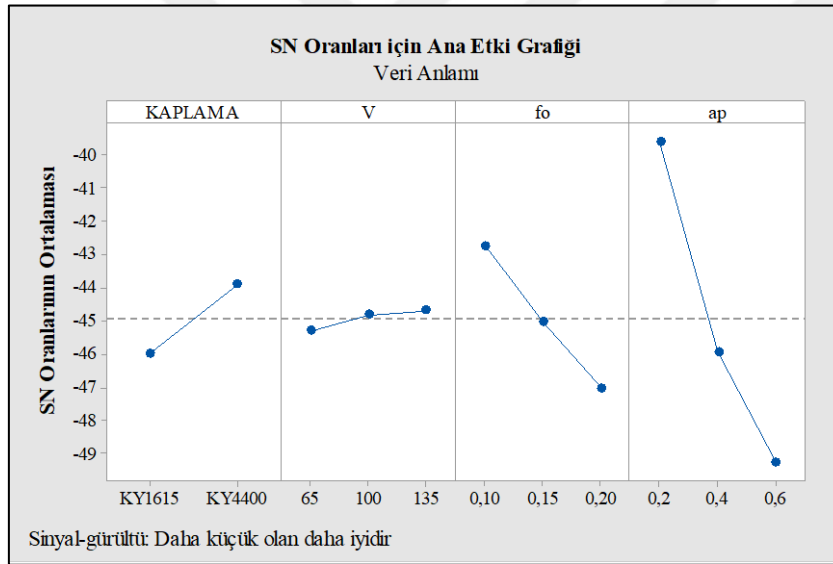


Şekil 4.7. Deney No:02 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.9. Deney No:02 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	Kaplama	V	fo	ap
1	-45,98	-45,29	-42,74	-39,62
2	-43,88	-44,81	-45,03	-45,93
3		-44,68	-47,02	-49,24
Delta	2,10	0,61	4,28	9,63
Sıra	3	4	2	1

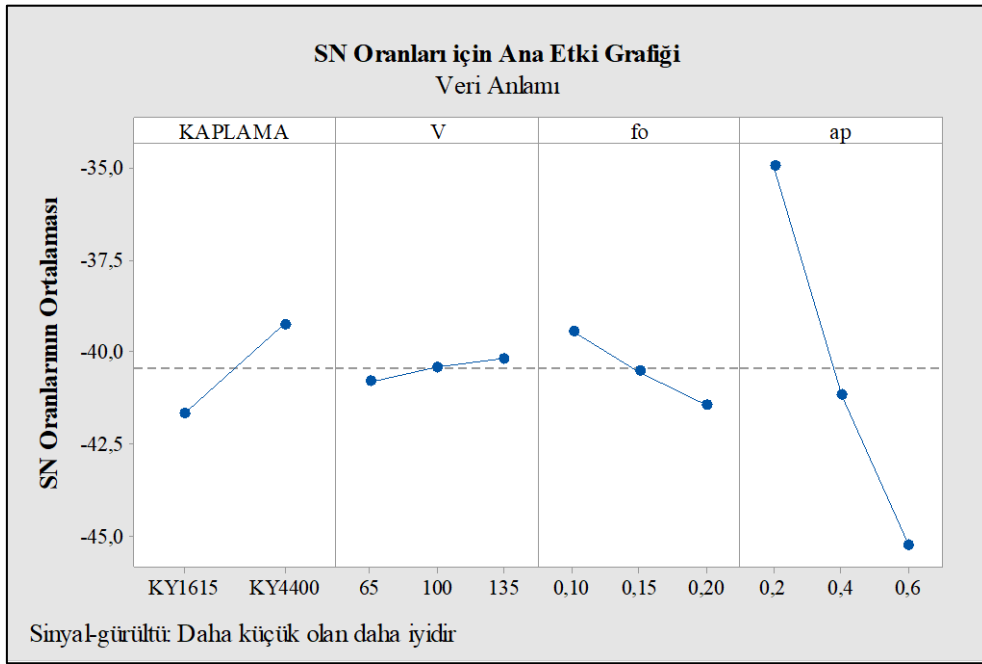
Fy kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.8'deki SN Oranları için Ana Etki Grafiği incelendiğinde kaplama malzemesinin KY4400, kesme hızı değerinin 135 m/dk., ilerleme değerinin 0,1 mm ve talaş derinliği değerinin 0,2 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Şekil 4.8.** Deney No:02 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği**Tablo 4.10.** Deney No:02 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	Kaplama	V	fo	ap
1	-41,65	-40,77	-39,40	-34,93
2	-39,23	-40,38	-40,50	-41,15
3		-40,15	-41,40	-45,22
Delta	2,42	0,62	2,00	10,29
Sıra	2	4	3	1

Tablo 4.10’da parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fz kuvvetine en fazla talaş derinliği parametresinin etki ettiği, sırasıyla da kaplama malzemesi, ilerleme ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Fz kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.9’daki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kaplama malzemesinin KY4400, kesme hızı değerinin 135 m/dk., ilerleme değerinin 0,1 mm ve talaş derinliği değerinin 0,2 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

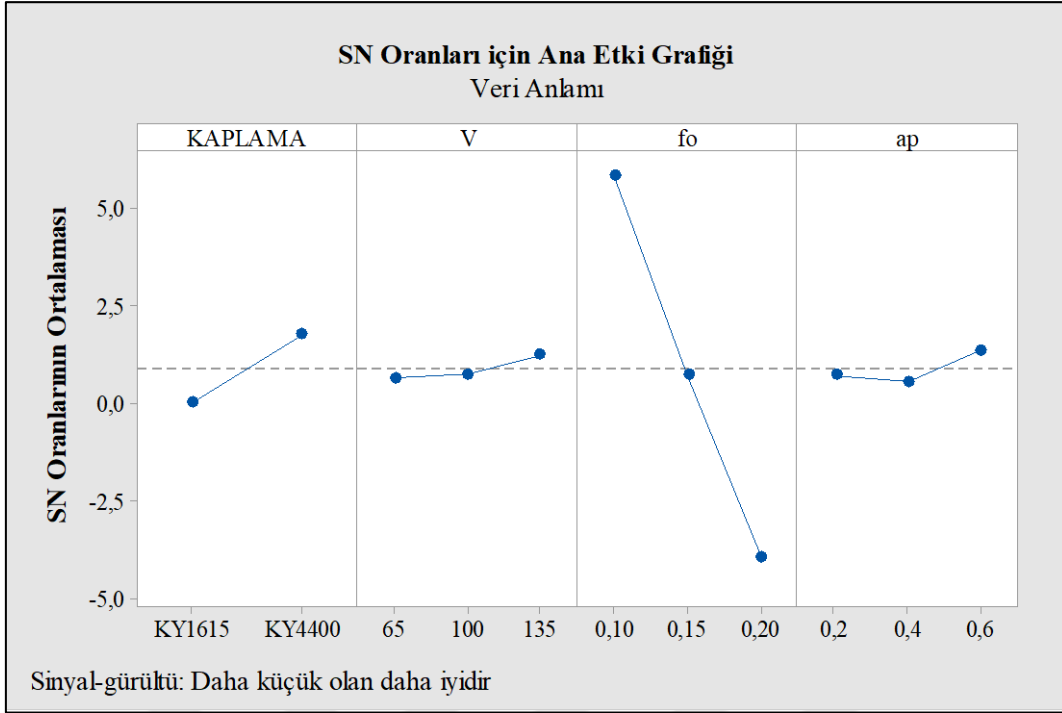


Şekil 4.9. Deney No:02 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.11’deki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da kaplama malzemesi, talaş derinliği ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.11. Deney No:02 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	Kaplama	V	fo	ap
1	0,04392	0,69205	5,88989	0,74102
2	1,78054	0,77488	0,76081	0,59724
3		1,26977	-3,91401	1,39844
Delta	1,73662	0,57772	9,80390	0,80120
Sıra	2	4	1	3



Şekil 4.10. Deney No:02 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.10'daki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kaplama malzemesinin KY4400, kesme hızı değerinin 135 m/dk., ilerleme değerinin 0,1 mm ve talaş derinliği değerinin 0,6 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

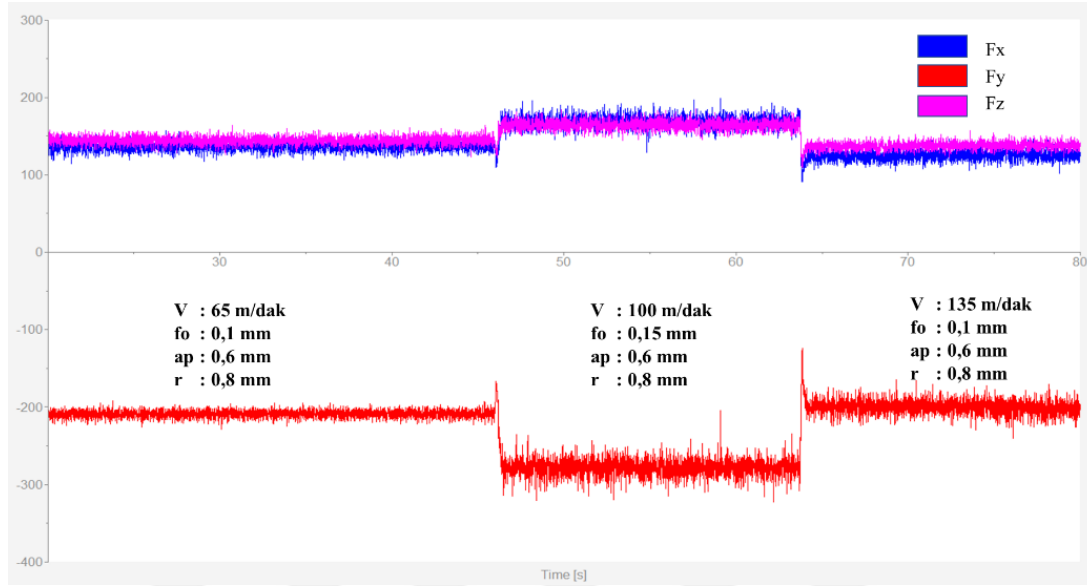
Sonuç olarak; takım uç radiusunun sabit seçilmesi durumunda F_x , F_y , F_z kuvvetleri üzerinde talaş derinliği parametresinin en önemli parametre, F_x ve F_y için ikinci önemli parametrenin ise ilerleme parametresi olduğu, kesme hızı parametresinin kaplama parametresine göre F_x ve F_z için daha düşük öneme sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 4.12. Deney No:02 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu

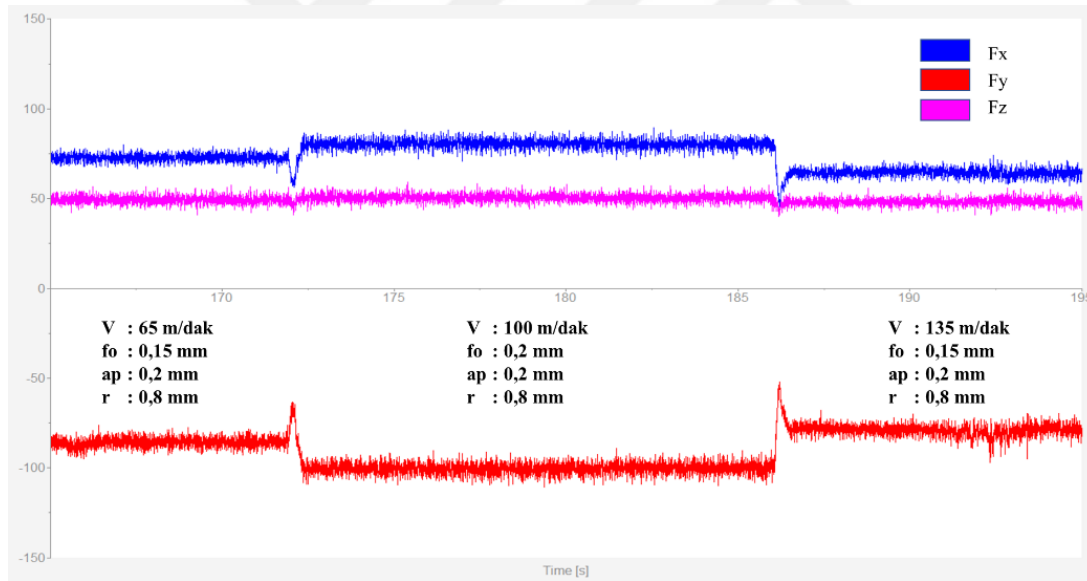
Parametreler	Kaplama	V	fo	ap
F_x için Önem Seviyesi	3	4	2	1
F_y için Önem Seviyesi	3	4	2	1
F_z için Önem Seviyesi	2	4	3	1
Ra için Önem Seviyesi	2	4	1	3

Tüm sonuçlar üzerinde kesme hızı parametresinin en az etkiye sahip olduğu Tablo 4.12'den anlaşılmaktadır. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'deki grafikler incelendiğinde talaş derinliğinin

artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı, kesme hızı değişiminin Fz kuvveti üzerinde belirgin bir değişime yol açmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.11. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği



Şekil 4.12. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği

İlerleme değerindeki değişimin, düşük talaş derinliklerinde Fz ekseninde belirgin bir değişime yol açmadığı, yüksek talaş derinliği değerlerinde ise Fx ve Fz kuvvetlerinin birbirine eşit değerler aldığı gözlemlenmiştir. Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin (Özay, 2009) sırasıyla da kaplama malzemesi, talaş derinliği ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

KY4400 kaplamalı kesici ile düşük ilerleme ve talaş derinliklerinde, düşük Ra yüzey pürüzlülüğünün olduğu Tablo 4.7’de de gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Ra yüzey pürüzlülüğü, kesici takım kaplama malzemesine karşı (Gürbüz, 2012) duyarlıdır.

Literatürdeki kaplama malzemelerinin, sonuçlar üzerindeki etkisine yönelik çalışmalarla benzerlik görülmüştür. Deney No:1’de DIN 4340 (40 HRC) ve Deney No:2’de DIN 4340 (52 HRC) farklı sertlikte aynı malzeme ile yapılan deneylerde malzeme sertliğinin artmasıyla kesme işleminin daha kararlı hale geldiği Şekil 4.5-4.6 ve Şekil 4.11-4.12 kesme kuvveti grafiklerindeki genlik farklarından anlaşılmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatür (Gürbüz, 2012) ile benzerlik göstermektedir.

4.1.3. Deney No:03 Analizi

Tablo 4.13. Deney No:03 Sonuçlar Tablosu

Deney No	re (mm)	V (m/dk.)	fo (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Ra (μm)
1	0,4	175	0,04	34,5	45,8	57,8	0,250
2	0,8	175	0,1	63,2	65,2	51,4	0,595
3	1,2	175	0,16	166,0	159,9	78,2	0,513
4	0,8	225	0,04	40,1	31,1	43,1	0,277
5	1,2	225	0,1	114,9	105,6	72,6	0,391
6	0,4	225	0,16	84,5	132,2	83,0	0,351
7	1,2	275	0,04	65,8	51,0	53,4	0,371
8	0,4	275	0,1	60,9	93,9	74,6	0,627
9	0,8	275	0,16	81,6	90,4	55,8	0,688

Deney No:3’te DIN 100Cr6 malzemeyle 0,25 mm sabit talaş derinliğinde Tablo 4.13’te belirtilen üç farklı uç radiusu, kesme hızı ve ilerleme değerinde, Taguchi L₉ (3³) ortogonal dizini kullanılarak deney yapılmıştır. Elde edilen ana eksen kesme kuvveti değerleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Tablo 4.14’teki Fx kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P’ye bakıldığında, kesme hızı parametresinin anlamlı olmadığı, diğer parametrelerin model üzerinde anlamlı olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 4.14. Deney No:03 Fx Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
V	2	0,394	0,3938	0,1969	0,60	0,627
fo	2	82,301	82,3010	41,1505	124,51	0,008
r	2	59,472	59,4720	29,7360	89,97	0,011
Artık Hatası	2	0,661	0,6610	0,3305		
Toplam	8	142,828				

Tablo 4.15. Deney No:03 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Tablo 4.15'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fx kuvvetine en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da takım uç radiusu ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

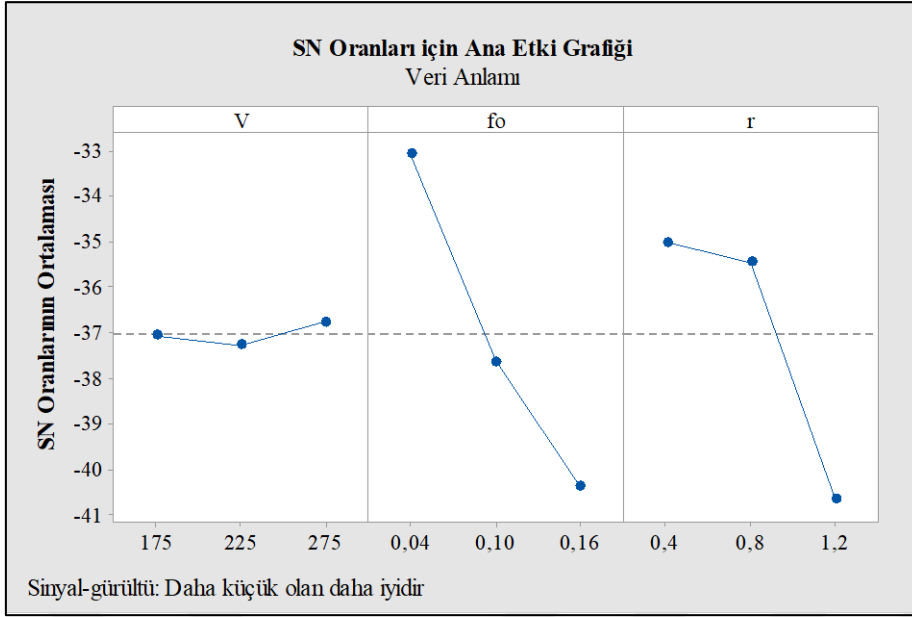
Seviye	V	fo	r
1	-37,06	-33,06	-35,00
2	-37,27	-37,64	-35,44
3	-36,76	-40,39	-40,66
Delta	0,51	7,33	5,66
Sıra	3	1	2

Tablo 4.16'daki R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerine incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.16. Deney No:03 Fx Kuvveti Model Özeti

S	R^2	Düzeltilmiş R^2
0,5749	%99,54	%98,15

Fx kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.13'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kesme hızı değerinin 275 m/dk., ilerleme değerinin 0,04 mm ve takım uç radiusu değerinin 0,4 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.13. Deney No:03 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.17. Deney No:03 Fy Kuvveti SN oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
V	2	0,150	0,150	0,0751	2,16	0,316
fo	2	139,398	139,398	69,6990	2009,09	0,000
r	2	32,246	32,246	16,1228	464,74	0,002
Artık Hatası	2	0,069	0,069	0,0347		
Toplam	8	171,863				

Tablo 4.17’deki Fy kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P’ye bakıldığında, kesme hızı parametresinin anlamlı olmadığı, diğer parametrelerin model üzerinde anlamlı olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 4.18. Deney No:03 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

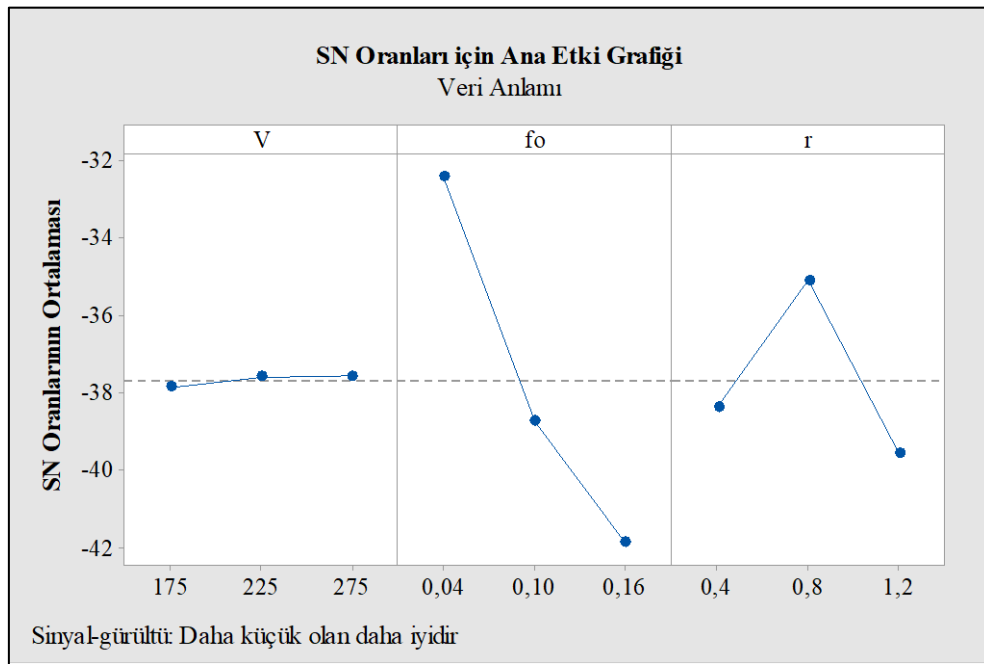
Seviye	V	fo	r
1	-37,86	-32,41	-38,37
2	-37,59	-38,74	-35,09
3	-37,58	-41,88	-39,57
Delta	0,28	9,46	4,48
Sıra	3	1	2

Tablo 4.18'deki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fy kuvvetine en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da takım uç radiusu ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir

Tablo 4.19. Deney No:03 Fy Kuvveti Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,1863	%99,96	%99,84

Tablo 4.19'daki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.14. Deney No:03 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.20. Deney No:03 Fz Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
V	2	0,3228	0,3228	0,16139	2,50	0,286
fo	2	13,5960	13,5960	6,79798	105,21	0,009
r	2	16,4027	16,4027	8,20134	126,93	0,008
Artık Hatası	2	0,1292	0,1292	0,06461		
Toplam	8	30,4506				

Fy kuvveti değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.14'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kesme hızı değerinin 275 m/dk., ilerleme değerinin 0,04 mm ve takım uç radiusu değerinin 0,8 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.20'deki Fz kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında, kesme hızı parametresinin anlamlı olmadığı, diğer parametrelerin model üzerinde anlamlı olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 4.21. Deney No:03 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	V	fo	r
1	-35,77	-34,16	-37,02
2	-36,09	-36,30	-33,95
3	-35,64	-37,06	-36,54
Delta	0,45	2,90	3,07
Sıra	3	2	1

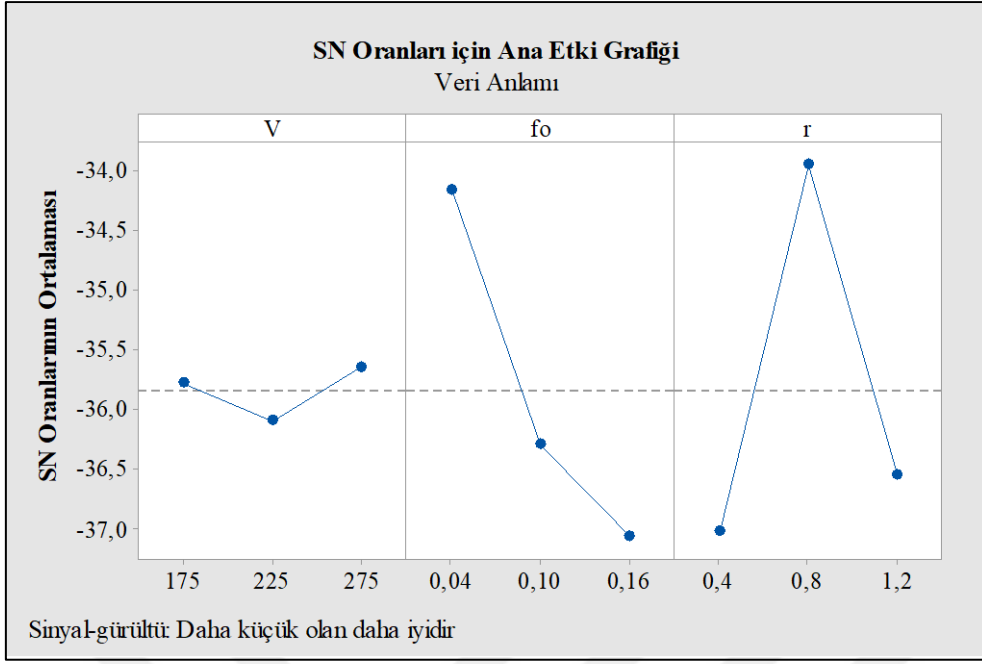
Tablo 4.21'deki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fz kuvvetine en fazla takım uç radiusu, sırasıyla da ilerleme ve kesme hızı parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.22. Deney No:03 Fz Kuvveti Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,2542	%99,58	%98,30

Tablo 4.22'deki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Fz kuvveti değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.15'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kesme hızı değerinin 275 m/dk., ilerleme değerinin 0,04 mm ve takım uç radiusu değerinin 0,8 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.15. Deney No:03 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.23. Deney No:03 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
V	2	25,9886	25,9886	12,9943	26,12	0,037
fo	2	46,2485	46,2485	23,1242	46,49	0,021
r	2	6,6356	6,6356	3,3178	6,67	0,130
Artık Hatası	2	0,9949	0,9949	0,4974		
Toplam	8	79,8675				

Tablo 4.24. Deney No:03 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	V	fo	r
1	7,450	10,601	8,397
2	9,467	5,574	6,303
3	5,305	6,047	7,522
Delta	4,162	5,028	2,094
Sıra	2	1	3

Tablo 4.23'teki Ra yüzey pürüzlülüğü için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında, kesme hızı ve

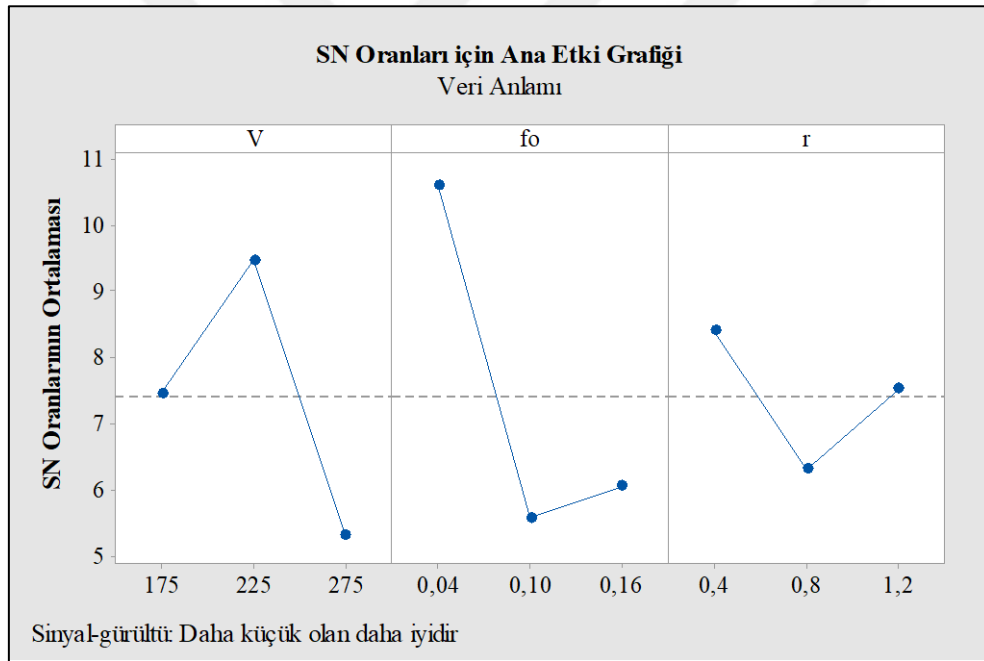
ilerleme parametresinin anlamlı, takım uç radiusu parametresinin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.24'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresi, sırasıyla kesme hızı ve takım uç radiusu parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.25. Deney No:03 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,7053	%98,75	%95,02

Tablo 4.25'teki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin, ölçülen verilerle uyumluluğunun oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16. Deney No:03 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları İçin Ana Etki Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.16'daki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kesme hızı değerinin 225 m/dk., ilerleme değerinin 0,04 mm ve takım uç radiusu değerinin 0,4 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

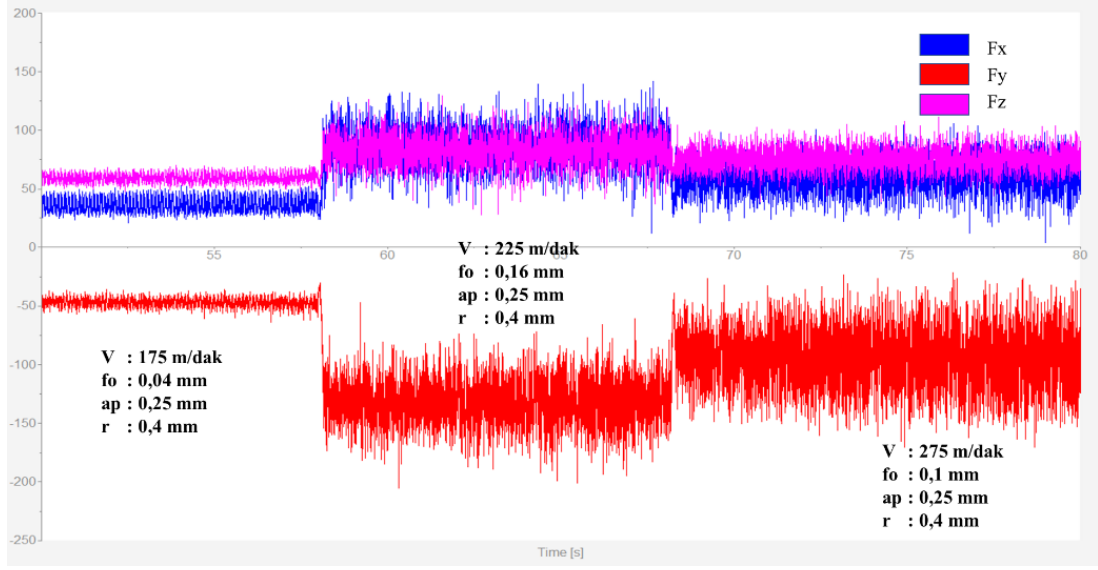
Tablo 4.26. Deney No:03 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu

Parametreler	V	fo	r
Fx için Önem Seviyesi	3	1	2
Fy için Önem Seviyesi	3	1	2
Fz için Önem Seviyesi	3	2	1
Ra için Önem Seviyesi	2	1	3

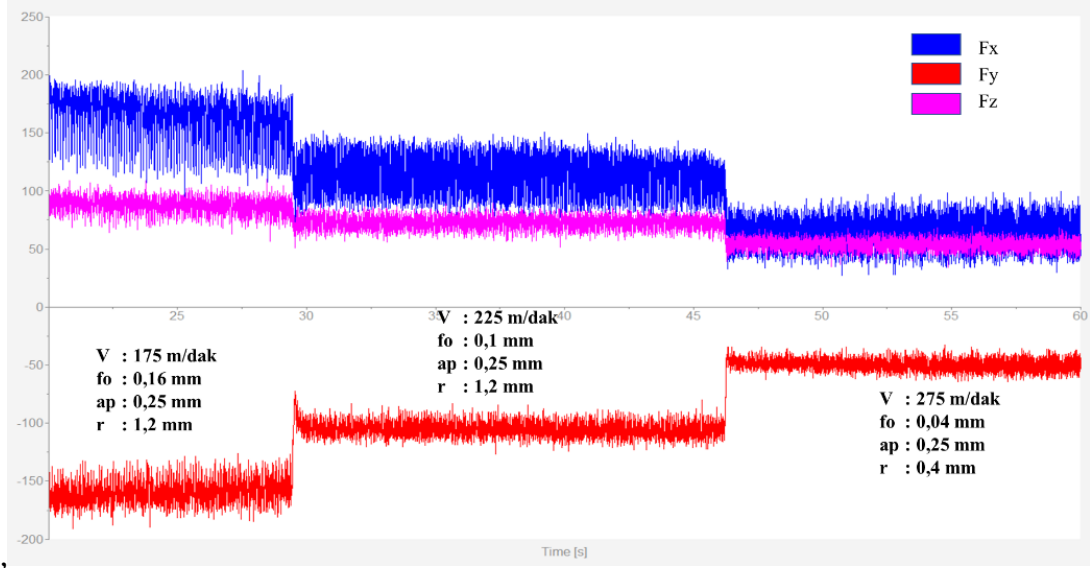
Tablo 4.27. Deney No:03 Model Özeti

Sonuçlar	R ²	Düzeltilmiş R ²
Fx	99,54%	%98,15
Fy	99,96%	%99,84
Fz	99,58%	%98,30
Ra	98,75%	%95,02

Sonuç olarak; sabit talaş derinliğinde kesme hızının tüm eksen kuvvetleri üzerinde en az etkiye sahip parametre olduğu, ilerlemenin Tablo 4.26'dan Fx ve Fy üzerinde en önemli parametre olduğu anlaşılmaktadır. Talaş derinliğinin sabit seçilmesi durumunda Fz kuvveti için en etkili parametrenin uç yarıçapı, en az etkili parametrenin ise kesme hızı olduğu anlaşılmaktadır. Ra yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme parametresi, en etkisiz parametrenin ise uç yarıçapı olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen sonuçların literatür (Atakök, 2008) ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 incelendiğinde uç yarıçapının artmasıyla Fx kuvvetinin Fz kuvvetine göre arttığı, takım uç yarıçapının azalmasıyla ise Fz kuvvetinin Fx kuvvetine göre azaldığı (Sekmen, 2013) gözlemlenmiştir. Fy kuvvetinin Şekil 4.17'den de anlaşılacağı üzere sabit uç yarıçapı ve talaş derinliğinde kesme hızının artmasıyla genliğinin arttığı görülmektedir. Sabit talaş derinliğinde Fx kuvvetinin genliğinin Fz kuvvetinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarının güvenilirliği Tablo 4.27'den incelendiğinde R² değerlerinin çok yüksek olduğu, Düzeltilmiş R² değerlerinin ise modelin tahmininde %95'in üzerinde güvenilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır. DIN 100Cr6 malzeme ile yapılan deneyde seçilen parametre ve düzeylerinin kararlı bir kesme rejimi ve yüzey bütünlüğü oluşturduğu analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır.



