



**AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESİCİ TAKIM
YÜKSEKLİK AYARININ GEOMETRİK TOLERANSLARA, YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE KESME KUVVETLERİNE ETKİSİ**

Ercan DEMİRER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ercan DEMİRER
28/01/2022

AISI 304 PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALANMASINDA KESİCİ TAKIM
YÜKSEKLİK AYARININ GEOMETRİK TOLERANSLARA, YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE KESME KUVVETLERİNE ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ercan DEMİRER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2022

ÖZET

Bu çalışmada, kesici takım yükseklik ayarının etkisi CNC torna tezgahında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasıyla araştırılmıştır. Deneylerde, iki farklı kesici takım (negatif ve pozitif) kullanılmış ve kesici takımların kesme performansları karşılaştırılmıştır. Deney faktörleri olarak, iki farklı kesici uç yarıçapı (0,4 mm, 0,8 mm), üç farklı kesme hızı (100, 150, 225 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,15;0,25;0,35 mm/dev), üç farklı kesme derinliği (0,8;1,3; 2 mm) ve iş parçası eksenine göre üç farklı kesici takım yükseklik ayarı (-0,5;0;+0,5 mm) seçilmiştir. Deney tasarımı Taguchi L₃₆ modeli kullanılmıştır. Elde edilen deney tasarımı, negatif ve pozitif kesici takımlar için ayrı ayrı uygulanmıştır. Kesme kuvvetleri bir dinamometreyle ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik sapması, silindiriklik sapması ve yüzey sertliği değerleri işlenen parça yüzeylerinden belirlenmiştir. Deney sonuçları Taguchi yöntemi ve ANOVA analiziyle değerlendirilmiştir. Kesici takım yükseklik ayarı ve kesme parametrelerinin etkisini içeren 3B grafikler oluşturulmuştur. Taguchi ve ANOVA sonucunda, iş parçası ekseninde (H: -0,5 mm) bağlanan kesici takımın kesme kuvvetlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. İş parçası ekseninde (H: 0 mm) ve yukarısında (H: +0,5 mm) bağlanan kesici takımlarla yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı anlaşılmıştır. Kesici takımların iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasının diğer durumlara (H: -0,5;+0,5 mm) göre dairesellik sapması ve silindiriklik sapması değerlerini azalttığı belirlenmiştir. Kullanılan kesici takımlar karşılaştırıldığında, pozitif kesici takımların negatif kesici takımlara göre daha düşük radyal kuvvetler oluşturduğu ve pozitif kesici takımlarda dairesellik sapması ve silindiriklik sapmasının daha az olduğu görülmüştür. Kesici takım yükseklik ayarının işlenen yüzey sertliğine etkisinin düşük olduğu ve kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasıyla yüzey sertlik değerinin daha düşük elde edileceği Taguchi yöntemi sonucunda anlaşılmıştır.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Takım yükseklik ayarı, CNC torna, işlenebilirlik, paslanmaz çelik, AISI 304 östenitik
Sayfa Adedi : 195
Danışman : Doç. Dr. Yunus KAYIR

THE EFFECT OF CUTTING TOOL HEIGHT SETTING ON GEOMETRIC
TOLERANCES, SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING FORCES IN TURNING
AISI 304 STAINLESS STEEL

(M. Sc. Thesis)

Ercan DEMİRER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

In this study, the effect of cutting tool height setting was investigated by turning AISI 304 austenitic stainless steel on a CNC lathe. In the experiments, two different cutting tools (negative and positive) were used and the cutting performances of the cutting tools were compared. As a factor in the experiment, two different insert the radius (0,4 mm, 0,8 mm), three different cutting speeds (100, 150, 225 m/min), three different feed rate (0,15;0,25;0,35 mm/rev), three different cutting depth (0,8;1,3; 2 mm) and three different cutting height setting with respect to the workpiece axis (H: 0,5;0;+0,5 mm) were selected. The Taguchi L_{36} model was used in the experimental design. The model was applied separately for negative and positive cutting tools. Cutting forces were measured with a dynamometer. As a result of the experiments, the surface roughness, circularity deviation, cylindrical deviation and surface hardness values were determined from the machined part surfaces. The results of the experiments were evaluated by Taguchi method and ANOVA analysis. 3D graphs have been created containing the effect of cutting tool height setting and cutting parameters. As a result of Taguchi and ANOVA, it was observed that the cutting tool setting below the workpiece axis (H: -0,5 mm) increases the cutting forces. In experiments with cutting tools setting on the workpiece axis (H: 0 mm) and above (H: +0,5 mm), it was found that the surface roughness value decreased. It has been determined that setting the cutting tools on the workpiece axis (H: 0 mm) reduces the values of circularity deviation and cylindricity deviation compared to other situations (H: -0,5;+0,5 mm). When the used cutting tools are compared, it is seen that positive cutting tools create lower radial forces than negative cutting tools, circularity deviation and cylindrical deviation are less in positive cutting tools. As a result of the Taguchi method, it was understood that the effect of cutting tool height setting on the machined surface hardness is low and that the surface hardness value of setting the cutting tool on the workpiece axis (H: 0 mm) will be lower as a result of the cutting tool height setting.

Science Code : 91438

Key Words : Tool height setting, CNC lathe, machinability, stainless steel, AISI 304 austenitic

Page Number : 195

Supervisor : Associate Professor Yunus KAYIR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen, tecrübesi ve katkılarıyla bana yol gösteren danışmanım sayın Doç. Dr. Yunus KAYIR'a sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım. Yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen ve yardımını esirgemeyen ağabeyim Öğr. Gör. Serkan GÜNEŞ'e , bu çalışmamda maddi manevi desteklerini sunan Exen Makine Ltd. Şti., Billur Makine Dış. Tic. Ltd. Şti., Ufuk Kontrol Araçları San. Tic. Ltd. Şti., Akıncı Tasarım Ölçüm Teknolojileri San. Tic. Ltd. Şti., Çağlayan Makine Mühendislik Ltd. Şti. ve 3EN Savunma ve Havacılık A.Ş. firmalarına teşekkür ederim. Son olarak hayatım boyunca beni her zaman destekleyen ve yanımda olmalarından mutluluk duyduğum, sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	3
2.1. Paslanmaz Çeliklerde Alaşımlar ve Paslanmaz Çelik Türleri.....	3
2.1.1. Östenitik paslanmaz çelikler.....	5
2.1.2. Ferritik paslanmaz çelikler	6
2.1.3. Martenzitik paslanmaz çelikler	6
2.1.4. Östenitik-Ferritik (Dublex) paslanmaz çelikler	6
2.1.5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler	7
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalatı	7
3. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ	8
3.1. İşlenebilirlik.....	8
3.2. Talaş Oluşumu ve Geometrisi	8
3.3. Talaş Biçimleri	10
3.3.1. Akma (sürekli) talaş	11
3.3.2. Kırık (süreksiz) talaş	11

	Sayfa
3.3.3. Yığma talaş	12
3.4. Torna Tezgahı ve Talaş Kaldırma İlişkisi	12
3.4.1. Takım ömrü	14
3.4.2. Kesme parametreleri	16
3.4.3. Takım geometrisi	18
3.4.4. Kesme kuvveti	21
3.4.5. Talaş Kırıcılar	22
3.4.6. Titreşim.....	24
3.4.7. Talaş kaldırılan malzeme özellikleri	24
3.4.8. Isı.....	25
3.4.9. Kesici takım malzemeleri ve kaplamanın etkisi	26
3.4.10. Kesici takımlar ve standartları	27
4. İŞ PARÇASI MALZEME YÜZEYİ VE GEOMETRİSİ	29
4.1. Yüzey Pürüzlülüğü	29
4.2. Dairesellik Sapması	30
4.3. Silindiriklik Sapması.....	32
4.4. Yüzey Sertliği	32
5. KESİCİ TAKIM YÜKSEKLİK AYARI.....	35
5.1. Kesici Takım Yükseklik Ayarının Kesici Takım Açılarına Etkisi	37
6. DENEY TASARIMI TAGUCHİ VE VARYANS ANALİZİ	41
6.1. Deney Tasarımı.....	41
6.2. Taguchi Yöntemi	44
6.2.1. En küçük – en iyi (Smaller is better).....	44

	Sayfa
6.2.2. En büyük – en iyi (Larger is better)	45
6.2.3. Nominal – en iyi (Nominal is best)	45
6.3. Varyans Analizi (ANOVA)	45
7. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	47
7.1. Kesici Takım Açılarının İşlenebilirliğe Etkisi	47
7.2. Kesici Takım Yükseklik Ayarı	50
7.3. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği	53
7.4. Genel Literatür Değerlendirilmesi	58
8. MALZEME VE YÖNTEM	61
8.1. Deney Malzemesi ve Deney Parçalarının Hazırlanması	61
8.2. Kesici Uçlar ve Takım Tutucu	63
8.3. Deney Tasarımı	65
8.4. Deneylerde Kullanılan Tezgah ve Cihazlar	68
8.4.1. Takım tezgahı	68
8.4.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için deney düzeneği	69
8.4.3. Dinamometrenin CNC torna tezgahına bağlanması	70
8.4.4. Kesici takımlar ve kesici uçların yüksekliklerinin belirlenmesi	74
8.4.5. Kesici uçlara ait form ve açıların belirlenmesi	75
8.4.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	76
8.4.7. Dairesellik ve silindiriklik sapması ölçümü	77
8.4.8. İş parçası yüzey sertlik ölçümü	78
9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	79
9.1. Negatif Takım İçin Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	79

	Sayfa
9.1.1. Radyal kuvvete bağılı deney sonuçları (F_x).....	80
9.1.2. Teğetsel (esas kesme) kuvvete bağılı deney sonuçları (F_y).....	85
9.1.3. İlerleme kuvvetine bağılı deney sonuçları (F_z).....	89
9.1.4. Negatif takıma etki eden kuvvetlerin sebep-sonuç ilişkisi	93
9.2. Pozitif Takım İçin Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi	93
9.2.1. Radyal kuvvete bağılı deney sonuçları (F_x).....	93
9.2.2. Teğetsel (esas kesme) kuvvete bağılı deney sonuçları (F_y).....	98
9.2.3. İlerleme kuvvetine bağılı deney sonuçları (F_z).....	103
9.2.4. Pozitif takıma etki eden kuvvetlerin sebep-sonuç ilişkisi	105
9.3. Negatif Takım İçin Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi (R_a).....	106
9.4. Pozitif Takım İçin Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi (R_a)	110
9.5. Negatif Takım İçin Dairesellik Sapması Değerlendirilmesi (C_r)	115
9.6. Pozitif Takım İçin Dairesellik Sapması Değerlendirilmesi (C_r)	120
9.7. Negatif Takım İçin Silindiriklik Sapması Değerlendirilmesi (C_y).....	125
9.8. Pozitif Takım İçin Silindiriklik Sapması Değerlendirilmesi (C_y).....	129
9.9. Negatif Takım İçin Yüzey Sertliği Değerlendirilmesi (H_L)	133
9.10. Pozitif Takım İçin Yüzey Sertliği Değerlendirilmesi (H_L).....	135
9.11. Pozitif ve Negatif Takımların Performans Karşılaştırması	138
9.11.1. Kuvvelere bağılı karşılaştırma (F_x , F_y , F_z)	138
9.11.2. Yüzey pürüzlülüğüne bağılı karşılaştırma (R_a)	141
9.11.3. Dairesellik sapmasına bağılı karşılaştırma (C_r).....	142
9.11.4. Silindiriklik sapmasına bağılı karşılaştırma (C_y).....	143
9.11.5. Yüzey sertlik değerine bağılı karşılaştırma (H_L).....	143
9.12. Talaşların İncelenmesi	145

	Sayfa
9.13. Kesici Uçların İncelenmesi	146
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	147
10.1. Sonuçlar	147
10.2. Öneriler.....	153
KAYNAKLAR	155
EKLER	163
EK-1. Malzeme sertifikası	164
EK-2. Statik takım tutucu	165
EK-3. CMMArm ölçüm raporu.....	166
EK-4. Negatif kesici takım CMM ölçüm raporu	167
EK-5. Pozitif kesici takım CMM ölçüm raporu	168
EK-6. Negatif takım ile dinamometreden alınan kuvvet değerleri	169
EK-7. Pozitif takım ile dinamometreden alınan kuvvet değerleri	170
EK-8. Negatif takım dairesellik ve silindiriklik sapması, sertlik ölçüm sonuçları	171
EK-9. Pozitif takım dairesellik ve silindiriklik sapması, sertlik ölçüm sonuçları.....	172
EK-10. Negatif kesici uç resimleri (SNMG)	173
EK-11. Pozitif kesici uç resimleri (SCMT).....	177
EK-12. Negatif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri (SNMG)	181
EK-13. Pozitif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri (SCMT)	187
EK-14. Sertlik değeri dönüşüm tablosu	193

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Paslanmaz çelik türleri	4
Çizelge 3.1. Kesici uç kodlama sistemi.....	29
Çizelge 5.1. Kesici uç geometrik toleransları.....	36
Çizelge 5.2. Negatif takım açısı değişimi	39
Çizelge 5.3. Pozitif takım açısı değişimi	39
Çizelge 6.1. Latin kare dizilimi	42
Çizelge 6.2. Graeco-Latin kare dizilimi	43
Çizelge 8.1. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu.....	61
Çizelge 8.2. İş parçası sertlik ölçüm değerleri.....	62
Çizelge 8.3. Malzeme mekanik özellikleri	62
Çizelge 8.4. Kesici uç özellikleri	63
Çizelge 8.5. TSDNN2020K12 takım tutucu ve SNMG kesici uç ölçüleri.....	64
Çizelge 8.6. SSDCN2020K12 takım tutucu ve SCMT kesici uç ölçüleri.....	65
Çizelge 8.7. Kesme Parametreleri.....	65
Çizelge 8.8. Kesici takım ve parçaları tolerans değerleri.....	66
Çizelge 8.9. Taguchi modeli için faktörler ve seviyeleri	66
Çizelge 8.10. Taguchi L ₃₆ tasarımına göre deney parametreleri	67
Çizelge 8.11. Kullanılan CNC torna tezgahının teknik özellikleri	68
Çizelge 8.12. Dinamometre ölçüm özellikleri.....	69
Çizelge 8.13. Form ölçüm cihazı teknik özellikler	77
Çizelge 9.1. Negatif takımda F _x için faktörlerin ortalama etki sıralaması	80
Çizelge 9.2. Negatif takımda F _x için S/N oranları etki sıralaması	81

Çizelge	Sayfa
Çizelge 9.3. Negatif takımda F_x kuvveti için ANOVA sonuçları.....	82
Çizelge 9.4. Negatif takımda F_y için faktörlerin ortalama etki sıralaması	85
Çizelge 9.5. Negatif takımda F_y kuvveti için S/N oranları etki sıralaması	86
Çizelge 9.6. Negatif takımda F_y kuvveti için ANOVA sonuçları.....	87
Çizelge 9.7. Negatif takımda F_z için faktörlerin ortalama etki sıralaması	90
Çizelge 9.8. Negatif takımda F_z kuvveti için S/N oranları etki sıralaması.....	91
Çizelge 9.9. Negatif takımda F_z kuvveti için ANOVA sonuçları.....	91
Çizelge 9.10. Pozitif takımda F_x için faktörlerin ortalama etki sıralaması.....	94
Çizelge 9.11. Pozitif takımda F_x için S/N oranları etki sıralaması	95
Çizelge 9.12. Pozitif takımda F_x kuvveti için ANOVA sonuçları	96
Çizelge 9.13. Pozitif takımda F_y için faktörlerin ortalama etki sıralaması.....	99
Çizelge 9.14. Pozitif takımda F_y için S/N oranları etki sıralaması	100
Çizelge 9.15. Pozitif takımda F_y kuvveti için ANOVA sonuçları	101
Çizelge 9.16. Pozitif takımda F_z için faktörlerin ortalama etki sıralaması.....	103
Çizelge 9.17. Pozitif takımda F_z için S/N oranları etki sıralaması	104
Çizelge 9.18. Pozitif takımda F_z kuvveti için ANOVA sonuçları	105
Çizelge 9.19. Negatif takımda R_a için ortalama etki sıralaması.....	106
Çizelge 9.20. Negatif takımda R_a için S/N oranları etki sıralaması	107
Çizelge 9.21. Negatif takımda R_a için ANOVA sonuçları	108
Çizelge 9.22. Pozitif takımda R_a için ortalama etki sıralaması	111
Çizelge 9.23. Pozitif takımda R_a için S/N oranları etki sıralaması	112
Çizelge 9.24. Pozitif takımda R_a için ANOVA sonuçları.....	113
Çizelge 9.25. Negatif takımda C_r için faktörlerin ortalama etki sıralaması.....	115
Çizelge 9.26. Negatif takımda C_r için S/N oranları etki sıralaması.....	117

Çizelge	Sayfa
Çizelge 9.27. Negatif takımda Cr için ANOVA sonuçları	117
Çizelge 9.28. Pozitif takımda Cr için faktörlerin ortalama etki sıralaması	120
Çizelge 9.29. Pozitif takımda Cr için S/N oranları etki sıralaması	121
Çizelge 9.30. Cr için ANOVA sonuçları.....	122
Çizelge 9.31. Negatif takımda Cy için faktörlerin ortalama etki sıralaması	125
Çizelge 9.32. Negatif takımda Cy için S/N oranları etki sıralaması	126
Çizelge 9.33. Negatif takımda Cy için ANOVA sonuçları	127
Çizelge 9.34. Pozitif takımda Cy için faktörlerin ortalama etki sıralaması.....	130
Çizelge 9.35. Pozitif takımda Cy için S/N oranları etki sıralaması	131
Çizelge 9.36. Pozitif takımda Cy için ANOVA sonuçları	132
Çizelge 9.37. Negatif takımda HL için faktörlerin ortalama etki sıralaması.....	133
Çizelge 9.38. Negatif takımda HL için S/N oranları etki sıralaması	134
Çizelge 9.39. Negatif takımda HL için ANOVA sonuçları.....	135
Çizelge 9.40. Pozitif takımda HL için faktörlerin ortalama etki sıralaması.....	136
Çizelge 9.41. Pozitif takımda HL için S/N oranları etki sıralaması.....	137
Çizelge 9.42. HL için ANOVA sonuçları	137

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Östenitik paslanmaz çelikler	5
Şekil 3.1. Talaş kaldırma işleminde kesici takım-iş parçası kesit görünümü.....	9
Şekil 3.2. a) Dik kesme yaklaşımı b) Eğik kesme yaklaşımı	9
Şekil 3.3. Gerçek talaş oluşumu.....	10
Şekil 3.4. Talaş tipleri	11
Şekil 3.5. CNC torna ve kısımları.....	13
Şekil 3.6. Torna tezgahı uygulamaları	13
Şekil 3.7. Takım ömür grafiği.....	15
Şekil 3.8. Aşınma tipleri.....	16
Şekil 3.9. Torna tezgahında kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği yönleri....	17
Şekil 3.10. Kesici takım açıları	18
Şekil 3.11. Kesici takımlarda pozitif ve negatif talaş açıları	19
Şekil 3.12. Tek noktalı kesici geometrisi	19
Şekil 3.13. Yanaşma açısına bağlı talaş kesiti	20
Şekil 3.14. Kesici uç yarıçapı	21
Şekil 3.15. Kesme kuvveti bileşenleri.....	22
Şekil 3.16. Talaş kırıcı tipleri	23
Şekil 3.17. Oluk tip talaş kırıcılarda ilerlemeye bağlı aşınma bölgeleri	24
Şekil 3.18. Kesici takım gövdeleri	28
Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülük profili.....	29
Şekil 4.2. EKK yöntemi görünüm.....	31
Şekil 4.3. Silindiriklik sapması örnek ölçümü	32