Şekil 4.17. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği



Şekil 4.18. Kesme Hızı-İlerleme Etkileşimi Kesme Kuvvetleri Grafiği

4.1.4. Deney No:04 Analizi

Deney No:4'te AISI 3343 malzemeyle 150 m/dk. sabit kesme hızı değerinde, Tablo 4.28'de belirtilen üç farklı uç radiusu, ilerleme değeri ve talaş derinliği değerinde, Taguchi L₉ (3³) ortogonal dizini kullanılarak deney yapılmıştır. Elde edilen ana eksen kesme kuvveti değerleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Tablo 4.28. Deney No:04 Sonuçlar Tablosu

Deney No	r_e (mm)	f_o (mm)	a_p (mm)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	R_a (μm)
1	0,2	0,025	0,05	17,71	7,64	29,82	0,212
2	0,2	0,05	0,1	25,70	24,21	41,06	0,148
3	0,2	0,075	0,15	33,92	46,97	52,26	0,377
4	0,4	0,025	0,1	31,14	12,28	35,42	0,229
5	0,4	0,05	0,15	44,37	34,03	49,42	0,254
6	0,4	0,075	0,05	18,65	5,31	25,14	0,527
7	0,8	0,025	0,15	66,12	36,8	46,55	0,304
8	0,8	0,05	0,05	39,83	12,95	27,51	0,237
9	0,8	0,075	0,1	65,78	41,99	39,26	0,477

Tablo 4.29. Deney No:04 F_x Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
r	2	81,640	81,6399	40,8200	26,91	0,036
fo	2	0,615	0,6146	0,3073	0,20	0,832
ap	2	53,840	53,8399	26,9200	17,74	0,053
Artık Hatası	2	3,034	3,0343	1,5172		
Toplam	8	139,129				

Tablo 4.30. Deney No:04 F_x Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	r	fo	ap
1	-27,92	-30,41	-27,46
2	-29,41	-31,05	-31,48
3	-34,92	-30,79	-33,32
Delta	7,00	0,64	5,86
Sıra	1	3	2

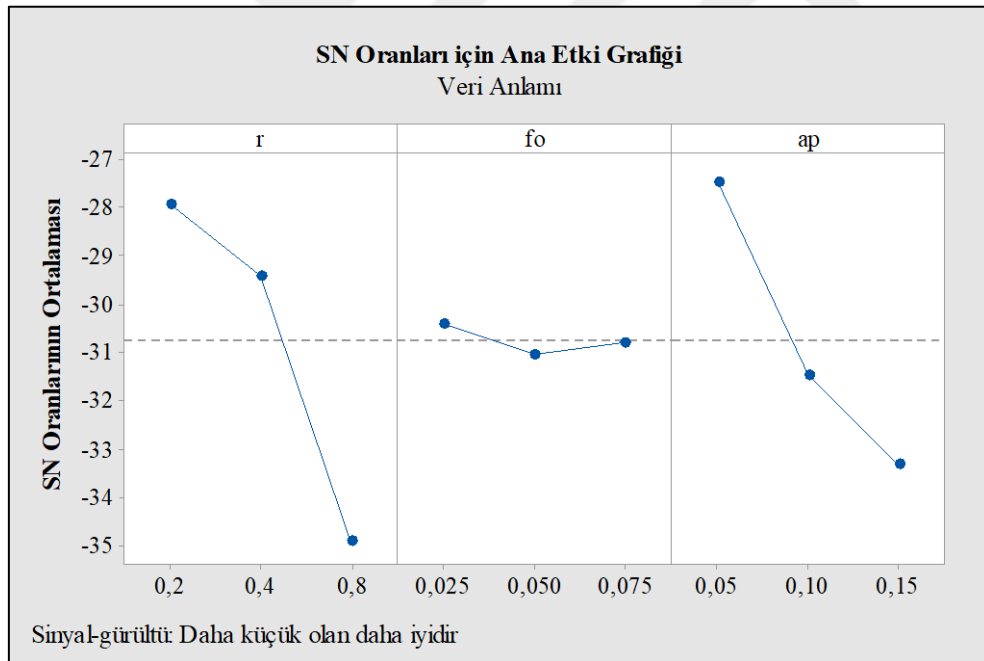
Tablo 4.29'daki Fx kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında, takım uç radiusu parametresinin anlamlı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerin model üzerinde anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.30'daki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fx ekseninde oluşan kuvvete en fazla takım uç radiusu parametresinin, sırasıyla da talaş derinliği ve ilerleme parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.31. Deney No:04 Fx Kuvveti Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
1,2317	%97,82	%91,28

Tablo 4.31'deki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin, R² =%94,76 ve düzeltilmiş R²=%91,28 olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.19. Deney No:04 Fx Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Fx kuvveti değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.19'daki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden takım uç radiusu değerinin 0,2 mm, ilerleme değerinin 0,025 mm ve talaş derinliği değerinin 0,05 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.32. Deney No:04 Fy Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
r	2	61,995	61,995	30,998	7,03	0,125
fo	2	20,996	20,996	10,498	2,38	0,296
ap	2	290,886	290,886	145,443	32,99	0,029
Artık Hatası	2	8,818	8,818	4,409		
Toplam	8	382,694				

Tablo 4.32'deki Fy kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında, talaş derinliği parametresinin anlamlı, ilerleme ve takım uç radyusu parametrelerin model üzerinde anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.33. Deney No:04 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

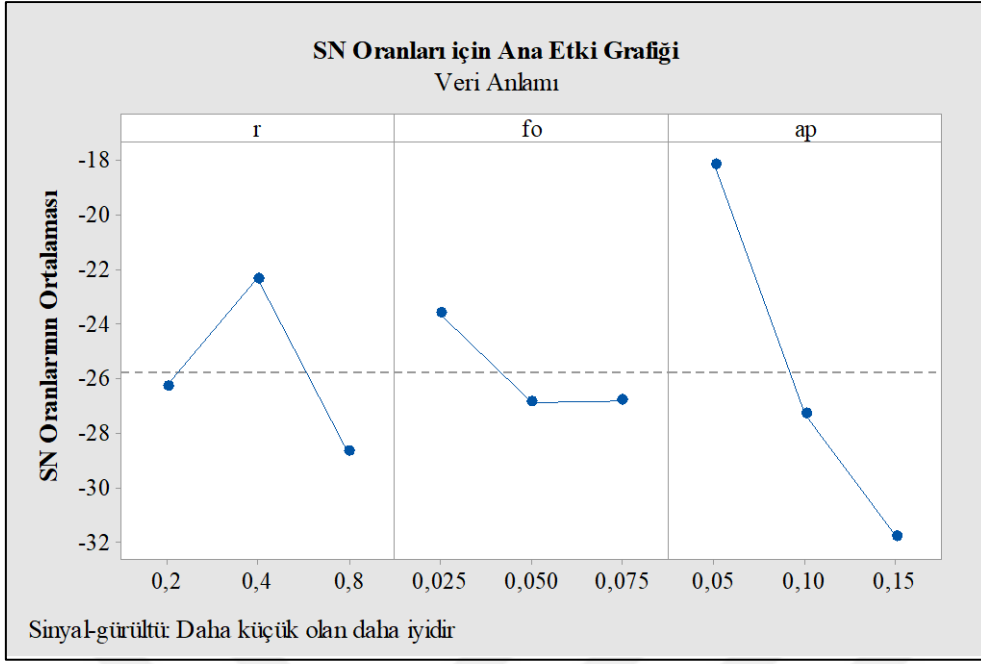
Seviye	r	fo	ap
1	-26,26	-23,59	-18,14
2	-22,31	-26,85	-27,31
3	-28,68	-26,80	-31,80
Delta	6,37	3,27	13,66
Sıra	2	3	1

Tablo 4.33'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fy ekseninde oluşan kuvvete en fazla talaş derinliği parametresinin, sırasıyla da takım uç radyusu ve ilerleme parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.34. Deney No:04 Fy Kuvveti Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
2,0997	%97,70	%90,78

Tablo 4.34'teki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin, R² =%97,64 ve düzeltilmiş R²=%90,78 olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.20. Deney No:04 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Fy kuvveti değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.20’deki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden takım uç radiusu değerinin 0,4 mm, ilerleme değerinin 0,025 mm ve talaş derinliği değerinin 0,05 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.35’teki Fz kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P’ye bakıldığında, talaş derinliği parametresinin model üzerinde anlamlı, diğer parametrelerin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.35. Deney No:04 Fz Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
r	2	1,8110	1,8110	0,9055	3,99	0,200
fo	2	0,2067	0,2067	0,1034	0,46	0,687
ap	2	39,3932	39,3932	19,6966	86,76	0,011
Artık Hatası	2	0,4540	0,4540	0,2270		
Toplam	8	41,8649				

Tablo 4.36’daki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fz ekseninde oluşan kuvvete en fazla talaş derinliği parametresinin, sırasıyla da takım uç radiusu ve ilerleme parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.36. Deney No:04 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

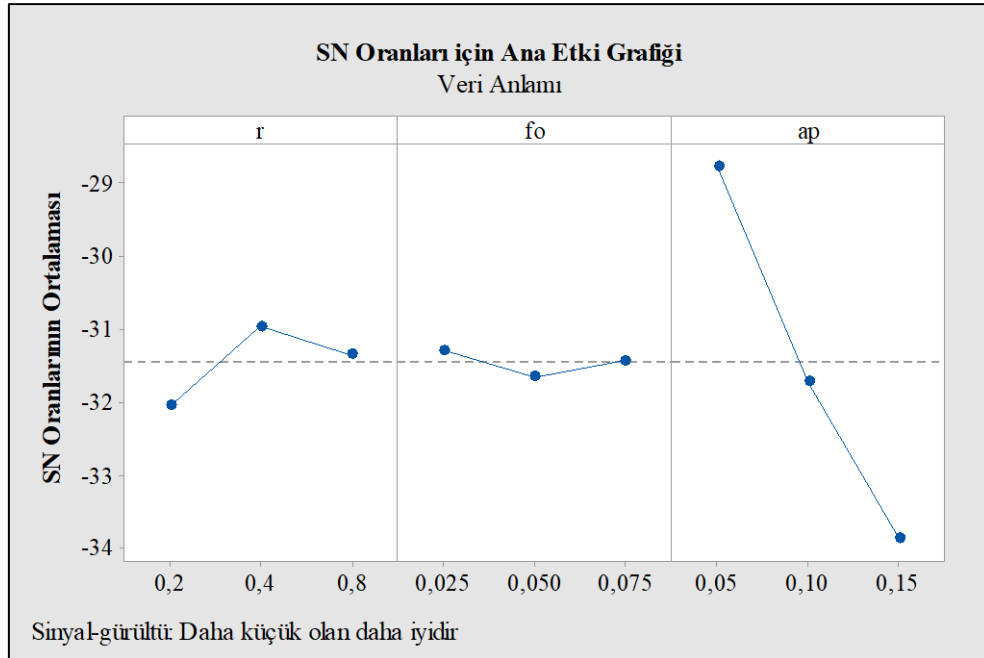
Seviye	r	fo	ap
1	-32,04	-31,28	-28,76
2	-30,96	-31,65	-31,71
3	-31,34	-31,42	-33,87
Delta	1,08	0,37	5,10
Sıra	2	3	1

Tablo 4.37. Deney No:04 Fz Kuvveti Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,4765	%98,92	%95,66

Tablo 4.37'deki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Fz kuvveti değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.21'deki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden takım uç yarıçapı değerinin 0,4 mm, ilerleme değerinin 0,025 mm ve talaş derinliği değerinin 0,05 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

**Şekil 4.21.** Deney No:04 Fz Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.38'deki Ra yüzey pürüzlülüğü için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında, ilerleme ve takım

uç radyusu parametresinin anlamlı, talaş derinliği parametresinin ise model üzerinde anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.38. Deney No:04 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
r	2	17,246	17,2461	8,6231	25,77	0,037
fo	2	77,986	77,9858	38,9929	116,51	0,009
ap	2	5,016	5,0158	2,5079	7,49	0,118
Artık Hatası	2	0,669	0,6693	0,3347		
Toplam	8	100,917				

Tablo 4.39. Deney No:04 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	r	fo	ap
1	12,847	12,206	10,514
2	10,090	13,668	11,943
3	9,759	6,822	10,240
Delta	3,088	6,846	1,703
Sıra	2	1	3

Tablo 4.39'daki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da takım uç radyusu ve talaş derinliği parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

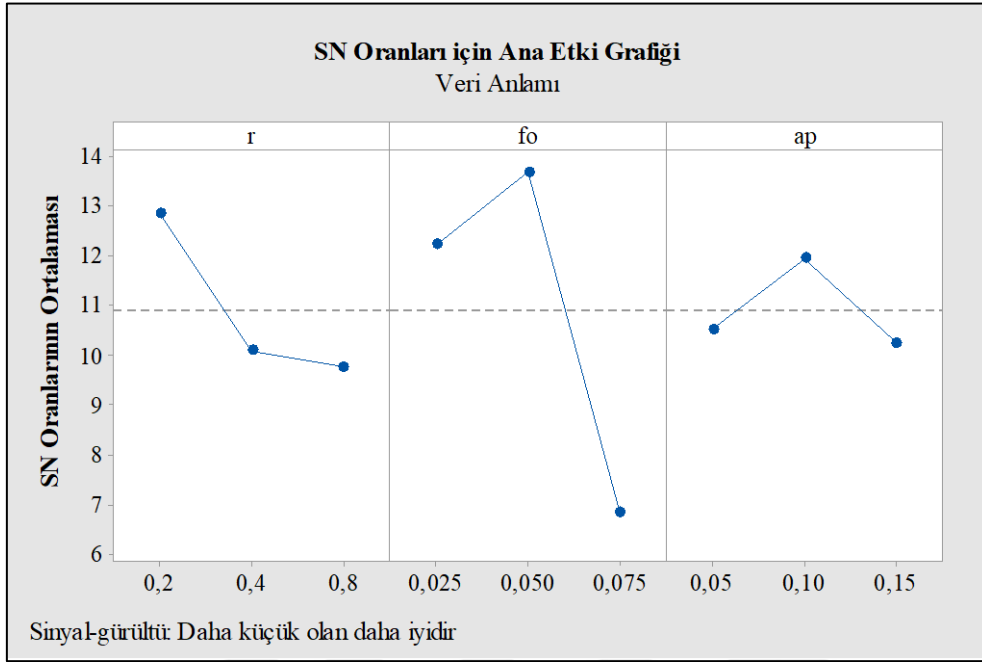
Tablo 4.40. Deney No:04 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,5785	%99,34	%97,35

Tablo 4.40'daki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin ölçülen verilerle uyumluluğunun oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Ra yüzey pürüzlülüğü değeri için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.22'deki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden takım uç radyusu değerinin 0,2 mm,

ilerleme değerin 0,05 mm ve talaş derinliği değerin 0,1 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.22. Deney No:04 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.41. Deney No:04 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu

Parametreler	r	fo	ap
Fx için Önem Seviyesi	1	3	2
Fy için Önem Seviyesi	2	3	1
Fz için Önem Seviyesi	2	3	1
Ra için Önem Seviyesi	2	1	3

Sonuç olarak; kesme hızının 150 m/dk. sabit tutulması durumunda Fy ve Fz kuvvetleri için en önemli parametrenin Tablo 4.42’de talaş derinliği, ikinci önemli parametrenin ise takım uç yarıçapı olduğu ortaya çıkmıştır. Fx kuvvetinin takım uç yarıçapına hassasiyetinin artmasında özel bir durum olan 0,2 mm takım uç yarıçapının etkili olduğu değerlendirilmektedir. Fx kuvveti için en önemli parametrenin takım uç yarıçapı çıkmasından da bu hassasiyet anlaşılmaktadır. Takım uç yarıçapının azalmasıyla Fx kuvveti Fz kuvvetine göre Tablo 4.28’den de anlaşılabileceği üzere belirgin oranda azalmaktadır. Bu durum literatür ile (Sekmen, 2013) uyumludur. Takım uç yarıçapının artmasıyla Fx kuvveti Fz kuvvetine göre artmaktadır. Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme parametresinin en

önemli parametre, sırasıyla da uç radiusu ve talaş derinliği parametresinin (Zeqiri, 2018) olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.42. Deney No:04 Model Özeti

Sonuçlar	R ²	Düzeltilmiş R ²
F _x	97,82%	%91,28
F _y	97,70%	%90,78
F _z	98,92%	%95,66
R _a	99,34%	%97,35

Tablo 4.42’de deney sonuçlarının güvenilirliği incelendiğinde R² değerlerinin yüksek olduğu, düzeltilmiş R² değerlerinin ise modelin tahmininde F_z ve R_a için %95’in üzerinde güvenilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır. F_x ve F_y kuvvetleri için parametrelerin model tahmininin %90’nın üzerinde kararlı sonuçlar vereceği gözlemlenmiştir.

4.1.5. Deney No:05 Analizi

Tablo 4.43. Deney No:05 Sonuçlar Tablosu

Deney No	Kesici Türü	r _e (mm)	V (m/dk.)	f _o (mm)	a _p (mm)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	R _a (μm)
1	CBN	1,2	90	0,05	0,45	170,0	132,7	126,6	0,232
2	CBN	1,2	90	0,15	0,45	278,8	275,5	180,5	0,635
3	CBN	1,2	90	0,15	0,45	279,1	279,5	182,4	0,585
4	CBN	1,2	170	0,25	0,3	253,7	267,4	128,8	1,458
5	CBN	1,2	170	0,05	0,3	136,0	94,3	88,2	0,145
6	CBN	1,2	170	0,05	0,3	136,8	96,8	88,8	0,168
7	CBN	1,2	130	0,15	0,15	149,9	116,3	70,1	0,602
8	CBN	1,2	130	0,25	0,15	195,8	169,2	80,6	1,669
9	CBN	1,2	130	0,25	0,15	193,8	169,6	79,5	1,67
10	CBN	0,8	170	0,25	0,45	243,3	405,6	199,6	1,983
11	CBN	0,8	170	0,25	0,45	153,9	301,7	149,7	1,967

Tablo 4.43. (Devam) Deney No: 05 Sonuçlar Tablosu

Deney No	Kesici Türü	r_e (mm)	V (m/dk.)	f_o (mm)	ap (mm)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	Ra (μm)
12	CBN	0,8	130	0,15	0,45	205,1	196,4	186,5	0,587
13	CBN	0,8	130	0,15	0,3	188,4	147,6	165,2	0,521
14	CBN	0,8	130	0,15	0,3	167,7	140,5	153,5	0,444
15	CBN	0,8	90	0,05	0,3	181,3	145,7	161,8	0,238
16	CBN	0,8	90	0,05	0,15	307,8	155,1	180,2	0,479
17	CBN	0,8	90	0,05	0,15	279,1	151,4	161,4	0,675
18	CBN	0,8	170	0,25	0,15	455,7	302,8	213,0	17,832
19	Seramik	1,2	130	0,05	0,45	77,9	87,5	70,5	0,151
20	Seramik	1,2	90	0,25	0,45	229,5	306,4	137,6	1,502
21	Seramik	1,2	170	0,15	0,45	152,6	200,8	107,6	0,584
22	Seramik	1,2	90	0,25	0,3	167,1	202,1	86,9	1,502
23	Seramik	1,2	170	0,15	0,3	110,3	129,5	70,3	0,568
24	Seramik	1,2	130	0,05	0,3	64,2	62,8	52,5	0,154
25	Seramik	1,2	170	0,15	0,15	49,3	49,7	36,2	0,633
26	Seramik	1,2	130	0,05	0,15	27,1	23,3	31,6	0,17
27	Seramik	1,2	90	0,25	0,15	96,2	83,8	43,0	1,531
28	Seramik	0,8	170	0,05	0,45	75,4	68,4	77,1	0,185
29	Seramik	0,8	130	0,25	0,45	47,6	126,7	17,9	2,293
30	Seramik	0,8	130	0,05	0,45	65,7	62,3	71,1	0,201
31	Seramik	0,8	130	0,25	0,3	10,9	31,7	62,5	2,282
32	Seramik	0,8	90	0,15	0,3	30,5	21,3	73,2	0,845
33	Seramik	0,8	90	0,25	0,3	15,6	36,0	60,3	2,27
34	Seramik	0,8	90	0,15	0,15	96,9	104,9	114,0	0,914
35	Seramik	0,8	170	0,05	0,15	119,5	131,0	118,9	0,144
36	Seramik	0,8	170	0,15	0,15	94,1	108,5	114,5	0,909

Deney No:05'te DIN 2379 malzemeye CBN ve Seramik kesici uç kullanılarak, Tablo 4.43'te belirtilen iki farklı kesici ve uç radyusunda, üç farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde, Taguchi L₃₆ (2²-3³) ortogonal dizini kullanılarak deney yapılmıştır. Elde edilen ana eksen kesme kuvveti (Fx, Fy ve Fz) ve Ra yüzey pürüzlülüğü değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Tablo 4.44. Deney No:05 Fx Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kesici	1	746,60	547,680	547,680	198,90	0,000
r	1	48,99	12,210	12,210	4,43	0,103
V	2	151,50	21,224	10,612	3,85	0,117
fo	2	2,68	4,763	2,382	0,86	0,487
ap	2	131,79	4,192	2,096	0,76	0,525
kesici*r	1	100,24	68,494	68,494	24,88	0,008
kesici*V	2	34,07	20,526	10,263	3,73	0,122
kesici*fo	2	24,78	24,794	12,397	4,50	0,095
kesici*ap	2	79,74	43,651	21,826	7,93	0,041
r*V	2	117,35	34,924	17,462	6,34	0,057
r*fo	2	48,69	19,491	9,746	3,54	0,130
r*ap	2	176,19	125,120	62,560	22,72	0,007
V*ap	4	2,66	2,657	0,664	0,24	0,901
Artık Hatası	4	11,01	11,014	2,754		
Toplam	29	1676,28				

Tablo 4.44'teki Fx kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında istatistiksel olarak kesici türünün sonuçlar üzerinde anlamlı olduğu, diğer parametrelerin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.45'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fx kuvvetine en fazla kesici türü parametresinin, sırasıyla da kesme hızı, talaş derinliği, uç radyusu ve ilerleme parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

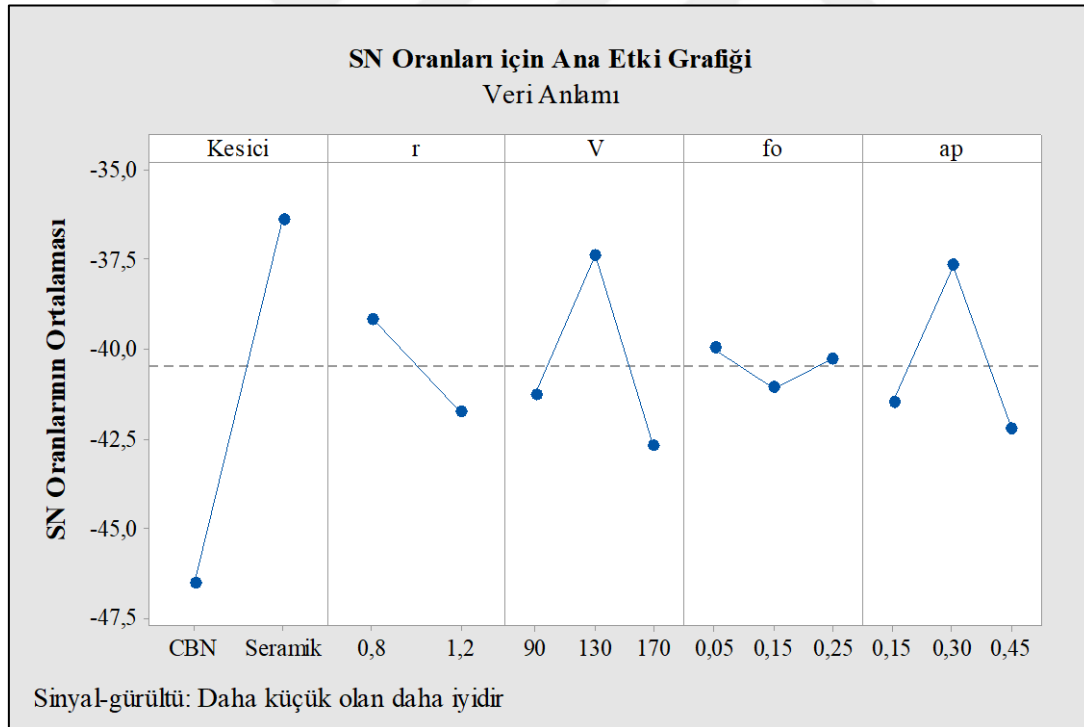
Tablo 4.45. Deney No:05 Fx Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	Kesici	r	V	fo	ap
1	-46,56	-39,18	-41,26	-39,99	-41,48
2	-36,38	-41,73	-37,39	-41,09	-37,67
3			-42,71	-40,27	-42,21
Delta	10,18	2,56	5,32	1,10	4,54
Sıra	1	4	2	5	3

Tablo 4.46. Deney No:05 Fx Kuvveti Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
1,6594	%99,34	%95,24

Tablo 4.46'daki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

**Şekil 4.23.** Deney No:05 Fx SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Fx kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.23'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kesici türünün seramik KY4400, takım uç radiusunun 0,8 mm, kesme hızı değerinin 130 m/dk., ilerleme değerinin 0,05 mm ve talaş derinliği değerinin 0,3 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.47'deki Fy kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında istatistiksel olarak uç radyusunun anlamlı olmadığı, diğer parametrelerin etkileşimlerinin anlamlı olduğu sonucuna varılabilir.

Tablo 4.47. Deney No:05 Fy Kuvveti SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kesici	1	367,62	265,044	265,044	326,51	0,000
r	1	15,41	2,646	2,646	3,26	0,145
V	2	105,49	45,469	22,734	28,01	0,004
fo	2	92,32	77,484	38,742	47,73	0,002
ap	2	178,44	67,415	33,707	41,52	0,002
kesici*r	1	55,22	38,520	38,520	47,45	0,002
kesici*V	2	15,46	30,725	15,362	18,93	0,009
kesici*fo	2	9,60	22,772	11,386	14,03	0,016
kesici*ap	2	33,77	78,579	39,289	48,40	0,002
r*V	2	36,10	26,760	13,380	16,48	0,012
r*fo	2	31,68	57,967	28,984	35,71	0,003
r*ap	2	284,38	212,909	106,454	131,14	0,000
V*ap	4	0,27	0,267	0,067	0,08	0,984
Artık Hatası	4	3,25	3,247	0,812		
Toplam	29	1229,01				

Tablo 4.48. Deney No:05 Fy Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

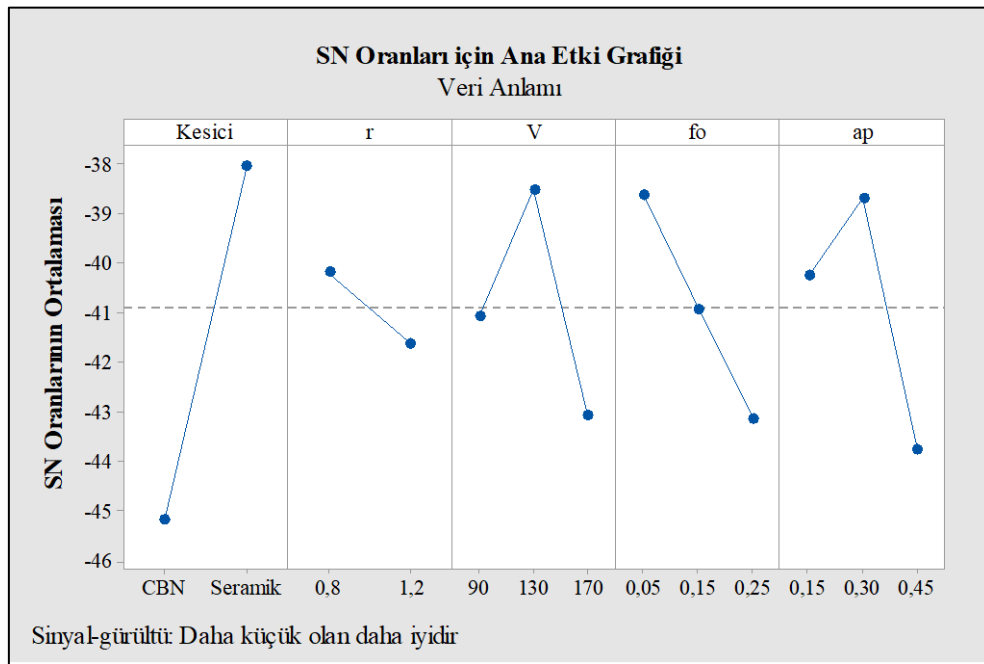
Seviye	Kesici	r	V	fo	ap
1	-45,17	-40,17	-41,07	-38,61	-40,24
2	-38,03	-41,60	-38,50	-40,91	-38,66
3			-43,08	-43,13	-43,75
Delta	7,15	1,43	4,58	4,52	5,09
Sıra	1	5	3	4	2

Tablo 4.48'deki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fy kuvvetine en fazla kesici türü parametresinin, sırasıyla da talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme ve uç radyusu parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.49. Deney No:05 Fy Kuvveti Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,9010	%99,74	%98,08

Tablo 4.49'daki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.24. Deney No:05 Fy Kuvveti SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Fy kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.24'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kesici türünün seramik KY4400, takım uç radiusunun 0,8 mm, kesme hızı değerinin 130 m/dk., ilerleme değerinin 0,05 mm ve talaş derinliği değerinin 0,3 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.50'deki Fz kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında istatistiksel olarak kesici türünün anlamlı olduğu, diğer parametrelerin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.50. Deney No:05 Fz Kuvveti Kuvveti SN oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Kesici	1	283,540	181,269	181,269	30,45	0,005
r	1	39,993	29,003	29,003	4,87	0,092
V	2	102,965	12,205	6,102	1,03	0,437
fo	2	15,596	10,926	5,463	0,92	0,470
ap	2	18,279	22,458	11,229	1,89	0,265
kesici*r	1	22,099	19,730	19,730	3,31	0,143
kesici*V	2	12,694	24,251	12,125	2,04	0,245
kesici*fo	2	39,520	1,188	0,594	0,10	0,907
kesici*ap	2	2,006	26,189	13,094	2,20	0,227
r*V	2	30,216	1,199	0,599	0,10	0,906
r*fo	2	17,645	39,731	19,866	3,34	0,140
r*ap	2	136,434	105,087	52,544	8,83	0,034
V*ap	4	4,573	4,573	1,143	0,19	0,930
Artık Hatası	4	23,812	23,812	5,953		
Toplam	29	749,371				

Tablo 4.51. Deney No:05 Fz Kuvveti Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	Kesici	r	V	fo	ap
1	-42,76	-40,15	-40,43	-38,74	-38,38
2	-36,49	-37,84	-36,38	-39,99	-38,83
3			-40,18	-38,26	-39,78
Delta	6,28	2,31	4,05	1,73	1,39
Sıra	1	3	2	4	5

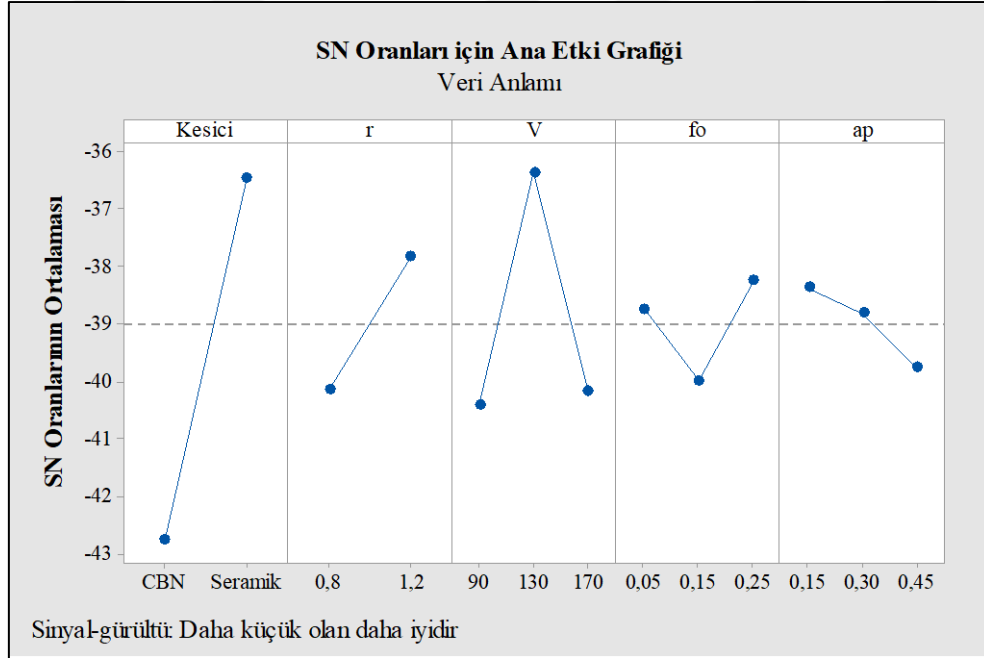
Tablo 4.51'deki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Fz kuvvetine en fazla kesici türü parametresinin, sırasıyla da kesme hızı, uç radiusu, ilerleme ve talaş derinliği parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.52'deki R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin verilerle uyumluluğunun, $R^2 = \%96,82$ ve düzeltilmiş $R^2 = \%76,96$ olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.52. Deney No:05 Fz Kuvveti Model Özeti

S	R^2	Düzeltilmiş R^2
2,4399	$\%96,82$	$\%76,96$

Fz kuvveti için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.25'teki SN Oranları için Ana Etki Grafiğinden kesici türünün seramik KY4400, takım uç radiusunun 1,2 mm, kesme hızı değerinin 130 m/dk., ilerleme değerinin 0,25 mm ve talaş derinliği değerinin 0,15 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.25. Deney No:05 Fz SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.53'deki R_a yüzey pürüzlülüğü için elde edilen değerlere göre yapılan analizde ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında istatistiksel olarak ilerleme ve talaş derinliği parametresinin anlamlı olduğu, diğer parametrelerin etkileşimlerinin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.53. Deney No:05 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Varyans Analizi

Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
kesici	1	31,36	23,735	23,735	3,96	0,118
r	1	106,32	44,246	44,246	7,38	0,053
V	2	87,89	45,343	22,671	3,78	0,120
fo	2	2150,18	635,031	317,516	52,94	0,001
ap	2	66,41	104,506	52,253	8,71	0,035
kesici*r	1	13,99	11,845	11,845	1,97	0,233
kesici*V	2	75,95	17,419	8,710	1,45	0,336
kesici*fo	2	8,50	12,395	6,197	1,03	0,435
kesici*ap	2	117,01	105,919	52,960	8,83	0,034
r*V	2	12,26	19,726	9,863	1,64	0,301
r*fo	2	39,91	32,789	16,394	2,73	0,179
r*ap	2	1,75	1,303	0,652	0,11	0,900
V*ap	4	7,31	7,306	1,826	0,30	0,862
Artık Hatası	4	23,99	23,993	5,998		
Toplam	29	2742,83				

Tablo 4.54. Deney No:05 Ra Sinyal-Gürültü Oranlarına İlişkin Yanıt Tablosu

Seviye	Kesici	r	V	fo	ap
1	2,238	1,608	1,845	13,938	1,369
2	4,325	5,373	5,851	3,625	3,639
3			2,775	-7,092	5,464
Delta	2,087	3,765	4,005	21,031	4,094
Sıra	5	4	3	1	2

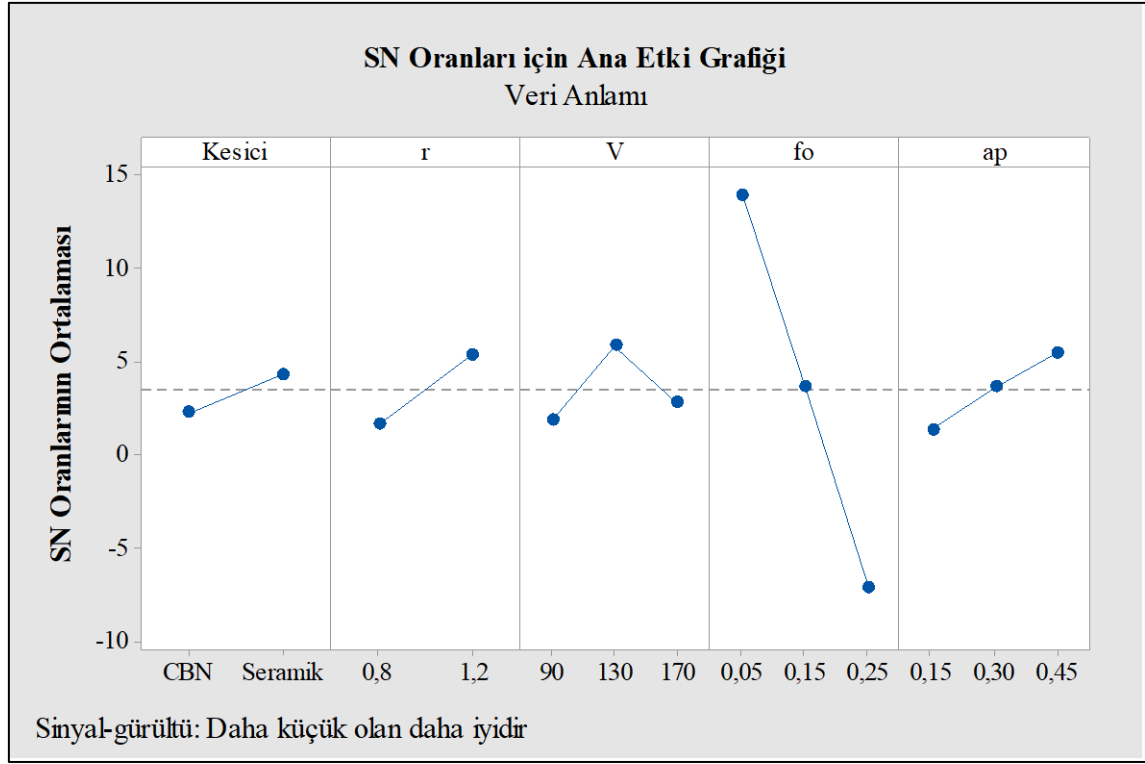
Tablo 4.54'teki parametrelerin sonuçlar üzerine olan etkisi incelendiğinde, Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin, sırasıyla da talaş derinliği, kesme hızı, uç yarıçapı ve kesici türü parametresinin etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 4.55'teki R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.55. Deney No:05 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Model Özeti

S	R^2	Düzeltilmiş R^2
2,4491	%99,13	%93,66

Ra yüzey pürüzlülüğü için en küçük değerin elde edilmesi hedeflendiğinde, Şekil 4.26'daki SN Oranları için Ana Etki Grafiği incelendiğinde Kesici türünün seramik KY4400, takım uç radiusunun 1,2 mm, kesme hızı değerinin 130 m/dk., ilerleme değerinin 0,05 mm ve talaş derinliği değerinin 0,45 mm olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.26. Deney No:05 Ra Yüzey Pürüzlülüğü SN Oranları için Ana Etki Grafiği

Tablo 4.56. Deney No:05 Parametreler Önem Düzeyleri Tablosu

Parametreler	Kesici	r	V	fo	ap
Fx için Önem Seviyesi	1	4	2	5	3
Fy için Önem Seviyesi	1	5	3	4	2
Fz için Önem Seviyesi	1	3	2	4	5
Ra için Önem Seviyesi	5	4	3	1	2

Tablo 4.57. Deney No:05 Model Özeti

Sonuçlar	R ²	Düzeltilmiş R ²
Fx	99,34%	%95,24
Fy	99,74%	%98,08
Fz	96,82%	%76,96
Ra	99,13%	%93,66

Sonuç olarak; kesici türünün CBN ve Seramik olması durumunda tüm eksen kuvvetleri için kesici malzemesinin en önemli parametre olduğu (Gürbüz, 2012) anlaşılmıştır. Fx ve Fz kuvveti için kesme hızı parametresinin, kesici takım türünden sonra önemli parametre olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 4.43'teki veriler incelendiğinde 1,2 mm takım uç radiusu ile yapılan talaş kaldırmada Fx kuvvetinin Fz kuvvetine göre büyük, 0,8 mm takım uç radiusu ile yapılan talaş kaldırmada ise Fx kuvvetinin Fz kuvvetine göre küçük olduğu tespit edilmiştir. Takım uç radiusuna karşı Fx ve Fz kuvvetlerinin duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarının güvenilirliği Tablo 4.57'den incelendiğinde R² değerlerinin yüksek olduğu, fakat Fz'nin Düzeltilmiş R² değerlerinin ise modelin tahmininde %76,96 güvenilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yorulma ömrüne etki eden parametrelerin araştırılması için parametrelerin kararlı sonuçlar vermesi önemlidir. Fz kuvvetinde elde edilecek değerlerin kararlı sonuçlar vermeyeceği gözlemlenmiştir.

Birinci grup deney sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda;

- En kararlı sonuçlarının DIN 100Cr6 malzeme kullanıldığında elde edileceği,
- Kesici takımın KY4400 kaplı seramik kesici uç olması gerektiği,
- Ana parametre olarak kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği ve uç radiusu parametresinin kullanılmasının faydalı olacağı,
- Parametre değişkeni olarak üç farklı kesme derinliği, ilerleme hızı, talaş derinliği ve uç radiusu değeri kullanılmasının gerektiği belirlenmiştir.
- Birinci grup denemelerin yapılmasını müteakip, imalat parametrelerinin etkilerinin araştırılması aşamasında Tablo 3.17'deki parametreler ve düzeyleri belirlenmiştir.

Kesme hızı parametresinin düzeylerinin belirlenmesinde, CNC torna tezgahının maksimum devri dikkate alınarak, yorulma deney numunesinin 10 mm test bölgesi olan çapı için Tablo 3.17'de belirtilen kesme parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere göre

hesaplanan değerler Tablo 3.18’de gösterilmiştir. İmalat parametrelerinin belirlenmesinde maksimum CNC tezgâh iş mili devri ve Z eksen ilerleme değeri kısıtlayıcı faktör olarak ortaya çıkmıştır. Yorulma numunesi test bölgesi çapının küçülmesi ve kesme hızının artırılması durumunda, daha fazla devir sayısı ihtiyacını ortaya çıkılmaktadır.

Tablo 3.17. Kesme Parametreleri

Kesme Hızı (m/dk.)	İlerleme (mm/dev.)	Kesme Derinliği (mm)		
50	0,06	0,10	0,10	0,20
75	0,09	0,25	0,45	0,50
100	0,12	0,40	0,80	0,80

CNC tezgâh iş mili devir sayısının 4000 dev/dk. olması, yüksek kesme hızlarının araştırılmasında kısıtlayıcı rol oynamıştır. Devir sayısına bağlı ilerleme değeri Z ekseninde çalışmadaki diğer kısıtlayıcı bir faktör olarak kendini göstermiştir.

Tablo 3.18. Tezgâh Kapasitesi Değerlendirme Tablosu

Kesme Hızı / Devir Sayısı (dev / dk.)	İlerleme
50 / 1591	191,0 mm/ dk. - 11,45 m/ dk.
75 / 2387	286,5 mm/dk. - 17,18 m/dk.
100 / 3183	382,0 mm/dk. - 22,91 m/dk.

4.2. İkinci Grup Deney Analizleri

4.2.1. Deney No:11 Analizi

Tablo 4.58. Deney No:11 Sonuçlar Tablosu

Deney No	re (mm)	V (m/dk.)	fo (mm)	ap (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fr (N)	Ft (N)	Ff (N)	Fc (N)	Fn (N)	Ra (μm)
1	0,4	50	0,06	0,1	52,1	40,7	20,4	52,7	41,2	20,6	70,0	56,6	0,602
2	0,4	100	0,12	0,1	59,3	56,5	20,7	60,0	57,1	21,0	85,4	63,5	1,093
3	0,4	100	0,06	0,4	74,5	106,6	75,5	75,3	107,8	76,3	152,0	107,2	0,559
4	0,4	50	0,12	0,4	121,6	194,4	117,6	122,9	196,6	118,9	260,5	171,0	1,117

Tablo 4.58. (Devam) Deney No: 11 Sonuçlar Tablosu

Deney No	re (mm)	V (m/dk.)	fo (mm)	ap (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fr (N)	Ft (N)	Ff (N)	Fc (N)	Fn (N)	Ra (μm)
5	0,4	75	0,09	0,25	97,8	102,8	63,5	98,8	103,9	64,2	157,2	117,9	1,069
6	0,4	75	0,09	0,25	100,4	110,3	65,8	101,5	111,5	66,5	164,8	121,4	1,026
7	0,4	100	0,06	0,1	44,6	31,1	16,6	45,1	31,4	16,8	57,5	48,2	0,496
8	0,4	50	0,12	0,1	73,6	69,7	26,2	74,4	70,5	26,5	105,9	79,0	1,164
9	0,4	50	0,06	0,4	90,8	119,0	93,4	91,8	120,3	94,5	178,4	131,8	0,713
10	0,4	100	0,12	0,4	114,0	182,4	108,3	115,3	184,4	109,5	243,5	159,0	1,139
11	0,4	75	0,09	0,25	94,5	104,6	60,9	95,5	105,8	61,6	155,3	113,7	1,037
12	0,4	75	0,09	0,25	93,0	102,0	59,4	94,0	103,1	60,1	152,0	111,6	1,063
13	0,4	34,175	0,09	0,25	99,9	107,7	62,6	101,0	108,9	63,3	161,4	119,2	1,118
14	0,4	115,825	0,09	0,25	74,0	98,3	54,0	74,8	99,4	54,6	135,9	92,7	0,807
15	0,4	75	0,04101	0,25	53,2	55,1	43,8	53,8	55,7	44,3	89,2	69,7	0,311
16	0,4	75	0,13899	0,25	103,2	126,9	59,4	104,3	128,3	60,1	175,9	120,4	1,586
17	0,4	75	0,09	0,00505	19,6	9,7	2,7	19,9	9,8	2,7	22,3	20,0	0,924
18	0,4	75	0,09	0,49495	115,5	187,9	138,4	116,8	190,0	139,9	263,3	182,3	1,219
19	0,4	75	0,09	0,25	93,4	101,6	59,6	94,4	102,7	60,3	152,0	112,1	1,052
20	0,4	75	0,09	0,25	93,9	100,3	58,9	95,0	101,4	59,6	151,2	112,1	1,065

Deney No:11’de DIN 100Cr6 malzemeyle seramik kesici uç kullanılarak Tablo 4.58’de belirtilen sabit kesici uç radiusuna sahip seramik kesici ile üç farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde, Yanıt yüzey Yöntemi Merkezi Kompozit Tasarımı L_{20} ortogonal dizini kullanılarak deney yapılmıştır. Elde edilen F_n ve R_a değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Tablo 4.59’daki F_n kuvveti için yapılan analizde, ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P ’ye bakıldığında istatistiksel olarak model, kare, doğrusal, ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı parametresinin anlamlı olduğu, iki yönlü etkileşimin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

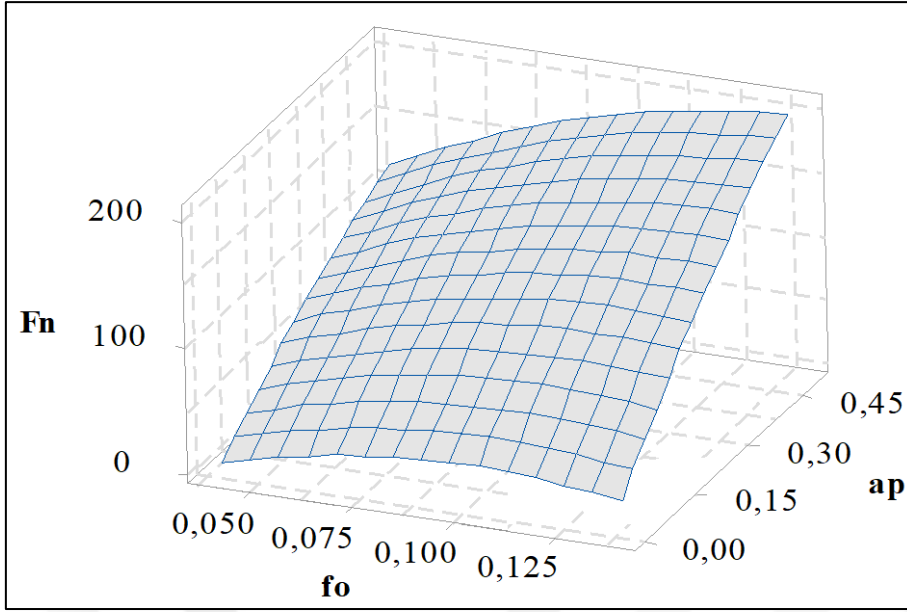
Tablo 4.59. Deney No:11 Fn Kuvveti Varyans Analizi

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	11	31253,0	2841,2	58,10	0,000
Bloklar	2	51,3	25,6	0,52	0,611
Doğrusal	3	29981,3	9993,8	204,38	0,000
Kesme Hızı	1	807,1	807,1	16,50	0,004
İlerleme	1	3361,3	3361,3	68,74	0,000
Talaş Derinliği	1	25812,9	25812,9	527,89	0,000
Kare	3	842,0	280,7	5,74	0,022
Kesme Hızı*Kesme Hızı	1	90,1	90,1	1,84	0,212
İlerleme*İlerleme	1	591,4	591,4	12,10	0,008
Talaş Derinliği*Talaş Derinliği	1	255,2	255,2	5,22	0,052
2 Yönlü Etkileşim	3	378,5	126,2	2,58	0,126
Kesme Hızı*İlerleme	1	3,7	3,7	0,08	0,790
Kesme Hızı*Talaş Derinliği	1	20,3	20,3	0,41	0,538
İlerleme*Talaş Derinliği	1	354,5	354,5	7,25	0,027
Hata	8	391,2	48,9		
Model Uygunsuzluğu	5	383,0	76,6	27,96	0,010
Saf Hata	3	8,2	2,7		
Toplam	19	31644,2			

Tablo 4.60. Deney No:11 Fn Model Özeti

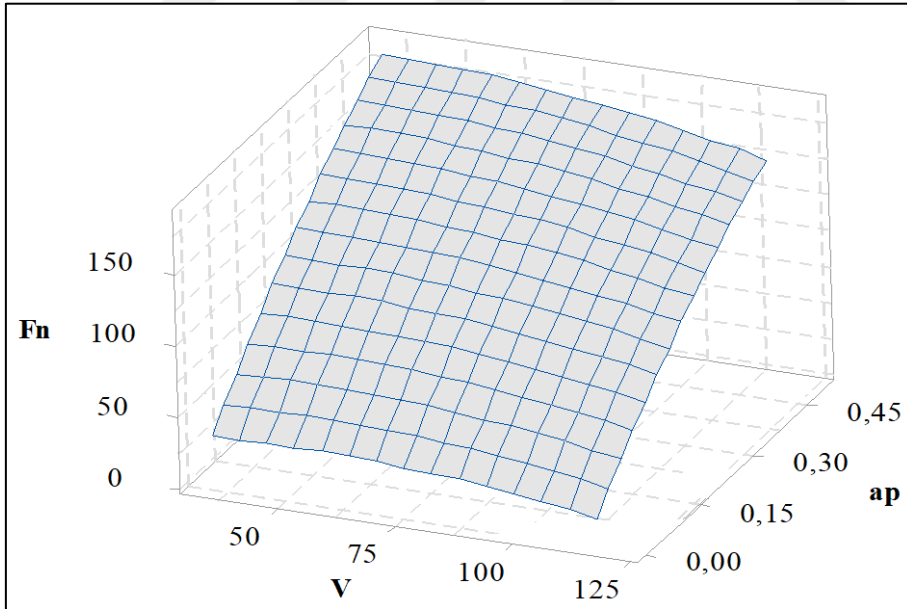
S	R ²	Düzeltilmiş R ²
6,99270	%98,76	%97,06

Tablo 4.60'daki R² ve düzeltilmiş R² değerlerine incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



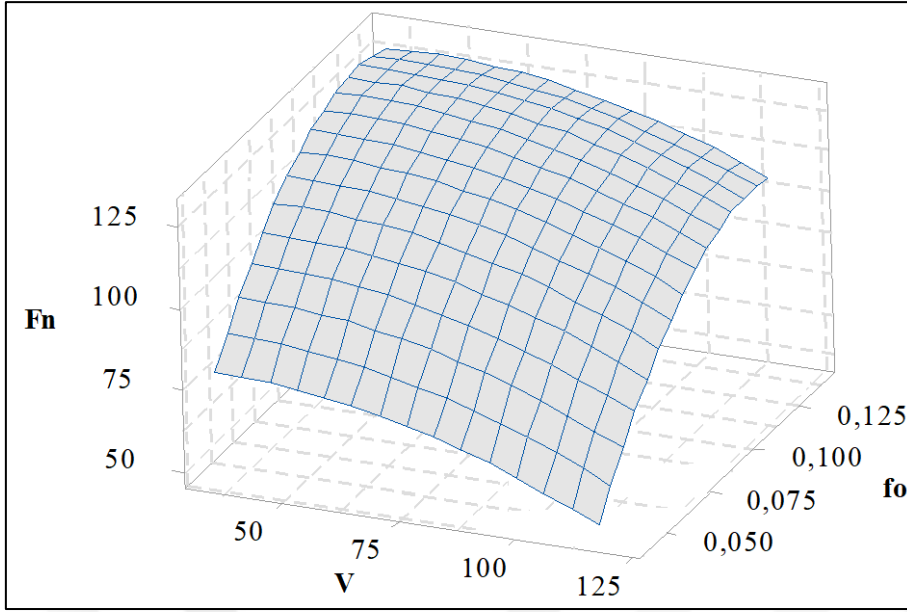
Şekil 4.27. Deney No:11 Fn İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.27'deki İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerleme değerinin doğrusal olmayan şekilde, talaş derinliği değerinin ise doğrusal şekilde Fn kuvvetini değiştirdiği gözlemlenmiştir. Fn kuvveti üzerinde ilerleme - talaş derinliği etkileşiminde belirleyici faktör talaş derinliğidir.



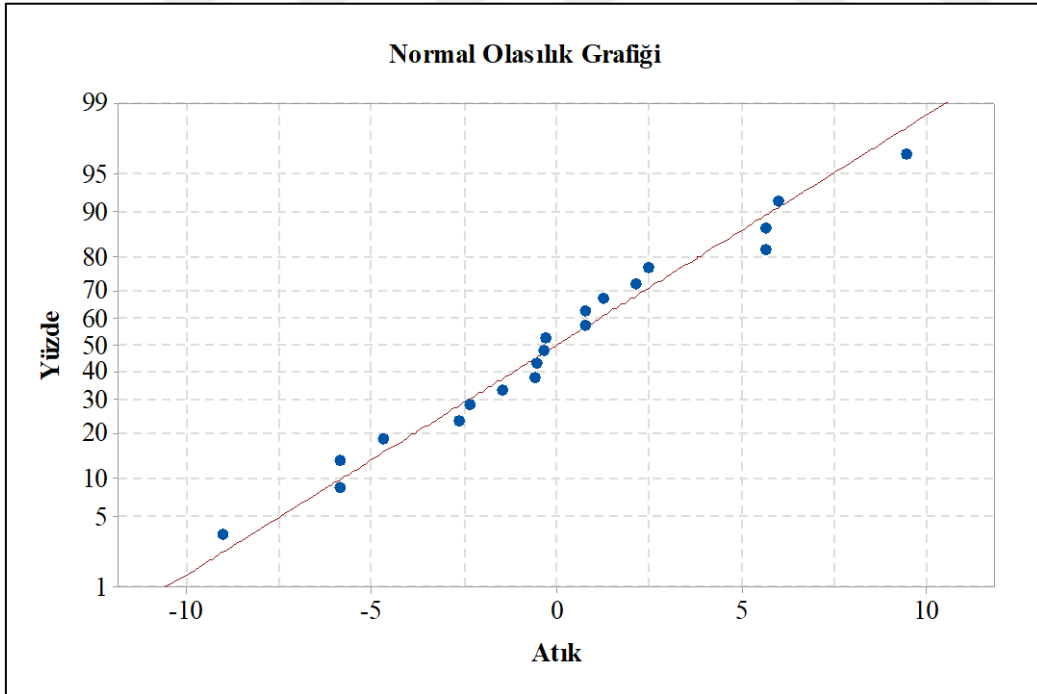
Şekil 4.28. Deney No:11 Fn Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.28'deki Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızı ve talaş derinliğinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Sadece talaş derinliği değerindeki değişim, Fn kuvvetinde belirgin bir kuvvet artışına yol açmaktadır.



Şekil 4.29. Deney No:11 Fn Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.29'daki Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızının azalması ve ilerleme değerinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin arttığı görülmektedir. Kesme hızı ve ilerleme değeri değişimi sonucu Fn değerinde konkav bir değişim gözlenmemektedir.



Şekil 4.30. Deney No:11 Fn Olasılık Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.30'daki Fn Olasılık Grafiği incelendiğinde, elde edilen verilerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğu ve doğru üzerinde toplandığı gözlemlenmiştir.

Seçilen parametre ve düzey seçimleriyle deney sırasında elde edilen verilerle oluşturulan regresyon doğrusunun, yapılacak tahminler için başarılı sonuçlar vereceği sonucuna varılabilir.

Tablo 4.61. Deney No:11 Ra Kuvveti Varyans Analizi

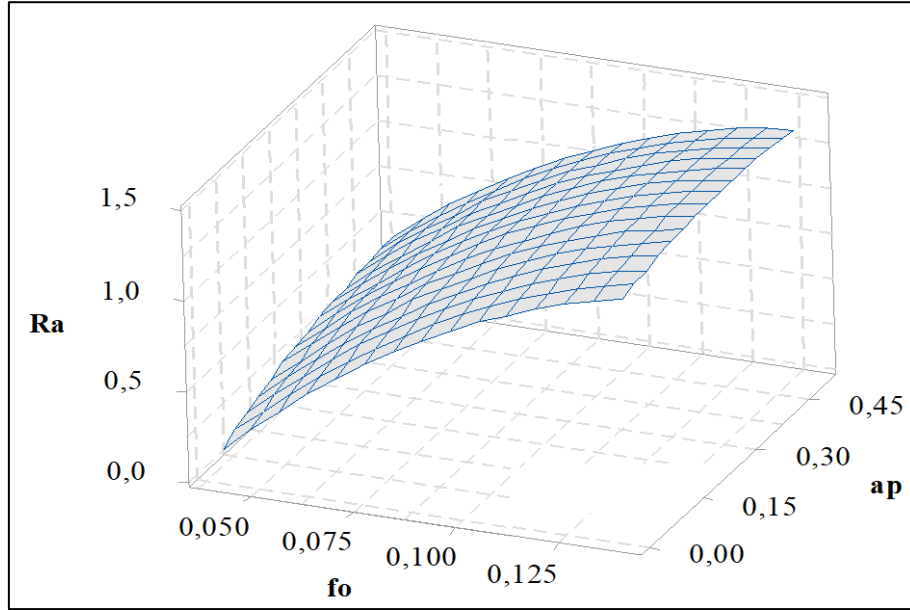
Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	11	1,57679	0,14334	13,26	0,001
Bloklar	2	0,03818	0,01909	1,77	0,232
Doğrusal	3	1,42104	0,47368	43,82	0,000
Kesme Hızı	1	0,05004	0,05004	4,63	0,064
İlerleme	1	1,33884	1,33884	123,84	0,000
Talaş Derinliği	1	0,03215	0,03215	2,97	0,123
Kare	3	0,10793	0,03598	3,33	0,077
Kesme Hızı*Kesme Hızı	1	0,05203	0,05203	4,81	0,060
İlerleme*İlerleme	1	0,06110	0,06110	5,65	0,045
Talaş Derinliği*Talaş Derinliği	1	0,00633	0,00633	0,59	0,466
2 Yönlü Etkileşim	3	0,00965	0,00322	0,30	0,826
Kesme Hızı*İlerleme	1	0,00557	0,00557	0,51	0,493
Kesme Hızı*Talaş Derinliği	1	0,00025	0,00025	0,02	0,882
İlerleme*Talaş Derinliği	1	0,00383	0,00383	0,35	0,568
Hata	8	0,08649	0,01081		
Model Uygunsuzluğu	5	0,08514	0,01703	37,92	0,007
Saf Hata	3	0,00135	0,00045		
Toplam	19	1,66328			

Tablo 4.61’deki Ra yüzey pürüzlülüğü için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P’ye bakıldığında istatistiksel olarak model, doğrusal ve ilerleme parametresinin anlamlı olduğu, kare, iki yönlü etkileşim, kesme hızı ve talaş derinliği parametrelerinin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.62. Deney No:11 Ra Model Özeti

S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,103975	%94,80	%87,65

Tablo 4.62'deki R² ve düzeltilmiş R² değerleri incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin ölçülen verilerle uyumluluğunun, R² =%94,80 ve düzeltilmiş R²=%87,65 olduğu gözlemlenmiştir.



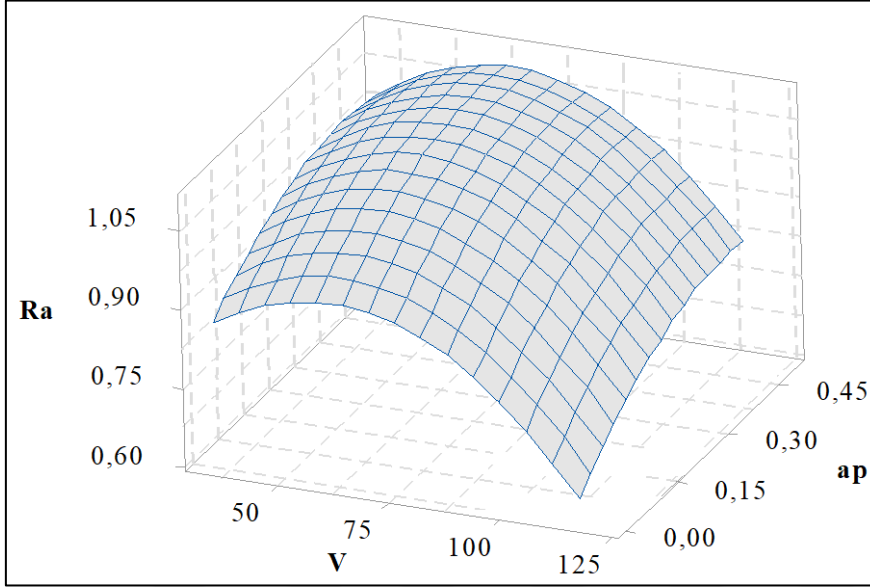
Şekil 4.31. Deney No:11 Ra İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.31'deki İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerleme değerinin artırılmasıyla Ra yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı, talaş derinliği değerindeki değişimin ise Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı gözlemlenmiştir. İlerleme - talaş derinliği etkileşiminde ana belirleyici faktörün ilerleme olduğu gözlemlenmektedir.

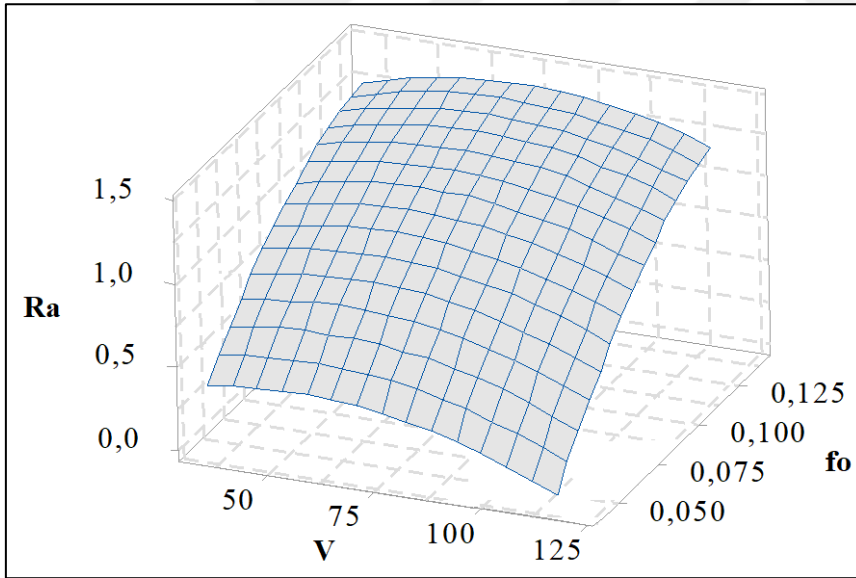
Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.32'deki Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızı artışı ve azalmasıyla Ra yüzey pürüzlülüğü değerinde konkav bir değişime, talaş derinliği değerindeki değişimin ise Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde doğrusal bir artışa yol açtığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı ve talaş derinliğinin birlikte değişiminin, Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde konkav bir değişime yol açtığı gözlemlenmiştir.

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.34'teki Ra Olasılık Grafiği incelendiğinde, elde edilen verilerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğu ve doğru üzerinde toplandığı

gözlemlenmiştir. Regresyon doğrusunun, yapılacak tahminler için başarılı sonuçlar vereceği sonucuna varılabilir.



Şekil 4.32. Deney No:11 Ra Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

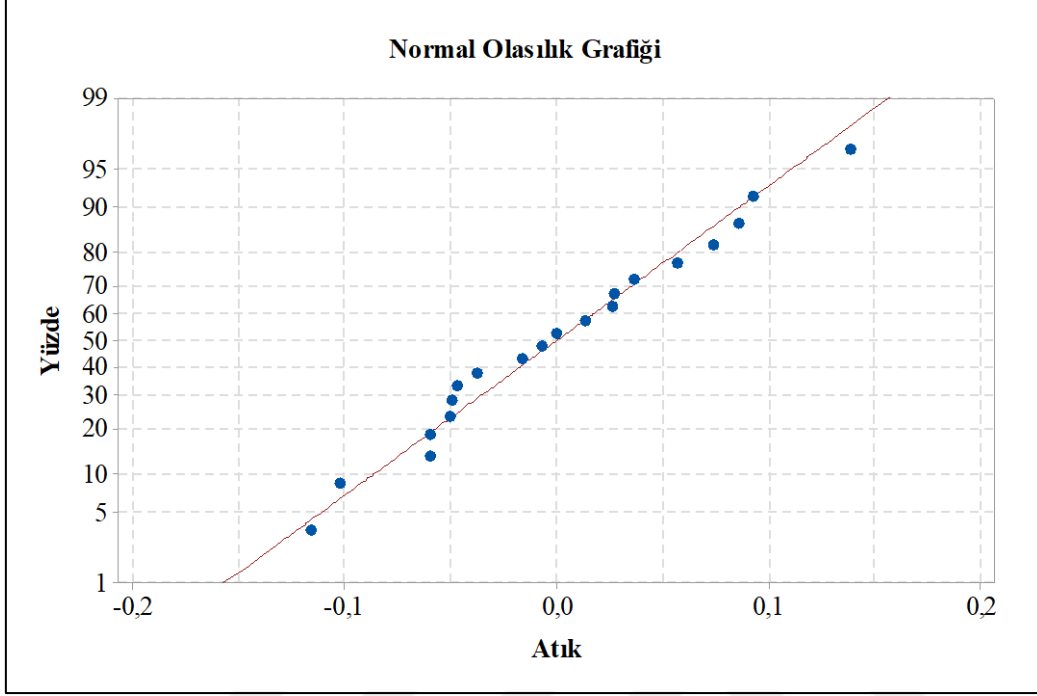


Şekil 4.33. Deney No:11 Ra Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği

Tablo 4.63. Deney No:11 Model Özeti

Sonuçlar	R^2	Düzeltilmiş R^2
Fn	%98,76	%97,06
Ra	%94,80	%87,65

Deney sonuçlarının güvenilirliği Tablo 4.63'te incelendiğinde, Fn kuvveti için R^2 değerlerinin yüksek olduğu, fakat Ra'nın düzeltilmiş R^2 değerlerinin ise modelin tahmininde % 87,65 güvenilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.34. Deney No:11 Ra Olasılık Grafiği

Sonuç olarak Deney No:11 değerlendirildiğinde;

- Deneyler sonucu elde edilen verilerle oluşturulan modelin Fn güvenilirliği % 97,06, Ra güvenilirliğinin % 87,65 çıktığı,
- Fn kuvveti üzerinde tüm parametrelerin anlamlı etkisinin olduğu,
- Fn kuvveti, talaş derinliği- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı, fakat ilerleme hızı değişimden etkilenmediği,
- Fn kuvveti, talaş derinliği- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı, fakat kesme hızı değişimden etkilenmediği,
- Fn kuvveti, ilerleme hızı- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla arttığı, fakat kesme hızı değişimden etkilenmediği,
- Ra yüzey pürüzlülüğüne sadece ilerleme hızının anlamlı etkisinin olduğu,
- Ra yüzey pürüzlülüğü, talaş derinliği- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla arttığı, fakat talaş derinliği değişimden etkilenmediği,

- Ra yüzey pürüzlülüğü, talaş derinliği- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığı, Ra yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızı- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla ve kesme hızı azalmasıyla arttığı belirlenmiştir.