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. a) Kesici takım kısımları, b) Kesici uç c) Fonksiyonel yükseklik (HL).....	36
Şekil 5.2. Kesici takım yükseklik ayarı ve açıları.....	37
Şekil 5.3. Kullanılacak kesici uçlara ait kesit görünümü a) SNMG b) SCMT.....	38
Şekil 5.4. Negatif kesici uç açıları	38
Şekil 5.5. Pozitif kesici uç açıları.....	39
Şekil 7.1. Üç yönde açı değişimi sağlayan takım tutucu.....	51
Şekil 7.2. Mikron hassasiyette ayar sağlayan takım tutucu.....	52
Şekil 8.1. AISI 304 malzemesi için yapılan sertlik ölçüm bölgeleri.....	61
Şekil 8.2. Deney parçası şekil ve ölçüleri.....	62
Şekil 8.3. Kesici uç kaplaması	63
Şekil 8.4. a) TSDNN2020K12 takım tutucu b) SNMG kesici uç	64
Şekil 8.5. a) SSDCN2020K12 takım tutucu b) SCMT kesici uç	64
Şekil 8.6. Dinamometre deney seti	70
Şekil 8.7. CNC torna tezgahına dinamometrenin ve kesici takımın montajı	70
Şekil 8.8. Kesici uç üzerinde ölçülen açılar a) Negatif (SNMG) b) Pozitif (SCMT)	76
Şekil 9.1. Negatif takımda F_x için faktörlerin ortalama etkileri.....	80
Şekil 9.2. Negatif takımda F_x için S/N oranları	81
Şekil 9.3. Negatif takımda F_x için H - Ap etkisi	83
Şekil 9.4. Negatif takımda F_x için H - F etkisi.....	84
Şekil 9.5. Negatif takımda F_y için faktörlerin ortalama etkileri.....	85
Şekil 9.6. Negatif takımda F_y için Faktörlerin S/N oranları	86
Şekil 9.7. Negatif takımda F_y için H - Ap etkisi	88
Şekil 9.8. Negatif takımda F_y için H - F etkisi.....	88
Şekil 9.9. Negatif takımda F_z için Faktörlerin ortalama etkileri.....	89

Şekil	Sayfa
Şekil 9.10. Negatif takımda F_z için Faktörlerin S/N oranları	90
Şekil 9.11. Negatif takımda F_z için H - Ap etkisi	92
Şekil 9.12. Negatif takımda F_z için H - F etkisi.....	92
Şekil 9.13. Pozitif takımda F_x için faktörlerin ortalama etkileri.....	94
Şekil 9.14. Pozitif takımda F_x için S/N oranları	95
Şekil 9.15. Pozitif takımda F_x için H - Ap etkisi	97
Şekil 9.16. Pozitif takımda F_x için H - F etkisi.....	97
Şekil 9.17. Pozitif takımda F_y için faktörlerin ortalama etkileri.....	98
Şekil 9.18. Pozitif takımda F_y için Faktörlerin S/N oranları	99
Şekil 9.19. Pozitif takımda F_y için H - Ap etkisi	101
Şekil 9.20. Pozitif takımda F_y için H - F etkisi.....	102
Şekil 9.21. Pozitif takımda faktörlerin F_z için ortalama etkileri.....	103
Şekil 9.22. Pozitif takımda faktörlerin F_z için S/N oranları	104
Şekil 9.23. Negatif takımda faktörlerin R_a için ortalama etkileri.....	106
Şekil 9.24. Negatif takımda faktörlerin R_a için S/N oranları	107
Şekil 9.25. Negatif takımda R_a için H - F etkisi.....	109
Şekil 9.26. Negatif takımda R_a için H - Rd etkisi	110
Şekil 9.27. Pozitif takımda faktörlerin R_a için ortalama etkileri.....	111
Şekil 9.28. Pozitif takımda faktörlerin R_a için S/N oranları	112
Şekil 9.29. Pozitif takımda R_a için H - F etkisi	114
Şekil 9.30. Pozitif takımda R_a için H - Rd etkileşimi.....	114
Şekil 9.31. Negatif takımda faktörlerin C_r için ortalama etkileri	115
Şekil 9.32. Negatif takımda faktörlerin C_r için S/N oranları.....	116
Şekil 9.33. Negatif takımda C_r için H-F etkisi	118

Şekil	Sayfa
Şekil 9.34. Negatif takımda Cr için H-Ap etkileşimi.....	119
Şekil 9.35. Negatif takımda Cr için H-Rd etkileşimi	119
Şekil 9.36. Pozitif takımda faktörlerin Cr için ortalama etkileri	120
Şekil 9.37. Pozitif takımda faktörlerin Cr için S/N oranları.....	121
Şekil 9.38. Pozitif takımda Cr için H-F etkisi	123
Şekil 9.39. Pozitif takımda Cr için H-Rd etkisi	123
Şekil 9.40. Pozitif takımda Cr için H-Ap etkisi.....	124
Şekil 9.41. Negatif takımda faktörlerin Cy için ortalama etkileri.....	125
Şekil 9.42. Negatif takımda faktörlerin Cy için S/N oranları.....	126
Şekil 9.43. Negatif takımda Cy için H-F etkisi.....	128
Şekil 9.44. Negatif takımda Cy için H-Rd etkisi	128
Şekil 9.45. Negatif takımda Cy için H-Ap etkisi	129
Şekil 9.46. Pozitif takımda faktörlerin Cy için ortalama etkileri.....	130
Şekil 9.47. Pozitif takımda faktörlerin Cy için S/N oranları	131
Şekil 9.48. Negatif takımda faktörlerin HL için ortalama etkileri	133
Şekil 9.49. Negatif takımda faktörlerin HL için S/N oranları	134
Şekil 9.50. Pozitif takımda faktörlerin HL için ortalama etkileri	135
Şekil 9.51. Pozitif takımda faktörlerin HL için S/N oranları.....	136
Şekil 9.52. Kesici takıma bağlı F_x kuvveti değerleri	138
Şekil 9.53. Kesici takıma bağlı F_y kuvveti değerleri.....	139
Şekil 9.54. Kesici takıma bağlı kuvvet F_z değerler.....	139
Şekil 9.55. 100 m/dak kesme hızında F_z kuvveti değerleri	140
Şekil 9.56. 100 m/dak kesme hızında F_z kuvveti değerleri	140
Şekil 9.57. Kesici takıma bağlı yüzey pürüzlülük değerleri (R_a)	141

Şekil	Sayfa
Şekil 9.58. 0,35 mm/dev için yüzey pürüzlülük değerleri (Ra).....	141
Şekil 9.59. Kesici takıma bağlı dairesellik sapma değerleri (Cr)	142
Şekil 9.60. Kesici takıma bağlı silindiriklik sapma değerleri (Cy).....	143
Şekil 9.61. Kesici takıma bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)	143
Şekil 9.62. İlerlemeye bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)	144
Şekil 9.63. İlerlemeye bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)	144
Şekil 9.64. İlerlemeye bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)	145

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Paslanmaz çelik mikro yapıları	5
Resim 3.1. Torna tezgahı şematik gösterimi	12
Resim 7.1. Servo kontrollü takım tutucu.....	51
Resim 7.2. Konik mil yükseklik ayarı aparatı	53
Resim 8.1. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgahı	68
Resim 8.2. Kullanılan dinamometre.....	69
Resim 8.3. Plaka montajı için adaptörler	71
Resim 8.4. Plaka montajı.....	72
Resim 8.5. Dinamometre plakası delik açma ve pim montajı	72
Resim 8.6. Dinamometre ve takım tutucu montajı	73
Resim 8.7. CMMArm ile tutucu tabanı ölçümü	73
Resim 8.8 Deney seti ve CMMArm.....	74
Resim 8.9. CMM tezgahında kesici takım fonksiyonel yükseklik ölçümü	75
Resim 8.10. Takım ölçüm cihazı	75
Resim 8.11. Yüzey pürüzlülük ölçümü	76
Resim 8.12. Form ölçüm cihazı	77
Resim 8.13. Sertlik ölçüm düzen	78
Resim 9.1. Talaşlara ait fotoğraf a) Negatif b) Pozitif (Deney 10).....	146
Resim 9.2. Kesici uçlara ait fotoğraf a) SNMG b) SCMT (Deney 34).....	145

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
α	Boşluk açısı
β	Kama açısı
θ	Yeni teğet nokta açısı
φ	Düzlem açısı
γ	Talaş açısı
ϕ	Eğim açısı
μm	Mikron
ψ	Yanaşma açısı
$\emptyset$	Çap işareti
AlCrO	Alüminyum krom oksit
Al₂O₃	Alüminyum oksit
AlTiN	Alüminyum titanyum nitrür
A_p	Kesme derinliği (mm)
f	İlerleme miktarı (mm/dev)
F_x	Radyal kuvvet
F_y	Teğetsel (esas kesme) kuvvet
F_z	İlerleme kuvveti
HLD	Leeb sertliği
N	Newton (kg x m/s ²)
Rd	Uç yarıçapı

Simgeler**Açıklamalar****TiAlN**

Titanyum alüminyum nitrat

TiN

Titanyum nitrür

V

Kesme hızı (m/dak)

Kısaltmalar**Açıklamalar****Adj SS**

Düzeltilmiş kareler toplamı

Adj MS

Düzeltilmiş ortalama kareler

BUE

Built Up Edge (Yığıntı Talaş)

CMM

Koordinat Ölçüm Cihazı

CMMArm

Portatif Koordinat Ölçüm Cihazı

CNC

Bilgisayarlı Sayısal Kontrol

dak

Dakika

dev

Devir

DF

Toplam serbestlik derecesi

F-Değeri

Yanıt ilişkisi

HSS

High Speed Steel (Yüksek Hız Çeliği)

kW

Kilovat

m

Metre

mm

Milimetre

MPaMegapaskal (N/mm²)**P-Değeri**

Olasılık (anlamlılık) değeri

R-sq (adj)Ayarlanmış R² değeri**s**

Saniye

Seq SS

Ardışık kareler toplamı

1. GİRİŞ

Üretimde takım tezgahlarının kullanımı çok eski çağlara dayanmaktadır. Zaman içerisinde gelişen teknolojiyle değişimlere uğramış ve özellikle 19. yüzyılın başlarında sanayi devrimiyle hız kazanan değişim, çok güçlü takım tezgahı sanayisinin kurulmasına sebep olmuştur. Başlangıçta kaba olarak işlenen parçalar çeşitli tesviye yöntemleriyle nihai ölçülerine getirilirken, ilerleyen zaman içerisinde istenilen ölçü ve toleranslarda parçalar takım tezgahlarında nihai ölçüleriyle üretilmeye başlamıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısında teknolojik gelişimle beraber takım tezgahları bilgisayar sistemleriyle bütünleşik bir yapıya bürünmüştür. Bu birleşim günümüzde yaygın olarak kullanılan CNC (Computer Numerical Control) tezgahların gelişimini sağlamıştır (Akkurt, 2000). CNC torna tezgahları sistem olarak universal torna tezgahlarıyla benzer çalışmaktadır. CNC torna tezgahlarının en büyük avantajı hızlı ve seri üretime uygun olmasıdır. Bu hız ve seriliğin yanında işlenen parça kalitesinin düşmemesi önem taşımaktadır. Her ne kadar kullanılacak olan CNC torna tezgahı hassas ve rijit olsa da, tezgahta kullanılan ekipmanında (kesici takım, ayna, punta vb.) bu hassasiyete sahip olması gerekmektedir. CNC torna tezgahlarında kullanılan ekipmanların istenilen yüksek kaliteyi elde etmeye uygun toleranslarda üretilmiş olması burada önem kazanmaktadır. Üretilen her parça belirli bir ölçü tolerans değerinde üretilmektedir. Bu nedenle CNC torna tezgahları için üretilen kesici takımlar ve takım tutucularında bazı ölçü toleransları bulunmaktadır. Kesici takımlarda kesme işlemini gerçekleştiren ucun takım tabanından yüksekliği fonksiyonel yükseklik adını almaktadır ve bu yüksekliğin, kesici takım CNC torna taretine bağlandığında iş parçası ekseninde olması gerekmektedir. İş parçası ekseninde olmayan kesici takımın performansı değişecektir. Bu değişim üretilen üründe istenilen kaliteyi ve kesici takımdan beklenen kabiliyeti etkileyebilir. İş parçası ekseninde bağlanmayan bir kesici takımın üzerinde yer alan açılar (talaş açısı, boşluk açısı vb.) değişeceği ve buna bağlı olarak kesme performansının etkileneceği teorik olarak beklenmektedir (Akkurt, 2000; Yıldız, 2010).

Bu çalışmada, kesici takım yükseklik ayarının CNC torna tezgahında talaş kaldırmaya etkisi gözlemlenerek, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde Taguchi yöntemi ve ANOVA uygulanmıştır. Deneylerde kesici takım, iş parçası ekseninin altında, ekseninde ve yukarısında bağlanmıştır. Kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik ve silindiriklik sapması, yüzey sertlik değerleriyle grafikler oluşturulmuş ve yorumlanmıştır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çeliğin ilk üretimi 19. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Paslanmaz çelik korozyon ve ısı dayanıklılığına sahip ve içerisinde farklı türleri bulunan geniş bir mühendislik malzemesi grubunun adıdır (ISSForum, 2010). İçerisinde temel olarak yaklaşık %10 – 12 krom içeren çelikler paslanmaz çelik grubunda yer almaktadır. Krom paslanmaz çelikler için vazgeçilemez bir elementtir. Paslanmaz çeliklerin paslanmaya karşı direncini yüksek miktarda bulunan kromun üzerinde oluşan oksit tabakası sağlamaktadır. Oksit paslanmaz çeliğin yüzeyinde çok ince bir tabakaya sahiptir ve paslanmaz çeliği korozyona karşı muhafaza eder. Oksit tabakası oluşum için oksijene ihtiyaç duyar ve malzeme üzerinde herhangi bir deformasyon gerçekleşse dahi yeniden oluşur. Paslanmaz çeliklerin korozyona olan dayanımı ve işlenebilir olması üretimin birçok alanında kullanımına, böylelikle hayatın her alanında karşımıza çıkmasına olanak sağlamıştır (Dormer, 2020; ISSForum, 2010; Özdemir, 2010).

Paslanmaz çelikler farklı özelliklerde üretilmektedir. Paslanmaz çeliğin içerisine krom, karbon, nikel, titanyum, molibden, bakır, azot, alüminyum vb. elementler farklı miktarlarda eklenerek mekanik ve korozyona karşı dayanıklılık özellikleri değiştirilebilmektedir. Paslanmaz çeliğin üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

- Korozyona karşı dayanıklıdır.
- Isıya dayanıklıdır.
- Talaş kaldırılarak şekillendirmeye uygundur.
- Estetik ve dekoratif görünüme sahiptirler.
- Kaynaklı imalat için elverişlidirler.
- Hijyenik özelliğe sahiptirler.
- Kullanım ömrü uzun ve ekonomiktirler.

2.1. Paslanmaz Çeliklerde Alaşımlar ve Paslanmaz Çelik Türleri

Günümüzde paslanmaz çelikler kullanım alanına bağlı olarak istenilen özelliklerde üretilebilmektedir. Paslanmaz çeliklerde kromun yanı sıra nikel, molibden ve mangan kimyasal bileşiği belirleyen başlıca elementlerdir. Çeliğin ferritik veya östenitik olmasında en büyük etkiye sahip elementler krom ve nikeldir. Krom ferrit oluşumunda etkilidir ve

belirli bir oranın üzerinde krom ihtiva eden paslanmaz çelikler ferritiktir. Bu paslanmaz çelikler östenitik fazına asla geçmezler. Nikel, paslanmaz çeliklerde çok karşılaşılan bir element olmakla birlikte östenit yapıcı olarak görev almaktadır. Kromlu çeliklere nikel dahil edilir ise östenit ve ferrit fazı birlikte oluşmaktadır. Bileşimi etkileyen diğer bir element molibden, ferrit ve karbür yapıcıdır. Molibden paslanmaz çeliklerin mekanik dayanımını arttırmaktadır. Bu etkin elementlerin yanı sıra paslanmaz çelikler türlerine göre farklı miktarlarda silisyum, titanyum, kolombiyum, kükürt ve selenyumda içermektedir. Bu elementlerin etkisiyle paslanmaz çelikler beş farklı kalite grubuna sahiptirler ve kimyasal bileşimleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Farklı kalite gruplarının mikro yapılarına ait görüntü Resim 2.1’de yer almaktadır (Özdemir, 2010).

Çizelge 2.1. Paslanmaz çelik türleri (Aran ve Temel, 2004)

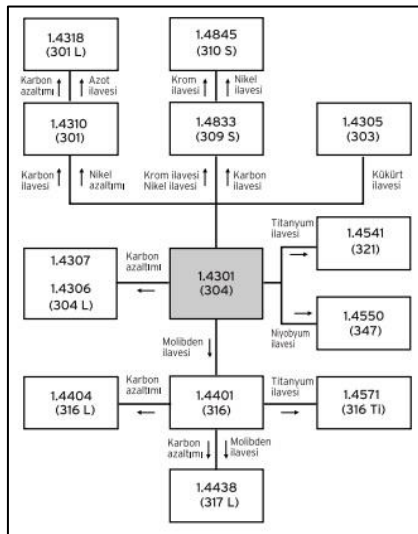
ASTM	EN Malzeme No.	Kimyasal Bileşim, %max.									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
Ferritik Paslanmaz Çelikler											
409	1.4512	0,08	1,0	1,0	0,045	0,03	10,5-11,75	-	-	-	(6xC)Ti
430	1.4016	0,12	1,0	1,0	0,04	0,03	16,0-18,0	-	-	-	-
430Ti	(1.450)	0,10	1,0	1,0	0,04	0,03	16,0-19,5	0,75	-	-	(5xC)Ti
439	1.4510	0,07	1,0	1,0	0,04	0,03	17,0-19,0	0,5			0,2+4(C+N)Ti
Martenzitik Paslanmaz Çelikler											
410	1.4006	0,15	1,0	1,0	0,04	0,03	11,5-13,0	-	-	-	-
420	1.4021	0,15 min.	1,0	1,0	0,04	0,03	12,0-14,0	-	-	-	-
440A	-	0,6-0,75	1,0	1,0	0,04	0,03	16,0-19,5	-	0,75	-	-
440C	1.4125	0,95-1,2	1,0	1,0	0,04	0,03	16,0-18,0	-	0,75	-	-
Duplex Paslanmaz Çelikler											
2205	1.4462	0,03	2,0	1,0	0,03	0,02	21,0-23,0	4,5-6,5	2,5-3,5	0,08-0,2	-
329	1.4460	0,20	1,0	0,75	0,04	0,03	23,0-28,0	2,5-5,0	1,0-2,0	-	-
Östenitik Paslanmaz Çelikler											
201	1.4372	0,15	5,5-7,5	1,0	0,06	0,03	16,0-18,0	3,5-5,5	-	0,25	-
301	1.4310	0,15	2,0	1,0	0,045	0,03	16,0-18,0	6,0-8,0	-	-	-
304	1.4301	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-10,5	-	-	-
304L	1.4306	0,03	2,0	1,0	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-12,0	-	-	-
304LN	1.4311	0,03	2,0	1,0	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-12,0	-	0,10-0,16	-
309	1.4828	0,20	2,0	1,0	0,045	0,03	22,0-24,0	12,0-15,0	-	-	-
309S	1.4833	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	22,0-24,0	12,0-15,0	-	-	-
310	1.4841	0,25	2,0	1,5	0,045	0,03	24,0-26,0	19,0-22,0	-	-	-
310S	1.4845	0,08	2,0	1,5	0,045	0,03	24,0-26,0	19,0-22,0	-	-	-
316	1.4401	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
316L	1.4404	0,03	2,0	1,0	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
316LN	1.4406	0,03	2,0	1,0	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	0,10-0,16	-
316Ti	1.4571	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	5x(C+N)Ti
321	1.4541	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	(5xC)Ti
347	1.4550	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	17,0-19,0	9,0-13,0	-	-	(10xC)Nb
Östenitik Paslanmaz Çelikler											
631	1.4568	0,09	1,0	1,0	0,04	0,04	16,0-18,0	6,5-7,5	-	-	0,75-1,50Al
632	1.4532	0,09	1,0	1,0	0,04	0,03	14,0-16,0	6,5-7,5	2,0-3,0	-	0,75-1,50Al



Resim 2.1. Paslanmaz çelik mikro yapıları (Aran ve Temel, 2004)

2.1.1. Östenitik paslanmaz çelikler

Yaygın kullanımı ve kalite çokluğu nedeniyle en zengin grup östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler manyetik özellik göstermezler. Büyük sıcaklık değişimlerinde östenitik yapılarını korurlar ve bu nedenle sertleştirme ısı işlemine uygun değildir. %26 ya kadar krom, yaklaşık %35'e kadar nikel ve %20'ye kadar mangan içeren östenitik paslanmaz çeliklerde nikel ve mangan temel östenit oluşturmalarıdır. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde iyi şekillendirilebildiği ve yeterli korozyon dayanımı nedeniyle en yaygın kullanılan 304 kalite östenit paslanmaz çeliklerdir. 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklere molibden ilavesiyle 316 ve 317 östenitik paslanmaz çelikleri üretilir ve klorürlü ortamlarda yüksek korozyon dayanımı sağlarlar. Östenitik paslanmaz çeliklerde soğuk şekillendirme yöntemiyle mukavemet artırılabilir ve malzeme manyetik özellik kazanabilir. Östenitik paslanmaz çelikler sünek ve tok bir yapıya sahiptir. Isı ve asitlere dayanıklıdır ancak sıcak yırtılma eğilimleri gösterirler (Aran ve Temel, 2004).