4.2.2. Deney No:12 Analizi

Tablo 4.64. Deney No:12 Sonuçlar Tablosu

Deney No	re (mm)	V (m/dk.)	fo (mm)	ap (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fr (N)	Ft (N)	Ff (N)	Fc (N)	Fn (N)	Ra (μm)
1	0,4	50	0,06	0,2	71,4	67,1	42,1	72,1	67,8	42,5	107,8	83,8	0,803
2	0,4	100	0,12	0,2	108,0	104,5	60,0	109,2	105,7	60,7	163,6	124,9	1,124
3	0,4	100	0,06	0,8	72,9	222,4	185,9	73,8	224,9	188,0	302,2	201,9	0,53
4	0,4	50	0,12	0,8	142,3	402,8	277,6	143,9	407,3	280,7	515,1	315,4	1,375
5	0,4	75	0,09	0,5	97,8	187,0	124,0	98,9	189,1	125,4	247,5	159,7	0,836
6	0,4	75	0,09	0,5	99,6	191,5	131,0	100,7	193,6	132,5	255,3	166,4	0,81
7	0,4	100	0,06	0,2	70,3	61,1	39,4	71,1	61,7	39,9	102,3	81,5	0,533
8	0,4	50	0,12	0,2	96,6	106,0	49,4	97,7	107,2	50,0	153,4	109,7	1,164
9	0,4	50	0,06	0,8	87,4	230,4	199,6	88,4	233,0	201,8	320,6	220,3	0,813
10	0,4	100	0,12	0,8	111,4	330,3	217,2	112,6	334,0	219,6	415,3	246,8	1,304
11	0,4	75	0,09	0,5	101,0	194,4	134,2	102,1	196,6	135,7	259,8	169,8	0,83
12	0,4	75	0,09	0,5	100,8	192,1	136,6	101,9	194,2	138,1	259,2	171,6	0,828
13	0,4	34,175	0,09	0,5	119,3	206,5	144,9	120,6	208,8	146,5	282,1	189,8	1,212
14	0,4	115,825	0,09	0,5	91,8	176,0	117,9	92,9	177,9	119,2	233,4	151,1	0,816
15	0,4	75	0,04101	0,5	63,8	105,9	97,5	64,5	107,1	98,6	159,2	117,8	0,358
16	0,4	75	0,13899	0,5	131,0	232,2	135,9	132,5	234,8	137,4	302,6	190,8	1,597
17	0,4	75	0,09	0,0101	32,8	18,9	5,0	33,1	19,1	5,1	38,6	33,5	0,94
18	0,4	75	0,09	0,9899	117,8	364,0	279,8	119,1	368,0	282,9	479,2	306,9	1,258
19	0,4	75	0,09	0,5	103,5	188,2	132,2	104,6	190,3	133,7	255,0	169,8	0,81
20	0,4	75	0,09	0,5	102,1	191,4	139,7	103,2	193,5	141,2	260,9	174,9	0,86

Deney No:12’de DIN 100Cr6 malzemeye seramik kesici uç kullanılarak Tablo 4.64’te belirtilen sabit kesici uç radiusuna sahip seramik kesici ile üç farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde, Yanıt Yüzey Yöntemi Merkezi Kompozit Tasarımı L₂₀ ortogonal dizini kullanılarak deney yapılmıştır. Elde edilen Fn ve Ra değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Tablo 4.65’teki Fn kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P’ye bakıldığında istatistiksel olarak model, doğrusal, iki yönlü etkileşim, ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı parametresinin anlamlı olduğu, kare, parametresinin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

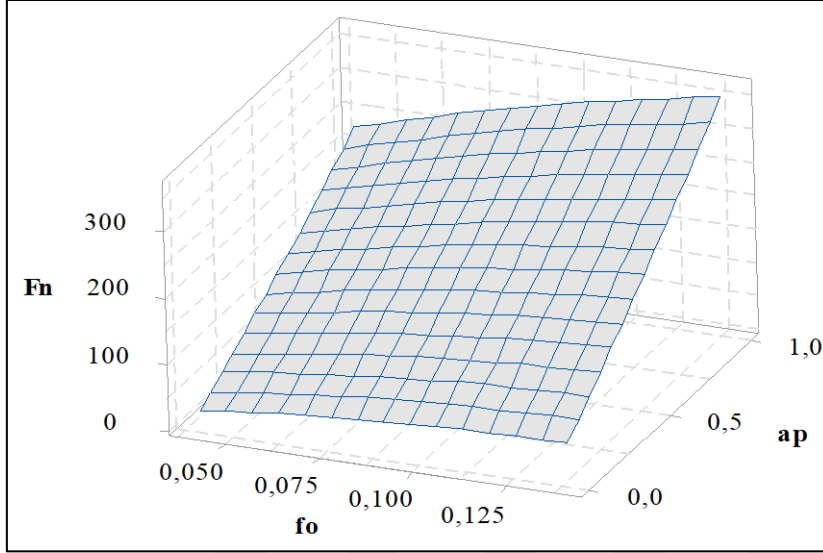
Tablo 4.65. Deney No:12 Fn Kuvveti Varyans Analizi

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	11	91907,9	8355,3	64,05	0,000
Bloklar	2	309,5	154,8	1,19	0,354
Doğrusal	3	89237,3	29745,8	228,03	0,000
Kesme Hızı	1	1410,7	1410,7	10,81	0,011
İlerleme	1	8094,8	8094,8	62,05	0,000
Talaş Derinliği	1	79731,8	79731,8	611,21	0,000
Kare	3	352,6	117,5	0,90	0,482
Kesme Hızı*Kesme Hızı	1	90,2	90,2	0,69	0,430
İlerleme*İlerleme	1	154,8	154,8	1,19	0,308
Talaş Derinliği*Talaş Derinliği	1	84,8	84,8	0,65	0,443
2 Yönlü Etkileşim	3	2008,4	669,5	5,13	0,029
Kesme Hızı*İlerleme	1	134,0	134,0	1,03	0,340
Kesme Hızı*Talaş Derinliği	1	1250,4	1250,4	9,59	0,015
Hata	8	1043,6	130,4		
Model Uygunsuzluğu	5	1006,1	201,2	16,10	0,022
Saf Hata	3	37,5	12,5		
Toplam	19	92951,5			

Tablo 4.66. Deney No:12 Fn Model Özeti

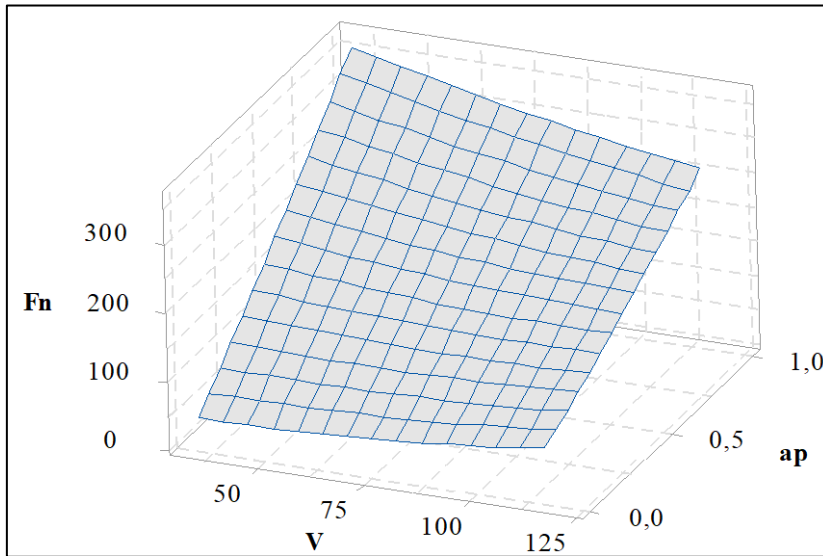
S	R ²	Düzeltilmiş R ²
11,4214	%98,88	%97,33

Tablo 4.66'daki R² ve düzeltilmiş R² değerlerine incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



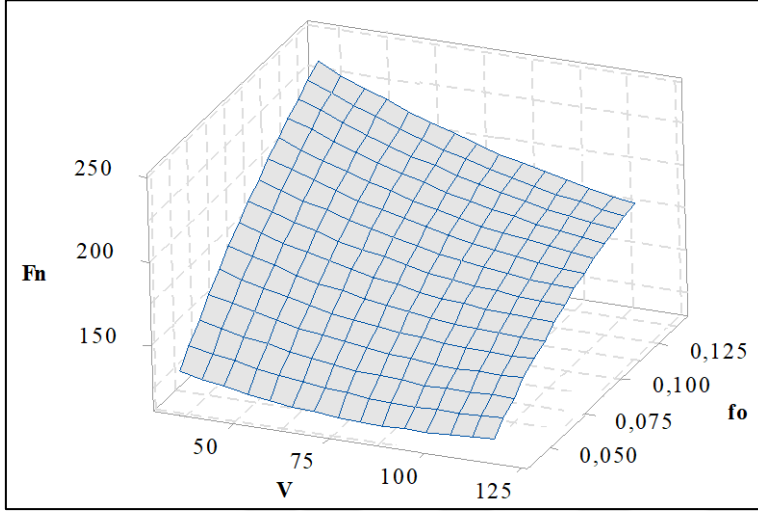
Şekil 4.35. Deney No:12 Fn İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.35'teki İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerleme ve talaş derinliği değerinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin arttığı, sadece ilerleme değeri değişiminin belirgin bir kuvvet artışına yol açmadığı, fakat talaş derinliğinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin belirgin olarak arttığı gözlemlenmiştir.



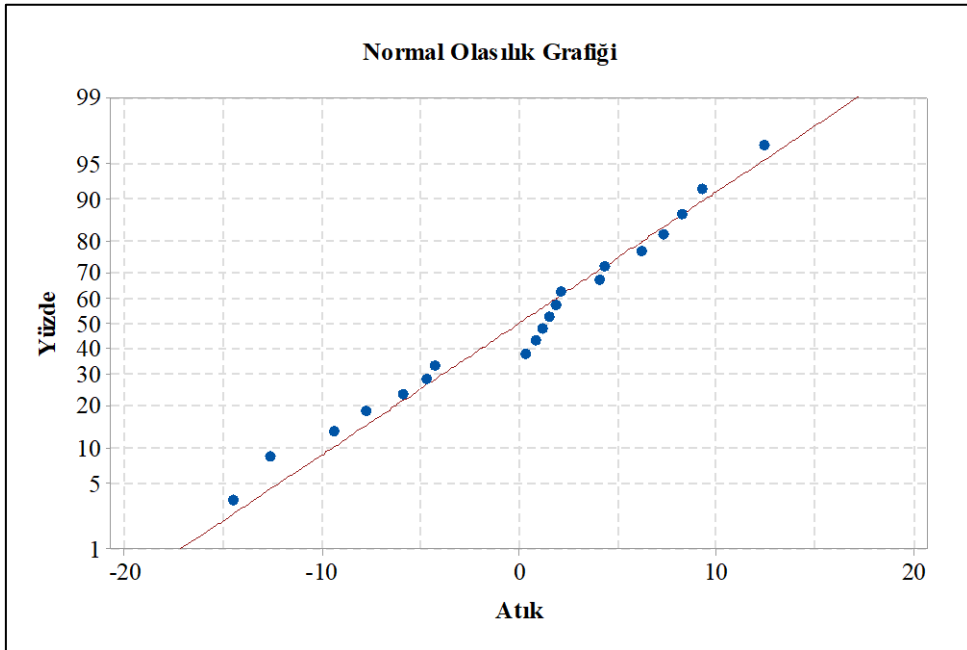
Şekil 4.36. Deney No:12 Fn Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.36'daki Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızı ve talaş derinliğinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Sadece kesme hızı değerindeki değişim Fn kuvvetinde belirgin bir kuvvet azalmasına yol açmakta, bunun yanında talaş derinliğindeki artış ise Fn kuvveti üzerinde artış etkisi göstermektedir.



Şekil 4.37. Deney No:12 Fn Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.37'deki Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızının ve ilerleme değerinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin azaldığı görülmektedir. Sadece kesme hızı değerindeki değişim Fn kuvveti üzerinde etkili olmamakla birlikte, ilerleme değeriyle etkileşimi sonucu Fn kuvvetinde belirgin değişime yol açtığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.38. Deney No:12 Fn Olasılık Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.38'deki Fn Olasılık Grafiği incelendiğinde, elde edilen verilerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğu ve doğru üzerinde toplandığı gözlemlenmiştir. Seçilen parametre ve düzey seçimleriyle, deney sırasında elde edilen verilerle oluşturulan regresyon doğrusunun, yapılacak tahminler için başarılı sonuçlar vereceği sonucuna varılabilir.

Tablo 4.67. Deney No:12 Ra Kuvveti Varyans Analizi

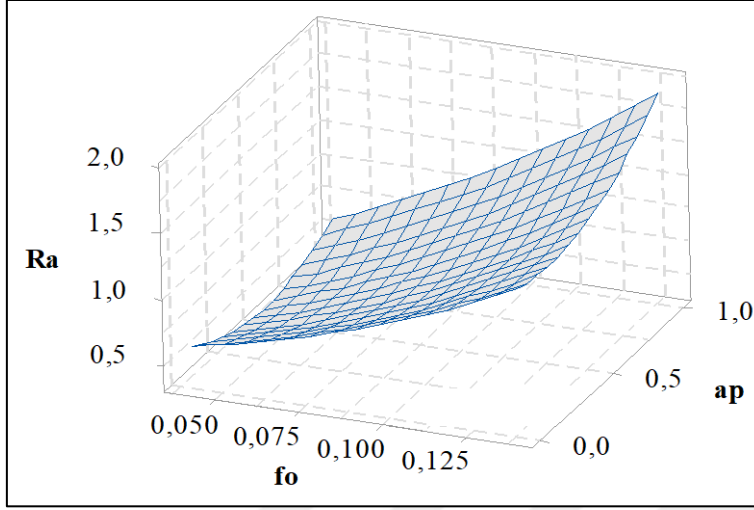
Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	11	1,76280	0,16025	26,65	0,000
Bloklar	2	0,02277	0,01139	1,89	0,212
Doğrusal	3	1,58598	0,52866	87,90	0,000
Kesme Hızı	1	0,12884	0,12884	21,42	0,002
İlerleme	1	1,39403	1,39403	231,80	0,000
Talaş Derinliği	1	0,06311	0,06311	10,49	0,012
Kare	3	0,11096	0,03699	6,15	0,018
Kesme Hızı*Kesme Hızı	1	0,02843	0,02843	4,73	0,061
İlerleme*İlerleme	1	0,01413	0,01413	2,35	0,164
Talaş Derinliği*Talaş Derinliği	1	0,08091	0,08091	13,45	0,006
2 Yönlü Etkileşim	3	0,04309	0,01436	2,39	0,144
Kesme Hızı*İlerleme	1	0,02442	0,02442	4,06	0,079
Kesme Hızı*Talaş Derinliği	1	0,00024	0,00024	0,04	0,846
İlerleme*Talaş Derinliği	1	0,01843	0,01843	3,06	0,118
Hata	8	0,04811	0,00601		
Model Uygunsuzluğu	5	0,04652	0,00930	17,56	0,020
Saf Hata	3	0,00159	0,00053		
Toplam	19	1,81092			

Tablo 4.67'deki Ra yüzey pürüzlülüğü için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında istatistiksel olarak model, doğrusal, kare, ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği parametresinin anlamlı olduğu, iki yönlü etkileşim parametresinin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.68. Deney No:12 Ra Model Özeti

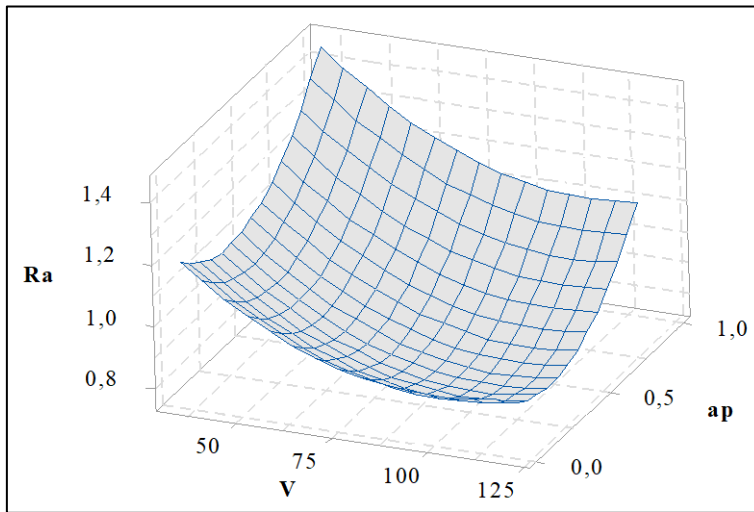
S	R ²	Düzeltilmiş R ²
0,0775504	%97,34	%93,69

Tablo 4.68'deki R² ve düzeltilmiş R² değerlerine incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



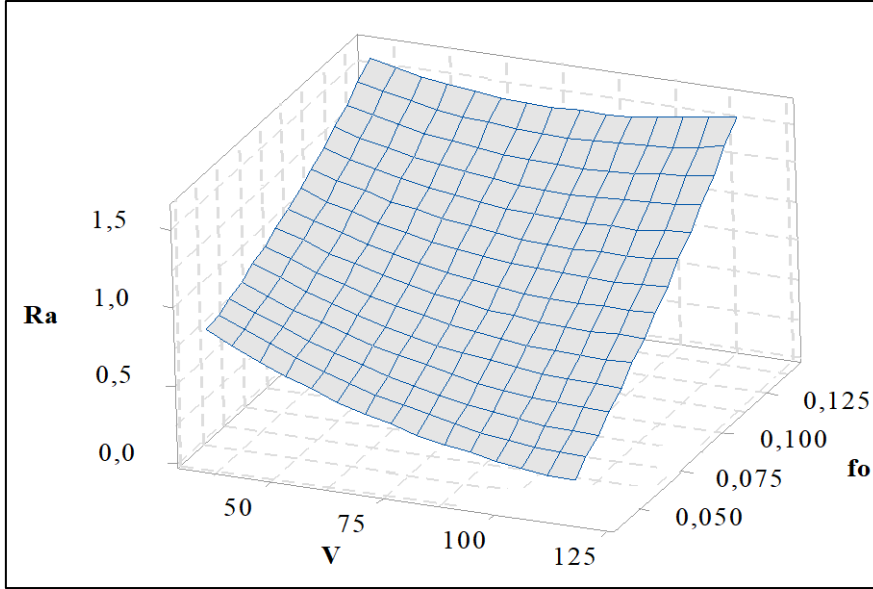
Şekil 4.39. Deney No:12 Ra İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.39'daki İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerleme değerinin artırılmasıyla Ra yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı, talaş derinliği değerindeki değişimin ise Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı gözlemlenmiştir.



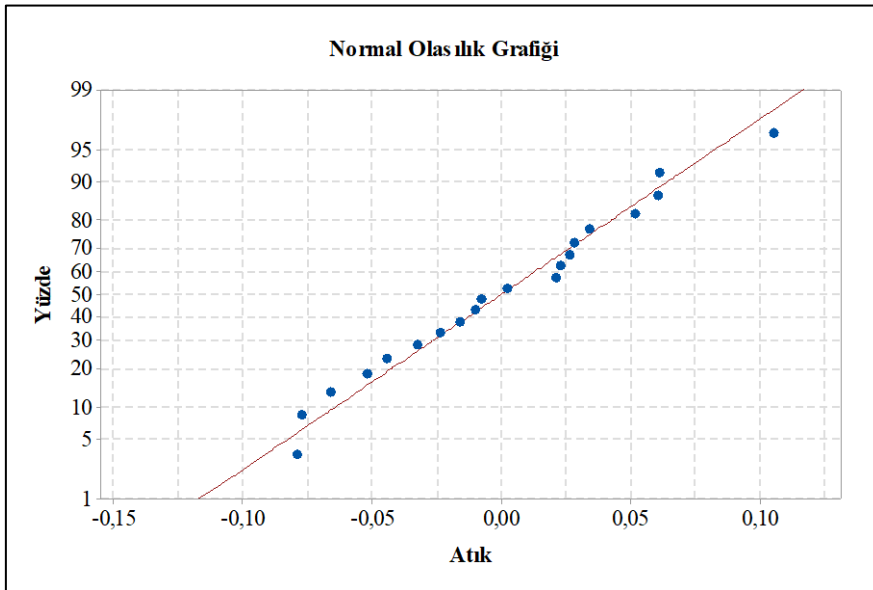
Şekil 4.40. Deney No:12 Ra Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.40'daki Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızı artışı ve azalması Ra yüzey pürüzlülüğü değerinde konveks değişime yol açmaktadır. Kesme hızı ve talaş derinliğinin birlikte artışı Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilidir.



Şekil 4.41. Deney No:12 Ra Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.41'deki Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerleme değerinin artırılması ve kesme hızının azalmasıyla Ra yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ana belirleyici faktör ilerleme değerindeki değişim olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.42. Deney No:12 Ra Olasılık Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.42'deki Ra Olasılık Grafiği incelendiğinde, elde edilen verilerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğu ve doğru üzerinde toplandığı gözlemlenmiştir. Regresyon doğrusunun, yapılacak tahminler için başarılı sonuçlar vereceği sonucuna varılabilir.

Tablo 4.69. Deney No:12 Model Özeti

Sonuçlar	R ²	Düzeltilmiş R ²
Fn	%98,88	%97,33
Ra	%97,34	%93,69

Deney sonuçlarının güvenilirliği Tablo 4.69 incelendiğinde Fn ve Ra'nın R² ve düzeltilmiş R² değerlerinin ise modelin tahmininde oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak Deney No:12 değerlendirildiğinde;

- Deneyler sonucu elde edilen verilerle oluşturulan modelin Fn kuvveti güvenilirliği % 97,33 Ra yüzey pürüzlülüğü güvenilirliğinin % 93,69 çıktığı,
- Fn kuvveti üzerinde tüm parametrelerin anlamlı etkisinin olduğu,
- Fn kuvveti, talaş derinliği- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı, fakat ilerleme hızının artmasıyla çok az etkilendiği,
- Fn kuvveti, talaş derinliği- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı, fakat kesme hızının artmasında az etkilendiği,
- Fn kuvveti, İlerleme hızı- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla arttığı, fakat kesme hızının azalmasıyla çok az etkilendiği,
- Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde tüm parametrelerin anlamlı etkisinin olduğu,
- Ra yüzey pürüzlülüğü, talaş derinliği- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının ve talaş derinliğinin artmasıyla arttığı,
- Ra yüzey pürüzlülüğü, talaş derinliği- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığı,
- Ra yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızı- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığı belirlenmiştir.

4.2.3. Deney No:13 Analizi

Tablo 4.70. Deney No:13 Sonuçlar Tablosu

Deney No	re (mm)	V (m/dk.)	fo (mm)	ap (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fr (N)	Ft (N)	Ff (N)	Fc (N)	Fn (N)	Ra (μm)
1	0,8	50	0,06	0,45	143,4	132,8	87,1	145,0	134,3	88,0	216,3	169,6	1,179
2	0,8	100	0,06	0,45	101,8	120,6	72,0	102,9	121,9	72,8	175,4	126,1	0,309
3	0,8	50	0,12	0,45	170,7	210,5	110,2	172,6	212,8	111,4	295,8	205,4	0,656
4	0,8	100	0,12	0,45	168,7	213,1	120,0	170,6	215,5	121,3	300,4	209,3	0,654
5	0,4	75	0,09	0,1	66,5	53,9	24,5	67,2	54,5	24,7	90,0	71,6	0,98
6	0,4	75	0,09	0,8	117,7	308,0	236,3	119,0	311,4	238,9	410,1	266,9	1,287
7	1,2	75	0,09	0,1	75,0	55,6	17,8	75,8	56,2	18,0	96,1	77,9	0,334
8	1,2	75	0,09	0,8	216,4	278,3	163,5	218,8	281,4	165,3	392,9	274,2	0,384
9	0,4	50	0,09	0,45	112,5	194,9	143,0	113,7	197,1	144,6	269,6	184,0	1,188
10	0,4	100	0,09	0,45	92,8	167,1	109,0	93,9	169,0	110,2	222,5	144,8	0,825
11	1,2	50	0,09	0,45	167,5	168,7	84,5	169,4	170,6	85,5	255,1	189,7	0,299
12	1,2	100	0,09	0,45	182,5	171,9	91,7	184,5	173,8	92,7	269,9	206,5	0,91
13	0,8	75	0,06	0,1	57,8	40,2	15,4	58,4	40,7	15,6	72,8	60,4	1,373
14	0,8	75	0,12	0,1	89,6	73,0	26,8	90,6	73,8	27,1	119,9	94,5	0,704
15	0,8	75	0,06	0,8	167,1	217,3	157,2	169,0	219,7	158,9	319,5	232,0	2,286
16	0,8	75	0,12	0,8	216,5	345,4	218,2	218,9	349,2	220,6	467,5	310,8	0,716
17	0,8	50	0,09	0,1	69,7	45,8	11,5	70,5	46,3	11,7	85,1	71,5	0,791
18	0,8	100	0,09	0,1	57,3	44,8	41,3	57,9	45,3	41,8	84,6	71,4	0,656
19	0,8	50	0,09	0,8	198,3	302,1	204,7	200,5	305,4	207,0	419,9	288,2	0,864
20	0,8	100	0,09	0,8	183,6	277,7	182,3	185,6	280,8	184,3	383,7	261,6	0,751
21	0,4	75	0,06	0,45	77,8	127,3	99,4	78,6	128,7	100,5	181,2	127,6	0,541
22	0,4	75	0,12	0,45	117,8	207,9	124,9	119,1	210,2	126,3	272,6	173,6	1,061
23	1,2	75	0,06	0,45	131,5	123,0	66,7	133,0	124,4	67,5	194,2	149,1	0,226
24	1,2	75	0,12	0,45	180,6	209,6	98,8	182,6	211,9	99,9	297,0	208,2	0,325

Tablo 4.70. (Devam) Deney No: 13 Sonuçlar Tablosu

Deney No	re (mm)	V (m/dk.)	fo (mm)	ap (mm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Fr (N)	Ft (N)	Ff (N)	Fc (N)	Fn (N)	Ra (µm)
25	0,8	75	0,09	0,45	179,7	172,6	100,0	181,7	174,5	101,1	271,5	207,9	0,766
26	0,8	75	0,09	0,45	161,6	136,5	75,5	163,4	138,0	76,3	227,1	180,3	0,773
27	0,8	75	0,09	0,45	182,0	175,7	106,9	184,0	177,6	108,1	277,7	213,4	0,76

Tablo 4.71. Deney No:13 Fn Kuvveti Varyans Analizi

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	14	133201	9514	76,91	0,000
Doğrusal	4	128960	32240	260,62	0,000
Kesme Hızı	1	655	655	5,30	0,040
İlerleme	1	9465	9465	76,51	0,000
Talaş Derinliği	1	117274	117274	948,00	0,000
Takım Uç Radyusu	1	1567	1567	12,66	0,004
Kare	4	2175	544	4,40	0,020
Kesme Hızı*Kesme Hızı	1	361	361	2,92	0,113
İlerleme*İlerleme	1	1349	1349	10,90	0,006
Talaş Derinliği*Talaş Derinliği	1	1061	1061	8,58	0,013
2 Yönlü Etkileşim	6	2065	344	2,78	0,062
Kesme Hızı*İlerleme	1	562	562	4,55	0,054
Kesme Hızı*Talaş Derinliği	1	176	176	1,42	0,256
Kesme Hızı*Takım Uç Radyusu	1	784	784	6,34	0,027
İlerleme*Talaş Derinliği	1	500	500	4,04	0,067
Hata	12	1484	124		
Model Uygunsuzluğu	10	856	86	0,27	0,936
Saf Hata	2	629	314		
Toplam	26	134685			

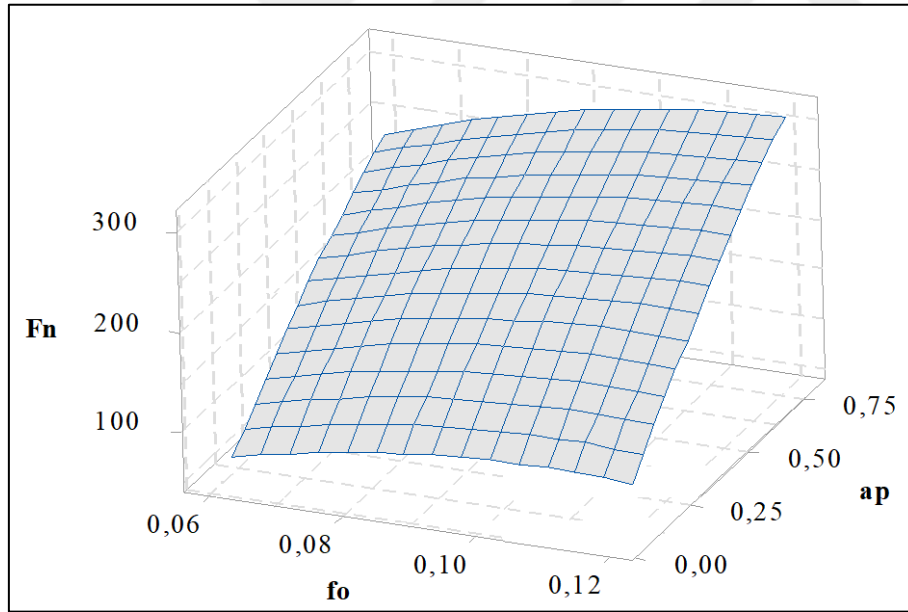
Deney No:13'te DIN 100Cr6 malzemeyle seramik kesici uç kullanılarak Tablo 4.70'de belirtilen üç farklı takım ucu radyusu, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği değerlerinde, Yanıt Yüzey Yöntemi Yüzey Merkezli Tasarım Modeli L_{27} ortogonal dizini kullanılarak deney yapılmıştır. Elde edilen F_n ve R_a değerleri istatistiksel olarak incelenmiştir.

Tablo 4.71'deki F_n kuvveti için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P 'ye bakıldığında, istatistiksel olarak model, doğrusal, kare, takım uç radyusu, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerinin anlamlı olduğu, iki yönlü etkileşim parametresinin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.72. Deney No:13 F_n Model Özeti

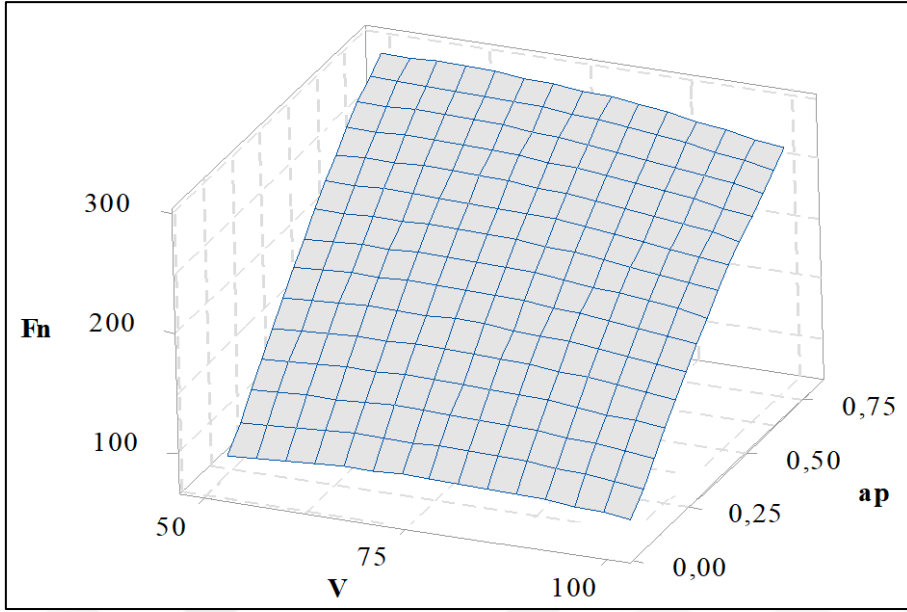
S	R^2	Düzeltilmiş R^2
11,1223	%98,90	%97,61

Tablo 4.72'deki R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerine incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



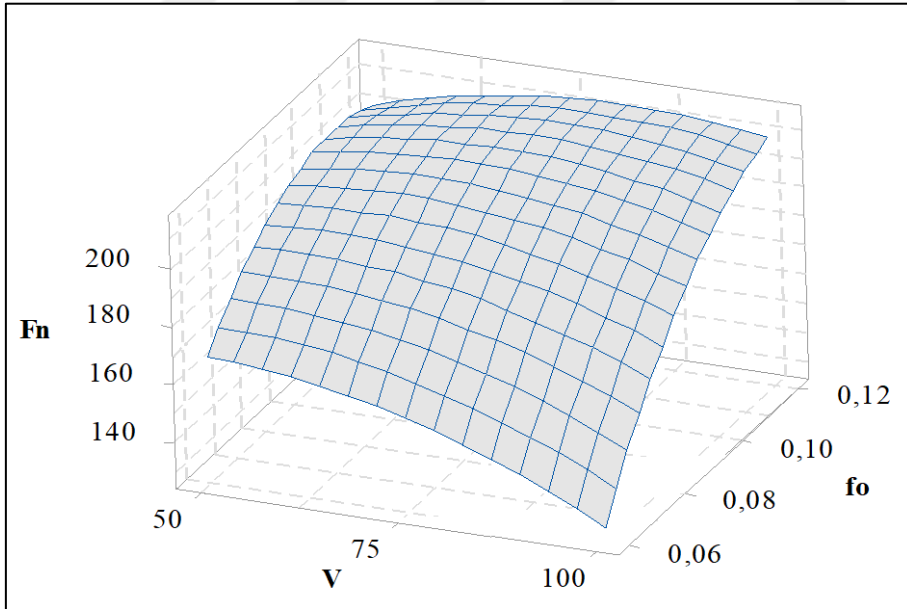
Şekil 4.43. Deney No:13 F_n İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

F_n kuvveti için Şekil 4.43'teki İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerleme ve talaş derinliği değerinin artırılmasıyla F_n kuvveti artmaktadır. İlerleme değeri değişimi F_n kuvvetinde doğrusal olmayan değişime yol açmaktadır. Talaş derinliğinin artırılmasıyla F_n kuvvetinin belirgin olarak arttığı gözlemlenmiştir.



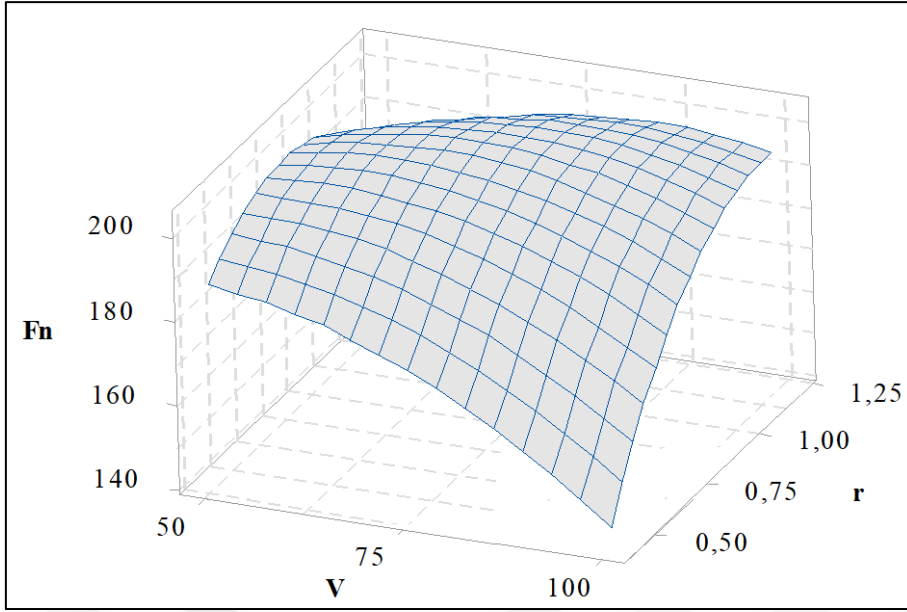
Şekil 4.44. Deney No:13 Fn Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.44'teki Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızı ve talaş derinliğinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı değerindeki değişim Fn kuvvetinde belirgin bir kuvvet artışına yol açmamakla birlikte, talaş derinliğindeki artış ise Fn kuvveti üzerinde belirgin olarak etkisini göstermektedir.



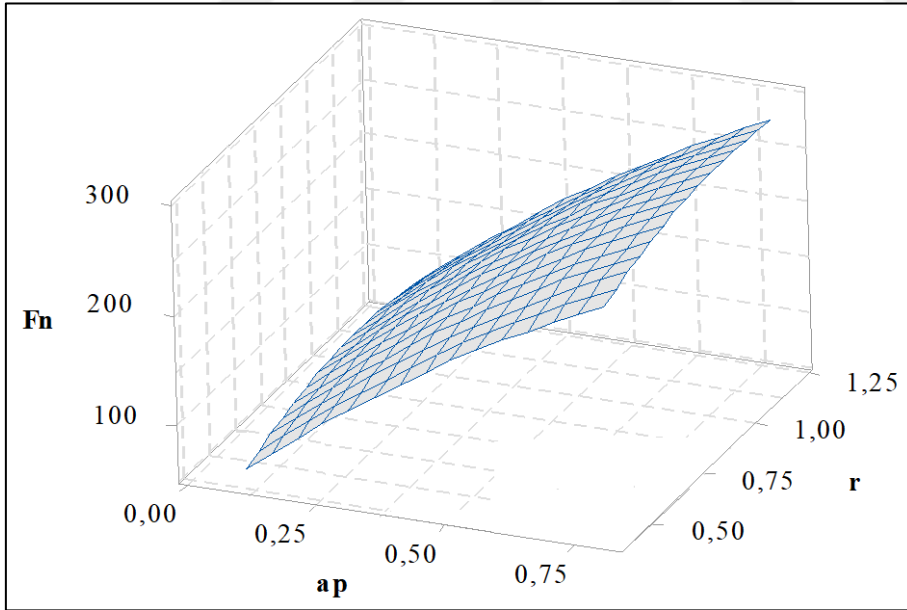
Şekil 4.45. Deney No:13 Fn Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.45'teki Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızının azalması ve ilerleme değerinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin konkav arttığı görülmektedir. İlerleme değerinde olan artış ve kesme hızı değerindeki azalışla Fn kuvvetinin arttığı gözlemlenmektedir.



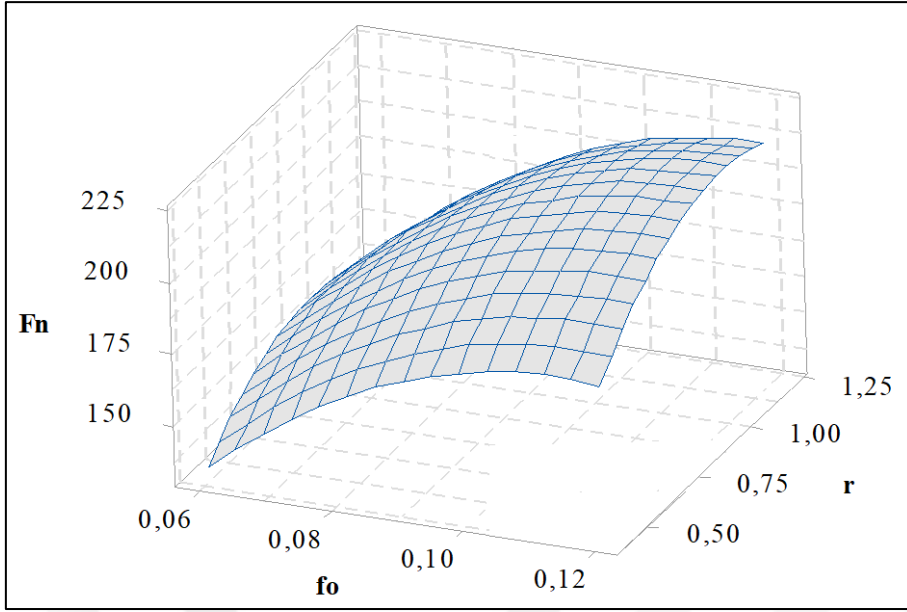
Şekil 4.46. Deney No:13 F_n Kesme Hızı - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği

F_n kuvveti için Şekil 4.46'daki Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızının azalmasıyla F_n kuvveti konkav şekilde artmaktadır. Takım uç radyusu değişimi de F_n kuvvetini konkav şekilde değiştirmektedir.



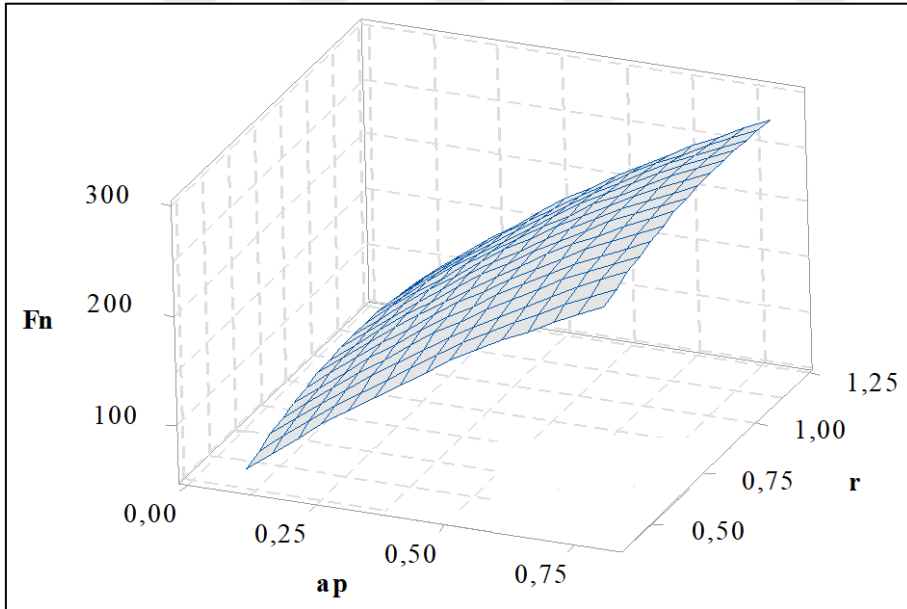
Şekil 4.47. Deney No:13 F_n Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği

F_n kuvveti için Şekil 4.47'deki Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği incelendiğinde, talaş derinliğinin artırılmasıyla F_n kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir. Sadece takım uç radyusu değerindeki değişim, F_n kuvveti üzerinde belirgin bir etki göstermemektedir.



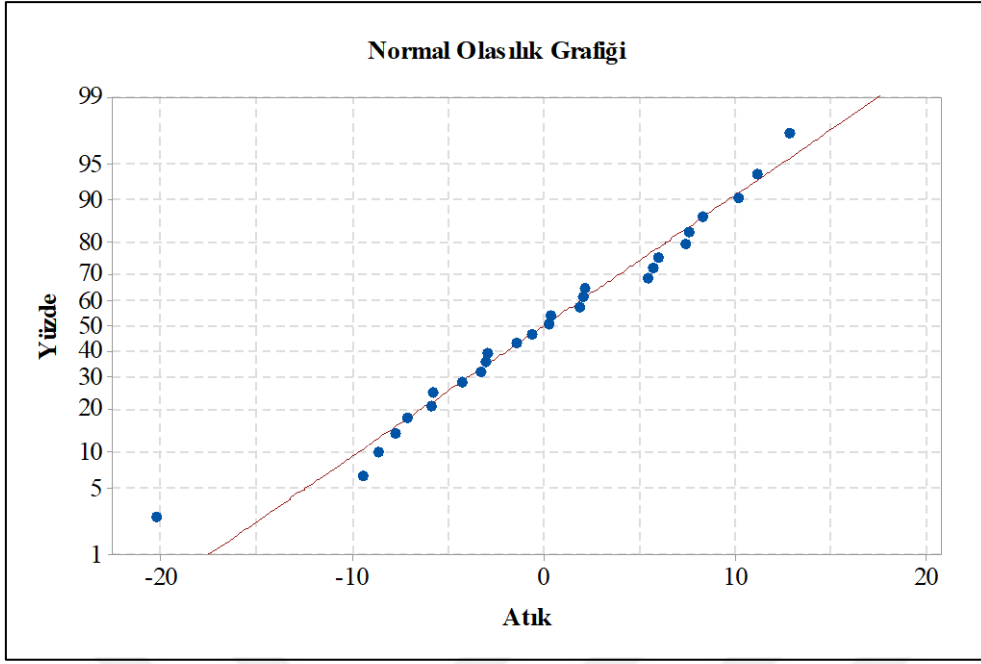
Şekil 4.48. Deney No:13 Fn İlerleme - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.48'deki İlerleme - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerlemenin artmasıyla Fn kuvvetinin konkav arttığı görülmektedir. Takım uç radyusundaki ve ilerlemedeki değişim Fn kuvvetini doğrusal etkilememektedir. Ana etkinin ilerlemenin artırılmasıyla oluştuğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.49. Deney No:13 Fn Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği

Fn kuvveti için Şekil 4.49'daki Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği incelendiğinde, talaş derinliğinin artırılmasıyla Fn kuvvetinin arttığı görülmektedir. Takım uç radyusundaki değişim Fn kuvvetini etkilememekte, fakat talaş derinliği- takım uç radyusu etkileşimi Fn kuvvetini doğrusal olarak artırmaktadır.



Şekil 4.50. Deney No:13 Fn Olasılık Grafiği

Tablo 4.73. Deney No:13 Ra Kuvveti Varyans Analizi

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	14	2,70552	0,193251	1,12	0,426
Doğrusal	4	1,47358	0,368394	2,14	0,139
Kesme Hızı	1	0,06337	0,063365	0,37	0,556
İlerleme	1	0,26940	0,269400	1,56	0,235
Talaş Derinliği	1	0,17521	0,175208	1,02	0,333
Takım Uç Radyusu	1	0,96560	0,965601	5,60	0,036
Kare	4	0,54252	0,135630	0,79	0,556
2 Yönlü Etkileşim	6	0,68942	0,114903	0,67	0,679
Hata	12	2,06921	0,172434		
Model Uygunsuzluğu	10	2,06912	0,206912	4887,69	0,000
Saf Hata	2	0,00008	0,000042		
Toplam	26	4,77472			

Fn kuvveti için Şekil 4.50'deki Fn Olasılık Grafiği incelendiğinde, elde edilen verilerle beklenen değerlerin birbirine yakın olduğu ve doğru üzerinde toplandığı gözlemlenmiştir.

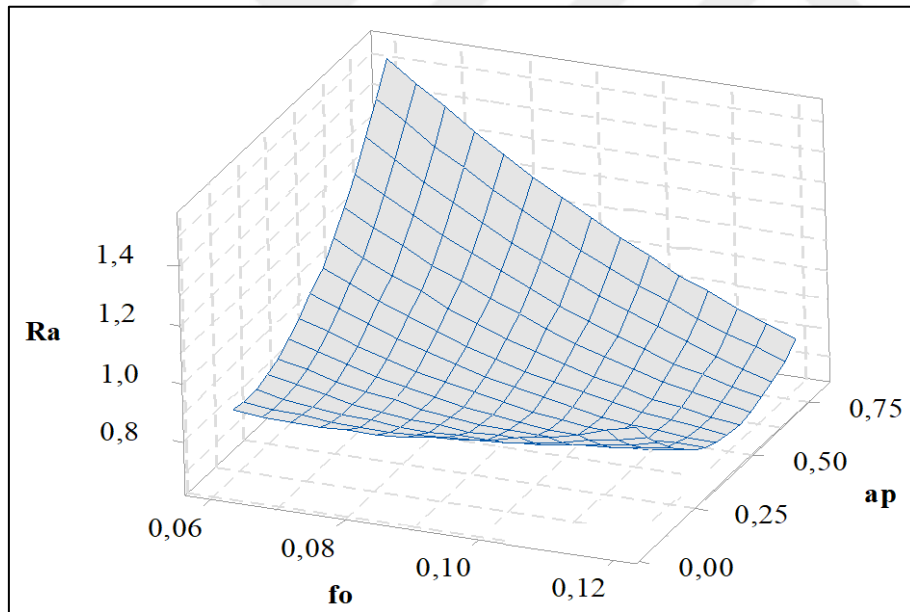
Seçilen parametre ve düzey seçimleriyle deney sırasında elde edilen verilerle oluşturulan regresyon doğrusunun, yapılacak tahminler için başarılı sonuçlar vereceği sonucuna varılabilir

Tablo 4.73'teki Ra yüzey pürüzlülüğü için elde edilen değerlere göre yapılan analizde, ana parametrelerin anlamlılık değeri olan P'ye bakıldığında, istatiksel olarak model, kare, doğrusal, iki yönlü etkileşim, takım uç radyusu, ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği parametrelerinin anlamlı olmadığı sonucuna varılabilir.

Tablo 4.74. Deney No:13 Ra Model zeti

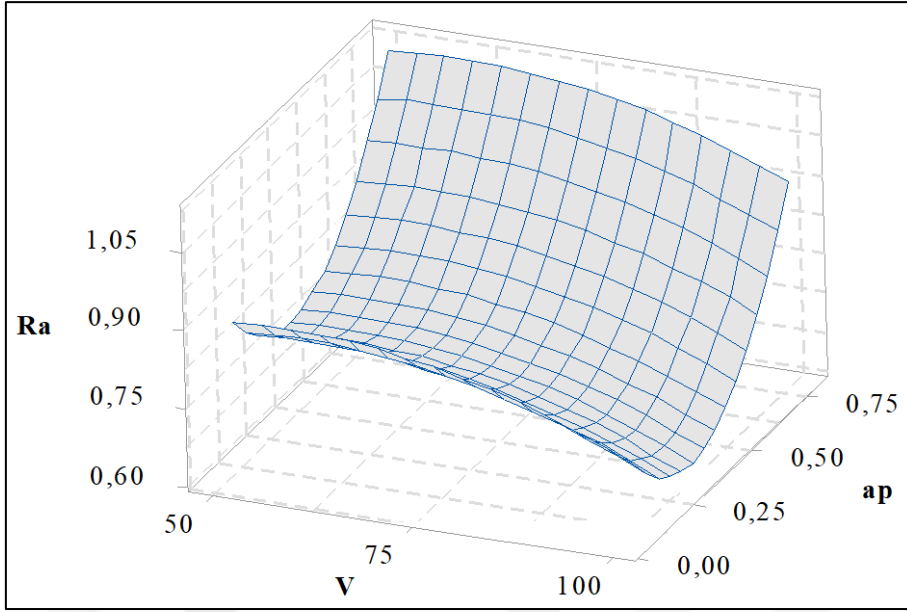
S	R ²	Dzeltişmiş R ²
0,415252	%56,66	%6,10

Tablo 4.74'teki R² ve dzeltişmiş R² değerlerine incelendiğinde, elde edilen sonuçlarla modelin anlamlılık değerinin ölçülen verilerle uyumluluğunun, R² =%56,66 ve dzeltişmiş R²=%6,10 olduğu gözlemlenmiştir



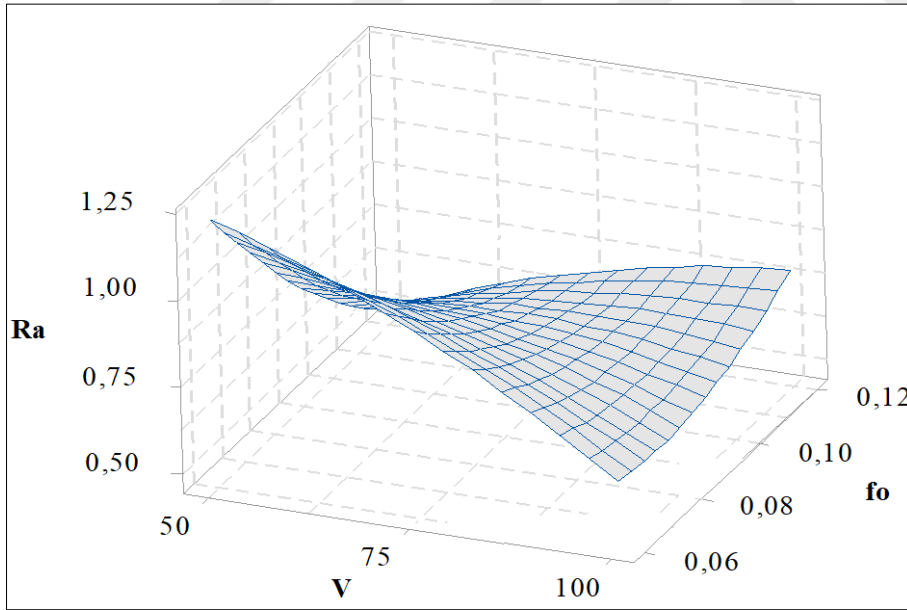
şekil 4.51. Deney No:13 Ra İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için şekil 4.51'deki İlerleme - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, ilerleme ve talaş derinliği değeri değişimi sonucu, Ra yüzey pürüzlülüğü değerinin konveks değiştiği gözlemlenmiştir.



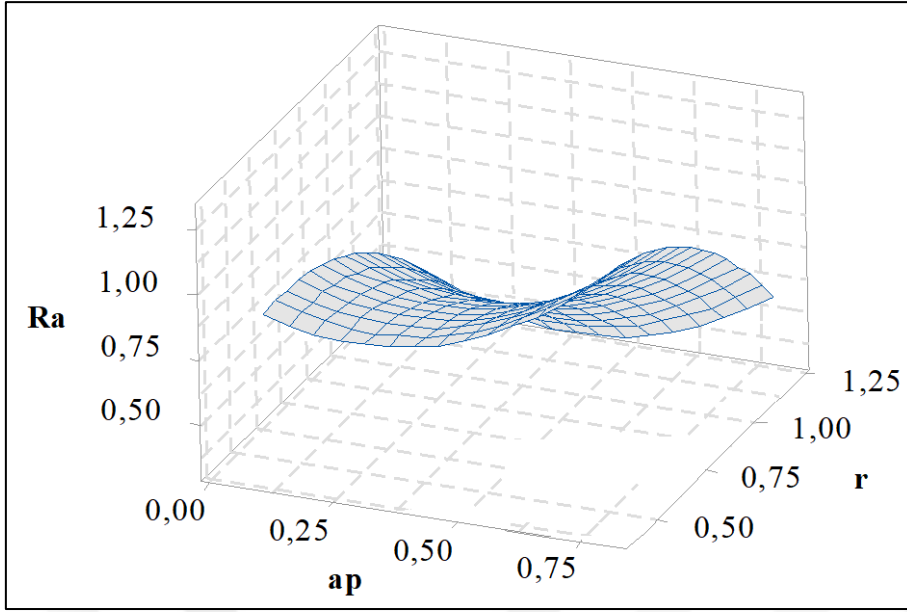
Şekil 4.52. Deney No:13 Ra Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.52'deki Kesme Hızı - Talaş Derinliği Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızı artışı ve talaş derinliği değişimi Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde konveks değişime yol açtığı gözlemlenmiştir.



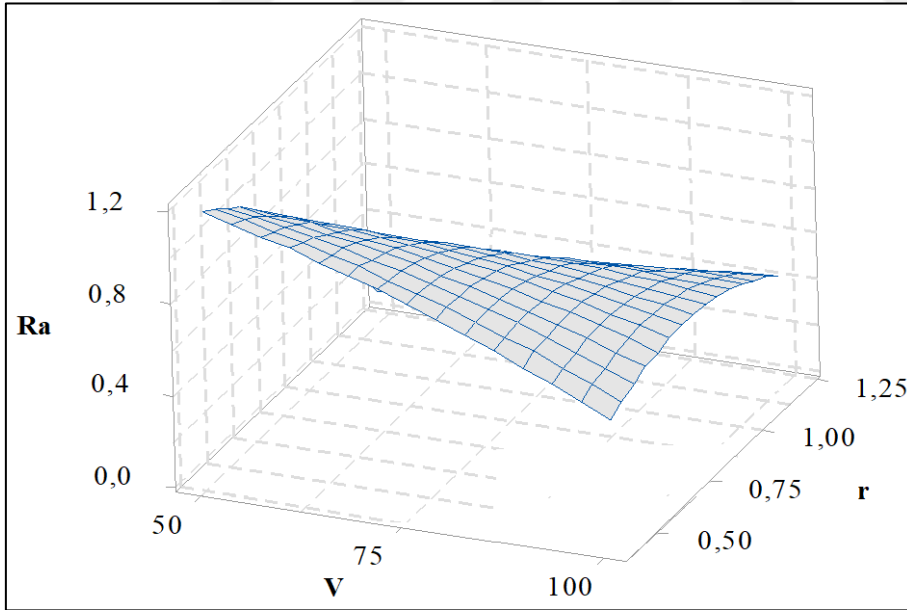
Şekil 4.53. Deney No:13 Ra Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.53'teki Kesme Hızı - İlerleme Yüzey Grafiği incelendiğinde, kesme hızı ve ilerleme değerindeki değişimin Ra yüzey pürüzlülüğünü konveks değiştirdiği gözlemlenmiştir.



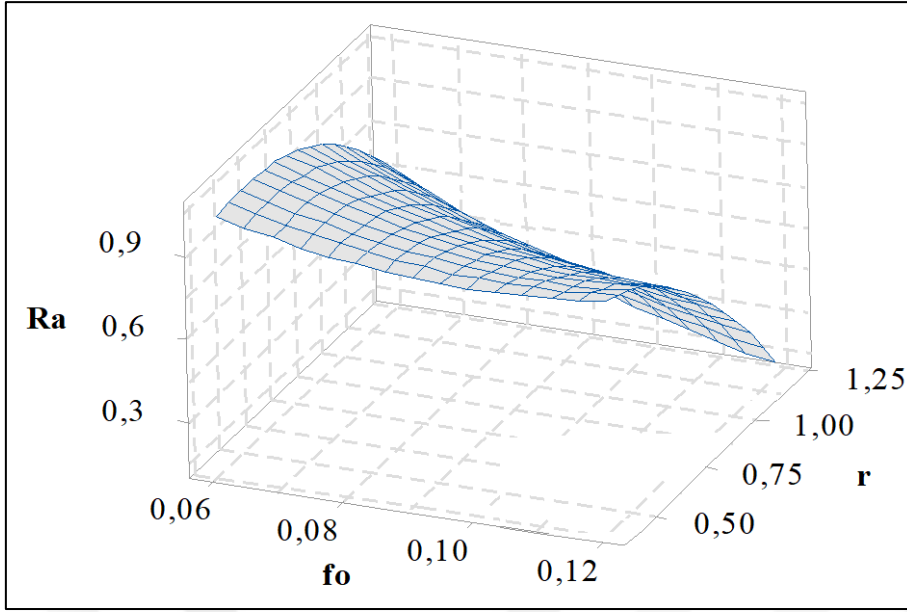
Şekil 4.54. Deney No:13 Ra Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.54'teki Talaş Derinliği - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği incelendiğinde, Ra değerini talaş derinliğinin konveks, takım uç radyusunun ise konkav şekilde değiştirdiği gözlemlenmiştir.



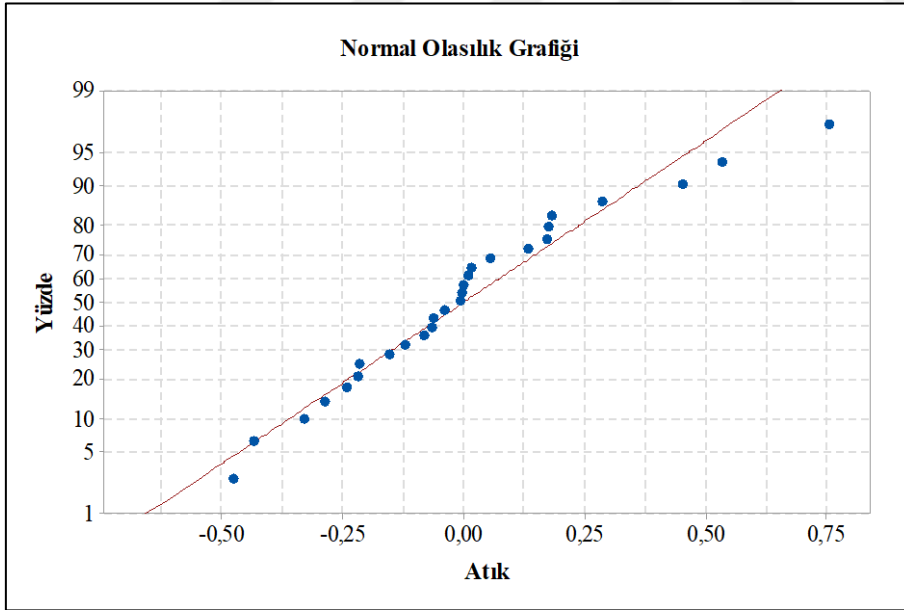
Şekil 4.55. Deney No:13 Ra Kesme Hızı - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.55'teki Kesme Hızı - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği incelendiğinde, Ra yüzey pürüzlülüğü değerini kesme hızı değişimi doğrusal, takım uç radyusu değişimi ise konkav değiştirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.56. Deney No:13 Ra İlerleme - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.56'daki İlerleme - Takım Uç Radyusu Yüzey Grafiği incelendiğinde, Ra yüzey pürüzlülüğü değerini ilerleme değişiminin doğrusal, takım uç radyusu değişiminin ise konkav olarak değiştirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.57. Deney No:13 Ra Olasılık Grafiği

Ra yüzey pürüzlülüğü için Şekil 4.57'deki Ra Olasılık Grafiği incelendiğinde, elde edilen verilerin saçılım gösterdiği, bu sebeple regresyon doğrusunun, yapılacak tahminler için başarılı sonuçlar veremeyeceği sonucuna varılabilir.

Tablo 4.75. Deney No:13 Model Özeti

Sonuçlar	R ²	Düzeltilmiş R ²
Fn	%98,90	%97,61
Ra	%56,66	%6,10

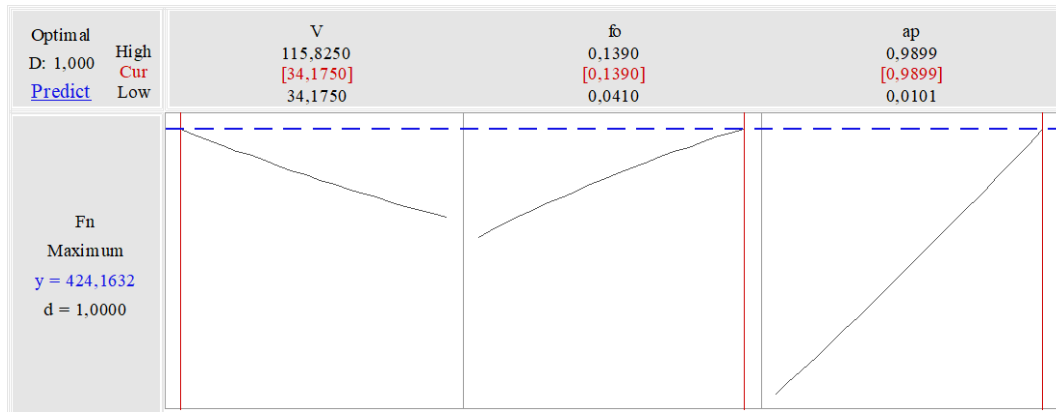
Tablo 4.75'teki deney sonuçlarının güvenilirliği incelendiğinde Fn kuvveti için R² değerlerinin yüksek olduğu, fakat Ra'nın modelin tahmininde R² değerlerinin %56,66 ve düzeltilmiş R² değerlerinin ise %6,10 güvenilirliğe sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak Deney No:13 değerlendirildiğinde;

- Deneyler sonucu elde edilen verilerle oluşturulan modelin Fn güvenilirliği % 97,61, Ra güvenilirliğinin % 6,10 çıktığı,
- Fn kuvveti üzerinde tüm parametrelerin anlamlı etkisinin olduğu,
- Fn kuvveti, talaş derinliği- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı, fakat ilerleme hızının artmasından çok az etkilendiği,
- Fn kuvveti, talaş derinliği- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı, fakat kesme hızı değişiminden etkilenmediği,
- Fn kuvveti, ilerleme hızı- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığı,
- Fn kuvveti, uç radiusu- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde uç radiusunun artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığı,
- Fn kuvveti, uç radiusu- talaş derinliği etkileşimi yönünden incelendiğinde uç radiusu değişiminden etkilenmediği, talaş derinliğinin artmasıyla arttığı,
- Fn kuvveti, uç radiusu- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde uç radiusu ve talaş derinliğinin artmasıyla arttığı,
- Fn kuvveti, uç radiusu- talaş derinliği etkileşimi yönünden incelendiğinde uç radiusu ve talaş derinliğinin artmasıyla arttığı,
- Ra yüzey pürüzlülüğü üzerinde tüm parametrelerin anlamlı etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

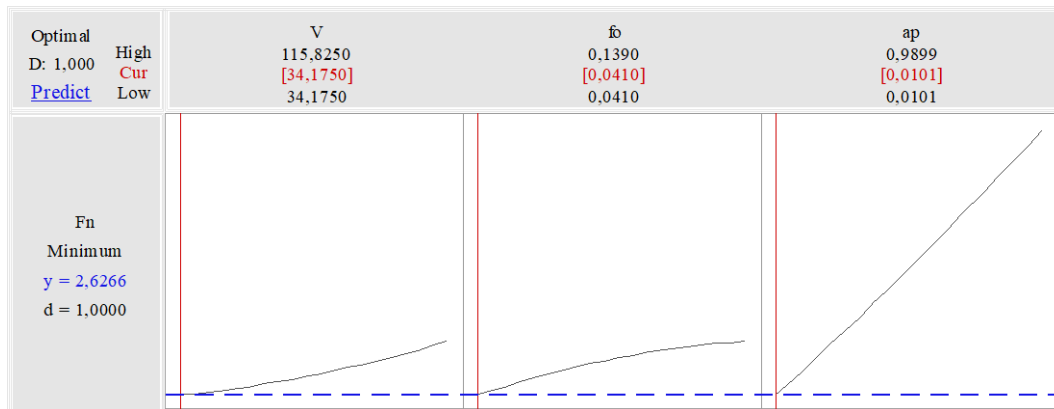
4.2.4. Deney No:12 Optimizasyon

İkinci grup deney sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu; Deney No:12 deney parametreleri ile yorulma deneylerinin yapılmasının, güvenilirliği yüksek sonuçlarla yorulma deneylerinin yorumlanması açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir. Deney No:12 deney sonuçlarıyla Fn kuvveti ve Ra Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının optimizasyonu yapılmıştır. Yapılan optimizasyonlar sonucu oluşturulan grafikler Şekil 4.58-4.61’de belirtilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen parametre düzeyleriyle yorulma deney kullanılacak numuneler üretilmiştir.



Şekil 4.58. Maksimum Fn Kuvveti Optimizasyonu Grafiği

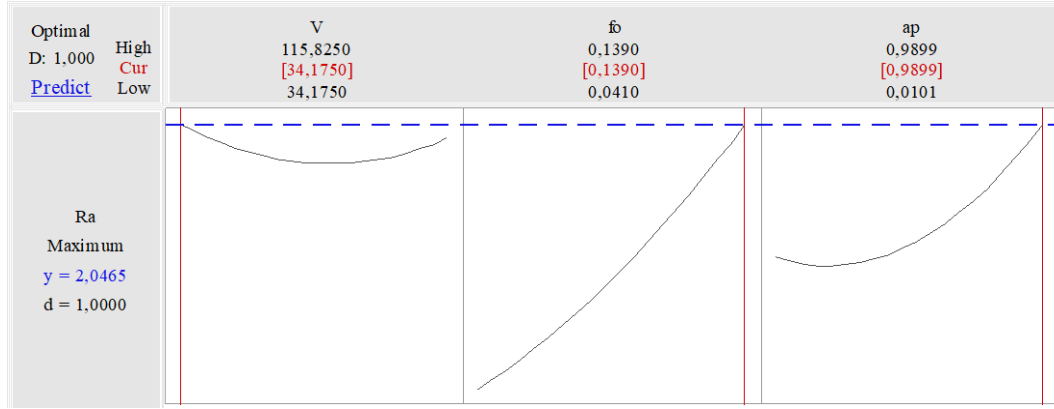
Maksimum Fn kuvvetinin; kesme hızı 34,175 m/dk., ilerleme değeri 0,139 mm ve talaş derinliği 0,989 mm değerinde talaş kaldırma sonucu elde edileceği, Şekil 4.58 Maksimum Fn Kuvveti Optimizasyonu Grafiğinden belirlenmiştir.



Şekil 4.59. Minimum Fn Kuvveti Optimizasyonu Grafiği

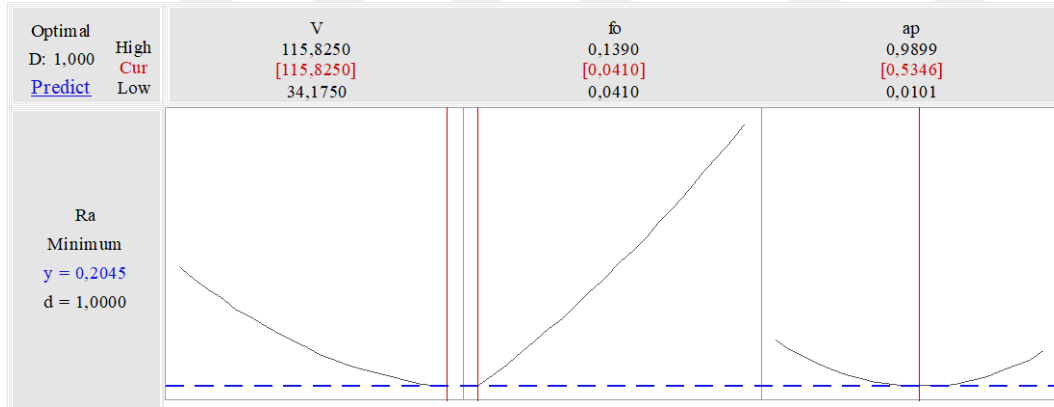
Minimum Fn kuvvetinin; kesme hızı 34,175 m/dk., ilerleme değeri 0,041 mm ve talaş derinliği 0,01 mm değerinde talaş kaldırma sonucu elde edileceği, Şekil 4.59 Minimum Fn Kuvveti Optimizasyonu Grafiğinden belirlenmiştir.

Maksimum Ra yüzey pürüzlülüğü değerinin; kesme hızı 34,175 m/dk., ilerleme değeri 0,139 mm ve talaş derinliği 0,989 mm değerinde talaş kaldırma sonucu elde edileceği, Şekil 4.60 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu Grafiğinden belirlenmiştir.



Şekil 4.60. Maksimum Ra Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu Grafiği

Minimum Ra yüzey pürüzlülüğü değerinin; kesme hızı 115,825 m/dk., ilerleme değeri 0,041 mm ve talaş derinliği 0,534 mm değerinde talaş kaldırma sonucu elde edileceği, Şekil 4.61 Ra Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu Grafiğinden belirlenmiştir.



Şekil 4.61. Minimum Ra Yüzey Pürüzlülüğü Optimizasyonu Grafiği

4.2.5. Deney No:12 Kesme Kuvveti Analizleri

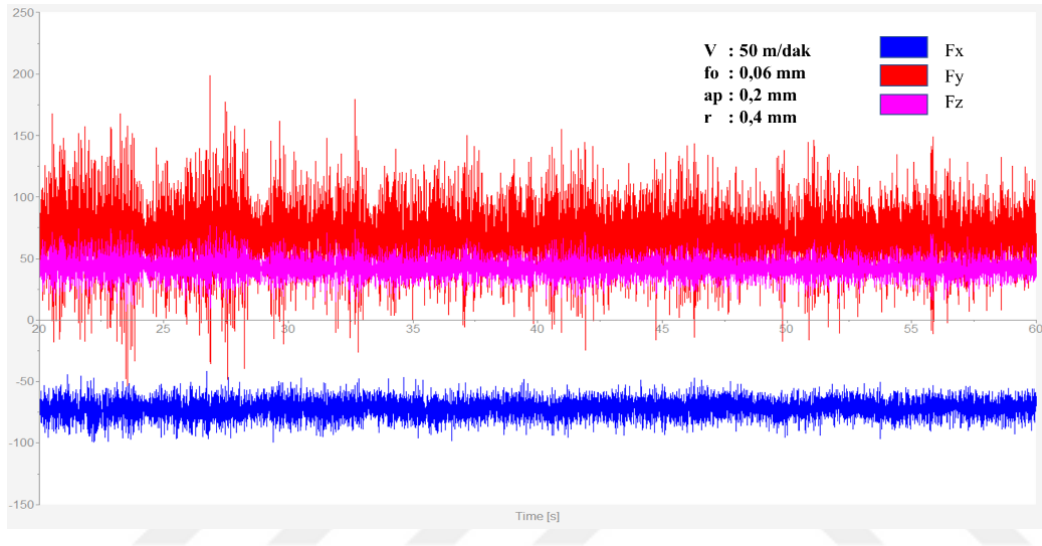
Kesme kuvvetlerinin ölçümü yapılan çalışmalardaki sonuçların değerlendirilmesi açısından son derece önemlidir. Talaş kaldırma sırasında ortaya çıkan tırlama, aşırı yüzey pürüzlülüğü vb. gibi birçok nedenin aslında temelinde kesme parametrelerinin optimizasyonu yatmaktadır. Kesme parametrelerinin optimizasyonu için elde edilen ölçüm verileri iyi incelenmeli ve sorunların çözümüne yönelik hususlar doğru belirlenmelidir. Aşağıda Deney

No:12’de elde edilen kesme kuvvetlerinin değişimine etki eden faktörlerin değerlendirmesi yapılmıştır.

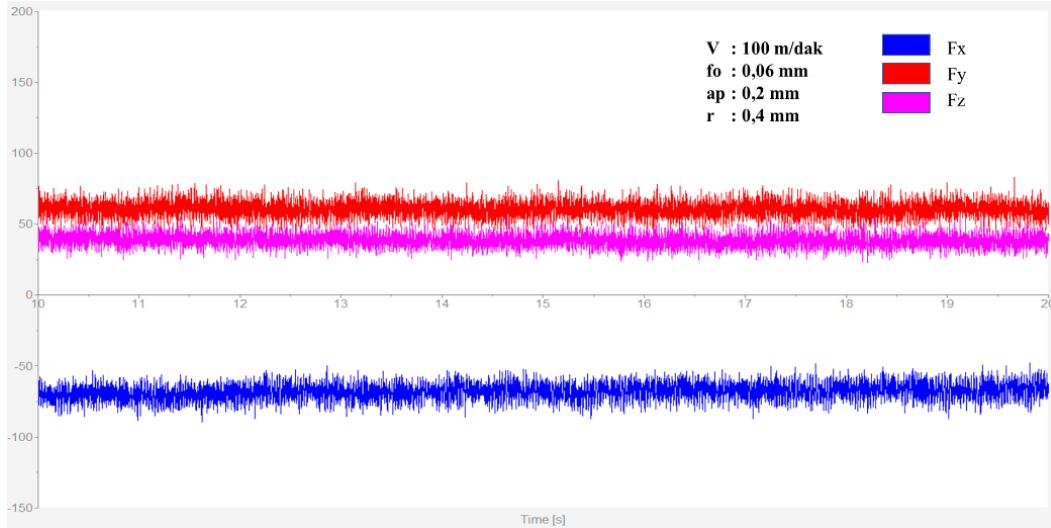
Tablo 4.76. Düşük Kesme Hızı Sonuç Tablosu

SIRA NO	V	fo	ap	r	Fx	Fy	Fz	Fr	Ft	Ff	Fc	Fn	Ra
121	50	0,06	0,2	0,4	71,35	67,07	42,08	72,14	67,81	42,54	107,76	83,75	0,803

4.2.5.1. Deney No:12 Kesme Hızı Değişimi Kuvvet Analizi



Şekil 4.62. Düşük Kesme Hızı Grafiği



Şekil 4.63. Yüksek Kesme Hızı Grafiği

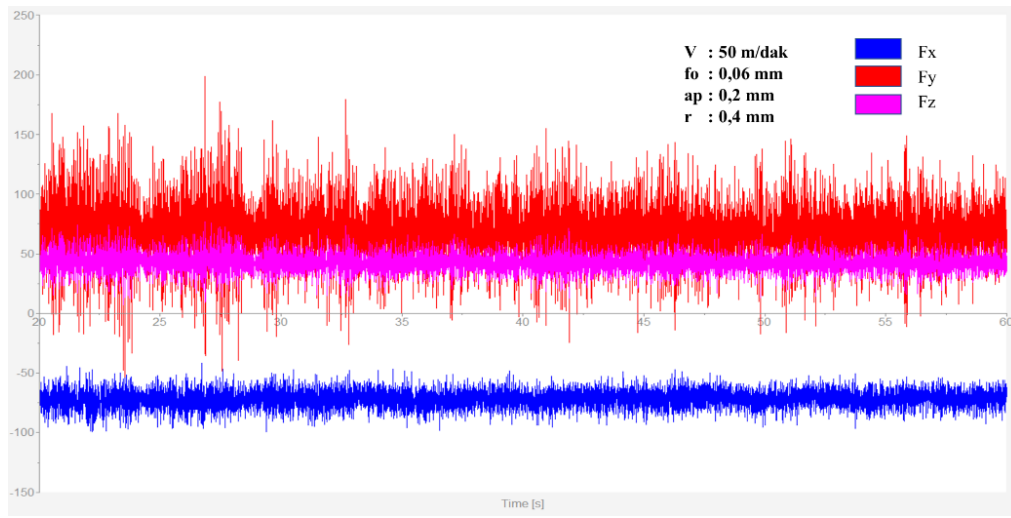
Düşük ve yüksek kesme hızı sonucunda elde edilen grafikler Şekil 4.62 ve Şekil 4.63’te, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise Tablo 4.76 ve Tablo 4.77’de verilmiştir.