Şekil 2.1. Östenitik paslanmaz çelikler (Aran ve Temel, 2004)

2.1.2. Ferritik paslanmaz çelikler

%10,5 – 30 arasında krom ihtiva eden düşük karbonlu ferritik paslanmaz çelikler ısı değişimiyle östenit-ferrit dönüşümü göstermezler. İçyapılarını ve mekanik özelliklerini ısı işlemlerle değiştirmek mümkün değildir. Korozyon ve oksidasyon dayanımlarının yüksek olması önemli avantajlarından. Ferritik paslanmaz çelikler manyetik özellik göstermekle birlikte gevrek yapıdadırlar (Aran ve Temel, 2004; Özdemir, 2010). Başlıca özellikleri;

- Üstün korozyon direncine sahiptirler.
- Orta derecede şekillenebilme kabiliyetleri vardır.
- Deformasyon sertleşmesiyle mukavemetleri artırılır.
- Nikel ihtivasi olmadığından ucuzdurlar.
- Manyetik özellikleri vardır.
- Düşük tokluğa sahiplerdir ve gevrekleşmeleri kolaydır.

2.1.3. Martenzitik paslanmaz çelikler

Düşük ve orta karbon derecesine sahip en çok %14 krom içeren martenzitik paslanmaz çelikler, östenit yapıya sahip çeliğin yüksek sıcaklıklarda ani soğutulması ve bu sayede hacim merkezli tetragonal kafese dönüşümüyle elde edilirler. İstenilen özelliklerin sağlanması için martenzitik paslanmaz çelikler ısı işleme tabii tutulmalıdır. Korozyon dayanımını arttırmak için martenzitik paslanmaz çeliklere nikel ilave edilir. Sertlik ve dayanımı bileşikteki karbon yüzdesiyle beraber artar. Martenzitik paslanmaz çelikler 60 HRC sertliğe sahip olabilirler ve yaklaşık 1900 MPa çekme dayanımı gösterebilirler (Aran ve Temel, 2004).

2.1.4. Östenitik-Ferritik (Dublex) paslanmaz çelikler

Yüksek oranda kromla (%18 – 28) beraber yaklaşık %4,5 – 8 nikel içeren dublex paslanmaz çelikler östenit ve ferrit fazlarını içyapısında barındırırlar. Böylelikle gerilme korozyonu artarken aynı zamanda iyi tokluk ve sünekliğe sahip olabilirler. Dublex paslanmaz çeliklerde yer alan molibden yüksek mukavemet ve tokluğu bir arada sağlar. Dublex paslanmaz çeliklerde östenit-ferrit fazlarının aynı anda bulunması tavllanmış durumda dahi 550-690 MPa akma dayanımı göstermesini sağlar (Aran ve Temel, 2004).

2.1.5. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler

Çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanabilir çeliklerin içyapıları östenitik, yarı-östenitik veya martenzitik olabilmektedir. Bu çelikler çok düşük oranda karbon ihtiva etmektedirler. Yaşlandırma uygulanan paslanmaz çelikler yüksek tokluk ve orta derece korozyon dayanımı göstermektedirler. Yaygın olarak kullanılan 630 kalitedir ve uçak-uzay sanayinde kullanımına yer verilmektedir (Aran ve Temel, 2004).

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Talaşlı İmalatı

Paslanmaz çelikler pekleşme özellikleri, yüksek mukavemetleri ve tokluğa bağlı sünekliklerinden kaynaklı olarak talaşlı imalat yöntemleriyle karbon çeliklerine nazaran daha zor işlenmektedirler. Paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kaliteleri arasında büyük farklılıklar vardır ve karbon çeliklerine nazaran talaş kaldırma işleminde daha fazla güce ihtiyaç duyulmaktadır. Östenit paslanmaz çelikler sert ve sürekli talaş oluşturma eğiliminde olduğundan kesici uçlarda talaş kırıcı formu büyük önem arz etmektedir. Kesici takımın paslanmaz çeliğin yüzeyine temasıyla yeni oluşan yüzeyde pekleşme oluşmakta ve kesici takım bu nedenle yüksek ısılara maruz kalmaktadır. Isı kontrolü için kesme hızı azaltılsa da düşen kesme hızıyla beraber sünek davranış gösteren paslanmaz çelik kesici takım üzerine yığılmakta (BUE) ve kesici kenarını bozmaktadır. 304 ve 316 östenitik paslanmaz çeliklerin akma-çekme dayanımları arasındaki fark talaşlı imalatı zorlaştırmaktadır. Paslanmaz çeliğin talaşlı imalatında görünen zorluklar nedeniyle yeni kesici formuna ve farklı kaplamalara sahip kesici uçlar geliştirilmiştir.

Düşük alaşımlı martenzitik paslanmaz çeliklerin gevrek oluşu sürekli talaş oluşumuna müsaade etmez ve böylelikle talaşlı imalatı kolaylaşmaktadır. Düşük alaşımlı martenzitik paslanmaz çeliklerde istenilen boyut ve yüzey toleranslarını elde etmek östenitik paslanmaz çeliklere nazaran daha kolaydır. Yüksek alaşımlı martenzitik paslanmaz çeliklerdeyse sertlik yüksek olduğundan talaş kaldırma işlemi bir takım zorluklara sebep olmaktadır (Aran ve Temel, 2004; Dormer, 2020).

3. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ

3.1. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, standart bir özellik olmamakla beraber, bir iş parçasının talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilmesinin zorluk derecesi olarak düşünülebilir. Talaş kaldırılacak iş parçası için işlenebilirlik kabiliyeti, iş parçası malzemesinin yapısı, kullanılan takım tezgahı, uygulanan işlem, kesici takımın özellikleri, soğutma sıvısı ve kesme parametrelerinden etkilenecektir.

En geniş anlamıyla işlenebilirlik kesici takım / iş parçasına ait aşağıda verilen kriterlerce tanımlanan bir özellik olarak adlandırılabilir (Çakır, 1999):

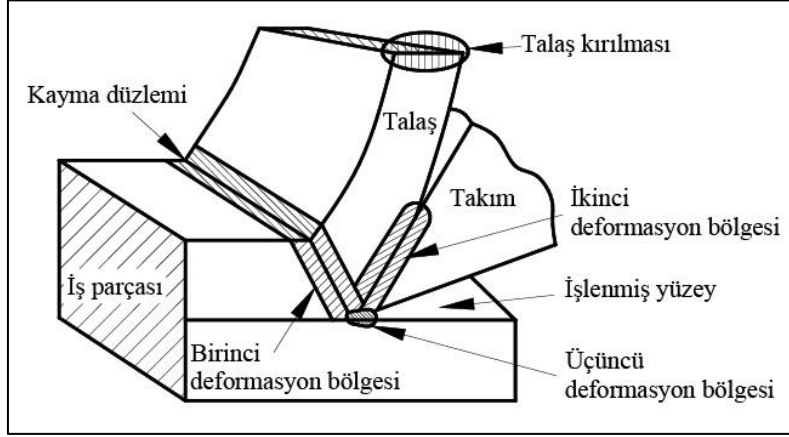
- Takım ömrü
- Talaş oluşumu
- Yüzey kalitesi
- Talaş debisi
- Kesme kuvveti / güç
- Yığılma kenar eğilimi.

3.2. Talaş Oluşumu ve Geometrisi

Büyük bir çoğunluğu metal malzemeleri şekillendirmek için uygulanan talaşlı imalat yöntemi, keskin bir kesici ucun malzemede kayma deformasyonu oluşturarak talaş oluşturmaları ve böylelikle istenilen şekil ve toleranslarda yeni bir yüzey oluşturma işlemi olarak tanımlanabilir (Şekil 3.1) (Groover, 2008). Talaşın oluşumu için gerekli olan ihtiyaçlar kısaca şu şekilde sıralanabilir:

- Kesici takım, talaş kaldırılacak iş parçasından daha sert ve aşınmaya dayanımlı olmalı.
- Kesici uç, belirlenen kesme derinliği ve ilerleme miktarında talaş kaldırabilecek geometriye sahip olmalı.

duymaktadır. Ortogonal kesme yaklaşımında bu deformasyon bölgeleri çok küçük olduğu için hesaba katılmaz ve bu bölgeler düzlemler olarak kabul edilirler (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Gerçek talaş oluşumu (Gürbüz, 2012)

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere ilk olarak kayma düzleminde oluşan plastik şekil değiştirme birinci deformasyon bölgesini oluşturur ve takım üzerinde ilerlemenin tersi yönünde hareket eden parçadan ayrılmış talaş ile kesici arasında ikinci deformasyon bölgesi bunu takip eder. Bazı durumlarda kesici takım ve iş parçası arasında var olan sürtünme nedeniyle üçüncü deformasyon bölgesi oluşur ve bu deformasyon elastik yapıdadır (Abukhshim, Mativenga, ve Sheikh, 2006; Altıntaş, 2012; Groover, 2008).

3.3. Talaş Biçimleri

Talaşlı imalatta iş parçasının işlenmesi sırasında oluşan talaşlar, işlenen malzemenin cinsi, kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve talaş açısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kesmeden sonra oluşan talaş kalınlığı her zaman kesilmeden önceki kalınlığından büyüktür ve talaş kalınlık oranının daima birden az olduğunu görülür. Talaş kalınlık oranı (r) ve kayma düzlemi açısı arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir (Eş. 3.1).

r : talaş kalınlık oranı

t_0 : talaşın kaldırılmadan önceki kalınlığı

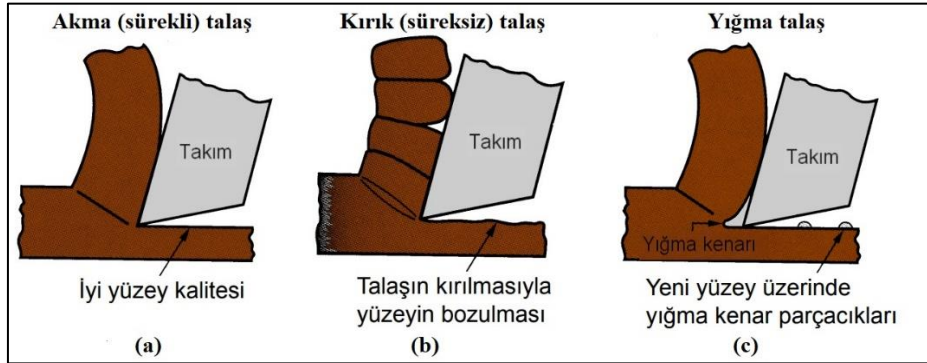
t_c : talaşın kesildikten sonra kalınlığı

Φ : kayma düzlemi açısı

α : kesici talaş açısı

$$\frac{t_0}{t_c} = r = \frac{\sin \Phi}{\cos(\Phi - \alpha)} \quad (3.1)$$

Kesme koşulları ve diğer faktörlere bağlı olarak oluşan talaş tipleri, akma (sürekli) talaş, yığılma talaş ve kırık (sürekli) talaş olarak sıralanabilir (Şeker, 2008).



Şekil 3.4. Talaş tipleri (Groover, 2016)

3.3.1. Akma (sürekli) talaş

Talaşın işlenen parçadan kesintisiz olarak ayrılma ve süreklilik gösterme durumudur. Kesme etkisinin sabit olduğu görülür, harcanan güç, yüzey kalitesi ve takım ömrü bakımından istenilen talaş türüdür. Genellikle sünek yapıda malzemelerin uygun parametrelerle işlenmesinde karşılaşılan bir talaş türüdür. Ancak akma talaş süreklilik gösterdiğinden kontrolü zordur ve iş parçası yüzeyine zarar verebilmektedir (Şeker, 2008).

3.3.2. Kırık (sürekli) talaş

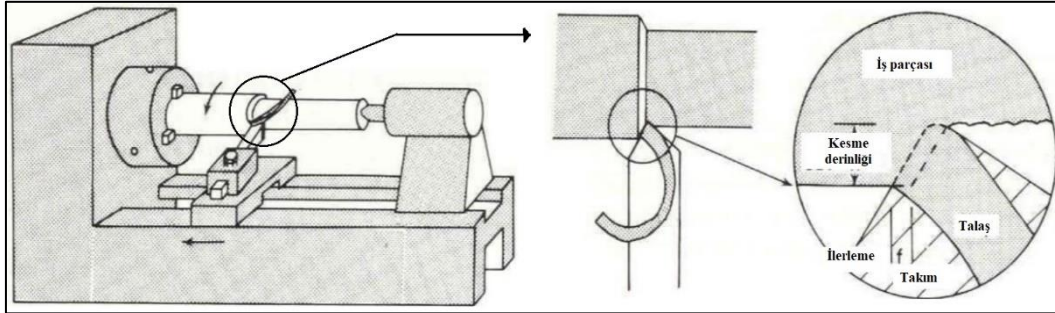
Genellikle gevrek yapıda malzemelerden talaş kaldırılması sırasında görülür. Talaşın ilk oluşum bölgesinde oluşan kırılma sonucunda parçalara ayrılmasıyla meydana gelir. Dökme demir, pirinç, sert plastik vb. malzemelerin işlenmesinde genellikle görülür. Dövülebilir malzemelerde yüksek kesme hızları ve yüksek ilerleme miktarları da kırık talaş oluşumunu sağlayabilmektedir (Şeker, 2008).

3.3.3. Yığma talaş

Oluşan talaşın kesici takım talaş yüzeyine yığılmasıyla oluşur ve kesici kenara aşırı yüklenmesi sonucunda kesiciyi hasara uğratan bir talaş tipidir. Sünek malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesi sonucunda veya kesici takımın aşınmaya başlamasıyla oluşur. Talaş kaldırma işleminde istenmeyen bir talaş türüdür (Şeker, 2008).

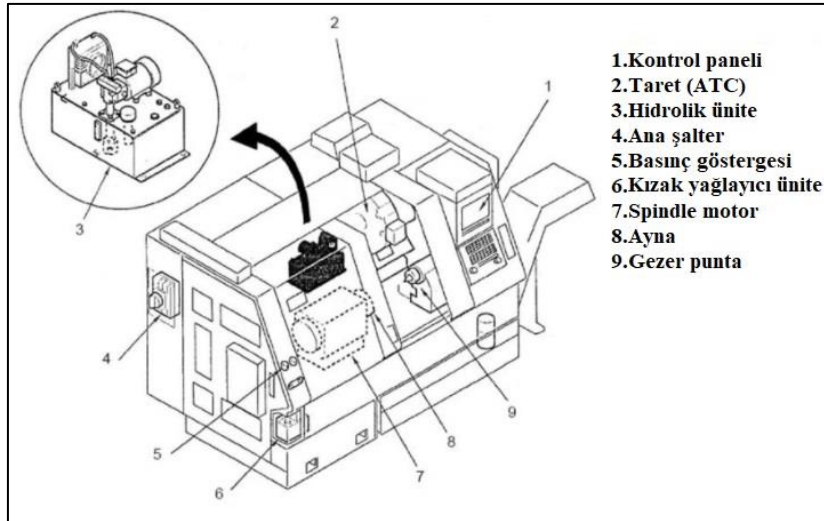
3.4. Torna Tezgahı ve Talaş Kaldırma İlişkisi

Torna tezgahlarında dönme hareketi yapan ve genellikle dairesel olan parçaların yüzeylerinden talaş kaldırılabilmektedir. Ayna adı verilen bağlantı aparatına yerleştirilen iş parçası yüzeyinden, iş parçası eksenine boyunca ilerleme hareketine imkan sağlayacak şekilde rijit olarak bağlanmış kesici takım vasıtasıyla talaş kaldırılmaktadır ve burada iş parçası dönme hareketini ayna vasıtasıyla sağlamaktadır. Bu yöntemle, dairesel profiller gerçekleştirilerek torna tezgahı üzerinde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir (Bakşıyev, 2014).



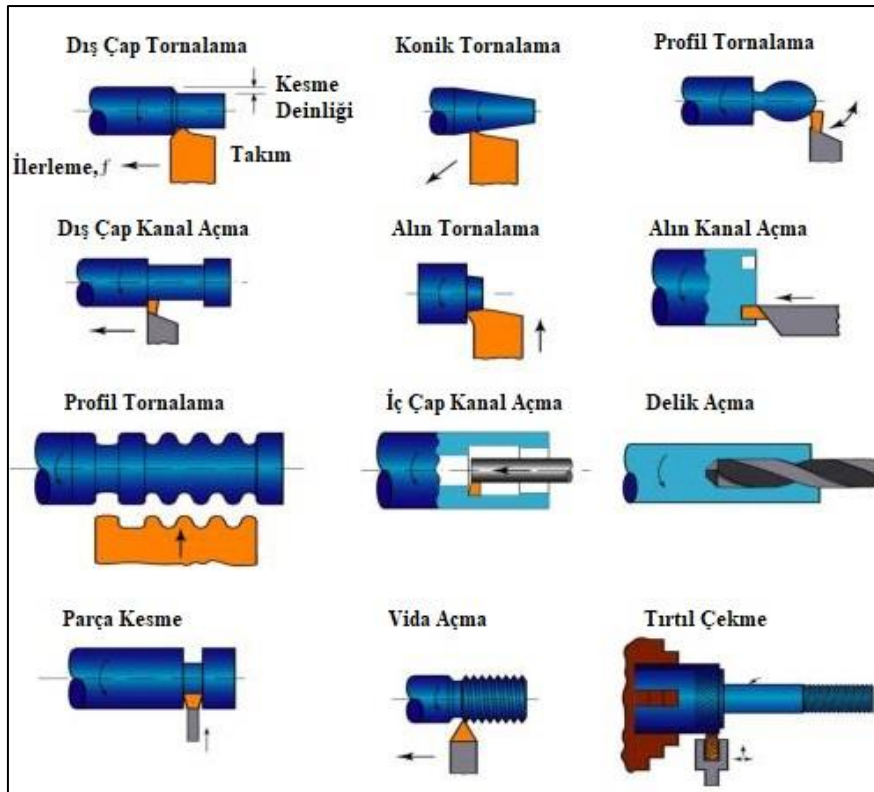
Resim 3.1. Torna tezgahı şematik gösterimi (Yaşar, 2017)

Gelişen teknoloji sayesinde günümüzde torna tezgahları bilgisayar sistemleriyle birleştirilmiş ve CNC (Computer Numerical Control) torna tezgahları geliştirilmiştir. Bu tezgahlar proses açısından Universal tezgahlar gibi çalışmakta ancak operatörün üstlendiği ve manuel olarak yaptığı, takım hareketi, ayna devri vb. işlemleri kontrol paneli üzerinden sayısal değerler girilerek yapmaktadır. CNC torna tezgahı genel görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. CNC torna ve kısımları (Aksu, 2021)

Torna tezgahlarında yapılan talaş kaldırma işlemleri kullanılan kesici takım veya uygulanan talaş kaldırma işlemine göre isimlendirilmektedir. Dış çap tornalama, iç (delik) çap tornalama, delik açma gibi isimler alırlar (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Torna tezgahı uygulamaları (Klocke, 2011)

Torna tegahında talaş kaldırma işlemi birçok faktörle etkileşim halini alır, bu nedenle talaş kaldırmaya etki eden faktörler ve faktörlerin birbirlerine olan etkileşimi dikkate alınmalıdır. Kesme işleminde talaşın parçadan ayrılması mekanik ve kesme koşullarına bağlı olarak farklılık gösterecektir. Bu farklılıklar çeşitli talaş tipleri ve talaş oluşumuna sebep olacaktır (Akkurt, 2000). Tornalama operasyonlarında önem arz eden faktörler aşağıda verilmiştir.

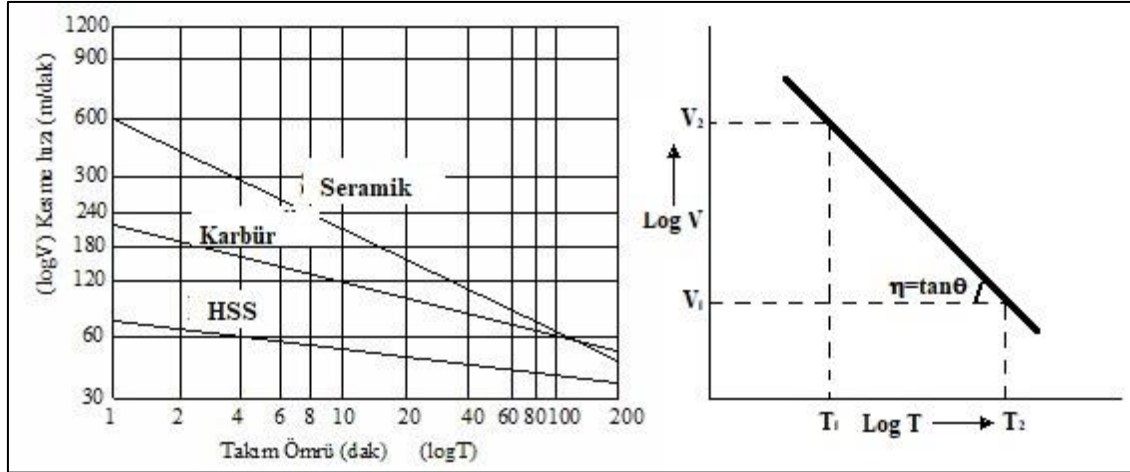
- Takım ömrü
- Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği)
- Takım geometrisi
- Kesme kuvveti
- Titreşim
- Talaş kaldırılan malzeme özellikleri
- Isı

3.4.1. Takım ömrü

İş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemine başlayan kesici takımın kesme performansını yitirdiği ana kadar geçen süre, takım ömrü olarak tanımlanabilir. Takım ömrünü belirleyen en önemli faktör, takım aşınmasıdır. Takım aşınması, takım-iş parçası malzemeleri, talaş geometrisi, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği), soğutma sıvısı, vb. değişiklik göstermektedir. Takım ömrü üzerine ilk çalışmalar Taylor tarafından yapılmıştır. Taylor’a göre kesme hızı ve takım ömrü arasında doğrudan ilişki vardır. Taylor bu ilişkiyi bir eşitlikle açıklamış ve eşitlik aşağıda verilmiştir (Shaw, 2005).

$$V = T^n C \quad (3.2)$$

Eş. 3.2’de “V” kesme hızı, “T” dakika cinsinden takım ömrünü belirtir. “C” değeri ve “n” üstel değeri, takım, iş parçası ve kesme koşullarına bağlı sabit değerlerdir (Shaw, 2005). Eş. 3.2’de verilen “n” üstel değerinin hesaplanmasında Şekil 3.7’deki kesme hızı ve kesici takım malzemesine bağlı takım ömür grafiği kullanılabilir. Bu hesaplama için Eş. 3.3 kullanılabilir.

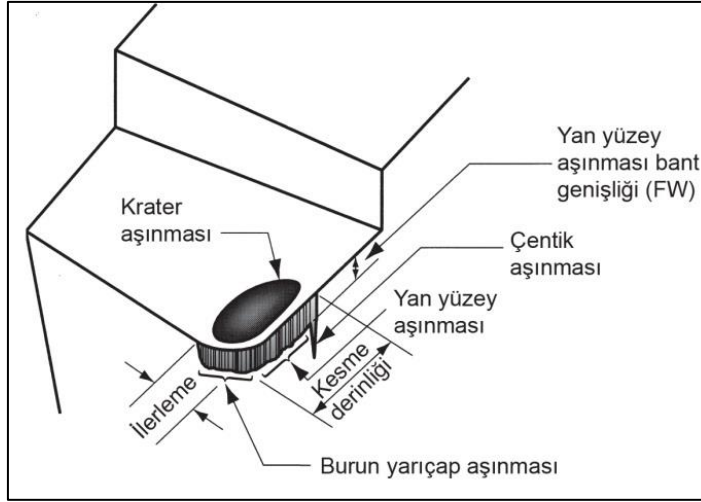


Şekil 3.7. Takım ömür grafiği (Şahin, 2000)

$$n = \tan \theta = \frac{\log V_2 - \log V_1}{\log T_1 - \log T_2} \quad (3.3)$$

Geçmişte takım ömrü kesici takımın iş yapamaz hale gelmesi olarak tanımlanırdı. Ancak günümüzde ise işlenen parçanın yüzey kalitesi ve geometrik toleransların tutturulamama durumu takım ömrü olarak belirlenmektedir. Takım üzerinde oluşan aşınma miktarı takım ömrü için belirleyici rol oynamaktadır. Takım aşınması, kesici kenarına etki eden kesme kuvvetlerinin bir birleşimi olmakla beraber, takım, iş parçası ve işleme şartlarının karşılıklı etkileşiminin bir sonucudur. Kesici takım üzerinde oluşan aşınma tipleri ve mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Şeker, 2008).

- Yan yüzey (yanak) aşınması, abrasif aşınma mekanizması ile oluşur.
- Krater aşınması (çukur aşınma), abrasif ve difüzyon aşınma mekanizması ile oluşur.
- Plastik deformasyon, yorulma aşınma mekanizması ile oluşur.
- Çentik aşınması, yapışma aşınmayla başlar ve oksidasyon aşınma mekanizmasıyla büyür.
- Termal çatlaklar, ısı ve termal yorulma mekanizmaları ile oluşur.
- Mekanik yorulma çatlakları, mekanik yorulma mekanizması ile oluşur.
- Kırılma, plastik deformasyondan sonra oluşur.
- Yığılma, sıvanma (BUE), adezyon aşınma mekanizması ile oluşur.



Şekil 3.8. Aşınma tipleri (Gülmez, 2015)

3.4.2. Kesme parametreleri

Torna tezgahlarında talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için temel iki harekete ihtiyaç duyulmaktadır. İlk hareket iş parçasının dönmesiyle oluşan kesme hızı (V), ikinci hareket iş parçası üzerinden kaldırılacak talaşın kalınlığının belirlendiği bir hareket olan ilerleme (F) hareketidir (Groover, 2008).

Tornalama operasyonlarında kesme hızı, kesici takımın iş parçası çevresinde bir dakikada aldığı yolun metre cinsinden karşılığı olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle optimum kesme hızını bulmak, üretim maliyeti ve kesici takım ömrü açısından önem arz etmektedir. Optimum kesme hızını belirlemede iş parçası, kesici takım malzemesi, kesme derinliği, ilerleme miktarı ve soğutma yöntemi önemli faktörlerdir (Akkurt, 2000). Kesme hızı iş parçası çapına bağlı olarak Eş. 3.4'e göre hesaplanır.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ m/dak} \quad (3.4)$$

V : Kesici takım için belirlenen kesme hızı (m/dak)

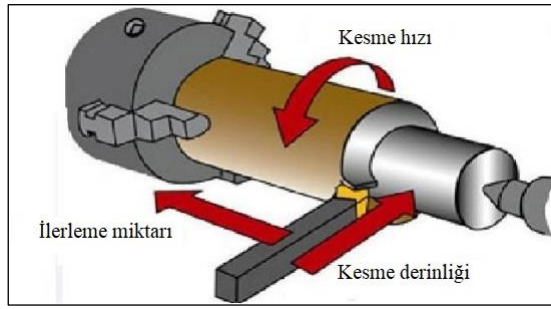
D : İş parçası çapı (mm)

n : Tezgah devri (dev/dak)

Optimum kesme hızının belirlenmesi, talaş kaldırma işleminin verimliliği açısından önem arz etmektedir. Düşük kesme hızları üretim zamanını arttıracak gibi kesici uçta talaş

yapışmasına neden olabilmektedir. Kesme hızının optimum değerden yüksek seçilmesi kesici uç üzerinde yüksek sıcaklığa ve hızlı aşınmaya neden olabilmektedir. Bu sebepler değerlendirildiğinde talaş kaldırma işlemi için takım ömrü, kesme hızı ve talaş kaldırma miktarı optimum değerde tespit edilmelidir (Işık, 2009).

Torna tezgahlarında ilerleme miktarı, kesici takımın talaş kaldırmak için yaptığı harekettir (mm/dev). İlerleme miktarı yüzey pürüzlülüğünü, kesme kuvvetlerini ve buna bağlı olarak takım ömrünü etkilemektedir. Talaş kaldırma işleminde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği değiştirilebilir parametrelerdir. Kesme derinliği, tornalama işleminde üçüncü boyutu içerir ve işlenmeden önceki çapla işlem sonrası elde edilen yeni çapın farkının yarısına eşittir. Bu nedenle kesme derinliği hareketi, boyuna tornalama işleminde iş parçasına diktir ve birimi milimetredir (Şekil 3.9) (Kaya, 2019).



Şekil 3.9. Torna tezgahında kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği yönleri (Kaya, 2019)

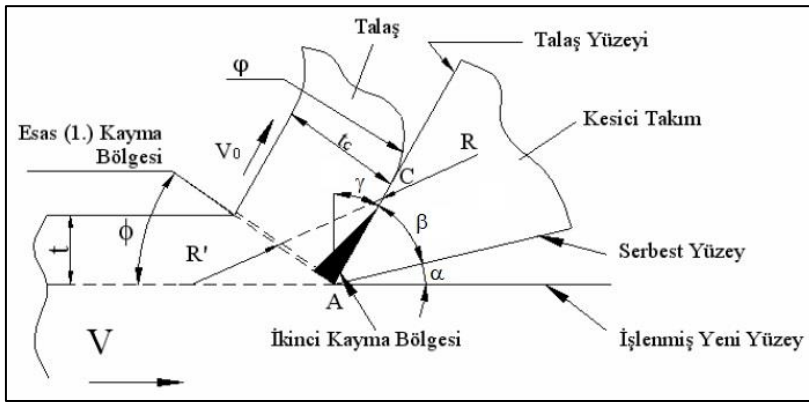
Kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği birim zaman içerisinde kütük malzemeden kaldırılan talaş miktarını etkileyecektir. Talaş kaldırma miktarı (TKM) iş parçasından kaldırılacak olan toplam talaş miktarıdır ve genellikle mm^3/dak cinsinden hesaplanır.

Bu temel üç parametrenin yüksek seçilmesi talaş kaldırma miktarını arttıracak ve zamandan tasarruf sağlayacaktır ancak, kesici takım, tezgah ve iş parçası üzerinde bazı olumsuz etkilere sebep olacaktır. Bu nedenle iş parçasından beklenen toleranslara bağlı olarak kesme derinliği ve ilerleme miktarının uygun seçilmesi gerekmektedir. Kesme hızının belirlenmesinde kesici takım için tavsiye edilen kesme hızlarına bağlı kalarak, talaş kaldıracak iş parçası özellikleri dikkate alınmalıdır. Optimum belirlenen kesme hızında ilerleme miktarının artışı takım ömrünü olumsuz etkileyecektir. Kararlı bir takım ömrü için belirlenen kesme

hızındaki değişim, kesme derinliğinden daha çok ilerleme miktarındaki değişime duyarlıdır (Işık, 2009; Şeker, 2008).

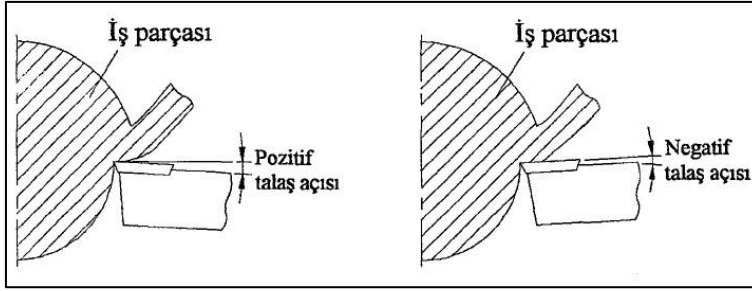
3.4.3. Takım geometrisi

Talaş kaldırma işleminde önemli bir faktör takımın geometrisini oluşturan açılardır. Bir tornalama işleminde (Şekil 3.10), takım-talaş yüzeyi arasındaki açı talaş açısını (γ), kesici takıma ait açı kama açısını (β) ve iş parçası-takım arasında kalan serbest yüzeydeki açı boşluk açısını (α) oluşturmaktadır. Bu açılar toplamı doksan dereceyi (90°) tamamlamaktadır. Bu açılar dik kesme yaklaşımına göre belirlenmiştir ve eğik kesmede eğim açısı (λ) dikkate alınmalıdır (Bakşiyev, 2014). Burada ϕ kayma düzlemi açısıdır (Şekil 3.10).



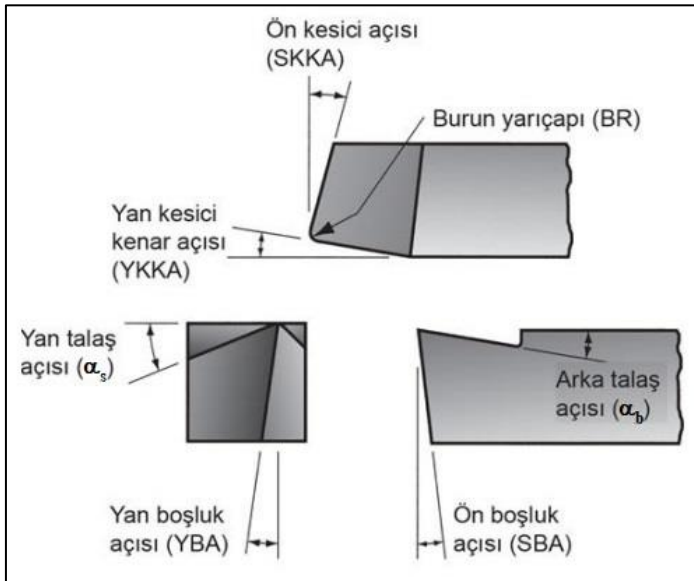
Şekil 3.10. Kesici takım açıları (Şahin, 2000)

Talaş açısının küçük seçilmesi işlemeyi zorlaştıran bir durumdur. Kesici takım üzerinde oluşan ısıyı arttırır ancak kesici takım daha büyük kuvvetlere karşı dayanıklı bir duruma gelir. Talaş açısının büyük seçilmesi talaşın akışını kolaylaştıracak, kesici takıma etki eden kuvvetleri düşürecek ve yüksek kesme hızları için kesici takım elverişli olacaktır. Büyük talaş açısına sahip kesici takımların dezavantajı, ucun ince yapısı sebebiyle mukavemetinin zayıflaması ve kırılma eğilimi göstermesidir (Yeyen, 2006). Talaş açısının kesici takım-talaş temas uzunluğu üzerinde de önemli bir etkisi vardır. Talaş temas uzunluğu büyük talaş açısıyla azalma gösterecektir. Büyük talaş açısına (pozitif) ve küçük talaş açısına (negatif) sahip takımlar Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kesici takımlarda pozitif ve negatif talaş açıları (Günay, 2003)

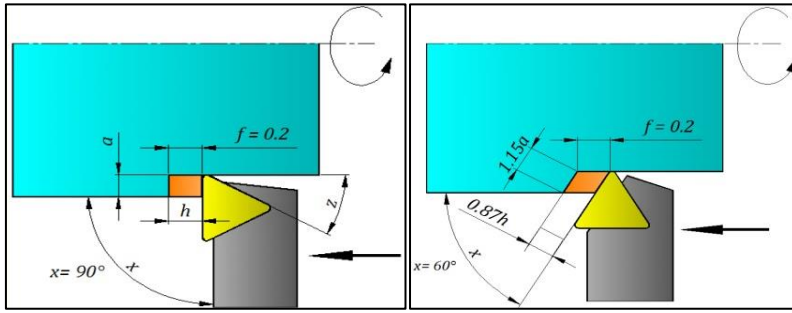
Bir torna kesici takımı için kesmeyi kolaylaştıracak toplamda 7 (yedi) açıdan bahsedilebilir (Şekil 3.12). Tek ağızlı standart bir kesici takımında talaş akışını etkileyen önemli iki açı, arka talaş açısı (α_b) ve yan talaş açısıdır (α_s). Kesici takımın yan yüzeyini oluşturan ön boşluk açısı (SBA) ve yan boşluk açısı (YBA) kesici takımın talaş kaldırma sonrasında iş parçasına sürtünmesini engelleyen açılardır. Tek ağızlı kesici takım geometrisi incelenirken, ön kesme kenarı ve yan kesme kenarı olarak ikiye ayrılırlar ve bu iki kenar burun yarıçapı adı verilen dairesel bir formla birbirlerine bağlanır. Yan kesici kenar açısı (YKKA) olarak tabir edilen yanaşma açısı, takımın iş parçasına girişini belirler ve talaş oluşumu başlangıcında kesici kenara gelen ani kuvvetin azaltılmasında fayda sağlar. Ön kesici açısı (SKKA) kesici takım ve yeni oluşan iş parçası yüzeyi arasında sürtünmeyi azaltmak için kullanılır (Groover, 2008).



Şekil 3.12. Tek noktalı kesici geometrisi (Groover, 2008)

Yanaşma açısı

Yanaşma açısı kesici ucun kesen kenarıyla takım ilerleme yönü arasında oluşan açıdır ve yan kesici kenar açısı olarak da bilinir (Şekil 3.12). Yanaşma açısı, talaş oluşumunu, kesici kenarda oluşan kuvvet dağılımını ve kesici kenarla iş parçası temas alanını doğrudan etkilemektedir. Yanaşma açısının 90° 'den küçük seçilmesi kesici ucun malzemeye bir anda dalmasını engelleyecek ve kesicinin uç kısmından daha mukavemetli olan kesici kenarla talaş kaldırmaya başlamasını sağlayacaktır. Böylelikle anlık yüksek kuvvetlere maruz kalmayan kesici uç için talaş kaldırmaya girişte yüksek darbeleri sönümlemesi beklenecektir. Burada yanaşma açısı tornalama operasyonunun özelliğine göre özenle seçilmelidir. Yanaşma açısına bağlı olarak talaş kesiti değişecektir. Bu değişime ait örnek 90° ve 60° için aşağıda verilmiştir (Çakır, 1999; Yıldız, 2010).



Şekil 3.13. Yanaşma açısına bağlı talaş kesiti (Yıldız, 2010)

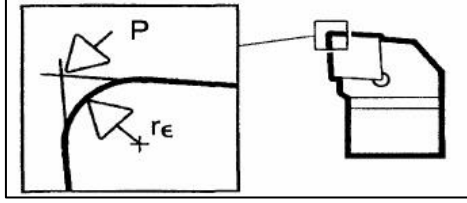
Şekil 3.13'te;

- a: kesme derinliği (mm)
- h: talaş kalınlığı (mm)
- z: yardımcı kenar açısı
- f: ilerleme miktarı (mm/dev)
- x: yanaşma açısıdır.

Kesici uç yarıçapı

Kesici uç yarıçapı, ucun dayanımını arttırmak için uygulanan bir yöntemdir. Kesici ucun köşesine oluşturulan dairesel kenarla, talaş kaldırma işleminde kesici takımın kuvvetlere olan dayanımı arttırılmaktadır. Kesici uca etki eden kuvvetler kesici kenarların birleşmesiyle

oluşan köşeye (P) verilen yuvarlatma (r) sayesinde dengeli bir dağılım gösterir (Şekil 3.14), böylelikle talaş kaldırma işlemi kolaylaşmaktadır.