Tablo 4.77. Yüksek Kesme Hızı Sonuç Tablosu

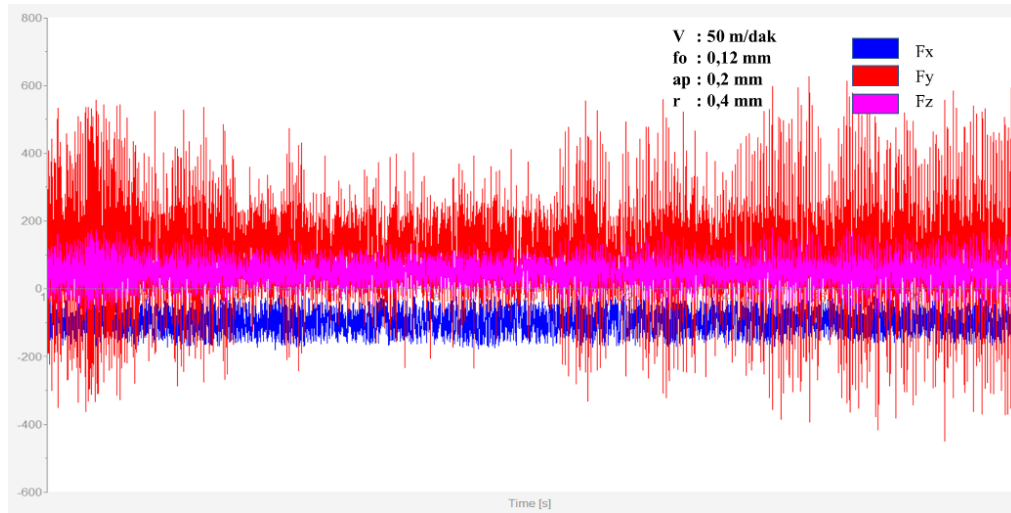
SIRA NO	V	fo	ap	r	Fx	Fy	Fz	Fr	Ft	Ff	Fc	Fn	Ra
127	100	0,06	0,2	0,4	70,34	61,05	39,44	71,12	61,72	39,88	102,26	81,53	0,533

İlerleme, talaş derinliği ve takım uç radyusunun sabit tutulması durumunda, kesme hızının azalmasıyla Fy kuvvetinin genliğinin arttığı, kesme hızı değişimlerinin eksen kuvvetleri üzerinde belirgin bir değişim yaratmadığı gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirlenmiştir.

4.2.5.2. Deney No:12 İlerleme Değişimi Kuvvet Analizi



Şekil 4.64. Düşük İlerleme Grafiği



Şekil 4.65. Yüksek İlerleme Grafiği

İlerleme değişimi grafikleri Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'te, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise Tablo 4.78 ve Tablo 4.79'da verilmiştir

Tablo 4.78. Düşük İlerleme Sonuç Tablosu

SIRA NO	V	fo	ap	r	Fx	Fy	Fz	Fr	Ft	Ff	Fc	Fn	Ra
121	50	0,06	0,2	0,4	71,35	67,07	42,08	72,14	67,81	42,54	107,76	83,75	0,803

Kesme hızı, talaş derinliği ve takım uç radiusunun sabit tutulması durumunda ilerlemenin azalmasıyla Fy kuvvetinin genliğinin arttığı, ilerleme değerindeki artışın Fy üzerinde belirgin bir artışa yol açarken Fz kuvvetinde fazla değişime yol açamamıştır. İlerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir.

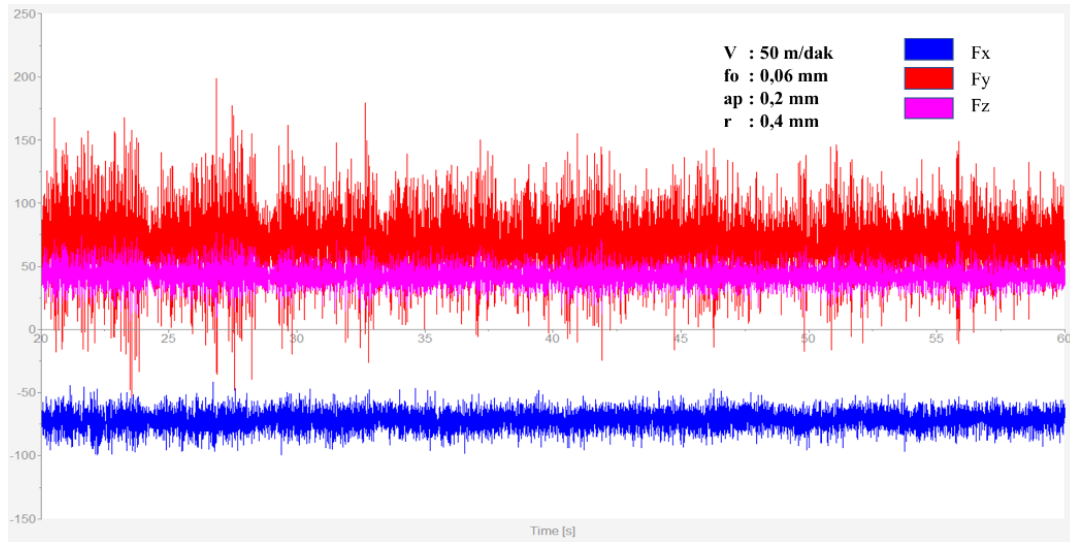
Tablo 4.79. Yüksek İlerleme Sonuç Tablosu

SIRA NO	V	fo	ap	r	Fx	Fy	Fz	Fr	Ft	Ff	Fc	Fn	Ra
128	50	0,12	0,2	0,4	96,59	106,0	49,40	97,66	107,17	49,95	153,35	109,69	1,164

4.2.5.3. Deney No:12 Talaş Derinliği Değişimi Kuvvet Analizi

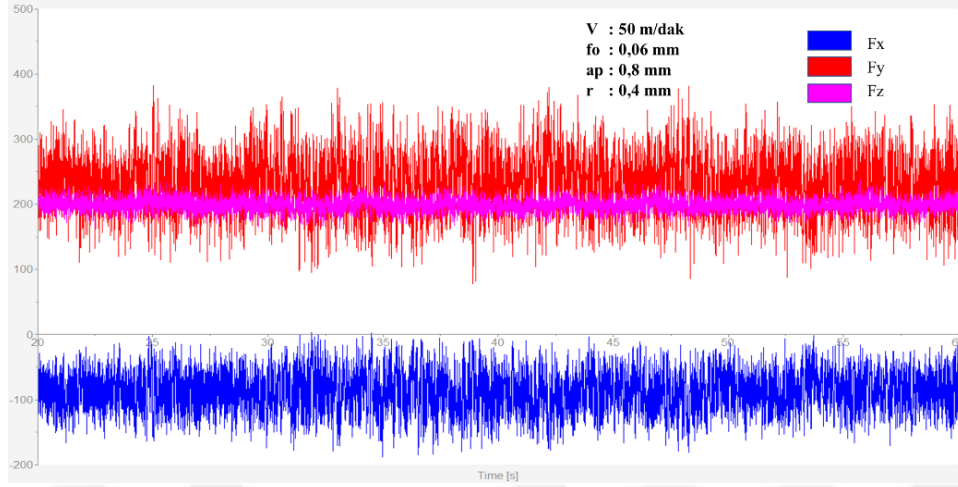
Tablo 4.80. Düşük Talaş Derinliği Sonuç Tablosu

SIRA NO	V	fo	ap	r	Fx	Fy	Fz	Fr	Ft	Ff	Fc	Fn	Ra
121	50	0,06	0,2	0,4	71,35	67,07	42,08	72,14	67,81	42,54	107,76	83,75	0,803

**Şekil 4.66.** Düşük Talaş Derinliği Grafiği

Talaş derinliği değişimi grafikleri Şekil 4.66 ve Şekil 4.67’de, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ise Tablo 4.80 ve Tablo 4.81’de verilmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve takım uç radiusunun sabit tutulması durumunda talaş derinliğinin artmasıyla Fx ve Fy

kuvvetinin genliğinin arttığı, Fz kuvvetinde belirgin bir değişim oluşmadığı gözlemlenmiştir. Talaş derinliği değişimi Ra üzerinde belirgin bir artışa yol açmamıştır.



Şekil 4.67. Yüksek Talaş Derinliği Grafı

Tablo 4.81. Yüksek Talaş Derinliği Sonuç Tablosu

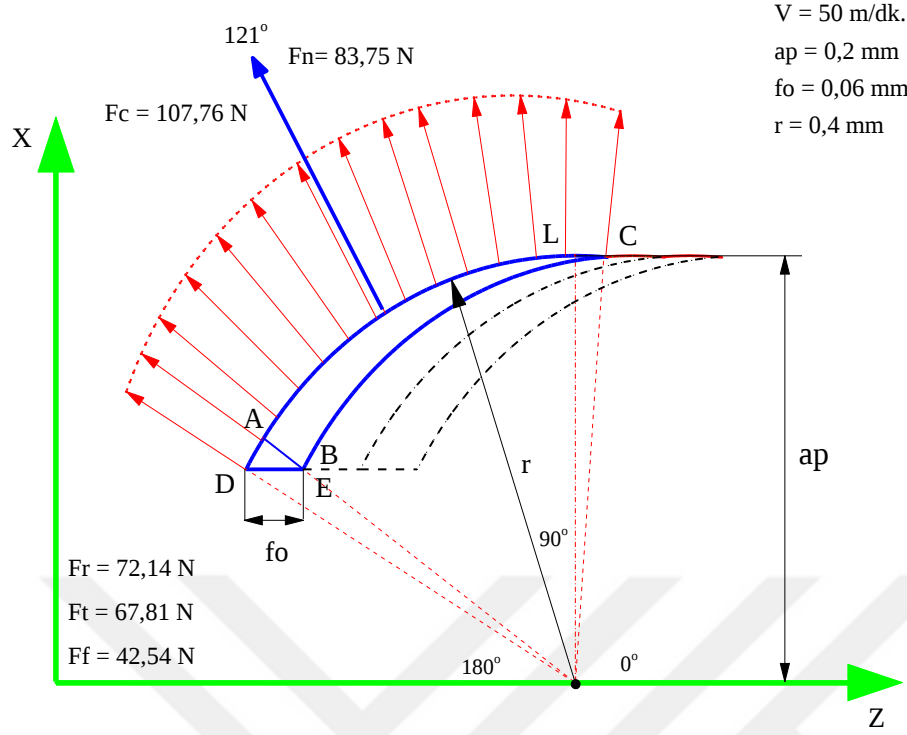
SIRA NO	V	fo	ap	r	Fx	Fy	Fz	Fr	Ft	Ff	Fc	Fn	Ra
129	50	0,06	0,8	0,4	87,44	230,4	199,6	88,41	232,95	201,8	320,63	220,32	0,813

4.2.6. Bileşke Kuvvet Dağılımı

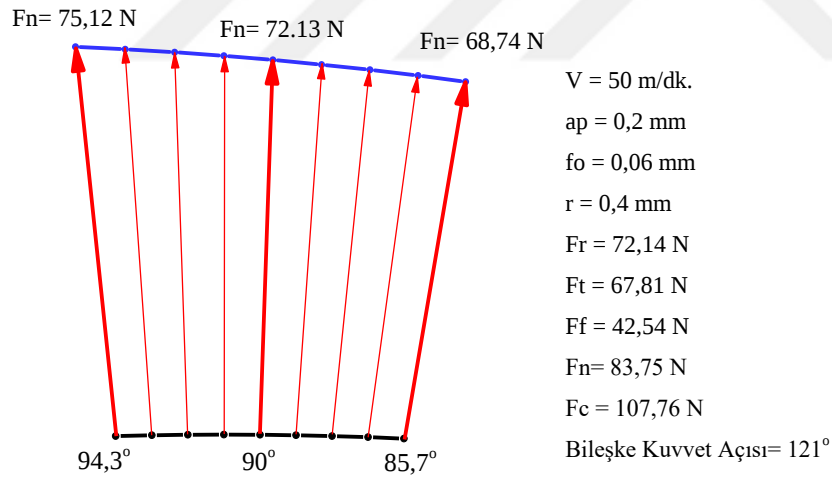
Yorulma deney numunelerinin üretimi sırasında kesme imalat parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla, talaş kesiti ve takım uç radyusu üzerinde oluşan gerilme dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafiklerde amaç talaş ile son temas hattı olan uç radyusu üzerindeki bileşke kuvvetlerin tespit edilmesidir. Bu çalışmanın özgün olan bölümlerinden birisi bu grafiklerin oluşturularak sunulmasıdır. Öncelikli olarak talaş kesiti üzerinde gerilme dağılımı grafiği Denklem 3.16-3.18 kullanılarak oluşturulmuş ve daha sonra o parametrelerle talaş uç radyusu üzerinde iş parçası ile temas hattındaki bileşke kuvvet dağılımı analiz edilmiştir.

4.2.6.1. 121 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi

50 m/dk. kesme hızında 0,2 mm talaş derinliğinde, 0,06 mm ilerleme hızında, 0,4 mm uç radyuslu kesici takım ile yapılan talaş kaldırma sırasında, talaş üzerinde Şekil 4.68'deki bileşke kuvvet dağılımı oluşmaktadır. İş parçası ve talaş üzerinde mekanik değişimleri oluşturan Fn kuvveti, 121° açıdan etki etmektedir. Bileşke kuvvet dağılımına bakıldığında C noktasından itibaren bileşke kuvvet olan Fn kuvvetinin arttığı, 121° açıda maksimum değer ulaştığı ve D noktasına doğru azaldığı gözlemlenmektedir.



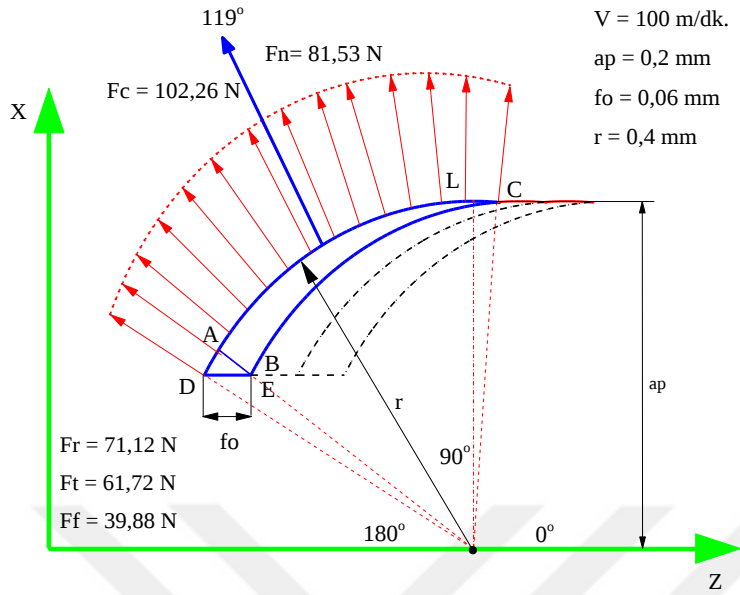
Şekil 4.68. 121 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği



Şekil 4.69. 121 Numaralı Deney 20_F Yay Kuvvet Dağılım Grafiği

Kesici takımın iş parçası ile son temas ettiği kenar olan 20_F yayı üzerindeki Şekil 4.69'daki F_n kuvvetleri incelendiğinde, takım uç radiusunun $85,7^\circ$ olan C noktasında $F_n = 68,74 \text{ N}$ olduğu, iş parçasıyla temas eden simetrik nokta $94,3^\circ$ 20_F yayının bitimi olan noktada $F_n = 75,12 \text{ N}$ olarak hesaplanmıştır. Kuvvet dağılımı grafiğine bakıldığında uç radiusunda 20_F yayı bölgesinde bileşke kuvvetin eşit etki etmediği gözlemlenmiştir.

4.2.6.2. 127 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi

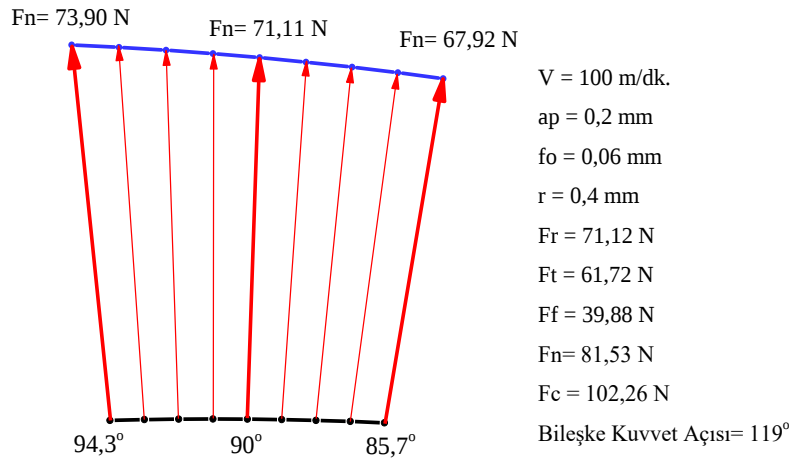


Şekil 4.70. 127 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği

100 m/dk. kesme hızında 0,2 mm talaş derinliğinde, 0,06 mm ilerleme hızında, 0,4 mm uç radyuslu kesici takım ile yapılan talaş kaldırma sırasında, talaş üzerinde Şekil 4.70'deki bileşke kuvvet dağılımı oluşmaktadır. İş parçası ve talaş üzerinde mekanik değişimleri oluşturan F_n kuvveti 119° açıdan etki etmektedir. Bileşke kuvvet dağılımına bakıldığında C noktasından itibaren bileşke kuvvet olan F_n kuvvetinin arttığı, 119° açıda maksimum değer ulaştığı ve D noktasına doğru azaldığı gözlemlenmektedir.

Kesici takımın iş parçası ile son temas ettiği kenar olan $2\theta_F$ yayı üzerindeki Şekil 4.71'deki F_n kuvvetleri incelendiğinde, takım uç radyusunun $85,7^\circ$ olan C noktasında $F_n = 67,92 \text{ N}$ olduğu, iş parçasıyla temas eden simetrik nokta $94,3^\circ$ $2\theta_F$ yayının bitimi olan noktada $F_n = 73,90 \text{ N}$ olarak hesaplanmıştır. Bileşke kuvvet dağılımı grafiğine bakıldığında uç radyusunda $2\theta_F$ yayı bölgesinde bileşke kuvvetin eşit dağılmadığı gözlemlenmiştir.

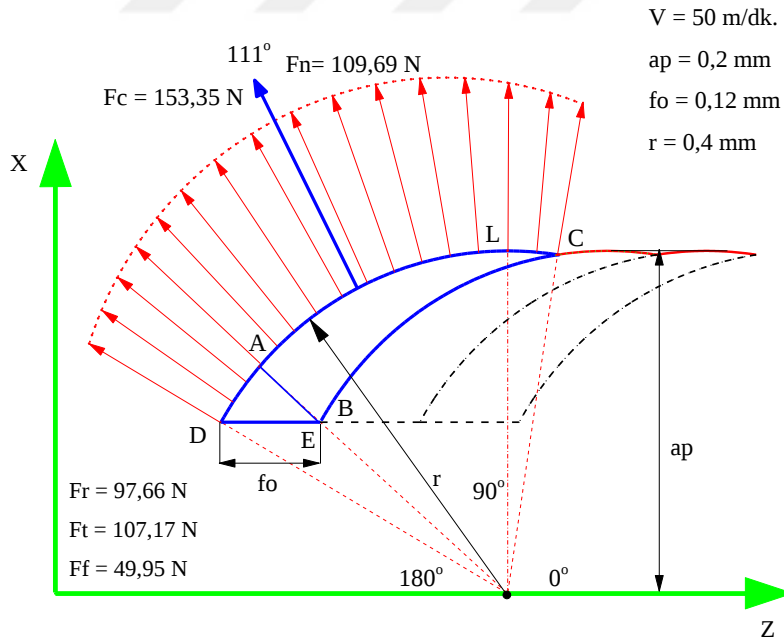
121 ve 127 numaralı deney sonunda elde edilen verilerle oluşturulan grafikler incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla F_n bileşke kuvvetinin iş parçası eksenine dik olacak şekilde yöneldiği, iş parçasını etkileyen F_n bileşke kuvvetin azaldığı gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvveti olan F_f kuvvetinin azaldığı, F_r kuvvetinin arttığı belirlenmiştir. Kesme hızının artırılmasının iş parçası üzerine etki eden deformasyon kuvvetlerinin azalmasına sebep olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4.71. 127 Numaralı Deney 20F Yay Kuvvet Dağılım Grafiği

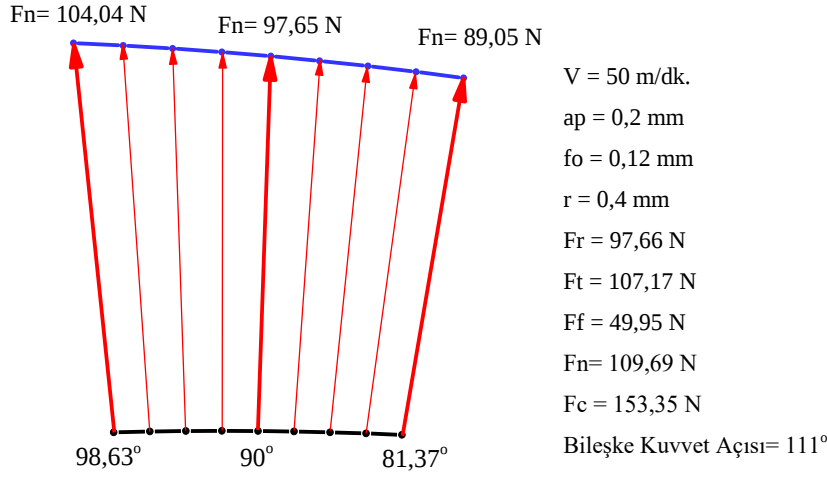
4.2.6.3. 128 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi

50 m/dk. kesme hızında 0,2 mm talaş derinliğinde, 0,12 mm ilerleme hızında, 0,4 mm uç yarıçaplı kesici takım ile yapılan talaş kaldırma sırasında, talaş üzerinde Şekil 4.72'deki bileşke kuvvet dağılımı oluşmaktadır. İş parçası ve talaş üzerinde mekanik değişimleri oluşturan F_n kuvveti 111° açıdan etki etmektedir.



Şekil 4.72. 128 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği

Bileşke kuvvet dağılımına bakıldığında C noktasından itibaren bileşke kuvvet olan F_n kuvvetinin arttığı, 111° açıda maksimum değer ulaştığı ve D noktasına doğru azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.73. 128 Numaralı Deney 20_F Yay Kuvvet Dağılım Grafiği

Kesme hızı, talaş derinliği, uç radiusunun sabit, sadece ilerleme değeri değişiminin 121 ve 128 numaralı deney sonuçları üzerindeki etkileri incelendiğinde, ilerleme hızının artmasıyla F_n kuvvetinin iş parçası eksenine yaptığı açının arttığı, iş parçasına etki eden bileşke kuvvet miktarının $83,75 \text{ N}$ 'dan $109,69 \text{ N}$ 'a çıktığı belirlenmiştir. İlerlemenin artmasının, iş parçası üzerinde oluşan mekanik etkiyi artırdığı değerlendirilmektedir.

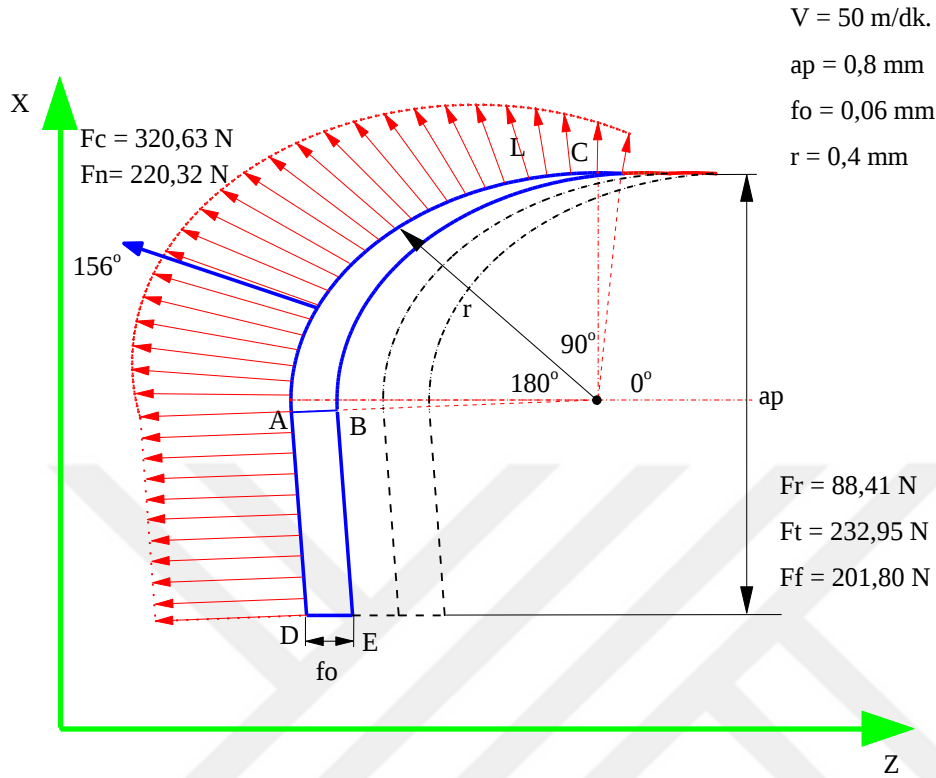
Kesici takımın iş parçası ile son temas ettiği kenar olan 20_F yayı üzerindeki Şekil 4.73'teki F_n kuvvetleri incelendiğinde, takım uç radiusunun $81,37^\circ$ olan C noktasında $F_n = 89,05 \text{ N}$ olduğu, iş parçasıyla temas eden simetrik nokta $98,63^\circ$ 20_F yayının bitimi olan noktada $F_n = 104,04 \text{ N}$ olarak hesaplanmıştır. Bileşke kuvvet dağılımı grafiğine bakıldığında uç radiusunda 20_F yayı bölgesinde bileşke kuvvetin eşit dağılmadığı gözlemlenmiştir.

Kesme hızı, talaş derinliği, uç radiusunun sabit, sadece ilerleme değeri değişiminin 121 ve 128 numaralı deney sonuçları üzerindeki etkileri incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla iş parçası ile temas eden yayın arttığı, F_f ile F_r arasında iki kata yakın kuvvet farkı oranının oluştuğu, Ra yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir.

4.2.6.4. 129 Numaralı Deney Kuvvet Dağılımı Analizi

50 m/dk. kesme hızında 0,8 mm talaş derinliğinde, 0,12 mm ilerleme hızında, 0,4 mm uç radiuslu kesici takım ile yapılan talaş kaldırma sırasında, talaş üzerinde Şekil 4.74'deki bileşke kuvvet dağılımı oluşmaktadır. İş parçası ve talaş üzerinde mekanik değişimleri oluşturan F_n kuvveti 156° açıdan etki etmektedir. Bileşke kuvvet dağılımına bakıldığında C

noktasından itibaren bileşke kuvvet olan F_n kuvvetinin arttığı, 156° açıda maksimum değer ulaştığı ve D noktasına doğru azaldığı gözlemlenmektedir.



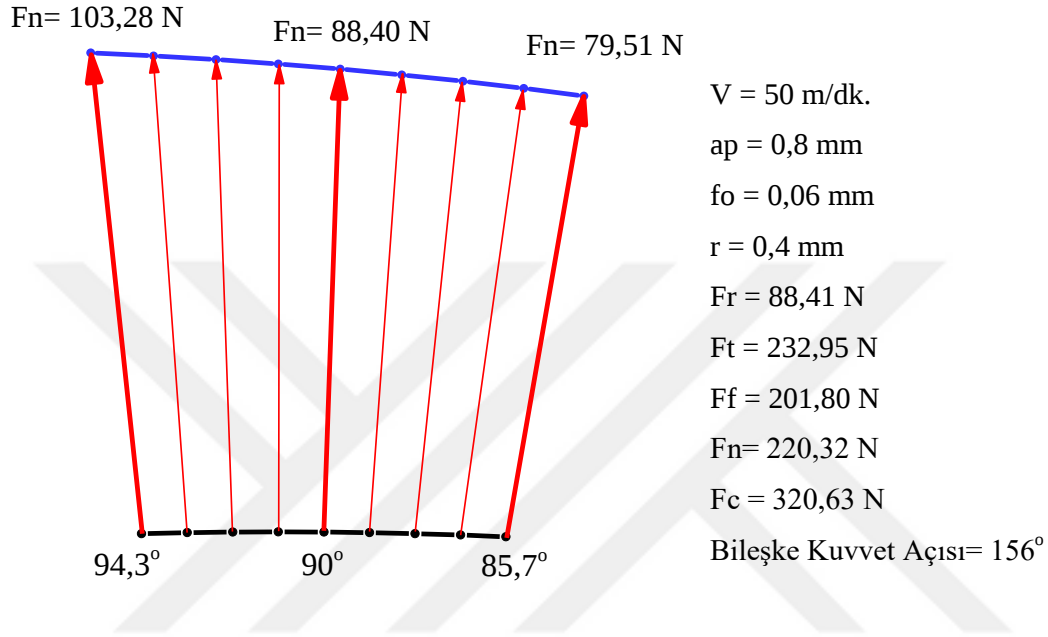
Şekil 4.74. 129 Numaralı Deney Kuvvet Dağılım Grafiği

Kesme hızı, ilerleme, uç yarıçapının sabit, sadece talaş derinliği değeri değişiminin, 121 ve 129 numaralı deney sonuçları üzerindeki etkileri incelendiğinde, talaş derinliğinin artmasıyla F_n kuvvetinin iş parçası eksenine yaptığı açının arttığı, iş parçasına etki eden bileşke kuvvet miktarının $83,75 \text{ N}$ 'dan $320,63 \text{ N}$ 'a çıktığı belirlenmiştir. F_n kuvvetinin artmasına rağmen F_n kuvvetinin oluşturduğu mekanik etki, talaş ile birlikte iş parçasından uzaklaşmaktadır.

Kesici takımın iş parçası ile son temas ettiği kenar olan $2\theta_F$ yayı üzerindeki Şekil 4.75'deki F_n kuvvetleri incelendiğinde, takım uç yarıçapının $85,7^\circ$ olan C noktasında $F_n = 79,51 \text{ N}$ olduğu, iş parçasıyla temas eden simetrik noktası $94,3^\circ$ $2\theta_F$ yayının bitimi olan noktasında $F_n = 103,28 \text{ N}$ olarak hesaplanmıştır. Bileşke kuvvet dağılımı grafiğine bakıldığında uç yarıçapında $2\theta_F$ yayı bölgesinde bileşke kuvvetin eşit dağılmadığı gözlemlenmiştir.

Kesme hızı, ilerleme, uç yarıçapının sabit, sadece talaş derinliği değeri değişiminin 121 ve 129 numaralı deney sonuçları üzerindeki etkileri incelendiğinde, talaş derinliği miktarının artmasıyla 121 numaralı deneyde $F_n = 83,75 \text{ N}$ olan değer, 129 numaralı deneyde

$F_n = 220,32 \text{ N}$ 'a belirgin olarak artmıştır. İş parçası temas yayı üzerine 121 numaralı deneyde $F_n = 68,74 \text{ N}$ ' olan değer 129 numaralı deneyde $F_n = 79,51 \text{ N}$ 'a çıkmıştır. Kuvvet miktarlarında oluşan değişime bakıldığında talaş derinliğinin artmasıyla oluşan bileşke kuvvet artışının oluşturduğu mekanik etki talaş ile birlikte iş parçasından uzaklaştığı değerlendirilmektedir.



Şekil 4.75. 129 Numaralı Deney 20_F Yayı Kuvvet Dağılım Grafiği

4.2.7. Yorulma Deney Numuneleri Üretimi

4.2.7.1. Yorulma Deneyi İmalat Parametreleri

Tablo 4.82. Kesme Parametreleri

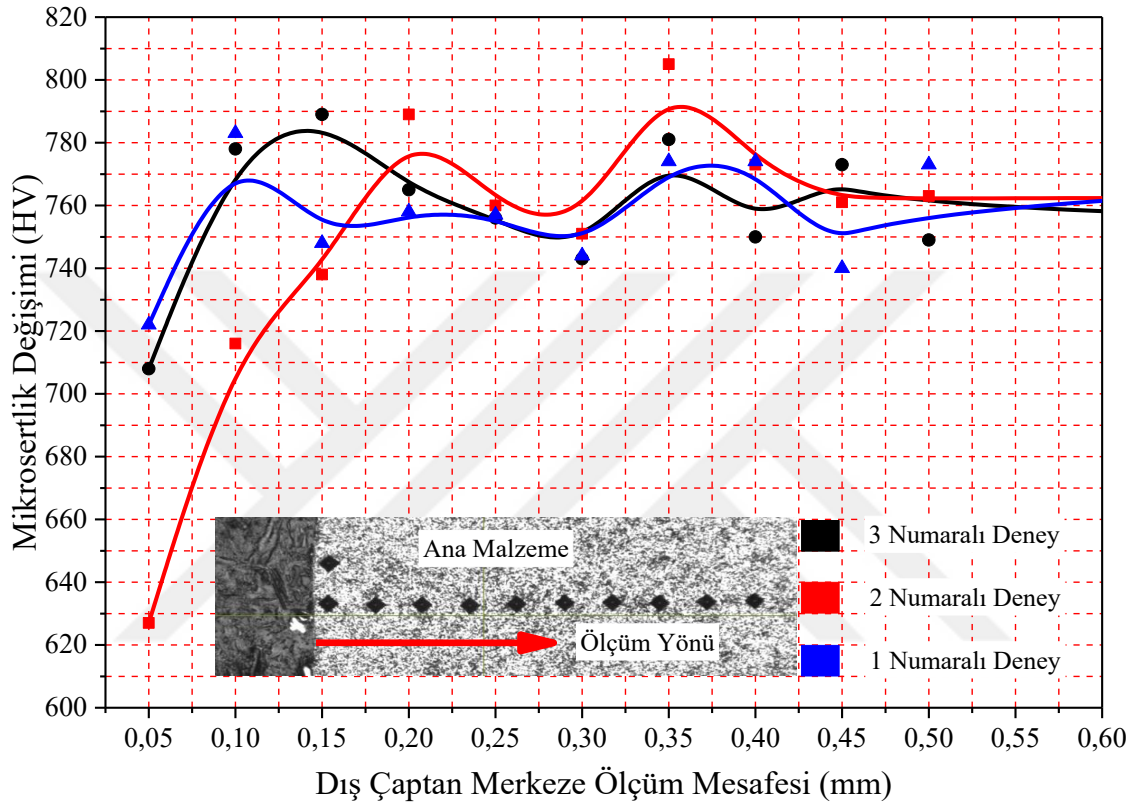
Deney No	Etkilediği Sonuç	Düzey	Kesme Hızı (m/dk.)	İlerleme (mm/dev.)	Kesme Derinliği (mm)
1	F_n ve R_a	Maksimum	34,17	0,139	0,98
2	F_n	Minimum	34,17	0,041	0,01
3	R_a	Minimum	115,82	0,041	0,54

Talaşlı imalat parametrelerinin yorulma ömrü üzerindeki etkilerinin test edileceği parametrelerin belirlenmesi için yapılan deneyler sonucunda, Deney No:12 parametreleri ile

yapılan deneyin en güvenilir sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Parametrelerin optimizasyonu Deney No:12 Optimizasyon bölümünde açıklanmıştır.