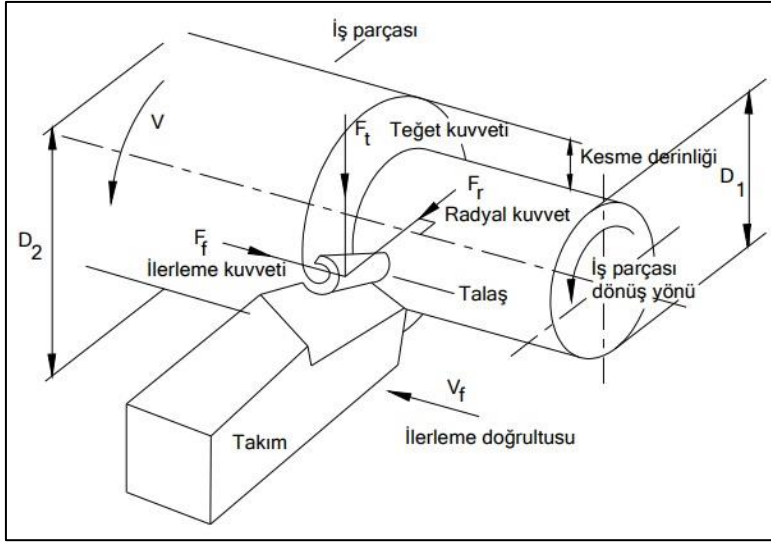
Şekil 3.14. Kesici uç yarıçapı (Çakır, 1999)

Kesici uç yarıçapı yüzey pürüzlülüğü (R_{max}) arasında doğrudan bir ilişki vardır. İlerleme miktarına (f) bağlı olarak, kesici uç yarıçapı (r) arttıkça yüzey pürüzlülük değeri azalacaktır. Bu nedenle kesici uç yarıçapı, ilerleme miktarı ve yüzey pürüzlülüğü arasında bir bağıntı vardır (Eş. 3.5) (Aytürk, 2010; Çakır, 1999).

$$R_{max} = \frac{f^2}{8r} \quad (3.5)$$

3.4.4. Kesme kuvveti

Talaş kaldırma sürecinde kesici takıma etki eden kuvvetler, kesme performansını ve birim maliyete doğrudan etki etmektedir. Talaşlı imalat sonucunda çıkan ürünün, kaliteli, ekonomik ve işleme sürecinin emniyetli gerçekleşebilmesi için kesici takıma etki eden tüm kuvvetlerin tam olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Talaş kaldırmak için gerekli takım tezgahının gücü ile kesme kuvvetleri doğrudan ilişkilidir. Kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için teorik hesap yöntemleri olduğu gibi uygulamalı olarak takım tezgahına yerleştirilen dinamometreler yardımıyla da ölçülebilmektedir. Deneysel yöntemler sırasında dinamometre yardımıyla belirlenen kuvvetler, teorik hesaplamalarla belirlenen kuvvet değerlerine göre daha kesin sonuçlar verebilmektedir. Torna tezgahlarında talaş kaldırma işleminde meydana gelen kesme kuvvetine ait üç bileşen bulunmaktadır (Şekil 3.15). Bunlar, teğetsel kuvvet (F_t), ilerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvet (F_r) olarak isimlendirilmektedir. F_t kuvveti talaş kaldırılan yüzeye teğettir ve talaş kaldırma yönündedir. F_f kuvveti kesici takım ilerleme yönüne paraleldir. F_r kuvveti parça eksenine diktir ve pasif kuvvet olarak da adlandırılır (Akkurt, 2000; Altıntaş, 2012; Çakır, 1999; Şeker, 2008).



Şekil 3.15. Kesme kuvveti bileşenleri (Altıntaş, 2012)

Şekil 3.15’de gösterilen bileşenlere bağlı olarak talaş kaldırma kuvveti (F_z) Eş. 3.6 ile hesaplanabilir.

$$F_z = \sqrt{F_t^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (3.6)$$

Burada F_f ve F_r kuvvetleri aynı düzlemde olduğundan Eş. 3.7 şeklinde yazılırsa,

$$F_N = \sqrt{F_f^2 + F_r^2} \quad (3.7)$$

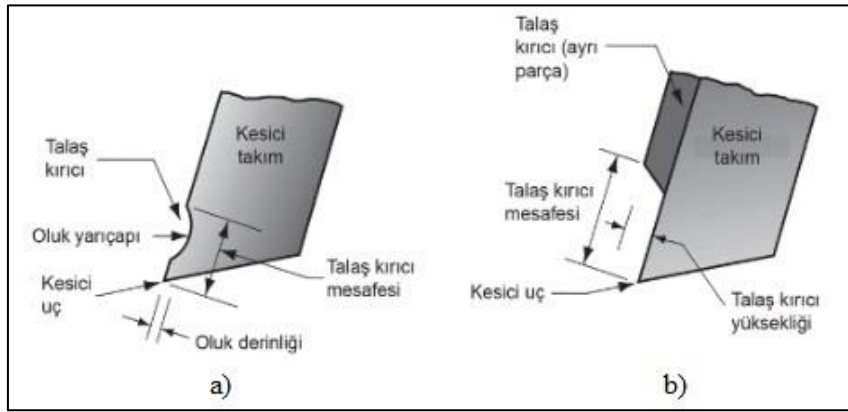
Buradan F_z kuvveti Eş. 3.8’deki gibi yazılabilir.

$$F_z = \sqrt{F_t^2 + F_N^2} \quad (3.8)$$

3.4.5. Talaş Kırıcılar

Bir tornalama işleminde oluşan akma (sürekli) talaşın iş parçası ve kesici takıma dolanmadan (sarılmadan) uzaklaştırmak son derece önemlidir. Akma (sürekli) talaş oluşturan sünek malzemenin işlenmesinde talaş kontrolü zorlaşır ve operatörlerin emniyetini tehdit eder. Özellikle CNC torna tezgahlarında tam otomatik çalışmayı zorlaştırabilir. İlerleme miktarının ve kesme hızının değişimi talaş kırılmasını sağlayabilir ancak bu her malzeme

için geçerli olmayacaktır. Özellikle kesme hızının artırılması talaşı kırılğan bir duruma getirirse de artan sıcaklık nedeniyle talaşın kırılmasında yine zorluklar yaşanacaktır. Bu problemin çözümü için kesici takımlar üzerine talaş kırıcılar yerleştirilmiştir. Talaş kırıcılar kırılma eğilimi göstermeyen akma (sürekli) talaşın, kırılma mesafesini değiştirerek kırılmaya zorlanması prensibine dayanır. Kesici takımlarda, kesici uç üzerinde oluk şeklinde tasarlanmış ve kesici takım üzerine sabitlenen setle (ayrı parça) yapılan temel iki tip talaş kırıcı mevcuttur (Şekil 3.16) (Groover, 2016; Shaw, 2005).

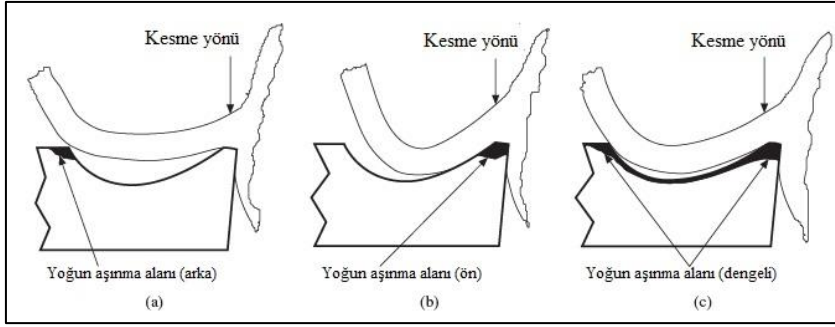


Şekil 3.16. Talaş kırıcı tipleri (Groover, 2016)

Kesici takım üzerindeki talaş kırıcı formunun belirlenmesinde temel iki faktör göz önüne alınmaktadır. Bunlar:

- Çalışma koşulları: Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kullanılan soğutma sıvısı vb.
- İş parçası malzemesinin yapısı: Sertlik, mukavemet vb.

Temel faktörler göz önüne alındığında ilerleme miktarının talaş akışını diğer faktörlere göre önemli ölçüde değiştirdiği ve özellikle oluk şeklinde tasarlanmış talaş kırıcılarda farklı aşınmalara neden olduğu görülmektedir. Şekil 3.17’de görüldüğü üzere düşük ilerleme miktarında oluk arka duvarı (a), yüksek ilerleme miktarında ise kesici kenarda (b) aşınma yüksek olmuştur. Dengeli bir aşınma (c) takım ömrünü uzatacak ve uygun değerde ilerleme miktarının belirlenmesine yardımcı olacaktır (Jawahir, Ghosh, Fang ve Li, 1995; Shaw, 2005).



Şekil 3.17. Oluk tip talaş kırıcılarında ilerlemeye bağlı aşınma bölgeleri (Jawahir ve diğerleri, 1995)

3.4.6. Titreşim

Titreşim tüm takım tezgahlarında var olan bir olgudur. Titreşimin kesici takım ömrü ve iş parçası yüzey kalitesi açısından olumsuz etkileri vardır. Titreşim istenmeyen bir enerji halidir ve takım tezgahlarında çalışma performansını olumsuz etkilerken, dinamik kuvvetleri iletmesi gibi olumsuz durumları ortaya çıkarmaktadır (Neşeli, 2006). Talaş kaldırma operasyonlarında zorlanmış ve kendiliğinden oluşan titreşim olarak, titreşim oluşumunu iki kategoride incelemek mümkündür. Kendiliğinden oluşan titreşim talaş kaldırma anında gerçekleşirken, zorlanmış titreşim takım tezgahının mekanik hareketlerinden dolayı oluşmaktadır. İki tür titreşimde işlenen parça ve kesici takım açısından olumsuzluklar oluşturmaktadır. Özellikle “tırlama” olarak adlandırılan ve iş parçası yüzeyiyle kesici takım arasında oluşan titreşim yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemektedir. Talaş kaldırma sırasında oluşan tırlama etkisini en aza indirmek için aşağıdakiler yapılmalıdır (Aytürk, 2010; Çakır, 1999).

- İş parçası bağlama mesafesi en aza indirgenmeli, parça dengeli bağlanmalıdır,
- Tezgahın rijitliği kontrol edilmeli,
- Tezgahın hareketli kısımlarındaki boşluklar kontrol edilmeli,
- Kesme şartları optimize edilmeli ve aşınmış takımlar kullanılmamalıdır.

3.4.7. Talaş kaldırılan malzeme özellikleri

Talaş kaldırma işleminde iş parçası malzemesi talaş kaldırma sürecini bütünüyle etkilemektedir. Talaş kaldırma işleminde, kullanılacak tezgah kapasitesinden soğutma sıvısının yapısına kadar tüm fonksiyonlar, iş parçası malzemesi göz önünde bulundurularak

seçilmelidir. İş parçası malzemesine göre kesici takımlar, geometrisi, kesici takım malzemesi ve kaplamasına dikkat edilerek seçilmelidir.

İş parçası malzemelerinin sertlik ve mukavemet değerleri, farklı talaşlar oluşturabilmekte ve farklı yaklaşımlar gerektirmektedir. Talaş kaldırma işleminin başarılı olması için iş parçası malzemesinden, sertliğinin ve mukavemetinin düşük olması beklenir. Ancak sertliğin düşük olmasının yanında malzemenin sünek olmaması da bir gerekliliktir çünkü sünek malzemelerin işlenmesinde kesici uç kenarında oluşan talaş yığılması (BUE) yeni bir kayma düzlemi oluşturarak kesici takım geometrisini bozar ve kesici ucun performansını etkiler. Oluşan bu yığılma talaş iş parçasının yüzeyinde deformasyona sebep olabilir. Bir iş parçası malzemesinin sertliğinin ve mukavemetinin düşük olması talaş kaldırma sırasında çok yüksek kuvvetler oluşturmazken, oluşan talaş akma (sürekli) olduğu için talaş kontrolü zorlaşmaktadır. Mukavemeti yüksek ve sert malzemelerde genellikle kırık (süreksiz) talaş görünmekte ve böylelikle kontrolü kolaylaşmaktadır ancak takım ömrünü kısalttığı gibi kesici takım daha yüksek kuvvetlere maruz kalmaktadır (Sandvik Coromant, 1997).

Bir iş parçası malzemesinin işlenebilirlik özelliği, talaş kaldırma sırasında değiştirilen kesme parametreleri veya kullanılan kesici takım özellikleriyle belirlenememektedir çünkü malzemenin işlenebilirliği o malzemeye ait kimyasal kompozisyon ve mekanik özellikler tarafından belirlenir. Bu nedenle kesme parametrelerinin ve kesici takımın seçimi malzemenin yapısına göre seçilmelidir. Bazı durumlarda iş parçası malzemesine uygulanan tekniklerle (ısıl işlem vb.) işlenebilirliği değiştirilebilmektedir (Özçatalbaş, 2020).

3.4.8. Isı

Talaşlı imalat yöntemlerinde, iş parçasından talaş kaldırmak için yüksek enerjiye ihtiyaç duyulur ve bu enerji ısıya dönüşerek karşımıza çıkmaktadır. Deformasyonun oluşturduğu ısıya, kesici takım-ış parçası sürtünmeleri de dahil olmaktadır. Ortaya çıkan bu ısının büyük bir bölümü (yaklaşık %80) kaldırılan talaş ile transfer edilirken, geriye kalan miktar kesici takım ve iş parçası üzerinde dağılmaktadır. Isının büyük bir miktarı birinci kayma bölgesinde (Şekil 3.10) meydana gelmektedir ve kesici takımın performansını etkilemektedir. Kesici takıma etki eden yüksek ısı miktarı kesici takımın özelliklerini yitirmesi ve aşınmaya karşı direncinin düşmesiyle sonuçlanabilir. Bu nedenle ısı dağılımını anlamak kesici takım geometrisinin geliştirilmesinde yardımcı olacaktır. İş parçası yüksek

ısılarda sünek davranabilir ve uzun talaşlar oluşturarak takım-talaş sürtünme performansını düşürebilir (Abhang ve Hameedullah, 2010; Gökkaya, Nalbant ve Şeker, 2004; Şeker, 2008).

3.4.9. Kesici takım malzemeleri ve kaplamanın etkisi

Kesici takımlardan farklı özelliklere sahip iş parçalarında talaş kaldırırken, istenilen ölçü ve toleransların sağlanması için maruz kaldıkları değişken kuvvetlere cevap vermesi beklenmektedir. Kesici takım malzemesini belirleyen önemli faktörler, işlenecek iş parçası malzemesi, talaş kaldırma işlemi yapılacak takım tezgahı kinematiği, talaş kaldırma miktarı, takım malzemesi birim maliyeti, kesici takım tedarik süresi ve istenilen yüzey kalitesi olarak sıralanabilir. Kesici takımlar, yeterli tokluk değerine sahip ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini korumalıdır. Bu amaçla çeşitli kesici takım malzemeleri kullanılmış ve geliştirilmiştir. Günümüzde kullanıma sunulan bazı kesici takım malzemeleri, içyapıları, imalat yöntemleri, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre aşağıda listelenmiştir (Ertek, 2013; Shaw, 2005).

- Takım çelikleri,
- Sinter karbürler,
- Kaplamalı karbür takımlar
- Seramikler,
- Sermetler,
- Elmas,
- Kübik bor nitrür (CBN)
- Çok kristalli elmas (PCD)
- Çok kristalli kübik bor nitrür (PCBN)

Kesici takımların performansını (aşınma ömrü, iş parçası yüzey kalitesi vb.) yükseltmek ve düşük maliyetlerle daha fazla talaş kaldırma miktarına ulaşmak için kesici takımlar üzerinde kimyasal ve fiziksel birçok deneysel çalışma yapılmaktadır. Kesici takımların yüksek işleme hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda iyi performans sergilemesi istenilmektedir. Ancak bu durum bir kesici takımın, yüksek sertliğe sahipken aynı zamanda iyi tokluğa sahip olması demektir ve fiziksel olarak bu mümkün olmamaktadır. Bu iki özelliği kazandırmak için kesici takımlar farklı elementlerle kaplanmışlardır. Özellikle 16. yüzyılların başlarında tungsten karbür (WC) takımların tek katmanlı TiC (titanyum karbür) kaplanmasıyla takım ömrünün %200-300 arttığı belirlenmiş ve talaş kaldırma operasyonları için vazgeçilmez

olmuştur. Gelişen bu kesici uç kaplama işlemleri, zaman içerisinde kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve fiziksel buhar biriktirme (PVD) olarak iki temel yöntemle yapılmaya başlanmıştır. Bu yöntemlerin seçiminde en etkili faktör takım malzemesi olmaktadır (Ertek, 2013).

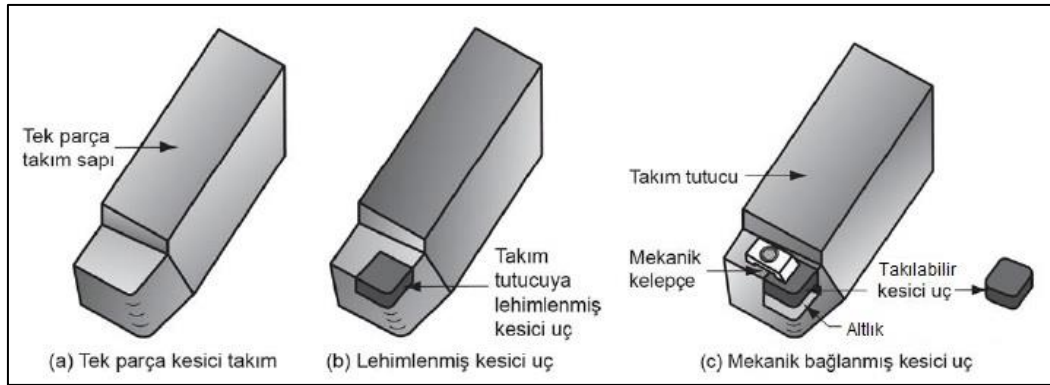
Kesici takım kaplamaları, kaplanma yöntemleri, katmanları ve kaplanan elementlere bağlı olarak kesici uca farklı özellikler kazandırmaktadır. CVD-TiN kaplamalar aşınma direncini arttırırken, CVD-Al₂O₃ kaplamalar ısı direnci yükseltebilmektedir. Bu kaplama elementlerinin birkaç katmanda uygulanmasıyla elementlere ait fiziksel ve kimyasal özellikler kesici uç malzemesine kazandırılabilir. Böylelikle kesici takım ısı dirence sahip olmasıyla birlikte yüksek mukavemet ve aşınma direnci gösterebilmektedir (Dormer, 2020; Sandvik Coromant, 1997).

3.4.10. Kesici takımlar ve standartları

Önceleri kesici takımlar, gövde ve kesici kenarlar bir bütün olarak üretilmekteydi (örneğin HSS takımlar). Ancak gelişen teknoloji sayesinde kullanılmaya başlanan sinterlenmiş karbür gibi malzemelerin yüksek sertlikleri ve maliyetleri, kesici takım tasarımında bazı değişikliklere sebep olmuştur (Şekil 3.18). Yüksek sertliğe sahip kesici uçlar daha küçük ebatlarda tasarlanmış ve takım sapına (kater) montajı sağlanarak kullanılmaya başlanmıştır. Takma uca sahip bu takımlarda, kesici uca ait birden fazla kesme kenarı bulunmakta ve bu sayı kesici uç geometrisine bağlı olarak artmaktadır. Takma uca sahip takımlar, kesici kenarın performansının düşmesiyle takım tezgahıtan sökülmeden sadece kesici uç çevrilerek diğer kesici kenarın kullanılmasına olanak sağlamakta ve zamandan tasarruf edilebilmektedir. Bu uçlar üçgen, kare, dairesel, altıgen, dikdörtgen şekillerde ve çeşitli açılarda üretilmektedir. Bu geniş yelpazenin sınıflandırılması için bir numaralandırma sistemi geliştirilmiştir (Groover, 2008; Shaw, 2005) Kullanılan sınıflandırma örneği SNMG120408MP kodu için Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kesici uç kodlama sistemi (Shaw, 2005)

Kod	Açıklaması
S	Kesici uç şekli (Kare)
N	Kesici uç boşluk açısı (0°)
M	Tolerans (Nokta doğruluğu $\pm 0,10$ mm ve kalınlık $\pm 0,13$ mm)
G	Kesit tipi (Delikli ve talaş kırıcı)
12	Kesme kenarı uzunluğu (12 mm)
04	Kesici uç kalınlığı (4,76 mm)
08	Kesici uç yarıçapı (0,8 mm)
MP	Talaş kırıcı formu



Şekil 3.18. Kesici takım gövdeleri (Groover, 2016)

Takma uçlara uygun takım sapına (kater), kesici uçlar farklı yöntemlerde bağlanabilmektedir. Bu bağlama yöntemleri kesici takımın kullanım şekline ve iş parçası geometrisine bağlı olarak özenle seçilmelidir.

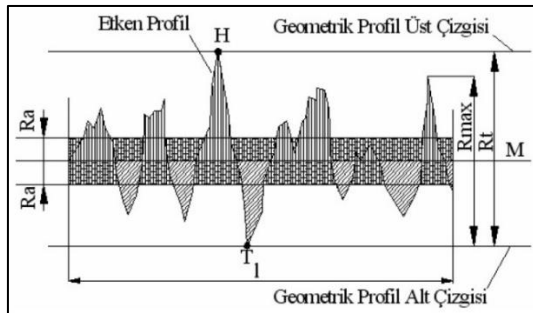
4. İŞ PARÇASI MALZEME YÜZEYİ VE GEOMETRİSİ

Talaşlı imalat işleminde, talaş kaldırılan iş parçası yüzeyinden ve geometrik özelliklerinden farklı beklentiler vardır. Bu beklentilerin kaynağı, iş parçasının kullanılacağı yer, kullanım ömrü vb. sayılabilir. İş parçasının üzerinden verilen toleranslar, beklentilerin bir sonucudur. Toleranslar, yapılacak olan üretimin kabul edilebilir seviyesini ortaya koymaktadır. Bu tolerans değerleri tornalama operasyonları için kısaca, yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve iş parçası geometrik ölçülerine bağlı olan, dairesellik sapması, silindiriklik sapması, düzlemsellik olarak sıralanabilir. Talaş kaldırma yönteminin, malzemeden beklenen bu özelliklere ulaşılmasında büyük etkisi vardır ve tolerans değerlerinin ölçümünde yöntemlerin doğru belirlenmesi önemlidir.

4.1. Yüzey Pürüzlülüğü

İş parçası yüzeyleri, estetik görünüm, dayanım, montaj rahatlığı, sürtünme ve aşınma özelliklerini belirleyen önemli kısımlardır. Bir iş parçasının yüzey görünümü gözle ne kadar mükemmel görüne de mikroskop altında incelendiğinde bazı bozukluklar görünecektir (Şekil 4.1). Bu görünüm yüzey pürüzlülüğü kavramının gelişmesine olanak sağlamış ve belirli standartlar ile temsil edilmiştir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan TS971 standardı bunlardan biridir (Groover, 2008; Oğuz, 1993).

Yüzey pürüzlülük değeri, bir iş parçasının yüzey kalitesini gösteren değer olarak belirtilmektedir. Takım tezgahı rijitliği, iş parçasının talaş kaldırma anındaki titreşimleri ve ilerleme miktarı, kesme hızı, kesme derinliği gibi kesme parametreleri iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünü ifade eden bazı değerler mevcuttur ve bu değerler Şekil 4.1’de verilmiştir (Aytürk, 2010; Şahin, 2000).



Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülük profili (Aytürk, 2010)

- Ra: Ortalama pürüzlülük değeri (μm)
- Rmax: En büyük pürüzlülük derinliği (μm)
- Rt: Pürüzlülük yüksekliği (μm)
- L: Örnekleme uzunluğu (mm)

Talaş kaldırma işlemlerinde, genellikle aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlendirilmekte ve kabul görmektedir. Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) matematiksel gösterimi Eş. 4.1’de verilmiştir (Kaya, 2019).

$$R_a = \int_0^{L_m} \frac{|y|}{L_m} dx \quad (4.1)$$

Burada, Ra aritmetik ortalama pürüzlülük değeri, y yüzeyden dikey sapma miktarı, m ve Lm dikey sapmaların ölçüldüğü aralıktır (Groover, 2008).

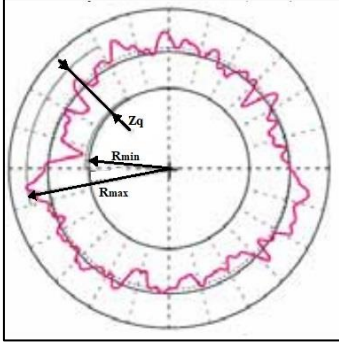
4.2. Dairesellik Sapması

Üretilen parçaların kusursuz bir dairesel şekle sahip olması imkansızdır (Shaw, 2005). Bir şeklin kesitine ait noktaların merkeze olan uzaklığı birbirine eşitse dairesel olarak tanımlanır ve böylelikle daireellik sapması mükemmel bir daireye göre ölçülen noktaların merkeze olan uzaklık değişimleri olarak alınmaktadır. Şekil 4.2’de daireellik sapması için bir örnek verilmiştir. İlk başarılı daireellik ölçümü 1951 yılında Taylor Hobson tarafından gerçekleştirilmiş ve günümüze kadar geliştirilmiştir. Günümüzde kabul gören daireellik ölçümlerinde ölçümü görselleştirmek için bir referans dairesi eklenir, böylelikle girinti ve tepe noktalarının görülmesi kolaylaşır. Dairesellik ölçümünde farkı yaklaşımlar kullanılmaktadır, bunlar aşağıda sıralanmıştır (Görög, 2011; Hobson, 2021; Mavi, 2018; Pınar ve Güllü, 2007; Wang, Cheraghi ve Masud, 1999).

- En küçük kareler yöntemi (EKK),
- Maksimum iç teğet dairesi yöntemi (MITD),
- Minimum dış teğet dairesi yöntemi (MDTD),
- Minimum radyal ayırım dairesi yöntemi (MRAD)

EKK yöntemi

En küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen daire merkezi, en büyük iç teğet (R_{min}) ve en küçük dış teğet (R_{max}) dairelerinin profile uydurulması için kullanılır. Uydurulan iki daire arasındaki fark (Z_q) dairesellik sapması olarak karşımıza çıkmaktadır. En yaygın kullanıma sahip ölçüm yöntemidir. EKK yöntemiyle elde edilmiş grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. EKK yöntemi görünüm

MITD yöntemi

Profilin iç kısmında yer alan en büyük daireye ait merkez bulunarak, profilin dışında yer alan en küçük daire tespit edilir. Bu iki daire arasındaki fark dairesellik sapması olarak belirlenir.

MDTD yöntemi

Profili kapsayan en küçük daire tespit edilir ve bulunan dairenin merkezi iç teğet daireyi bulmak için kullanılır. Bu iki daire arasındaki fark dairesellik sapmasını gösterir.

MRAD yöntemi

Minimum alan daireleri olarak da isimlendirilen bu yöntem, en küçük radyal ayrıma sahip iki eş merkezli dairenin arasındaki farkı belirler ve dairesellik sapması bu farktır.

parçasının mevcut geometrik ve kütleli özelliklerine bağı olarak, bu iki yöntemden biri tercih edilmektedir. Yüzey deformasyonun problem oluşturmayaacağı durumlarda statik batma testleri uygulanırken, yüzeyde deformasyon istenmediği durumlarda, belirli bir yay gücüyle, sertliği ölçülecek yüzeye bırakılan çelik bilyenin sıçramasıyla da sertlik ölçümü yapılabilmektedir. Dinamik olarak adlandırılan bu yöntem, kullanım açısından kolaydır ve günümüzde ölçümlerin dijitalleşmesiyle daha yüksek sertlik skalasına müsaade etmektedir. Günümüzde kullanılan bazı sertlik ölçüm yöntemleri ve uygulamaya bağı sembolleri aşağıda verilmiştir (Akba, Ekincioğlu, Altındağ ve Şengün, 2021; Aydemir, 2009; Kuzu, 2008).

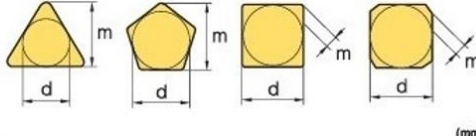
- Rockwell (HRC, HRB)
- Brinell (HBS, HBW)
- Vickers (HV)
- Knoop (HK)
- Shore (Shore A, Shore D)
- Martens
- Leeb (HLD)

5. KESİCİ TAKIM YÜKSEKLİK AYARI

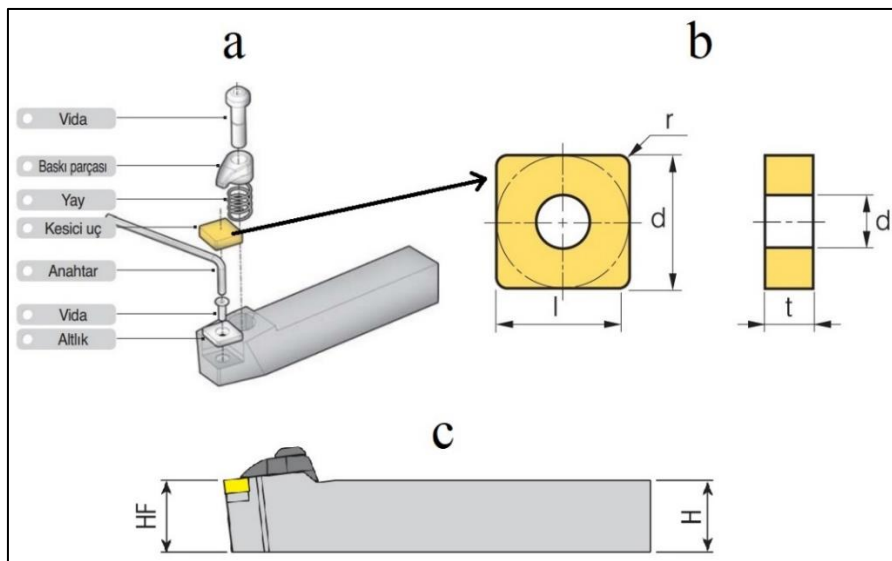
Tornalama işlemlerinde kesici takım ucunun iş parçası ekseninde ayarlanması büyük önem arz etmektedir. İş parçası ekseninde ayarlanmayan bir kesici takımın kesme performansı değişecektir (Yaldız, 2010). Universal torna tezgahlarında kesici takım yükseklik ayarı için geleneksel birçok yöntem mevcut olmakla birlikte araştırmacıların geliştirdiği yükseklik ayarlı takım tutucularla da bu sağlanmıştır (Lata ve Hitesh, 2020; Ma, 2014). CNC (Computer Numerical Control) torna tezgahlarında, bu ayarlamayı yapmak için koşullar kısıtlayıcıdır. CNC torna tezgahlarında, kesici takımların bağlandığı kısım, taret (ATC: Automatic Tool Changer) adını almaktadır. Taretin ve iş parçasının bağlı bulunacağı iş milinin (ayna, pens vb.) ekseni, tezgahın üretimi sırasında oluşmaktadır (Thyer, 1991). Zaman içerisinde kullanıma bağlı olarak eksen kaçıklığı oluşan CNC torna tezgahlarında, eksen ayarlama işinin, zaman ve uzman personel ihtiyacı oluşturduğu görülmektedir. Genellikle bu ihtiyacın takım tezgahı üretici firmaları tarafından eğitilen uzman personel aracılığıyla giderildiği anlaşılmaktadır (Mori ve Fujishimaa, 2013). Kesici takımın iş parçası eksenini altında olması durumlarında, kesici takım altına beslenen sentiller yardımıyla yükseltilebilmekte ve kesici takım-iş parçası eksenini ayarlanmaktadır. Ancak kesici takımın yüksekte olması durumunda ise kesici takıma veya tarete bir takım mekanik işlemler uygulanmasını gerektirmektedir.

Belirtilen eksen hatasının kaynağı takım tezgahı olabileceği gibi kesici takımda olabilir. Yekpare takımların bilinmesi nedeniyle geriye talaş açısından kaynaklanan bir eksen kaçıklığı olabileceği gibi takma uçlu takımların üretim toleransları da kesici takım-iş parçası eksenini değiştirebilmektedir.

Çizelge 5.1. Kesici uç geometrik toleransları (Korloy, 2021)

d : İç teğet çapı t : Kalınlık m : Gösterim  (mm)			
Klas	d	m	t
A	$\pm 0,025$	$\pm 0,005$	$\pm 0,025$
C	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$
H	$\pm 0,013$	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$
E	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
G	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$	$\pm 0,13$
J	$\pm 0,05 \sim \pm 0,15$	$\pm 0,005$	$\pm 0,025$
K	$\pm 0,05 \sim \pm 0,15$	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$
L	$\pm 0,05 \sim \pm 0,15$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
M	$\pm 0,05 \sim \pm 0,15$	$\pm 0,08 \sim \pm 0,20$	$\pm 0,13$
N	$\pm 0,05 \sim \pm 0,15$	$\pm 0,08 \sim \pm 0,18$	$\pm 0,025$
U	$\pm 0,08 \sim \pm 0,25$	$\pm 0,13 \sim \pm 0,38$	$\pm 0,13$

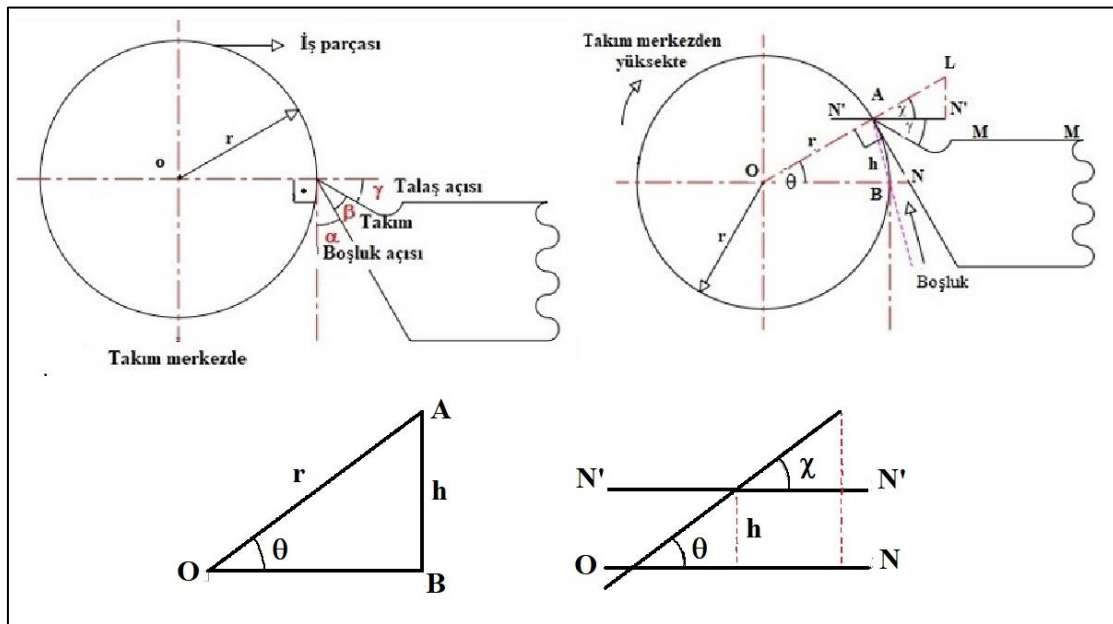
Çizelge 5.1’de görüleceği gibi kesici ucun toleranslarına göre belirlenen kodlama dikkate alındığında, piyasada yaygın olarak kullanılan “M” sınıfı tolerans değeri için kesici uç kalınlık toleransı $\pm 0,13$ mm dir (Korloy, 2021). Bu değer kesici takım ve iş parçası ekseninde ayarda değişikliğe sebep olacaktır. Kesici ucun, takım sapına (kater) montajında kullanılan altlık ve takım sapı (kater) yükseklikleri de belirli toleranslarda üretilmektedir (Şekil 5.1a). Bu tolerans değerleri toplamı kesici takımın fonksiyonel yüksekliğini (HF) etkilemekte ve bu durum kesici takım-iş parçası ekseninde yükseklik farkına sebep olmaktadır (Şekil 5.1c).



Şekil 5.1. a) Kesici takım kısımları b) Kesici uç c) Fonksiyonel yükseklik (HF) (Akko, 2021)

5.1. Kesici Takım Yükseklik Ayarının Kesici Takım Açılarına Etkisi

Kesici takım-iş parçası eksenli yükseklik farkı, takımın geometrisine bağlı olan talaş açısı (γ) ve boşluk açısını (α) değiştirecektir. Bu nedenle kesici takımdan beklenen performansın alınamayacağı ve kesici takımın farklı kuvvetler etkisi altında kalacağı öngörülmektedir (Yaldız, 2010). Kesici takımın, iş parçası ekseninden yukarıda bağlanması talaş açısını arttıracak ancak boşluk açısında azalmaya sebep olacaktır. Kesici takımın, iş parçası ekseninden aşağıda olduğu durumda aksi gerçekleşecektir. Açılarda oluşan bu değişim, iş parçasının farklı çapları için değişiklik gösterecektir. Talaş kaldırma çapına bağlı değişen açılar, kesici takım ve iş parçası eksen farkına bağlı olarak Şekil 5.2 ve Eş. 5.1'deki, Eş. 5.2'deki, Eş. 5.3'teki trigonometrik oranlarla hesaplanabilir (Akkurt, 2000; Jana ve Mandal, 2008).



Şekil 5.2. Kesici takım yükseklik ayarı ve açıları (Jana ve Mandal , 2008)

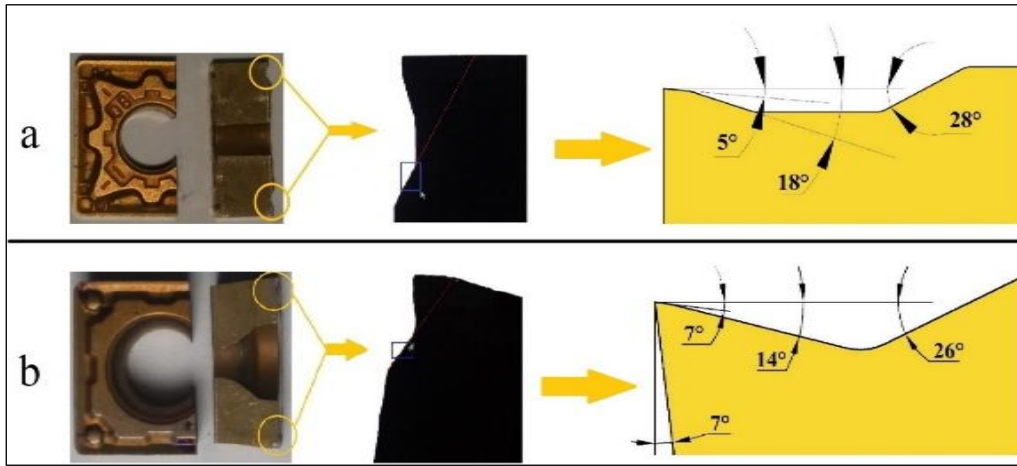
Burada, h kesici takımın eksenden yüksekliği, r yarıçap, χ yükseklikle oluşan takım düzlemine olan açıdır ve $\chi = \theta$.

$$\sin^{-1} \theta = h/r \quad (5.1)$$

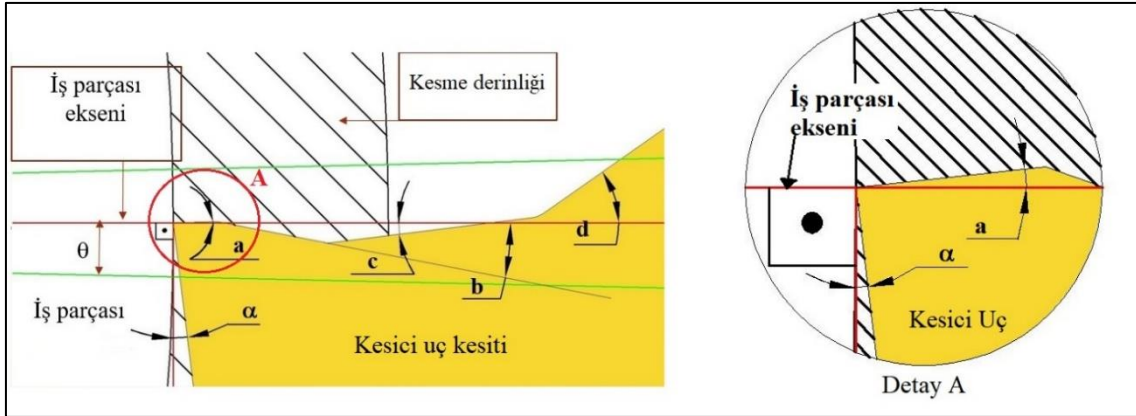
$$\alpha_2 = \alpha_1 - \sin^{-1} \theta \quad (5.2)$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 - \sin^{-1} \theta \quad (5.3)$$

Burada, θ kesici takımın iş parçasının eksenine olan açısını, α_1 eksendeki boşluk açısını, α_2 yeni oluşan boşluk açısını, γ_1 eksendeki talaş açısını ve γ_2 yeni oluşan talaş açısını belirtmektedir. Bu çalışmada kullanılacak kesici takımlar için yükseklik ayarıyla değişecek açı değerleri aşağıda verilmiştir. Kullanılan iki uç için form ve açılar farklıdır. Belirlenen açı değerlerinin kesici uçlar üzerinden tespiti için uygulanan yöntem ilerleyen bölümlerde anlatılmıştır (Bkz. Bölüm 8.4.5) . Ölçülen kesici uçlar Şekil 5.3'te verilmiştir.