Optimizasyon sonucu Tablo 4.82'deki parametreler elde edilmiş ve yorulma deneylerinde kullanılacak numuneler, bu parametrelerle üretilmiştir.

4.2.7.2. Mikrosertlik Ölçümü



Şekil 4.76. Mikrosertlik Değişim Grafiği

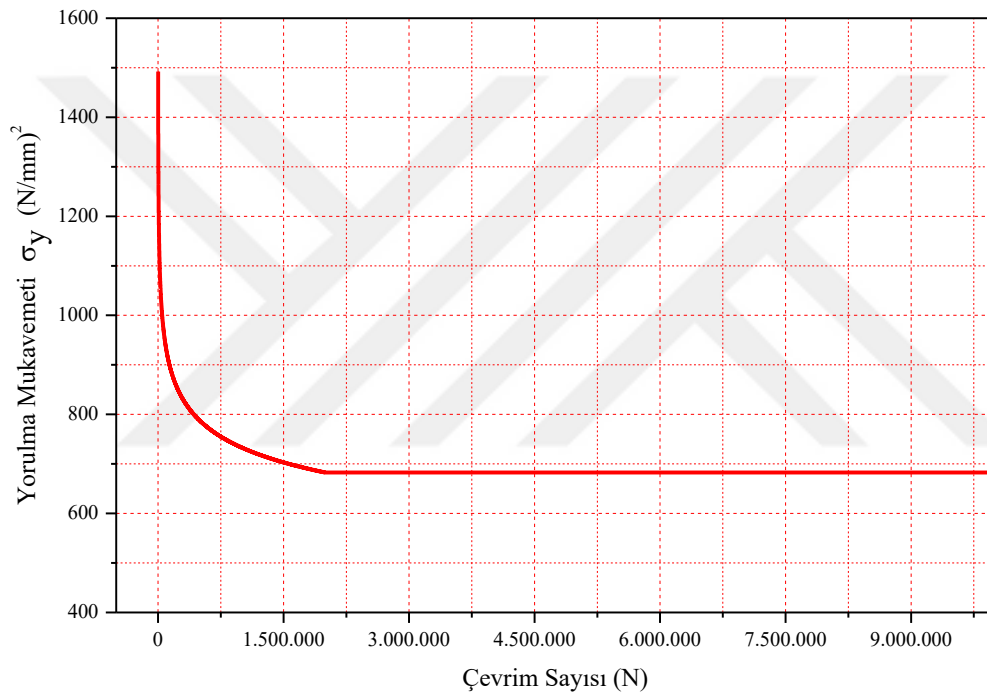
Üretilen yorulma numuneleri test bölgesinin ortasından kesilerek bakalite alınmış ve Qness-Q10 mikrosertlik cihazı kullanılarak mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri dış çaptan merkeze doğru 0,05 mm aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Ölçümler merkeze doğru kararlı hale geldiği mesafeye kadar devam etmiştir. Ölçümler sonucunda 1 numaralı numunenin yüzey tabakasında 722 HV mikrosertlik, 2 numaralı numunenin yüzey tabakasında 627 HV mikrosertlik ve 3 numaralı numunenin yüzey tabakasında 708 HV mikrosertlik değeri ölçülmüştür. Dış çaptan 0,5 mm derinliğe ulaştığında mikrosertlik değişimlerinin 760 HV civarında kararlı bir değer aldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.76 grafiği incelendiğinde 1 numaralı paraçanın yüzey tabakasında mikrosertlik 3 numaralı numuneye göre daha yüksek olsa da, yüzeyden 0,15 mm derinlikte en yüksek mikrosertlik 3 numaralı

numunede ölçülmüştür. 2 numaralı numunenin yüzeyden itibaren 0,2 mm derinliğe kadar mikrosertliği artarak devam etmiştir.

4.2.8 Yorulma Deneyleri

4.2.8.1. Teorik Hesaplama Grafikleri

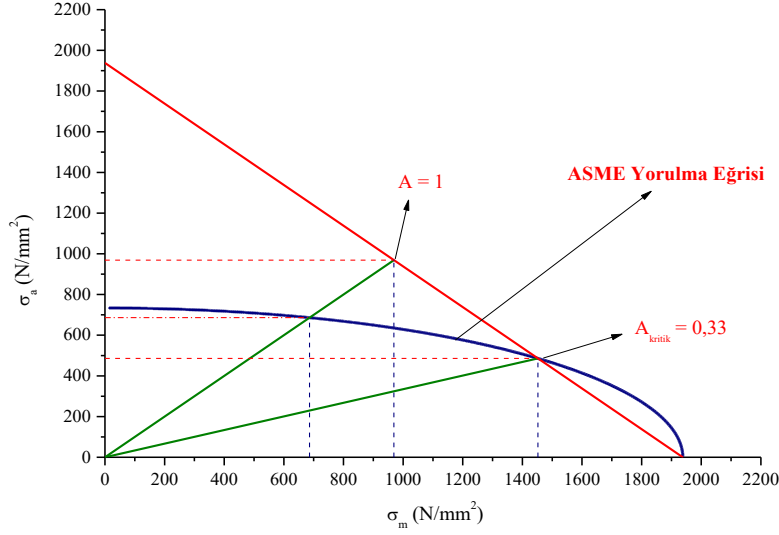
Çekme deneyi sonucu $\sigma_{\phi} = 1938 \text{ N/mm}^2$ çekme mukavemeti elde edilmiştir. Denklem 2.16-2.18 eşitlikleri kullanılarak çekme deneyi sonucu elde edilen σ_{ϕ} gerilmesi değeri yardımıyla Şekil 4.77'deki teorik Wöhler yorulma ömrü grafiği oluşturulmuştur. Teorik hesaplamalar sonucu sürekli mukavemet değeri $\sigma_y = 733 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur



Şekil 4.77. Teorik Wöhler Yorulma Ömrü Grafiği

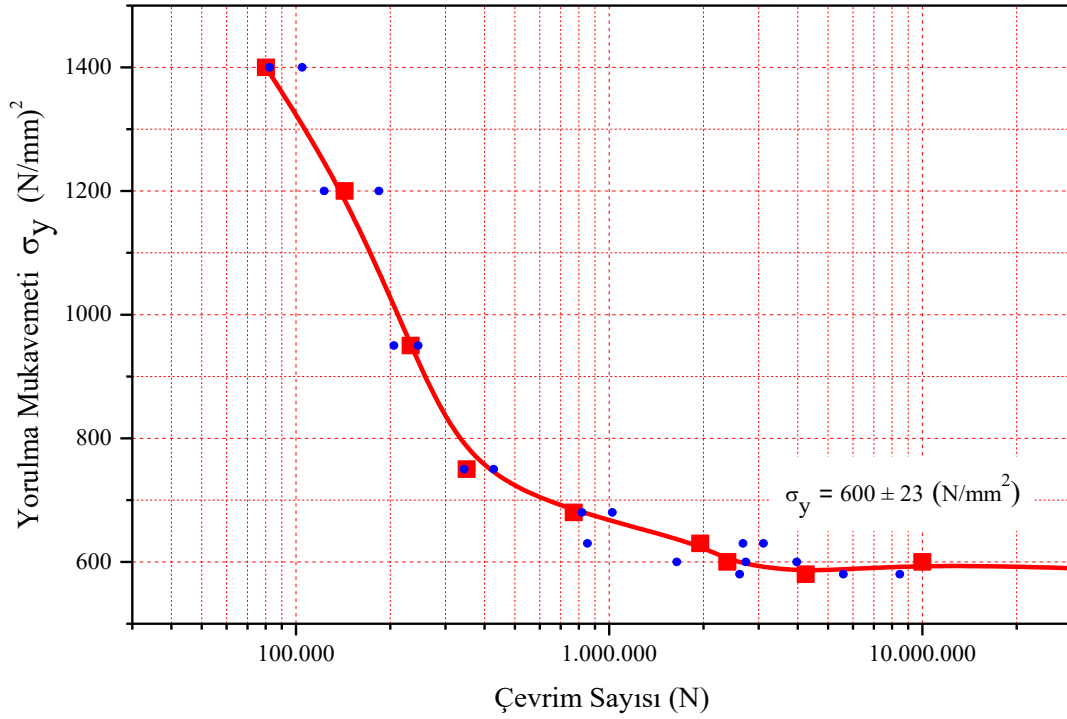
Teorik olarak elde edilen $\sigma_y = 733 \text{ N/mm}^2$ yorulma mukavemet değeriyle, Denklem 2.19-2.22 eşitlikleri kullanılarak Şekil 4.78'deki ASME Eliptik Yorulma Grafiği oluşturulmuştur. Teorik hesaplamalar sonucu $A=1$ için $\sigma_m = 686 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 686 \text{ N/mm}^2$, kritik değer $A=0,33$ için ise $\sigma_m = 1452 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 485 \text{ N/mm}^2$ elde edilmiştir.

Bu teorik hesaplamalar, deneysel çalışmalar sırasında elde edilen sonuçların yorumlanmasında ve yorulma deneyleri sırasında yükleme değerlerinin başlangıç değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4.78. Teorik ASME Eliptik Yorulma Ömrü Grafiği

4.2.8.2. 1 Numaralı Yorulma Deneyi

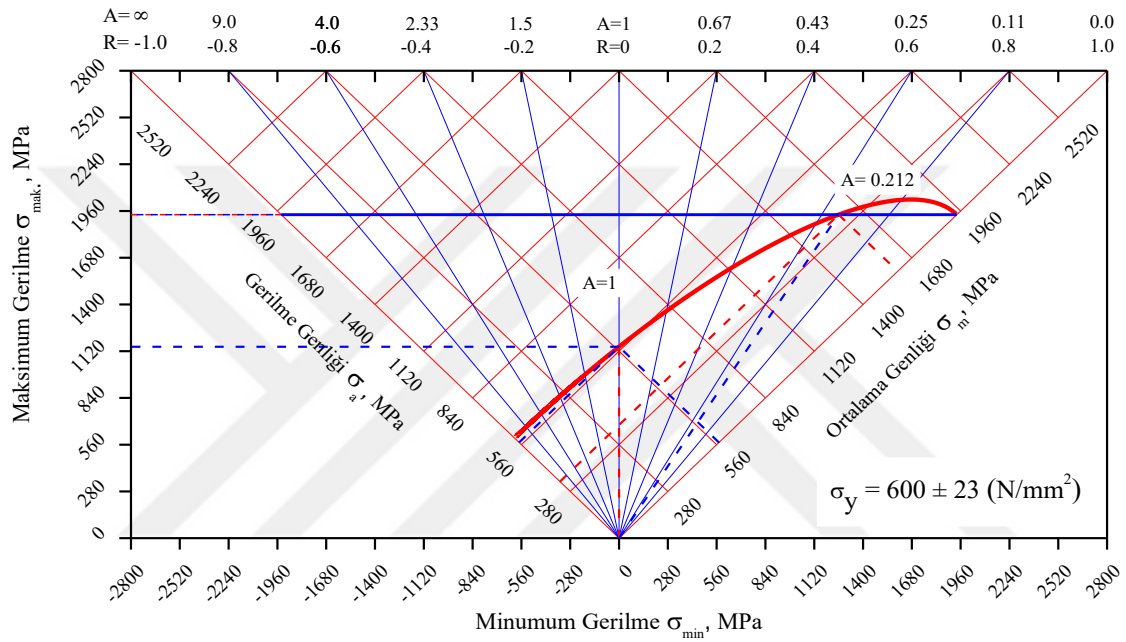


Şekil 4.79. 1 Numaralı Yorulma Deneyi Wöhler Diyagramı

R.R. Moure Dönel Eğmeli yorulma makinasında yapılan deneylerde malzemenin yorulma mukavemet değeri %95 güvenilirlikle Şekil 4.79'da grafikte görüldüğü gibi $\sigma_y = 600 \pm 23 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, her gerilme değeri için ortalama gerilme %95 güven aralığı istatistiksel olarak hesaplanmış ve grafikte

gösterilmiştir. $\sigma_y = 600 \text{ N/mm}^2$ gerilmenin üzerindeki değerlerde malzeme hasara uğrarken, $\sigma_y = 600 \text{ N/mm}^2$ gerilmenin altında yapılan deneylerde malzeme hasara uğramamıştır.

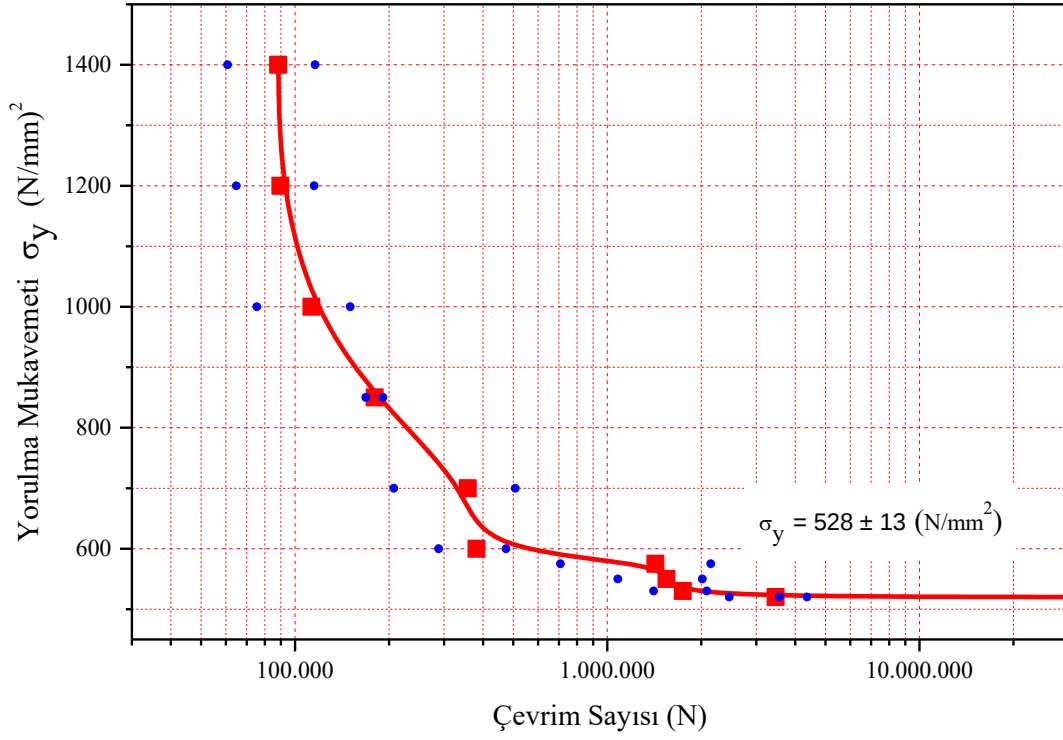
Yorulma deneyleri sonucu elde edilen $\sigma_y = 600 \text{ N/mm}^2$ yorulma mukavemet değerleri ile Şekil 4.80’de yapılan hesaplamalarda, $A=1$ için $\sigma_m = 573 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 573 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\max} = 1146 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\min} = 0 \text{ N/mm}^2$ elde edilmiştir. Kritik değer $A = 0,212$ için ise $\sigma_m = 1598 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 339 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\max} = 1938 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\min} = 1259 \text{ N/mm}^2$ bulunmuş ve ASME Eliptik Master Diyagramı oluşturulmuştur.



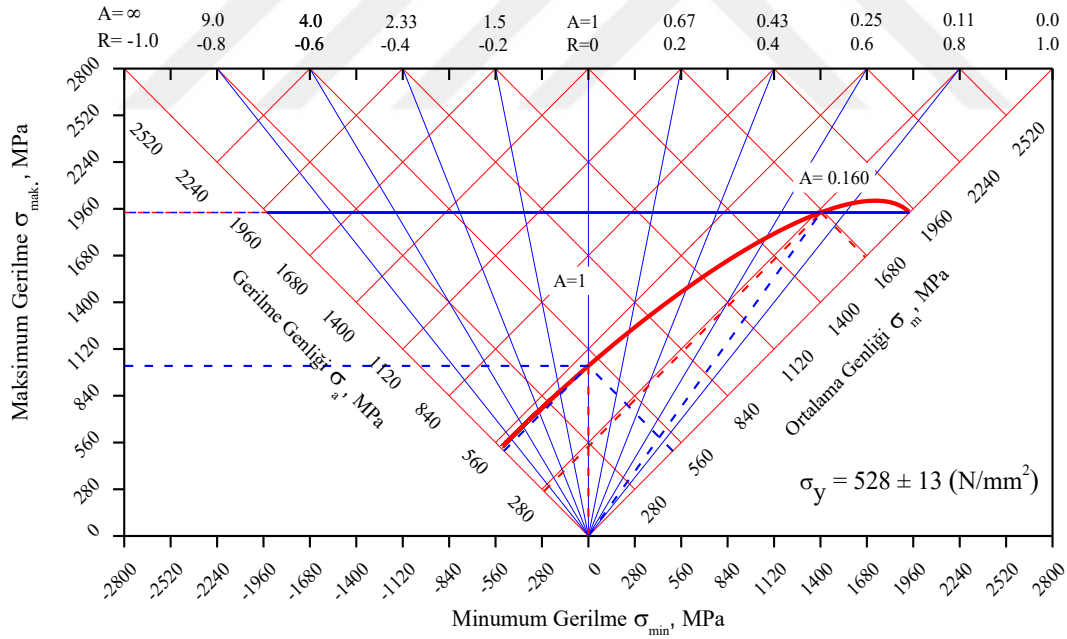
Şekil 4.80. 1 Numaralı Yorulma Deneyi ASME Eliptik Master Diyagramı

4.2.8.3. 2 Numaralı Yorulma Deneyi

R.R. Moure Dönel Eğmeli yorulma makinasında yapılan deneylerde malzemenin yorulma mukavemet değeri %95 güvenilirlikle Şekil 4.81’de grafikte görüldüğü gibi $\sigma_y = 528 \pm 13 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, her gerilme değeri için ortalama gerilme %95 güven aralığı istatistiksel olarak hesaplanmış ve grafikte gösterilmiştir. $\sigma_y = 528 \text{ N/mm}^2$ gerilmenin üzerindeki değerlerde malzeme hasara uğrarken, $\sigma_y = 528 \text{ N/mm}^2$ gerilmenin altında yapılan deneylerde malzeme hasara uğramamıştır.



Şekil 4.81. 2 Numaralı Yorulma Deneyi Wöhler Diyagramı



Şekil 4.82. 2 Numaralı Yorulma Deneyi ASME Eliptik Master Diyagramı

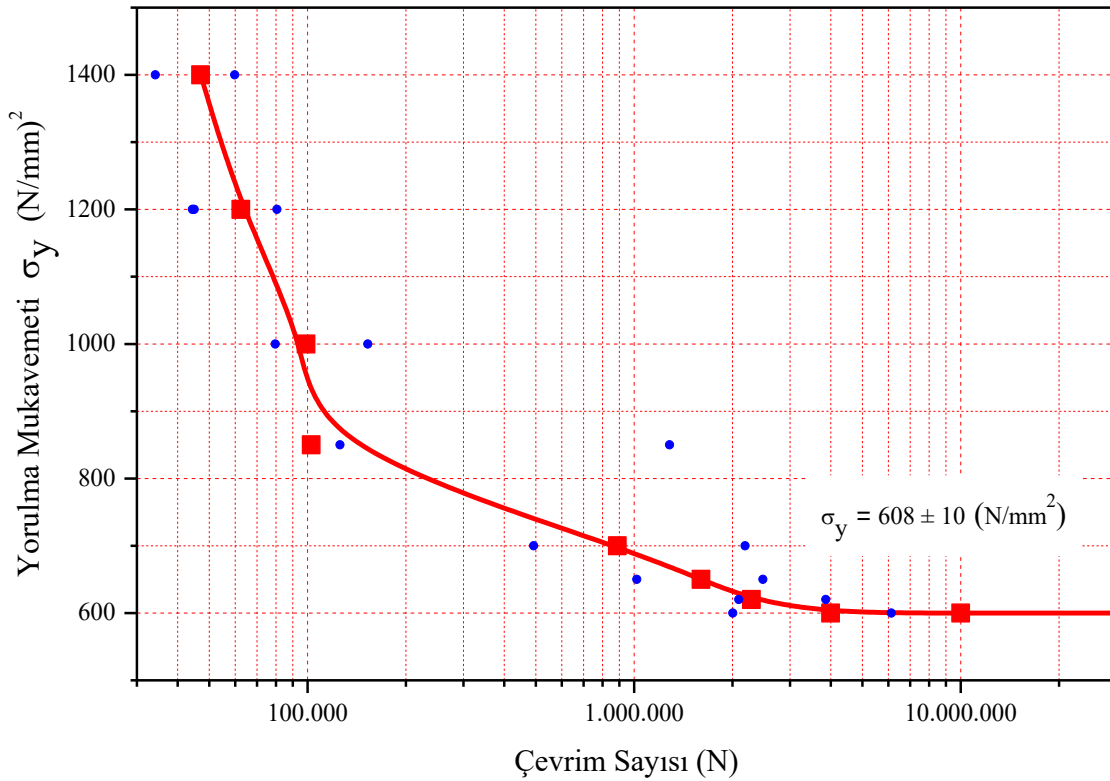
Yorulma deneyleri sonucu elde edilen $\sigma_y = 528$ N/mm² yorulma mukavemet değerleri ile Şekil 4.82’de yapılan hesaplamalarda, $A=1$ için $\sigma_m = 509$ N/mm², $\sigma_a = 509$ N/mm², $\sigma_{max} = 1019$ N/mm², $\sigma_{min} = 0$ N/mm² değerleri elde edilmiştir. Kritik değer $A = 0,160$ için ise

$\sigma_m = 1670 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 268 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\max} = 1938 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\min} = 1402 \text{ N/mm}^2$ olarak ASME Eliptik Master Diyagramı oluşturulmuştur.

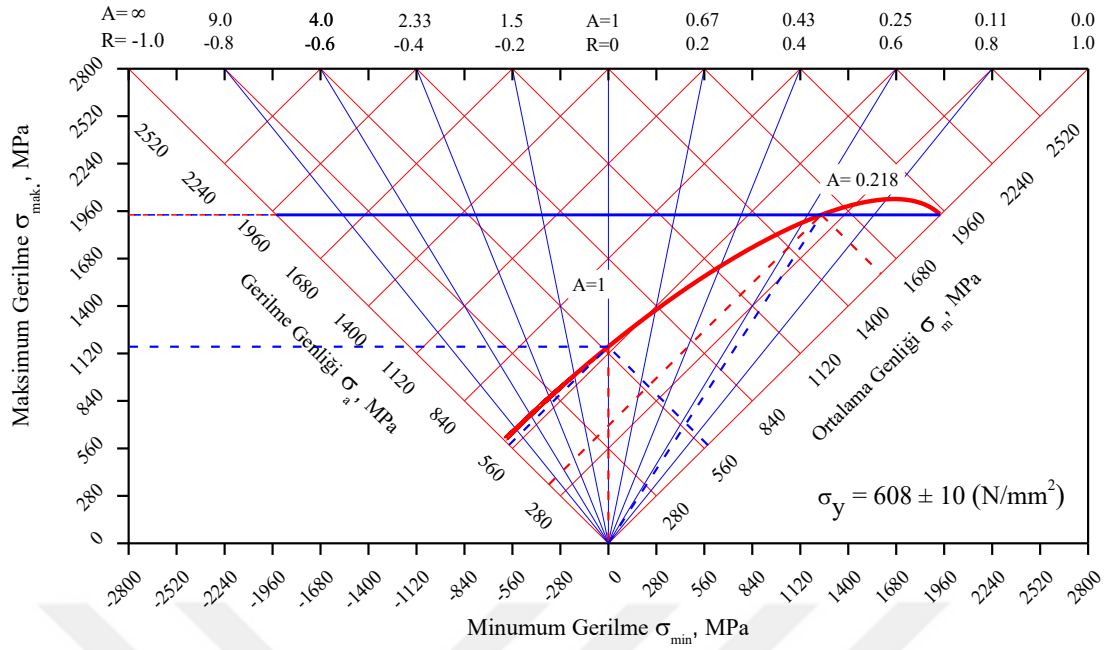
4.2.8.4. 3 Numaralı Yorulma Deneyi

R.R. Moure Dönel Eğmeli yorulma makinasında yapılan deneylerde malzemenin yorulma mukavemet değeri %95 güvenilirlikle Şekil 4.83'te grafikte görüldüğü gibi $\sigma_y = 608 \pm 10 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre, her gerilme değeri için ortalama gerilme %95 güven aralığı istatistiksel olarak hesaplanmış ve grafikte gösterilmiştir. $\sigma_y = 608 \text{ N/mm}^2$ gerilmenin üzerindeki değerlerde malzeme hasara uğrarken, $\sigma_y = 608 \text{ N/mm}^2$ gerilmenin altında yapılan deneylerde malzeme hasara uğramamıştır.

Yorulma deneyleri sonucu elde edilen $\sigma_y = 608 \text{ N/mm}^2$ yorulma mukavemet değerleri ile Şekil 4.84'te yapılan hesaplamalarda, $A=1$ için $\sigma_m = 580 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 580 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\max} = 1160 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\min} = 0 \text{ N/mm}^2$ elde edilmiştir. Kritik değer $A = 0,218$ için ise $\sigma_m = 1591 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_a = 347 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\max} = 1938 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{\min} = 1243 \text{ N/mm}^2$ olarak ASME Eliptik Master Diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 4.83. 3 Numaralı Yorulma Deneyi Wöhler Diyagramı



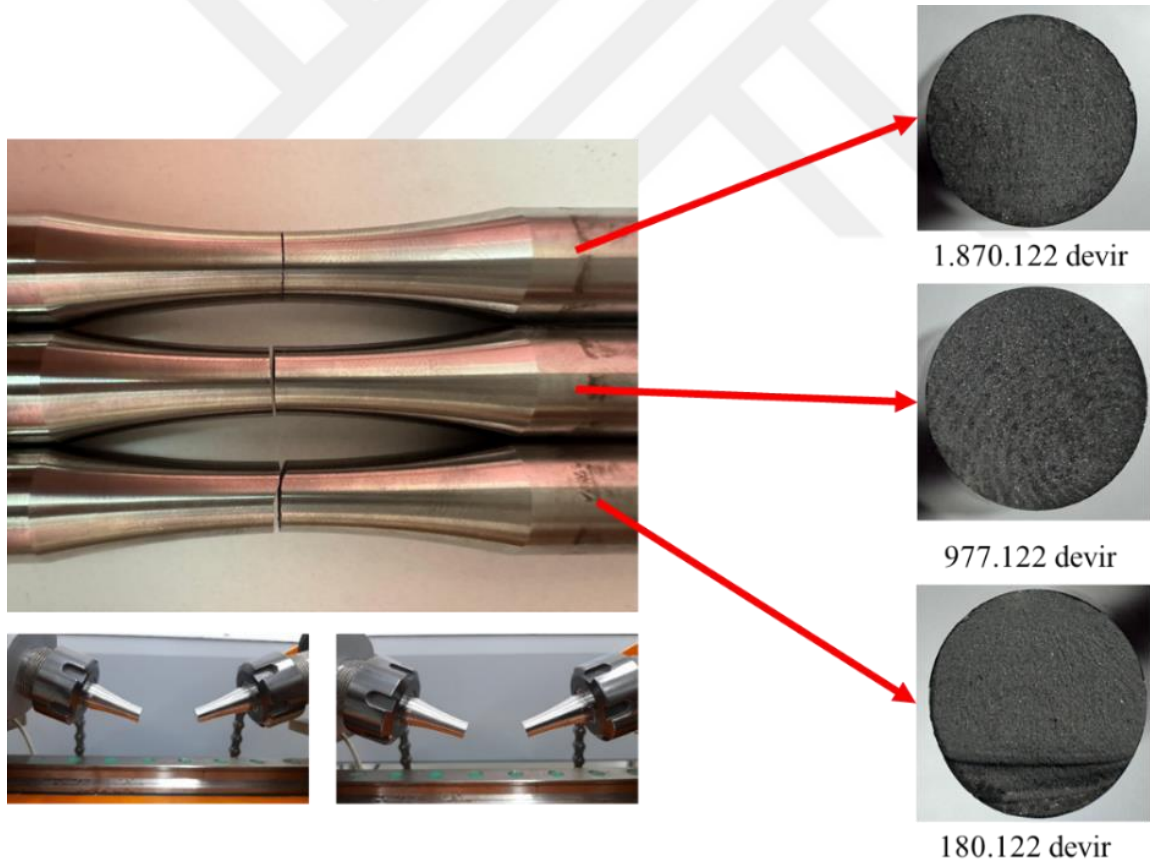
Şekil 4.84. 3 Numaralı Yorulma Deneyi ASME Eliptik Master Diyagramı

Yorulma deneyleri değerlendirildiğinde; 1 Numaralı yorulma deneyi sonucunda yorulma mukavemeti $\sigma_y = 600 \text{ N/mm}^2$, 2 Numaralı yorulma deneyi sonucunda yorulma mukavemeti $\sigma_y = 528 \text{ N/mm}^2$, 3 Numaralı yorulma deneyi sonucunda yorulma mukavemeti $\sigma_y = 608 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Yorulma deney numunelerini üretimi aşamasında kullanılan imalat parametrelerinin yorulma ömrünü etkilediği literatürde yapılan çalışmalarla uyumlu bulunmuştur (Akyıldız, 2005; Genel, 2000).

Yorulma deney sonuçları değerlendirildiğinde; iki numaralı deney numunesinin, Şekil 4.76'daki grafik incelendiğinde en düşük yüzey mikrosertliğine sahip olduğu görülmektedir. En sert yüzey mikrosertliği 1 numaralı deney numunesi yüzeyinde olmasına rağmen, 3 numaralı deney numunesinin yüzeyden itibaren 0,15 mm derinlikteki mikrosertlik değerinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kesme derinliğinin 2 numaralı deney numunesi üzerinde, talaşlı imalat sırasında ısıdan kaynaklı bir etki yarattığı ve bu sebeple malzemenin yüzeyinde mikrosertlik değerinde düşüşe yol açtığı değerlendirilmektedir. Talaş derinliğinin kesme kuvvetleri üzerinde artırıcı bir rol oynadığı literatür çalışmalarında (Uysal, 2012) belirtilmekle birlikte, bu çalışmada da önemli bir rol oynadığı ortaya konmuştur. 1 numaralı deney numunesinin üretim sırasında, kesme derinliğinin fazla olmasının yüzeyin mikrosertliğini artırdığı değerlendirilmektedir. Maksimum ve Minimum F_n kuvveti oluşturacak parametrelerle üretilen numunelerde, maksimum F_n kuvvetini oluşturan parametrelerin, yorulma ömrünü artırdığı belirlenmiştir. Burada talaş derinliği miktarının

etkili olduğu değerlendirilmektedir (Novovic vd., 2003). Maksimum ve Minimum Ra yüzey pürüzlülüğü oluşturacak parametrelerle üretilen numunelerde, minimum Ra yüzey pürüzlülüğü oluşturan parametrelerin yorulma ömrünü artırdığı belirlenmiştir. Burada kesme hızının artmasının ve talaş derinliğinin azalmasının yüzeyden 0,15 mm derinlikte mikrosertlik artışına sebep olduğu ve bu sertlik artışının yorulma ömrüne olumlu katkı sağladığı değerlendirilmektedir. 1 ve 3 deney numunelerine ait mikrosertlik ve yorulma mukavemeti değerleri incelendiğinde, mikrosertlik ve yorulma mukavemetine kesme hızından daha fazla talaş derinliği ve ilerleme hızı değerlerinin etkili olduğu gözlemlenmektedir. 1 ve 2 numaralı deney numunelerine ait mikrosertlik ve yorulma mukavemeti değerleri incelendiğinde ise, talaş kesitinin artmasıyla yüzeyde oluşan mekanik değişimlerin arttığı ve bu sebeple yorulma ömrünün talaş derinliğine bağlı olarak arttığı (Akyıldız vd., 2009; Benedetti vd., 2013) kıymetlendirilmektedir.

4.2.8.5. Yorulma Yüzeyleri



Resim 4.1. Yorulma Kırıkları

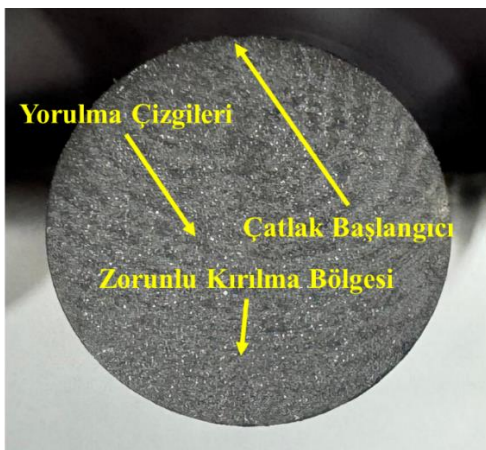
Yorulma deney numuneleri devir sayısına ve yükleme yapılan gerilme değerine bağlı olarak zaman içinde kırılırlar. Resim 4.1’de yorulma deneyleri sırasında belirli çevrim sayılarına

ulaşan numunelere ait görüntüler sunulmuştur. Numunelerin kırılma noktalarına bakıldığında test bölgesinin tam ortasından kırıldığı görülmektedir. Hasarın numunenin test bölgesinde tam ortada olması, deney numunesinin geometrisinin ve yorulma makinasının uyumundan kaynaklanmaktadır.



Resim 4.2. Yüksek Yükleme Altında Yorulma Kırığı

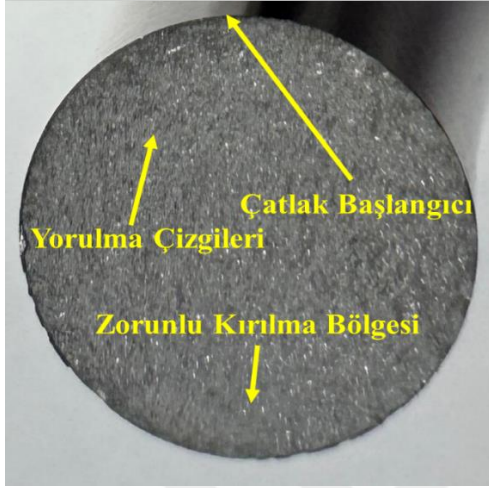
Yüksek yükleme değerleri altında numune kesitinde eğme ve basma gerilmesi oluşur. Oluşan bu gerilme altında numune her döndüğünde gerilmenin yönü de terse döner. Parça yüzeyinde oluşan hasar hızlı bir şekilde ilerler ve aniden numune üzerine gelen yükü taşıyamayarak kesit kırılır. Resim 4.2’de 180.122 devirde kırılmış bir numuneye ait kesit görüntüsü görülmektedir. Burada  atlak çok hızlı ilerleyerek, zorunlu kırılma bölgesinde ani kırılmayla sonuçlanmıştır. Malzemenin gevrek olması sebebiyle, yüzey gözenekli olarak görülmektedir.



Resim 4.3. Orta Yükleme Altında Yorulma Kırığı

Orta yükleme gerilmesi altında numune yüzeyinde oluşan hasar çatlak ilerleme çizgisine kadar ilerleyerek durur.  evrim sayısına bağlı olarak çatlak ilerler ve bu sırada Resim 4.3’te

görülen çatlak ilerleme çizgileri oluşur. Çevrim sayısına ve kesitte oluşan gerilmeye bağlı olarak çatlak ilerleme çizgileri sıklaşır. Resim 4.3'te 977.122 devirde hasara uğramış bir kesit görüntüsü görülmektedir. Kesit üzerine gelen yükü taşıyamadığı noktaya ulaştığında, zorunlu kırılma bölgesinden kırılır.