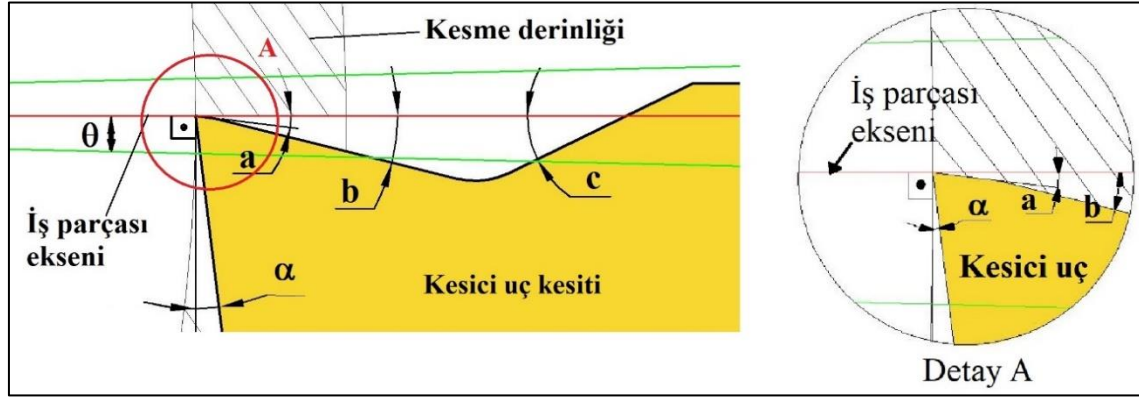
Şekil 5.3. Kullanılacak kesici uçlara ait kesit görünümü a) SNMG b) SCMT



Şekil 5.4. Negatif kesici uç açıları

Çizelge 5.2. Negatif takım açısı değişimi

Kesme derinliği (mm)	Kesici takım yüksekliği (mm)	α°	a°	b°	c°	d°
0,8	-0,5	8,23	-3,23	9,77	-8,23	-36,23
	0	7,00	-2,00	11,00	-7,00	-35,00
	+0,5	5,77	-0,77	12,23	-5,77	-33,77
1,3	-0,5	8,26	-3,26	9,74	-8,26	-36,26
	0	7,00	-2,00	11,00	-7,00	-35,00
	+0,5	5,74	-0,74	12,26	-5,74	-33,74
2	-0,5	8,30	-3,30	9,70	-8,30	-36,30
	0	7,00	-2,00	11,00	-7,00	-35,00
	+0,5	5,70	-0,70	12,30	-5,70	-33,70



Şekil 5.5. Pozitif kesici uç açıları

Çizelge 5.3. Pozitif takım açısı değişimi

Kesme derinliği (mm)	Kesici takım yüksekliği (mm)	α°	a°	b°	c°
0,8	-0,5	8,23	5,77	12,77	-27,23
	0	7,00	7,00	14,00	-26,00
	+0,5	5,77	8,23	15,23	-24,77
1,3	-0,5	8,26	5,74	12,74	-27,26
	0	7,00	7,00	14,00	-26,00
	+0,5	5,74	8,26	15,26	-24,74
2	-0,5	8,30	5,70	12,70	-27,30
	0	7,00	7,00	14,00	-26,00
	+0,5	5,70	8,30	15,30	-24,70

6. DENEY TASARIMI TAGUCHİ VE VARYANS ANALİZİ

6.1. Deney Tasarımı

Deney, belirlenen bir soruya cevap bulmak amacıyla uygulanan yöntemlerden biridir. Deneyler, belirlenen sistem veya süreçte var olan faktörlerin, sisteme etkisinin olup olmadığını ve eğer etkisi varsa etki değerinin ne olduğunu belirlemede kullanılan en pratik yol olarak düşünülebilir. Bu düşünce, deney tasarımı gerekliliğini ortaya koymuş ve en iyi sonuçları elde etmek için, belirlenen parametrelerin performans özellikleri belirlenerek etki eden faktörler irdelenmiştir. İstatiksel olarak irdelenen bu faktörlerin oluşturduğu sonuçlar kesinlik kazanmasa da, istatiksel ağırlıklarına bağlı olarak kabul görmektedir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda sonuçların kesin olması beklenmez ve bu sonuçları matematiksel bir temele dayandırmaktan çok sebep-sonuç ilişkisinin varlığını ispatlamak gerekmektedir. Deney tasarımı yapılmadan önce doğru etkilerin tespiti için doğru sorunun sorulması esastır. Kısaca deney tasarımı, girdi değişkenlerinde yapılan değişiklikler sonucunda değişen çıktılar için gözlem ve yorumlama kabiliyeti olarak tanımlanabilir (Gupta ve Parsad, 2013; Güneş, 2015; Montgomery, 2013).

Deney tasarımında belirlenen parametreler girdi, beklenen veya elde edilen sonuçlar ise çıktı olarak adlandırılmaktadır. Bir deneyin amacı, çıktı değişkeni üzerinde en etkili girdi değişkenini ve/veya girdi değişkeni kümesini belirlemektir (Montgomery, 2013).

Deney tasarımı kavramı ilk olarak 19. yüzyılın başlarında tarım alanında yapılan çalışmalar sırasında kullanılmıştır ve verilerin analizinde büyük bir kabul görmüş olan faktör etkilerinin oranını belirleyen “varyans analizi” (ANOVA) geliştirilmiştir. Günümüze kadar farklı deney tasarımı metotları geliştirilmiş ve bunların bazıları aşağıda açıklanmıştır (Güneş, 2015).

Faktöriyel tasarım

İki veya daha fazla faktör içeren deneyler için kullanımı uygundur. Faktörlerin tek başına sisteme yapacağı etkinin belirlenmesi yanı sıra birbirleri arasındaki etkileşimin deneyi nasıl etkileyeceğini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir metottur. Tasarım A faktörünün a seviyesi için ve B faktörünün b seviyesi için her tekrarda ab kombinasyonunu içerir, bu nedenle faktörler çaprazlanmış olarak adlandırılır.

2^k faktöriyel tasarım

Özellikle çok sayıda faktörün araştırılması gerekiyor ve deney başlangıç aşamasındaysa yaygın kullanılan bir yöntemdir. Tasarımda her faktör iki seviyeden oluşmakta ve seviyeler ölçülebilir (zaman, basınç vb.) olacağı gibi nitelikselde (operatör vb.) olabilmektedir. Her faktör iki seviyeden oluştuğu için yanıt doğrusal olacaktır.

Kesirli faktöriyel tasarım

2^k faktöriyel tasarımda bulunan faktörlerin sayısı arttıkça, deney sayısı ve buna bağlı olarak harcanan zaman artmaktadır. Eğer deney tasarımı yapacak kişi belirlenen yüksek derecelere sahip etkileşimleri göz ardı edebilirse, temel etkiler ve düşük derecelere sahip etkileşimler hakkında bilgiye deney tasarımının bir bölümünü kullanarak ulaşabilir. Böylelikle kesirli faktöriyel tasarımlar, ürün tasarımı, süreç geliştirme ve endüstriyel deneyler için yaygın kullanıma sahip olmuştur.

Latin kare tasarımı

Adını tasarım sırasında kullanılan Latin harflerinden (A,B,C gibi) ve kare şeklinde düzenlenmesinden almıştır. Satırlar ve sütunlardan oluşan Latin kare tasarımı iki değişken kaynağı sistematik olarak iki yönde sınırlamaya izin verir. Genel olarak, p faktörleri için p x p Latin karesi, p sütun ve p satırdan oluşur. Oluşturulan p² hücrelerinin her biri seviyelere karşılık gelen p harflerinden birini içerir. Her harf her satır ve sütunda yalnızca bir kez bulunur. Aşağıda Latin kare tasarımına ait dizilim örnekleri verilmiştir.

Çizelge 6.1. Latin kare dizilimi

4x4	5x5	6x6
A B D C	A D B E C	A D C E F B
B C A D	B A C B E	B A E C D F
C D B A	C B E D A	C E D F B A
D A C B	D E A C D	D C F B A E
	E C D A B	E B A D E C
		E F B A C D

Graeco- Latin kare tasarımı

Bir $p \times p$ Latin kare tasarımı üzerine Yunan harfleriyle sembolize edilen ikinci bir $p \times p$ Latin kare tasarımı bindirildiğinde, her bir Latin harfi ve Yunan harfinin bir kez tekrarlanma özelliğine sahipse iki Latin karesinin orthogonal olduğu söylenebilir. Elde edilen tasarıma Graeco-Latin kare tasarımı adı verilmektedir (Çizelge 6.2.).

Çizelge 6.2. Graeco-Latin kare dizilimi

	1	2	3	4
1	A α	B β	C γ	D δ
2	B β	A α	D δ	C γ
3	C γ	D δ	A α	B β
4	D δ	C γ	B β	A α

Deney tasarımları gerçekleştirilirken belirli bir akış söz konusudur ve bu akışa uygun gerçekleşen deney tasarımlarının başarıya ulaşması daha kolay olacaktır. Bu akışa ait adımlar aşağıda verilmiştir (Güneş, 2015; Montgomery, 2013).

- Problemin saptanması
- Yanıt değişkenlerinin belirlenmesi
- Faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi
- Deney tasarım metodunun seçimi
- Deneylerin gerçekleştirilmesi
- Elde edilen çıktıların istatistiksel analizi
- Sonuçlar ve öneriler

Deney tasarımı metotlarının başlangıcı 1920’li yıllara dayansa da, bu metotlar 1970’li yıllara kadar kısıtlı biçimde imalat sektöründe uygulanmıştır. Deney sayısını azaltarak çok iyi sonuçlara ulaşan ve orthogonal diziler kullanan Genichi Taguchi’nin yöntemlerini Amerika’nın öğrenmesiyle, 1980’li yıllarda deney tasarımı kavramı yeniden şekillenmiştir. Japonya’da artan kalitenin temelinde yer alan Taguchi yöntemi böylelikle dünyada kabul görmüştür.

6.2. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi, farklı parametrelerin seviyeleri arasında en etkili kombinasyonu seçmek için kullanılan en etkili yollardan biridir. Orthogonal dizi seçimleri, gerekenden daha az deneysel çalışmayla sonuca ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Bu dizi seçimi, değişkenliğe sebep olan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrolü sağlana bilen faktör düzeylerinin en iyi kombinasyonu seçilerek, değişkenliği en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Genichi Taguchi, deneysel tasarımda, kavram oluşturma aşaması olan sistem tasarımı, süreç için hedef oluşturma aşaması olan parametre tasarımı ve hedef değere ulaşılmadığında yapılan ek çalışma sayılabilecek tolerans tasarımı olarak üç tasarım üzerinde çalışmıştır. Genichi Taguchi, deney tasarımlarında performans kriteri olarak sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan bir kriter ortaya koymuş ve böylelikle deneyde var olan değişkenliği en aza indirmeyi hedeflemiştir. Deney çıktılarında birden fazla değişken sonuç oluşacağından, ortalama sonuç değerleri yerine sinyal/gürültü oranının kullanılması uygun görülmüş ve faktörün çıktıya etkisi “sinyal”, dış etkilerin sisteme etkisi “gürültü” olarak adlandırılmıştır. Yaygın kullanılan S/N oranları hesaplama yöntemleri, en küçük - en iyi, en büyük - en iyi ve nominal değer- en iyi yöntemleridir (Güneş, 2015; Montgomery, 2013).

6.2.1. En küçük – en iyi (Smaller is better)

Bu tür durumlar, çıktı hedef değerinin sıfır olduğu problemlerdir. Hedef değerin daima alt sınır olması beklenir. Bu duruma örnek olarak iş parçası dairesellik değeri verilebilir. Dairesellik sapma değeri ne kadar küçük ise hedef değere o kadar yaklaşmış demektir. Bu yöntem için sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (6.1)$$

6.2.2. En büyük – en iyi (Larger is better)

Bu tür problemlerde, hedef değerin üst sınırı yoktur ve değer büyüdükçe verimliliğin artacağı beklenir. Bu yöntem için sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S/N = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (6.2)$$

6.2.3. Nominal – en iyi (Nominal is best)

Bu tür problemlerde, belirlenen bir hedef değer vardır ve sapmalar iki yönlü gerçekleşebilir. Bu duruma en iyi örnek, ölçü tolerans değerleri olarak düşünülebilir. Bu yöntem için sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (6.3)$$

6.3. Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi (ANOVA), her bir faktör ve grupların verilen yanıtta değişim miktarını ve etkisini elde etmek amacıyla kullanılan yaygın bir analiz yöntemidir. Herhangi bir deney tasarımı sonucunda elde edilen çıktıların optimizasyonu kimi zaman zorluklar oluşturabilir. Bu durumda varyans analizi bize deneysel çalışmanın güvenilirliği ve faktörlerin etkileri için istatistiksel bir yaklaşım sağlar.

Varyans analizi farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bağımlı değişkenlerin sayısına bağlı, tek değişkenli varyans analizi veya çok değişkenli varyans analizi gerçekleştirilebilir. Tek değişkenli varyans analizi, bağımlı tek değişkenin bağımsız değişkenler aracılığıyla açıklanması ve bağımsız değişkenlerin etkilerinin belirlenmesi olarak düşünülebilir. (Faraway, 2002).

Varyans analizi sonucunda değerlendirme yapılırken, elde edilen sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğuna karar vermek büyük önem taşır. Bu nedenle yapılan deneysel çalışmaya

ait analiz sonucunda, bağımsız değişken etkilerinin olasılığını belirleyen “P” değeri dikkate alınmalıdır. Eğer analiz sonucunda P değeri 0,05’ten küçük elde edilmişse sonuç anlamlı olarak değerlendirilir. Genel anlamda “P” değeri 0,05 düzeyinde tutulsa da bu değer gerçekten geçerli olması, örnekleme boyutuna bağlı değişecektir çünkü örnekleme sayısına bağlı olarak analizin güven aralığı değişecektir. Genelde, yapılan çalışmalarda güven aralığının %95 olarak kabul edildiği görülmektedir (Kul, 2014).

7. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür taraması üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşama kesici takım açılarının işlenebilirliğe etkisi, ikinci aşama kesici takım yükseklik ayarı ve son olarak paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği hakkında yapılan çalışmaları kapsamaktadır.

7.1. Kesici Takım Açılarının İşlenebilirliğe Etkisi

Tornalama işlemlerinde, kesici takımdan en iyi performansın elde edilmesini sağlayan belirli açılar oluşturulmaktadır. Kesici takımlar, bu açılarla iş parçası eksenine göre negatif veya pozitif kesici uç olarak adlandırılırlar. Genel olarak bir kesici takımda olması gereken açılar, boşluk açısı, kama açısı ve talaş açılarıdır. Bu açılar özellikle dik kesme modelinde önem taşımaktadırlar. Kesici takımlar makro ölçekli incelendiğinde, özellikle takma uçlu kesici takımlarda pozitif ve negatif durumunu belirleyen eğim açıları mevcuttur. Takma uçlu kesici takımlarda, mikro ölçekli olarak kesici uç üzerinde oluşturulan talaş açısı ve boşluk açısı belirli bir eğim açısına sahip takım sapına yerleştirildiğinde, sapın eğimine bağlı yeni açı değerleri alacaklardır. Kesici takımlarda bir diğer önemli açı yanaşma açısıdır ve yanaşma açısı talaş oluşumunu doğrudan etkilemektedir (Akkurt, 2000; Çakır, 1999). Kesici takım açılarının tornalama işlemlerinde işlenebilirliğe etkisini inceleyen bazı çalışmaların kısa özeti bu bölümde verilmiştir.

Kosaraju, Anne ve Ghanta (2011), 90° yanaşma açısına sahip HSS (High Speed Steel) kesici takıma farklı talaş açıları (0,4,8,12,16,20) ayarlamışlar ve boşluk açısını (8°) sabit tutmuşlardır. AISI 1040 malzemesini iş parçası olarak kullandıkları tornalama deneylerinde, kesme hızı ve kesme derinliği için sabit bir değerler belirlemişlerdir. Farklı ilerleme miktarlarıyla gerçekleştirilen deneylerde, ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvvetlerinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Talaş açısının artmasıyla kuvvetlerde azalma gözlemlenmişler ve 20° talaş açısına sahip kesicide en düşük kuvvet değerini elde etmişlerdir.

Usman (2012), yaptığı deneysel çalışmada HSS kesici takımlar kullanmış ve kesici takımların talaş açılarını farklı açı (0,5,10,15 ve 20) değerlerinde bilemiştir. Bileme sırasında boşluk açısını (8°) sabit tutmuş ve kama açısını değiştirmiştir. Çalışmasında soğutma sıvısı kullanmış, takım ömrü ve talaş yapısını incelemiştir. Yaptığı inceleme sonucunda talaş açısı

arttıkça takım ömrünün uzadığını, en iyi takım ömrü ve talaş tipini (sürekli talaş) 20° talaş açısına ait kesici takımda elde ettiğini bildirmiştir.

Baldoukas, Soukatzidis, Demosthenous ve Lontos (2008), yaptıkları deneysel çalışmada üç farklı malzemeyi (AISI 1020, Alüminyum 2014 ve UNS C23000) iş parçası olarak kullanmışlar ve tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Deney parametresi olarak altı farklı kesme derinliği (0,2;0,5;1;1,5;2;2,5 mm), dört farklı talaş açısına (0,6,12,20) sahip kesici uç, 66,6 m/dak sabit kesme hızı ve 0,2 mm/dev sabit ilerlemeyi tercih etmişlerdir. Kullanılan kesici takımın yanaşma açısı 45° , boşluk açısı 8° ve uç yarıçapı 1 mm dir. Deneyler sonucunda, takım talaş açısının iş parçası malzemesine bağlı olarak farklı sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. AISI 1020 malzeme için kesme kuvvetinin talaş açısı arttıkça azaldığını, UNS C23000 malzemesinde talaş açısının değişiminin kesme kuvvetinde büyük bir etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Alüminyum 2014 malzemesi için düşük kesme derinliklerinde talaş açısının artmasıyla kesme kuvvetinde azalma görüldüğünü ancak yüksek kesme derinliklerinde bu değişimin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Tüm deneyler içerisinde en kararlı talaş açısını 12° olarak belirlemişlerdir.

Duran ve Acır (2004), yaptıkları deneysel çalışmada AISI 1040 çeliğinin tornalamasını gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde farklı talaş açısına (3,7,12) sahip HSS kesici takımlar kullanmışlardır. Kesme hızını (40 m/dak) ve ilerleme miktarını (0,2 mm/dev) sabit tuttukları deneylerde üç farklı kesme derinliğinde (1;1,5;2 mm) işleme gerçekleştirmişlerdir. Her deney için talaş kaldırma süreleri en az on saniye sürmüştür. Deneyler sonucunda talaş açısının artmasıyla teğetsel (esas kesme) kuvvetin ve ilerleme kuvvetinin azaldığını görmüşlerdir. Kesme derinliğinin artmasıyla kuvvetlerin arttığını belirtmişlerdir ve talaş açısının artmasıyla ilerleme kuvvetinin teğetsel (esas kesme) kuvvetine oranının azaldığını tespit etmişlerdir.

Magdum (2016), yaptığı çalışmada farklı yanaşma açlarına (60,75,90) sahip karbür kesici takımlarla EN8 çeliğini tornalamıştır. Kesme hızını ve kesme derinliğini sabit tutmuş ve üç farklı ilerleme miktarı (0,065;0,13;0,26 mm) belirlemiştir. Çalışmanın sonucunda yanaşma açısının değişimiyle talaş oluşumun doğrudan etkili olduğunu belirtmiştir. Kesici takım yanaşma açısının artmasıyla teğetsel (esas kesme) kuvvetinde azalma olduğunu ve ilerleme kuvvetinin arttığını belirtmiştir.

Günay ve Şeker (2005), kesici takımın talaş açısının ilerleme kuvveti üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, AISI 1040 çeliğini, negatif (5;2,5), sıfır (0) ve pozitif (2,5;5;7,5;10;12,5) talaş açlarına ayarlayabildikleri ve 7° boşluk açısına sahip sementit karbür kesici takımla tornalamışlardır. 5 farklı kesme hızı (80,100,120,150,180 m/dak) seçmişler, kesme derinliğini (2,5 mm) ve ilerleme miktarını (0,25 mm/dev) sabit tutmuşlardır. Deneyler sonucunda, kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvvetlerinde büyük bir değişim görememişlerdir. İlerleme kuvvetinin en düşük elde edildiği talaş açılarını 0° ve +2,5° olarak belirlemişlerdir ve 0° talaş açısında deneysel çalışmanın daha kararlı gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Teorik kuvvet hesaplarıyla deneysel çalışma sonuçlarını karşılaştırmışlar ve ilerleme kuvvetinin pratikte teğetsel (esas kesme) kuvvetinin 0,3 katı alınmasının uygun olacağını bildirmişlerdir.