Resim 4.4. Düşük Yükleme Altında Yorulma Kırığı

Düşük yükleme altında gevrek malzemede ilerleme çizgileri belirgin olarak oluşmaz. Resim 4.4'te 1.870.122 devirde hasara uğramış bir deney numunesinin kesiti yer almaktadır. Yüzeyde çatlak başlangıcı noktasında çok keskin bir kenar bulunurken, zorunlu kırılma bölgesindeki kenar hattında girinti ve çıkıntılar mevcuttur.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada imalat parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerine etkileri detaylıca incelendiğinde aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir. Birinci grup deneylerde;

Değişken kesme hızı, ilerleme hızı, takım uç radyusu ve talaş derinliği parametreleriyle yapılan çalışmalarda;

- F_x , F_y , F_z kuvvetleri üzerinde ilerleme parametresinin literatür ile uyumlu olarak (Atakök, 2008) en etkili parametre olduğu,
- Kesme hızı parametresinin F_x ve F_z kuvveti için ikinci önemli parametre olduğu,
- Kesme hızının düşmesiyle F_z kuvvetinin F_x 'e göre arttığı,
- Kesme hızının artmasıyla F_z kuvvetinin azaldığı,
- F_x kuvvetinin artırılması için kesme hızının artırılması gerektiği,
- Kesme ucu radyusunun artmasıyla F_x kuvvetinin arttığı,
- Kesme hızının azalmasıyla F_y kuvvetinde genlik artışı ve tırlamaya sebep olabilecek dalgalanmalar oluştuğu,
- R_a yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin etkilediği ve sırasıyla da takım uç radyusu, kesme hızı ve talaş derinliği parametresinin etki ettiği,
- Kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün düştüğü, kesme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı,
- F_y eksenindeki kuvvette oluşan genlik artışının pürüzlülüğe etkisinin olduğu,
- Sabit uç radyuslu değişken kesme hızı, ilerleme hızı, takım kaplaması ve talaş derinliği parametreleriyle yapılan çalışmalarda;
- F_x , F_y , F_z kuvvetleri üzerinde talaş derinliği parametresinin literatür ile uyumlu olarak (Atakök, 2008) en önemli parametre olduğu,
- İlerleme hızı parametresinin F_x ve F_y için en önemli, ikinci önemli parametrenin ise talaş derinliği parametresi olduğu,
- Kesme hızı parametresinin kaplama parametresine göre F_x ve F_z için daha az etkili olduğu,

- Talaş derinliğinin artmasıyla literatür ile uyumlu olarak (Atakök, 2008; Gürbüz, 2012; Sekmen, 2013), kesme kuvvetlerinin arttığı,
 - Kesme hızı değişiminin Fz kuvveti üzerinde belirgin bir değişime yol açmadığı,
 - İlerleme değerindeki değişimin, düşük talaş derinliklerinde Fz kuvveti üzerinde belirgin bir değişime yol açmadığı,
 - Yüksek talaş derinliği değerlerinde ise Fx ve Fz kuvvetlerinin birbirine eşit değerler aldığı,
 - Ra yüzey pürüzlülüğüne en fazla ilerleme parametresinin, literatür ile uyumlu olarak (Mavi, 2013) sırasıyla da kaplama malzemesi, talaş derinliği ve kesme hızı parametresinin etki ettiği,
 - KY4400 kaplamalı kesici ile düşük ilerleme ve talaş derinliklerinde, düşük Ra yüzey pürüzlülüğünün oluştuğu,
 - Farklı sertlikte aynı malzeme ile yapılan deneylerde literatür ile uyumlu olarak (Neşeli, 2013) malzeme sertliğinin artmasıyla kesme işleminin daha kararlı hale geldiği,
- Sabit talaş derinliği değişken kesme hızı, ilerleme hızı ve takım uç radyusu parametreleriyle yapılan çalışmalarda;
- Kesme hızının tüm eksen kuvvetleri üzerinde en az etkiye sahip parametre olduğu,
 - Uç radyusunun Fx ve Fy üzerinde literatür ile uyumlu olarak (Atakök, 2008) en önemli parametre olduğu,
 - Talaş derinliğinin sabit seçilmesi durumunda Fz kuvveti için en etkili parametrenin uç radyusu, en az etkili parametrenin ise kesme hızı olduğu,
 - Ra yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme parametresi, en etkisiz parametrenin ise uç radyusu olduğu,
 - Uç radyusunun artmasıyla parça ile temas eden kenarın arttığı ve literatür ile uyumlu olarak (Atakök, 2008) Fx kuvvetinin Fz kuvvetine göre arttığı, takım uç radyusunun azalmasıyla ise Fz kuvvetinin Fx kuvvetine göre azaldığı,
 - Fy kuvvetinin sabit talaş derinliğinde kesme hızının ve uç radyusunun artmasıyla genliğinin arttığı
 - Sabit talaş derinliğinde Fx kuvvetinin genliğinin Fz kuvvetinden daha fazla olduğu,

- Sabit kesme hızı değişken ilerleme hızı, talaş derinliği ve takım uç radyusu parametreleriyle yapılan çalışmalarda;
- F_y ve F_z kuvvetleri için en önemli parametrenin talaş derinliği parametresi ikinci önemli parametrenin ise takım uç radyusu olduğu,
- F_x kuvvetinin takım uç radyusuna hassasiyetinin artmasında özel bir durum olan 0,2 mm takım uç radyusunun etkili olduğu,
- Takım uç radyusunun azalmasıyla F_x kuvvetinin F_z kuvvetine göre azaldığı,
- Takım uç radyusunun artmasıyla literatür ile uyumlu olarak (Gürbüz, 2012) F_x kuvvetinin F_z kuvvetine göre arttığı,
- R_a yüzey pürüzlülüğü üzerinde literatür ile uyumlu olarak (Gürbüz, 2012) ilerleme parametresinin en önemli parametre, sırasıyla uç radyusu ve talaş derinliği parametresinin olduğu,

Değişken ilerleme hızı, talaş derinliği ve takım uç radyusu, kesici takım malzemesi ve kesme hızı parametreleriyle yapılan çalışmalarda;

- Tüm eksen kuvvetleri için literatür ile uyumlu olarak (Gürbüz, 2012) kesici takım malzemesinin en önemli parametre olduğu,
- F_x ve F_z kuvveti için kesme hızı parametresinin kesici takım türünden sonra önemli parametre olduğu,
- 1,2 mm takım uç radyusu ile yapılan talaş kaldırmada F_x kuvvetinin F_z kuvvetine göre büyük, 0,8 mm takım uç radyusu ile yapılan talaş kaldırmada ise F_x kuvvetinin F_z kuvvetine göre küçük olduğu belirlenmiştir.
- İkinci grup deneylerde;
- F_n kuvveti üzerinde tüm parametrelerin anlamlı etkisinin olduğu,
- F_n kuvveti, talaş derinliği- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı (Gürbüz, 2012), fakat ilerleme hızının artmasıyla çok az etkilendiği,
- F_n kuvveti, talaş derinliği- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla arttığı (Sekmen, 2013), fakat kesme hızının artmasından az etkilendiği,

- Fn kuvveti, ilerleme hızı- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla arttığı, fakat kesme hızının azalmasından çok az etkilendiği,
- Ra yüzey pürüzlülüğü, talaş derinliği- ilerleme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının ve talaş derinliğinin artmasıyla arttığı,
- Ra yüzey pürüzlülüğü, talaş derinliği- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde talaş derinliğinin artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığı,
- Ra yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızı- kesme hızı etkileşimi yönünden incelendiğinde ilerleme hızının artmasıyla ve kesme hızının azalmasıyla arttığı,
- Talaş derinliği, ilerleme hızı ve takım uç radiusunun sabit, kesme hızının artmasıyla Fn kuvvetinin iş parçası eksenine paralel olarak arttığı,
- Kesme hızı, ilerleme hızı ve takım uç radiusunun sabit, talaş derinliğinin artmasıyla Fn kuvvetinin iş parçası eksenine paralel olarak arttığı belirlenmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri ve Yorulma Deneyi sonuçları değerlendirildiğinde;

- Ölçümler sonucunda 1 numaralı numunenin yüzey tabakasında 722 HV (61 HRC) mikrosertlik, 2 numaralı numunenin yüzey tabakasında 627 HV (56 HRC) mikrosertlik ve 3 numaralı numunenin yüzey tabakasında 708 HV (60 HRC) mikrosertlik değeri ölçülmüştür. Dış çaptan 0,5 mm derinliğe ulaştığında mikrosertlik değişimlerinin 760 HV civarında kararlı bir değer aldığı,
- 1 numaralı yorulma deneyi sonucunda yorulma mukavemeti $\sigma_y = 600 \text{ N/mm}^2$,
- 2 numaralı yorulma deneyi sonucunda yorulma mukavemeti $\sigma_y = 528 \text{ N/mm}^2$,
- 3 numaralı yorulma deneyi sonucunda yorulma mukavemeti $\sigma_y = 608 \text{ N/mm}^2$,
- 2 numaralı deney numunesinin en düşük yüzey mikrosertliğine sahip olduğu,
- En sert yüzey mikrosertliği 1 numaralı deney numunesi yüzeyinde olmasına rağmen 3 numaralı deney numunesinin yüzeyden itibaren 0,15 mm derinlikteki mikrosertlik değerinin en yüksek olduğu,
- Kesme derinliğinin 2 numaralı deney numunesi üzerinde, talaşlı imalat sırasında ısıdan kaynaklı bir etki yarattığı ve bu sebeple malzemenin yüzeyinde malzemede mikrosertlik değerinde düşüşe yol açtığı,
- Talaş derinliğinin kesme kuvvetleri üzerinde artırıcı bir rol oynadığı,

- 1 numaralı deney numunesinin üretim sırasında, kesme derinliğinin fazla oluşunun yüzeyin mikrosertliğini artırdığı (Novovic vd., 2003),
- Maksimum ve Minimum Fn kuvveti oluşturacak parametrelerle üretilen numunelerde, mekanik değişimlere sebep olan maksimum Fn kuvvetini oluşturan parametrelerin yorulma ömrünü artırdığı (Akyıldız, 2005; Benedetti vd., 2013; Duan vd., 2022; Hosseini vd., 2014; Zhang vd., 2024).
- Maksimum ve Minimum Ra yüzey pürüzlülüğü oluşturacak parametrelerle üretilen numunelerde, minimum Ra yüzey pürüzlülüğü oluşturan parametrelerin literatür ile uyumlu olarak (Akbulut, 2011; Holmberg vd., 2024; Jiang vd., 2024; Okenyi vd., 2024) yorulma ömrünü artırdığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak çalışmada kullanılan malzeme ve kombinasyonlardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Talaş derinliğinin artmasıyla, yorulma dayanımı ve kesme kuvvetlerinin arttığı, fakat ilerleme artışının kesme kuvvetlerinin üzerinde etkisinin olup olmayacağına yeni bir araştırma konusu olduğu,
- İlerleme ve kesme derinliğinin azalmasıyla, kesme kuvvetlerinin ve yorulma dayanımının azaldığı, talaş derinliğinin azalmasıyla sert malzemelerde yüzeyde oluşan mikrosertlik azalmasının etkilerinin araştırılmasının yeni bir çalışma konusu olabileceği,
- Kesme kuvvetlerinin artması da, azalması da sert tornalamada ısı ortaya çıkardığı, bu çalışmada bu durumun yüzeyde mikrosertliğin azalmasına yol açtığı görülmüştür. Farklı malzeme ve sertliklerde ısı olayının gelişiminin araştırılmasının yeni bir çalışma konusu olduğu,
- Kesme hızı artışıyla kesme kuvvetlerinin düşüşünün beklendiği durumda, talaş derinliği ve ilerleme azalmasının yüzeyde mikrosertliği düşürürken yüzey altı tabakada mikrosertlik artışına sebep olduğu, bu durumun da yorulma dayanımında bir miktar artışa yol açtığı (Bayraktar vd., 2009; Novovic vd., 2003; Dang vd., 2024; Holmberg vd., 2024), bu durumun ısıdan kaynaklı faz dönüşümünden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada sert silindirik yüzey tornalamada kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler ve kesme şartları detaylı olarak incelenmiştir. İncelenen parametre ve şartlar içinde kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne en duyarlı parametreler belirlenmiştir. Belirlenen bu parametrelerin kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü maksimize ve minimize eden değerlerinde, yorulma deney numuneleri imal edilmiştir.

Yorulma deneylerini hassas şekilde yapacak, dört noktadan dönel eğmeli yorulma test makinası tasarlanmış ve imal edilmiştir. Yorulma makinası, devir sayıları voltaj ve akım dalgalanmalarından etkilenmeyecek şekilde gerekli elektronik sistemler ile donatılmıştır.

Kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü minimize eden ve maksimize eden parametrelerde üretilen, yorulma deney numuneleri için S-N eğrileri çıkartılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü maksimum iken yorulma mukavemeti 600 N/mm^2 , yüzey pürüzlülüğü minimum iken yorulma mukavemeti değeri 608 N/mm^2 olmuştur. Buna göre yüzey pürüzlülüğü değerinin minimum olduğu yerde yorulma mukavemeti % 1,33 artmıştır. Kesme kuvvetlerinin maksimum değerinde yorulma mukavemeti 600 N/mm^2 olurken minimum değerinde yorulma mukavemeti 528 N/mm^2 olmuştur. Buna göre kesme kuvvetlerinin minimum olduğu durumda yorulma mukavemeti % 13,36 azalmıştır. Yorulma mukavemetinin önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu yerine kesme kuvvetlerinin optimizasyonuna odaklanılmasının faydalı olduğu gözlemlenmiştir. Yorulma deney numunelerinin yüzey tabakasında mikrosertlik değişimleri belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında talaş kaldırma sırasında parametreler bağlı oluşan, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün yorulma ömrüne olan etkisi araştırılmıştır. Çalışma üç aşamalı olarak planlanmış ve uygulanmıştır.

Birinci aşamada farklı kesici türü, takım kaplaması, uç yarıçapı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme hızı, yumuşak ve sert farklı malzemeler (AISI 4340, DIN 3343, DIN 2379 ve DIN 100Cr6) kullanılarak en kararlı imalat parametreleri Taguchi metodu kullanılarak ANOVA analizleriyle araştırılmıştır.

İkinci aşamada, kararlı talaş kaldırma işleminin yapılabildiği birinci aşamada tespit edilen DIN 100Cr6 malzeme kullanılarak Yanıt Yüzey Metodu ile kesme hızı, talaş derinliği, takım uç yarıçapı ve ilerleme parametreleri kullanılarak ANOVA analizleriyle en kararlı parametre grubu belirlenmiş ve belirlenen parametre grubunda optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyonla Minimum ve Maksimum F_n bileşke kuvveti ve R_a yüzey pürüzlülüğü

değerlerinde yorulma numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır.

Üçüncü aşamada R.R. Moure Dönel Eğmeli yorulma makinası tasarlanarak üretilmiş, kalibrasyon deneyleri yapılmıştır. Kalibrasyonu müteakip üretilen deney numuneleri kullanılarak yorulma mukavemet değerleri belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde kesme kuvvetlerine etki eden faktörlerin detaylı olarak incelendiği çalışmaların az olduğu gözlemlenmiştir. Yorulma çatlaklarının yüzeyde başladığı düşünüldüğünde yorulma ömrünün yüzey tabakasında oluşan çentikler, kaldırılan talaş miktarı, yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı, takım uç radyusu, malzeme ve mikrosertlik doğrudan etkilemektedir. Yüzey tabakasında oluşan değişimlerin, imalat aşamasında olduğu göz önüne alındığında son yüzey işleminin yapıldığı imalat yöntemi yorulma ömrü açısından çok önemlidir. Yüzey tabakasının oluşması sırasında son imalat aşamalarında kontrol edilemeyen faktörlerin minimum olması istenmektedir.

Araştırmada imalat sırasında en yüksek hassasiyette deney numunesi üretim aşamaları tüm detaylarıyla verilmiştir. İmalat sırasında kullanılabilecek tüm parametrelerin kesme kuvvetleri üzerinde oluşturduğu etki incelenmiştir.

Kesme kuvvetlerinden F_x kuvvetinin artmasına sırasıyla ilerleme hızı, takım uç radyusunun kesme derinliği ve kesme hızının artmasının etki ettiği gözlemlenmiştir. Takım uç radyusunun artışıyla F_x kuvvetinin genliğinin arttığı belirlenmiştir. Takım uç radyusunun azalmasıyla F_x kuvvetinin F_z kuvvetine göre azaldığı, takım uç radyusunun artmasıyla F_x kuvvetinin F_z kuvvetine göre arttığı belirlenmiştir.

Kesme kuvvetlerinden F_y kuvvetinin artmasına, kesme hızının düşmesi, uç radyusu, talaş derinliği ve ilerlemenin artmasının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kesme hızının düşmesi ve ilerleme hızının artması F_y kuvvetinde genliğin artmasına sebep olmakta ve yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir.

Kesme kuvvetlerinden F_z kuvvetinin artmasına, kesme hızının düşmesi, ilerleme hızının, uç radyusunun ve talaş derinliği değerini artmasının sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü R_a 'nın artmasına ilerleme hızının ve talaş derinliğinin artmasının, kesme hızının azalmasının, F_y kuvvetinin genliğinin artmasının sebep olduğu belirlenmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri sonucunda 1 numaralı numunenin yüzey tabakasında 722 HV mikrosertlik, 2 numaralı numunenin yüzey tabakasında 627 HV mikrosertlik ve 3 numaralı

numunenin yüzey tabakasında 708 HV mikrosertlik değeri ölçülmüştür. Dış çaptan 0,5 mm derinliğe ulaştığında mikrosertlik değişimlerinin 760 HV civarında kararlı bir değer aldığı gözlemlenmiştir. En sert yüzey mikrosertliği 1 numaralı deney numunesi yüzeyinde olmasına rağmen 3 numaralı deney numunesinin yüzeyden itibaren 0,15 mm derinlikteki mikrosertlik değerinin en yüksek olduğu, kesme derinliğinin 2 numaralı deney numunesi üzerinde, talaşlı imalat sırasında ısıdan kaynaklı bir etki yarattığı ve bu sebeple yüzeyde malzemede mikrosertlik değerinde düşüşe yol açtığı, talaş derinliğinin kesme kuvvetleri üzerinde artırıcı bir rol oynadığı, 1 numaralı deney numunesinin üretim sırasında, kesme derinliğinin fazla oluşunun yüzeyin mikrosertliğini artırdığı gözlemlenmiştir.

Maksimum ve Minimum Fn kuvveti oluşturacak parametrelerle üretilen numunelerde, maksimum Fn kuvvetini oluşturan parametrelerin yorulma ömrünü artırdığı belirlenmiştir. Bu sonucun literatür ile karşılaştırıldığında talaş derinliğinin artmasının kesme kuvvetlerini artırdığını, kesme kuvvetlerinin artmasıyla yüzey tabakasına uygulanan mekanik iyileştirme işlemlerinin artık gerilme oluşumuna sebep olduğu, yüzeyde oluşan artık gerilmelerin ise yorulma ömrünü artırdığı, çalışmalarla uyumlu olarak ortaya çıkmıştır.

Maksimum ve minimum Ra yüzey pürüzlülüğü oluşturacak parametrelerle üretilen numunelerde ise, minimum Ra yüzey pürüzlülüğü oluşturan parametrelerin yorulma ömrünü artırdığı belirlenmiştir. Bu sonucun literatür ile karşılaştırıldığında, literatürle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün yorulma dayanımı üzerinde en önemli parametre olduğu ve yüzey pürüzlülüğünün azalmasıyla yorulma dayanımının arttığı, literatür çalışmalarında da belirtilmiştir.

Makina tasarımcılarının tasarladıkları, makina parçalarının ömürlerinin önemli olduğu durumlarda, imalat aşamasında, yorulma ömrünün artırılması için Fn kesme kuvvetinin artırılması ve yüzey pürüzlülüğü değerinin azaltılmasının yorulma ömrü açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Gelecekte tasarımcılara, bu tezde %95 güvenilirlikle oluşturulan Wöhler diyagramları ve ASME Eliptik Master diyagramları, deneylerde kullanılan parametrelerin parça üretimlerinde kullanmaları durumunda, tasarımlarının yorulma ömürleri ve yükleme değerleri hakkında güvenilir bilgiler sunmaktadır.

Araştırmacıların gelecekte DIN 100Cr6 malzeme için farklı sertliklerde, aynı parametrelerle deney yapmalarının sertlik değişiminin yorulma ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akbulut, M. (2011). *AISI 1045 Çeliğinin Yorulma Davranışı Üzerinde Mekanik Yüzey İşlemlerinin Etkisi* (Yayın No:299784) [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Akkuş, A. (2006). *Galvanizli ve Östenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması* (Tez No:223743) [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Akyıldız, H. K. (2005). *Vidaların Talaş Kaldırma ile İmalatında İmal Faktörlerinin Vidanın Yorulma Dayanımına Etkisi* (Yayın No:166637) [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Akyıldız, H. K. (2009). Effects of Machining Parameters on Fatigue Behavior of Machined Threaded Test Specimens, *Material and Desing*, 31 (2010) 1015-1022. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.07.039>
- Almen, J.O. & Black, P. H. (1963). *Residual stresses and Fatigue in Metals*. New York: McGraw-Hill, 8-78
- Altıntaş, Y. (2012). *Manufacturing Automation*. New York: Cambridge University Press, 4-186.
- Arshinov, V. (1976). *Metal Cutting Theory and Cutting Tool Desing*. Moscow: Mir Publishers, 24-231.
- ASM Handbook Committee. (1997). *Fatigue and Fractur Volume 19 ASM Handbook*. Michigan: ASM International, 148-1475.
- ASM Handbook Committee. (1991). *Mechanical Testing and Evaluations Volume 4 ASM Handbook*. Michigan: ASM International, 497-510.
- ASM Handbook Committee. (2000). *Mechanical Testing and Evaluations Volume 8 ASM Handbook*. Michigan: ASM International, 1571-1827.
- ASTM E 1049. (1997). *Standard Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis 1*, Michigan: ASM International, 1211-1217.
- ASTM E 1823. (2002). *Standard Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing 1*. Michigan: ASM International, 1015-1017.

- ASTM E 1942. (2004). *Standard Guide for Evaluating Data Acquisition Systems Used in Cyclic Fatigue and Fracture Mechanics Testing 1*. Michigan: ASM International, 853-859
- ASTM E 2207. (2002). *Standard Practice for Strain-Controlled Axial-Torsional Fatigue Testing with Thin - Walled Tubular Specimens 1*. Michigan: ASM International, 921-923.
- ASTM E 2368. (2002). *Standard Practice for Strain Controlled Thermomechanical Fatigue Testing 1*. Michigan: ASM International, 901-903.
- ASTM E 466. (2002). *Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials 1*. Michigan: ASM International, 842-843.
- ASTM E 467. (2004). *Standard Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Forces in an Axial Fatigue Testing System 1*. Michigan: ASM International, 621-625.
- ASTM E 468, (2004). *Standard Practice for Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Results for Metallic Materials 1*, Michigan: ASM International, 842-843.
- ASTM E 606. (1993). *Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing 1*. Michigan: ASM International, 642-643.
- ASTM E 739, (2004). *Standard Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life (e-N) Fatigue Data 1*, Michigan: ASM International, 453-458.
- Atakök, G., (2008). *CNC Tornada Talaş Kaldırma İşlemlerinde Talaş Kırıcı Geometrisinin İşlenebilirliğe Etkilerinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi* (Yayın No: 233549) [Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Backstrom, M. (2003). *Multiaxial Fatigue Life Assessment of Welds Based on Nominal and Hot Spot Stresses*. Espoo: Materials Science, 21-39
- Bayraktar, E. (2009). Heat Treatment, Surface Roughness and Corrosion Effects on The Damage Mechanism of Mechanical Components in The Very High Cycle Fatigue Regime. *International Journal of Fatigue*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2009.04.017>

- Benedetti, M. (2013). Multiaxial Fatigue Resistance of Shot Peened High-Strength Aluminum Alloys. *International Journal of Fatigue*.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2013.10.020>
- Budynas, R. G. & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Desing*. Singapore: Higher Education, 71-330.
- Carpinteri, A., Freitas, M. & Spagnoli, A. (2001). *BiaxialMultiaxial Fatigue and Fracture*. Lisbon: ESIS Publication , 83-143.
- Dang, J., Li, Y., Zhang, X., Zhang, J. & Wang, Q. (2024). Surface fatigue characterization and its enhancement by the engineered ultrasonic rolling process for 300 M ultrahigh strength steel. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*.
<https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2024.104707>
- Demirkol, M. (2004). *Malzemelerin Mekanik Davranışı*. İstanbul: İTÜ Matbaası, 5-20.
- Duan, C., Qu, S., Hu, X., Jia, S. & Li, X. (2022). Evaluation of the influencing factors of combined surface modification on the rolling contact fatigue performance and crack growth of AISI 52100 steel. *Wear*. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204252>
- Garekani, A. H. A. (2013). *Numerical Modeling of Orthogonal Cutting of Carbon Fibre Reinforced Polymer Composites*. (Publication No: 10.14288/1.0305793) [Ph.D. Thesis, The University of British Columbia]. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0305793>
- Gdoutos, E. & Konsta-Gdoutos, M. (2023). *Mechanical Testing of Materials*. Athens: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-45990-0>
- Genel, K. (2000). *İyon Nitriirlenmiş AISI 4140 Çeliğinin Yorulma ve Korozyonlu Yorulma Davranışı* (Yayın No: 100814) [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Ghiotti, A., Bertolini, R., Sorgato, M., Campagnolo, A., Savio, E. & Bruschi, S. (2022). Ti6Al4V Titanium Alloy Fatigue Strength After AM- and Machining-based Process Chains. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2022.04.021>
- Gladwell, G. M. L. (2007). *Metal Fatigue*. Ontario:Springer, 15-81.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5597-3>

- Gunt, (2024). WP 140 *Fatigue strength test*, <https://www.gunt.de/en/products/engineering-mechanics-and-engineering-design/materials-testing/fatigue-of-materials/fatigue-strength-test/020.14000/wp140/glct-1:pa-148:ca-37:pr-1537>.
- Gürbüz, H. (2012). *AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi ve Kaplama Tiplerinin Yüzey Bütünlüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması* (Yayın No: 330697) [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Hibbeler, R. C. (2008). *Mechanics of Material*. Singapore: Pearson, 467-521.
- Holmberg, J., Wretland, A., Hammersberg, P., Berglund, J., Su'arez, A. & Beno, T. (2024). Surface integrity investigations for prediction of fatigue properties after machining of alloy 718. *International Journal of Fatigue*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106059>
- Hosseini, S. B., Beno, T., Klement, U., Kaminski J. & Rytberg, K. (2014). Cutting temperatures during hard turning—Measurements and effectson white layer formation in AISI 52100S, *Journal of Materials Processing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.01.016>
- Instron, (2024). *Biaxial Cruciform Test Systems*, <https://www.instron.com/en/products/testing-systems/dynamic-and-fatigue-systems/8800-cruciform>.
- Jiang, S., Li, S. & Cai, S. (2024). Theoretical and experimental study on the fatigue property of material extrusion products and improvement by using vibration machining during manufacturing process. *International Journal of Fatigue*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2024.108193>
- Kalluri, S. & Bonacuse, P.J. (2000). *Multiaxial Fatigue and Deformation: Testing and Prediction*. New York: ASTM International, 1-100.
- Karagüzel, U. (2016). *Frezeyle Tornalama Operasyonunun Geometrik, Kuvvet ve Isıl Modellenmesi* (Yayın No: 439516) [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Kaya, M. T., Akyıldız, H. K. & Livatyalı, H. (2010). *Yorulma Deney Numunesinde İmalat Yöntemlerinin Deney Numunesi Üzerine Etkileri*. Konya: Utis 2010, 343-355.

- Kaymakçı, M. (2009). *Generalized Modeling of Metal Cutting Mechanics*, (DOI: 10.14288/1.0067631) [Master's Thesis, The University of British Columbia]. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0067631>
- Kaymakçı, Z., Kılıç M. & Altıntaş, Y. (2012). Unified Cutting Force Model for Turning, Boring, Drilling and Milling Operations. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.12.008>
- Kinyon, S., Hoepfner, David W. & Mutoh, Y. (2001). *Fretting Fatigue: Advances in The Basic Understanding and Applications*. Michigan: ASM International, 35-45.
- Klocke, F. (2011). *Manufacturing Processes 1*. Aachen: Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-11979-8>
- Kovan, V. (2006). *Oksit Dispersiyon Sertleştirilmesi Yapılmış NiCr8020 Nikel Esaslı Süper Alaşımın Termomekanik Yorulma Davranışının Belirlenmesi* (Yayın No: 180571) [Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Kumru, N. (2007). *Etial-141, 145 ve 160 Tipi Döküm Alüminyum ile Plaka Tipi Alüminyum Malzemeler için Yorulma Makinası Tasarımı ve Eğilmeli Yorulma Davranışının İncelenmesi* (Yayın No: 213666) [Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Lee, Y., Pan, J., Hathaway, R. & Barkey, M. (2005). *Fatigue Testing and Analysis*. London: Technology Rights Department in Oxford, 57-103.
- Mavi, A. (2013). *Kesici Takımlara Uygulanan Kriyonejik İşlemin TiAl4V Titanyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Performansının Etkisi* (Yayın No: 761894) [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- McKeighan, P. C. & Ranganathan, N., (2005). *Fatigue Testing and Analysis Under Variable Amplitude Loading Condition*. Michigan: ASM International, 26-34.
- Mercan, S., Aydın, S. & Özdemir, N. (2015). Effect of Welding Parameters on The Fatigue Properties of Dissimilar AISI 2205–AISI 1020 Joined by Friction Welding. *International Journal of Fatigue*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2015.07.023>
- Merchant, M. E. (1945). Mechanics of the Metal Cutting Process. I. Orthogonal Cutting and a Type 2 Chip. *Journal of Applied Physics*, 16, 267-275.

- Movahhedy, M. R. (2000). *Ale Simulation Of Chip Formation in Orthogonal Metal Cutting Process*. (DOI:10.14288/1.0089713) [Ph.D. Thesis, The University of British Columbia]. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0089713>
- MT, (2018). *MT Serisi Düşük Kapasite Burma Test Cihazları*, <http://www.instron.com.tr/tr-tr/products/testing-systems/torsion-systems/low-capacity>.
- Murakami, Y. (2002). *Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetallic Inclusions*. Amsterdam:Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-05272-5>
- Nagarajan, V. R. (2013). Influence of Dissolved Hydrogen on The Fatigue Crack Growth Behaviour of AISI 4140 Steel. *International Journal of Fatigue*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2013.04.018>
- Neşeli, S. (2013). *Tırlama Titreşimleri Üzerine Süreç Sönümleme Etkisinin Analitik Olarak Araştırılması ve Tornalamada Kararlı Kesme Derinliği ile Süreç Sönümleme Değerlerine Bağlı Parametre Optimizasyonu* (Yayın No: 327020) [Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Novovic, D., Dewes, R. V., Aspinwall, D. K., Voice, W. & Bowen, P. (2003). The Effect of Machined Topography and Integrity on Fatigue Life. *International Journal of Fatigue*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2003.10.018>
- Okenyi, V., Afazov, S., Mansfield, N., Siegkas, P., Serjouei, A. & Bodaghi, M. (2024). Fatigue Testing Approach Utilising Machining Cutting Forces and Fixture Design. *Experimental Mechanics*. <https://doi.org/10.1007/s11340-024-01068-8>.
- Öncel, E. (2011). *Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin AISI 4140 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisinin Araştırılması* (Yayın No: 309688) [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Özay, Ç. (2009). *Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yönteminde İşleme Parametrelerinin Teorik ve Deneyisel Olarak Araştırılması* (Yayın No: 246975) [Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Reddy, A. V. (2004). *Aeronautical and Engineering Component Failures*. New York: CRP Press, 1-67.
- Rotating. B. (2019). *Rotating Bending Fatigue Test*, DONG-A ENG, <http://kstestmc.blogspot.com.tr/p/fatigue-test.html>.

- Saçkesen, İ. (2007). *Yüksek Mukavemetli 7075 Alüminyum Alaşımının Yorulma ve Korozyon Özelliklerinin İyileştirilmesi* (Yayın No: 199113) [Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Saygın, M. (2006). *AISI 1020 Çeliklerinde Borlamanın Yorulma Davranışına Etkisi* (Yayın No: 183901) [Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Schijve, J. (2001). *Fatigue of Structures and Materials*. New York: Springer; 310-487.
- Sekmen, M. (2013). *Talaş Açısının Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmeler Üzerindeki Etkilerinin Simülasyonu ve Deneysel Olarak Doğrulanması* (Yayın No: 338714) [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Shi, H. (2018). *Metal Cutting Theory New Perspectives and New Approaches*. Ottawa: Springer, 39-120.
- Şirin, S. Y., Şirin, K. & Kaluc E. (2007). *Effect of The Ion Nitriding Surface Hardening Process on Fatigue Behavior of AISI 4340 Steel*. Material Characterization. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.01.019>
- Socie, D. F. (2005). *Multiaxial Fatigue*. Charleston: University of Illinois at Urbana-Champaign, 5-127.
- Stephens, R. I., Fatemi, A., Stephens, R. R. & Fuchs, H. O. (2000). *Metal Fatigue in Engineering*. New York: A Wiley-Interscience Publication, 59-83.
- Subaşı, M. (2006). *AISI 4140 Çeliğinde Sertlik, Yorulma Dayanımı ve Kalıcı Gerilme İlişkisi* (Yayın No: 196713) [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Swanson, S. R. (1974). *Handbook of Fatigue Testing*. Michigan: ASM International, 19-72.
- Tan, O. (2013). *Al-25 Zn-3Cu Alaşımının Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi* (Yayın No: 324616) [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Tauscher, H., (1983). *Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı*. Gebze: MBEAE Matbaası, 7-33.
- Turan, M. Y. (2011). *Mekanik Yüzey İşlemlerinin Yorulma Davranışına Etkisi* (Yayın No: 284241) [Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi] Ulusal Tez Merkezi.
- Uysal, A. (2012). *Kesici Ağzı Yuvarlatılmış Aşınmış Kesici Takımlar ile Ortogonal Talaş Kaldırmanın Kayma Hatları ile Modellenmesi ve Analizi* (Yayın No: 315957) [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.

- Vlack, L. H. V. (1990). *Malzeme Bilimine Giriş*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 147-179.
- Wei, B., Yuan, G. & Ronglei, S. (2023). *Vibration Assisted Machining*. Wuhan: Springer, 13-27. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-9131-8>
- Weilbull, W. (1961). *Fatigue Testing and Analysis of Results*. New York: Pergamon Press, 7-64.
- Weissbach, W. (1993). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 104-147.
- WP. (2020). *WP 140 Fatigue Testing Machine*, Mutiara Nata Abadi, <http://www.mutiaranata.com/product/detail/wp-140-fatigue-testing-machine>.
- Zeqiri, F. (2018). *İnconel 625 Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetleri, Kesici Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkiyen Parametrelerin Deneysel Araştırılması ve Matematiksel Modellenmesi* (Yayın No: 528906) [Doktora Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi] Ulusal Tez Merkezi.
- Zhang, W., Dong, H., Li, Y., Yang, C., Jiang, X. & Wang, X., (2024). Effects of Processing Parameters and Tool Geometric Parameters on Residual Stress of Machined 304 Stainless Steel, *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/s11665>.



**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Mehmet Tuncay KAYA

Doktora Tezi

YOZGAT 2025



**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TALAŞLI İMALAT PARAMETRELERİNİN
YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ**

MEHMET TUNCAY KAYA

DOKTORA TEZİ

Danışman: Prof.Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ

**OCAK – 2025
YOZGAT**