Sağlam, Unsacar ve Yıldız (2006), talaş açısı ve yanaşma açısının talaş kaldırmaya etkisini kesme kuvvetleri ve kesici uçta oluşan sıcaklıkla belirlemeye çalışmışlardır. 40 HRc sertlik değerine sahip AISI 1040 çeliğinden torna tezgahında talaş kaldırmışlar, farklı talaş açlarına (0,6,12,20) ve farklı yanaşma açlarına (45,60,75,90) sahip kesici takımlar kullanmışlardır. Deney parametresi olarak kesme hızı (113 m/dak) ve kesme derinliğini (1,5 mm) sabit tutmuşlar, farklı ilerleme miktarları (0,16;0,20;0,25;0,30 mm/dev) seçmişlerdir. Deneyler sonucunda, 90° yanaşma açısına sahip takımlarda talaş kaldırmaya girişte ani kuvvet artışı ve çıkışında ani kuvvet düşüşü belirlemişlerdir. 90° yanaşma açısına sahip kesici takımında en yüksek teğetsel (kesme) kuvveti elde etmişlerdir. En düşük ilerleme kuvvetini 0° talaş açısı ve 45° yanaşma açısında elde etmişlerdir. Artan ilerleme miktarı ile kesme kuvvetlerinin arttığını ancak artan talaş açısıyla azalma gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Elde edilen kuvvet ve sıcaklık değerleri birlikte incelendiğinde en uygun talaş ve yanaşma açısını sırasıyla 12° ve 75° olarak belirlemişlerdir.

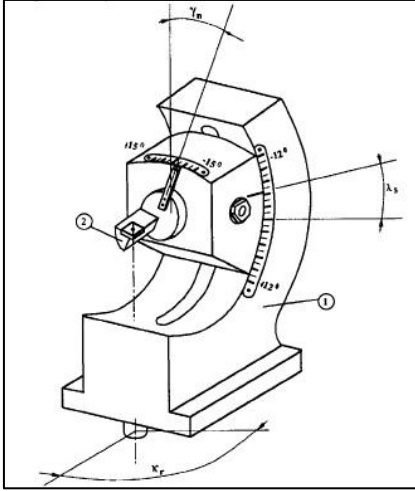
Sekmen, Günay ve Şeker (2015), Alüminyum alaşımlarının (AA 2011 ve AA 7075) tornalanmasında kesme hızının ve talaş açısının, yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı talaş katmanı oluşumu üzerine bir deneysel çalışma yapmışlardır. Negatif -5°, 0° ve pozitif (5,10,15,20) talaş açlarına sahip olacak şekilde ayarladıkları kesici uçları, 95° yanaşma açısına sahip takım tutucuyla kullanmışlardır. Deneylerde farklı kesme hızları (400,450,500,550,600) seçmişler, kesme derinliğini (2,5 mm) ve ilerleme miktarını (0,25 mm/dev) sabit tutmuşlardır. Deney sonuçlarında her iki malzeme için talaş açısının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde düşüş görmüşlerdir. İki malzemenin işlenmesi

sonucunda -5° talaş açısına sahip kesici takımda yığıntı talaş miktarının yüksek olduğunu ve yüzey pürüzlülük değerini en yüksek olduğunu, 20° talaş açısına sahip kesici takımda aynı kesme hızında yığıntı talaş ve yığıntı katman oluşumun daha küçük olduğunu belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak, en düşük pürüzlülük değerini verdiğini tespit etmişlerdir. AA 7075 malzemesinde kesme hızının artmasıyla yığıntı talaş ve yığıntı katman oluşumunun azaldığını gözlemlemişlerdir.

7.2. Kesici Takım Yükseklik Ayarı

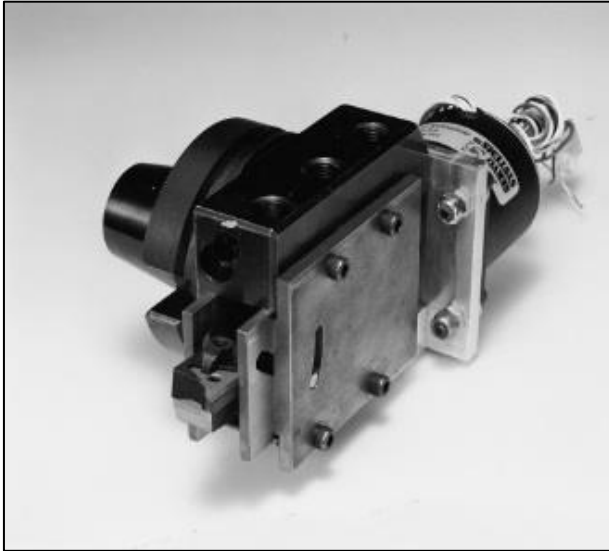
Tornalama operasyonlarında kesici takımın, pozisyonu, açıları ve iş parçası eksenine olan yüksekliğinin ayarlanması için bir takım çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda, kesici takım-iş parçası eksenini ayarlanmaya çalışılmış ve takım tutucu ekipmanları bu doğrultuda üretilmiştir. Kesici takımın iş parçası ekseninde ayarlanması tornalama operasyonları için her zaman bir sorun olmuştur. Bu sorun geleneksel yöntemde, kesici takım altına yerleştirilen sentillerle (hassas altlık) giderilmiştir. Ancak kesici takımın sentillerle ayarlanması zaman alan bir iş olması ve iş parçası eksenine olan ayarının yaklaşık olarak gerçekleştirilmesi, araştırmacıları bu konuda çalışmaya teşvik etmiştir. Kesici takım yükseklik ayarı ve takım tezgahı üzerinde kesici takım açılarını değiştirmek için yapılan bazı çalışmalar özet olarak aşağıda verilmiştir.

Kaldor ve Ber (1990), yaptıkları çalışmada kesici takım üzerinde bulunan açıları değiştirmek amacıyla, üç yönde açı değişimine müsaade eden bir takım tutucu tasarımı gerçekleştirmişlerdir (Şekil 7.1). Üretilen takım tutucuyla, farklı kesme açılarında deneyler gerçekleştirmişler ve tutucunun güvenilir olduğunu bildirmişlerdir. Farklı açılarla denenen SNG tipi kesici uçlarda, kesici uç ömrünün değiştiğini ve artan talaş açısıyla takım ömrünün uzadığını ancak bu artışın belirli bir sınıra kadar yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır.



Şekil 7.1. Üç yönde açı değişimi sağlayan takım tutucu (Kaldor ve Ber, 1990)

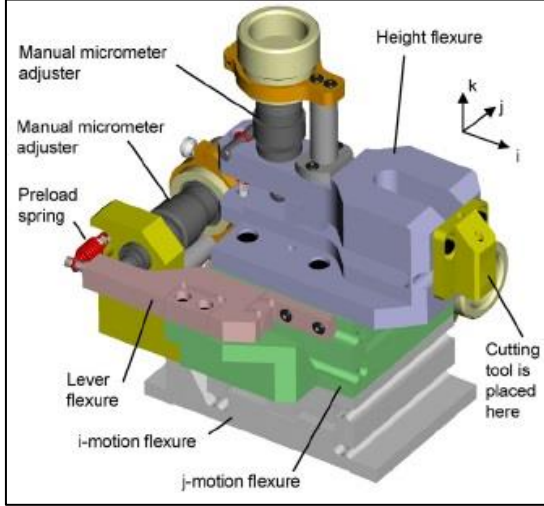
Fang ve Lee (2001), CNC (Computer Numerical Control) torna tezgahı üzerine yerleştirdikleri bir takım tutucu sayesinde kesici takım pozisyonunu ayarlayarak kesici ucun talaş açısını değiştirmeyi başarmışlardır. Tasarladıkları takım tutucu üzerinde bulunan slot yuvalar sayesinde, kesici takım-iş parçası eksen yüksekliğini değiştirmeden farklı açılarda pozisyonlama yapabilmışlerdir. Takım tutucunun açısal değişimi için servo sistem kullanmışlar ve değişimi çevrim içi sağlayabilmişlerdir (Resim 7.1.).



Resim 7.1. Servo kontrollü takım tutucu (Fang ve Lee, 2001)

Bono ve Hibbard (2007), yaptıkları çalışmada dört eksenli bir torna tezgahında kesici takım yükseklik ayarını, mikron altı bir hassasiyette ayarlamayı başarmışlardır. Bu hassasiyeti yakalamak için bir takım tutucu tasarlamışlar ve malzemenin esnemesinden

faýdalanmışlardır. Zayıf bırakılan kenarların esnetilmesiyle elde edilen hareket, takım tutucu üzerine yerleştirilen bir mikrometre yardımıyla okunmuştur. Yapılan çalışma için gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Takım tutucunun şematik gösterimi aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.2. Mikron hassasiyette ayar sağlayan takım tutucu (Bono ve Hibbard, 2007)

Ma (2014), yaptığı tasarım çalışmasında, universal torna tezgahları için yükseklik ayarı yapılabilen, yaylı ve vida ayarlı bir mekanizma sunmuştur. Tasarlanan takım tutucu vidalı tahrikle iş parçası ekseninin altına ve üzerine hareket edebilmektedir. Böylelikle kesici takım ucu ve iş parçası eksenini ayarlanabilmektedir. Takım yüksekliği ayarlandığında, tutucu cıvatalar yardımıyla sabitlenmektedir.

Lata ve Hitesh (2020), Universal torna tezgahında kesici takım yükseklik ayarı için yaptıkları bir çalışmada, kesici takımın yüksekliğini ayarlamak için torna tezgahı üzerine yeni bir takım tutucu aparatı geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu takım tutucu, konik bir başlığa sahiptir ve vidalı tahrik ile hareket sağlanmıştır. Konik başlığın üzerinde bulunan ve koniğin açısına sahip pimler yardımıyla kesici takım yükseklik ayarı kolaylıkla yapılabilmektedir (Resim 7.2.). Yapılan çalışmayla, kesici takım yükseklik ayarının geleneksel yöntemle göre daha hızlı ve kolay yapılacağı belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada, ayar mekanizmasının dayanımı incelemişlerdir.



Resim 7.2. Konik mil yükseklik ayarı aparatı (Lata ve Hitesh, 2020)

7.3. Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliği

Korozyon direncinin yüksek olması paslanmaz çeliklerin günümüzde yaygın olarak kullanımına sebep olmuştur. Paslanmaz çeliklerde korozyon direnci, içerisinde ihtiva eden krom elementiyle doğru orantılıdır. Genellikle krom elementi %12'nin üzerindedir ve çeliğin yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturur. Paslanmaz çelikler belli oranlarda farklı alaşım elementleri de içerebilirler ve bu alaşım elementleri malzemenin yapısını değiştirerek korozyon ve mukavemet özelliklerini değiştirebilmektedir (Çakır, 1999).

Talaşlı imalat alanında paslanmaz çeliklerin önemli bir yeri vardır. Talaş kaldırma işleminin zor olduğu bilinen paslanmaz çelikler, kullanım alanın geniş olması nedeniyle araştırmacıların işlenebilirliği üzerine çalışmasına neden olmuş ve bu konuda birçok çalışma literatüre kazandırılmıştır. Genel anlamda talaş kaldırma işlemlerinde, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği), kesici takım geometrisi, kesici takım kaplamaları, takım tezgahında oluşan titreşimler gibi faktörlerin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkileri incelenmişlerdir. Bu konularla ilgili yapılan bazı çalışmaların kısa özetleri aşağıda verilmiştir.

Tekiner ve Yeşilyurt (2004), en uygun kesme hızı ve ilerleme miktarını belirlemeyi amaçladıkları ve AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalamasını gerçekleştirdikleri çalışmada, kesici takım serbest yüzey aşınmasını, talaş formunu, yüzey pürüzlülüğünü ve takım tezgahı güç tüketimini dikkate alarak değerlendirme yapmışlardır. Deneylerde kesme parametresi olarak, 120,135,150,165,180 m/dak kesme hızlarını, 0,2;0,25;0,3 mm/dev ilerleme miktarlarını kullanmışlar ve kesme derinliğini 2,5 mm sabit tutmuşlardır. Sement karbür uç kullandıkları çalışmada, en düşük yüzey pürüzlülük değerini 150 m/dak kesme

hızında elde etmişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerinin ilerleme miktarının artmasıyla arttığını belirlemişlerdir. Talaş formları incelendiğinde, düşük kesme hızları ve yüksek ilerleme miktarlarında talaş kalınlığının arttığını ve talaş kıvrılma yarıçaplarının azaldığını tespit etmişlerdir. İnce talaş kalınlıklarında tezgah titreşiminin azaldığını ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Kullanılan kesici uçları incelemişler ve kesme hızının artmasıyla yığma kenar (BUE) oluşumunun azaldığını belirtmişlerdir. Kesme hızının artmasıyla ses seviyesinde bir düşüş olduğunu ancak 165 m/dak kesme hızı sonrasında tekrar ses seviyesinde artış olduğunu açıklamışlardır. Deneyler incelendiğinde en iyi sonucun 165 m/dak kesme hızında ve 0,25 mm/dev ilerleme miktarında elde ettiklerini görmüşlerdir.

Korkut, Kasap, Çiftçi ve Şeker (2004), AISI304 östenitik paslanmaz çeliğin sinterlenmiş karbür kesici takım ile tornalanmasında, üç farklı (120,150,180 m/dak) kesme hızı kullanmışlardır. İlerleme miktarı (0,24 mm/dev) ve kesme derinliğini (2,5 mm) sabit tutmuşlardır. Böylelikle en uygun kesme hızının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney sonucunda, kesici takım aşınmasını ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Kesme hızının 120 m/dak'dan 150 m/dak'ya çıkmasıyla kesici takım aşınmasının azaldığını ancak 210 m/dak'ya çıkarıldığında tekrar artış eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Düşük kesme hızlarında talaş kalınlığının arttığını görmüşler ve bunun yüksek ısıya neden olacağını vurgulamışlardır. Artan kesme hızıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinde düşüş gözlemlemişler ve bu düşüşün kesici takım üzerinde oluşan talaş yığılmasının azalmasından kaynaklanacağını düşünmüşlerdir.

Tekaslan, Gerger, Günay ve Şeker (2007), AISI304 östenitik paslanmaz çeliği titanyum karbür kaplı kesici uçla 50,75,100,125,150 m/dak kesme hızlarında, 0,15;0,2;0,25 mm/dev ilerleme miktarlarında ve 1,5;2 mm kesme derinliğinde tornalamışlardır. Kesme hızının artmasıyla, teğetsel (esas kesme) kuvvet, ilerleme kuvveti ve radyal (pasif) kuvvetin azaldığını, ilerleme miktarının artmasıyla kuvvetlerin arttığı belirtmişlerdir. Kuvvetlerin artmasında kesme derinliği miktarının artması da etkili bir parametre olmuştur. Deneylerden elde edilen kuvvet değerleri teorik hesaplanan değerlerle kıyaslanmış ve teorik hesaplamalarla gerçek değerlerin %25 farklılığı olduğunu belirtmişlerdir. Teorik sonuçların gerçek değerlere göre %80 doğruluk oranına sahip olduğunu görmüşlerdir.

Günay (2013), yaptığı deneysel çalışmada AISI316L paslanmaz çeliğini iş parçası olarak kullanmış ve çalışmada deney tasarımı için Taguchi yöntemini tercih etmiştir. Taguchi' nin L_9 dikey dizilimini kullanan Günay, kesme hızı faktörünün seviyelerini 120,150,180 m/dak, ilerleme miktarı seviyelerini 0,1;0,2;0,3 mm/dev, kesme derinliğini 1,6 mm ve kesici uç yarıçapı seviyelerini 0,4;0,8;1,2 mm olarak belirlemiştir. Deneyler sonrasında kuvvet ve yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı elde ettiği S/N değişim oranlarına göre en büyük değişimi ilerleme miktarı seviyelerinde görmüştür. Kesici uç yarıçapının değişimi kesme kuvvetinde büyük bir değişim göstermezken, yüzey pürüzlülük değeri uç yarıçapının artmasıyla azalmıştır. Varyans analizi gerçekleştirilen çalışmada, en büyük etki yine ilerleme miktarında görülmüş, ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük değeri artmıştır.

Kayır, Aslan ve Aytürk (2014), yaptıkları çalışmada iş parçası olarak AISI316Ti paslanmaz çeliğini kullanmışlar ve deneyleri universal torna tezgahında gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde üç farklı uç geometrisine sahip kesici uçların yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlar ve deney tasarımı için Taguchi L_{18} karma modelini kullanmışlardır. Deney tasarımında, uç yarıçapı (0,4;0,8 mm), kesici uç geometrisi (MA-ME-ES), ilerleme miktarı (0,1;0,2;0,4 mm/dev), kesme hızı (85,120,165 m/dak) faktörleri ve seviyelerini belirlemişlerdir. Elde edilen ortalama etki değerleri ve S/N oranlarını incelemişler, inceleme sonucunda kesici uç yarıçapı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, ilerleme miktarının artışıyla pürüzlülük değerinin arttığını ve kesici uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Düşük ilerleme miktarlarında kesici uç yarıçapının etkisinin düşük olduğunu ancak ilerleme miktarının artmasıyla uç yarıçapının pürüzlülük değeri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermişlerdir. Deneyler sonucunda faktörlerin etki miktarlarını varyans analiziyle değerlendirmişler ve en büyük etkiye sahip parametrenin ilerleme miktarı olduğunu belirtmişlerdir.

Memiş (2015), AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin işlenebilirliğini incelediği çalışmada, farklı formlara sahip iki kesici uç kullanmıştır. CNC torna tezgahında gerçekleştirdiği deneylerde, 150,180,210,240,270 m/dak kesme hızlarını, 0,1;0,2;0,3 mm/dev ilerleme miktarını ve 1 mm sabit kesme derinliğini kesme parametreleri olarak belirlemiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin değerlendirildiği çalışmada, iki farklı forma sahip kesici uç için ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı ve kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığını görmüş ancak 210 m/dak kesme hızından sonra tekrar kuvvetlerde bir artış meydana geldiğini belirtmiştir. İlerleme miktarının artmasıyla

yüzey pürüzlülük değerinin arttığı tüm kesme hızlarında görüldüğünü açıklamıştır. Kesici uç formunun iş parçası yüzey pürüzlülüğünde etkili olduğunu belirtmiştir.

N.Özbek, Çiçek, Gülesin ve O.Özbek (2017), AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerinin işlenebilirliğini değerlendirmişler ve iki malzeme arasındaki farkı görmek istemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada, 1,2 mm uç yarıçapına sahip kaplamasız tungsten karbür uçlar kullanmışlar ve 100,120,140,160 m/dak kesme hızlarını, 0,15;0,3;0,45 mm/dev ilerleme miktarlarını son olarak 2 ile 4 mm kesme derinliklerini kesme parametresi olarak tercih etmişlerdir. Her iki malzeme için ilerleme miktarındaki artışla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü artış göstermiştir. İlerleme miktarını %100 ve %200 oranlarında arttırıldığında, kesme kuvveti değeri sırasıyla %63 ve %132, yüzey pürüzlülüğündeyse %189 ve %457 oranında artış gösterdiğini belirtmişlerdir. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde takım yan aşınmasının daha az olduğunu, her iki malzemenin işlenmesi sonucu kesici uçta krater aşınmasının meydana geldiği görmüşlerdir. Ancak AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin işlenmesinde aşınmanın yüksek olduğunu ve bu aşınmanın AISI 304 östenitik paslanmaz çelikte kullanılan kesici uçlara göre %67 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Yaşar (2017), yaptığı deneysel çalışmada 17-4 PH paslanmaz çeliğin CNC torna tezgahında işlenmesinde, PVD yöntemiyle (TiAl)N-(Al,Cr)₂O₃ ve CVD yöntemiyle Ti(C,N)-Al₂O₃-TiN kaplanmış iki farklı kaplama özelliğine sahip kesici uçlar kullanmıştır. Deney tasarımıında Taguchi L₁₆ orthogonal dizilimini kullanan Yaşar, 150,168,210,240 m/dak kesme hızlarını, 0,125;0,16;0,2;0,25 ilerleme miktarlarını ve 1;1,25;1,6;2 mm kesme derinliklerinde faktör ve seviyelerini belirlemiştir. Deneysel çalışma sonucunda PVD ve CVD yöntemiyle kaplanan takımlarda teğetsel (esas kesme) kuvvette büyük bir fark belirlememiştir. Kesme hızı arttıkça kuvvetlerde azalma gözlemlemiş ancak yüzey pürüzlülüğünde, artan kesme hızıyla artış gözlemlemiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından PVD yöntemiyle kaplanan kesici ucun daha iyi sonuç verdiğini ve PVD yöntemiyle kaplanan kesici ucun takım ömrünün daha uzun olduğunu belirtmiştir. Elde ettiği sonuçlarla, PVD yöntemiyle kaplanan kesici ucun CVD yöntemiyle kaplanana göre daha iyi performans verdiğini görmüştür.

Rajaguru ve Arunachalam (2017), yaptıkları deneysel çalışmada süper dubleks paslanmaz çeliğini iş parçası olarak seçmiş, PVD yöntemiyle ve CVD yöntemiyle kaplanmış dört farklı kesici uç kullanmışlardır. PVD yöntemiyle kaplanan kesici uçlar TiOCN-Al₂O₃-TiCN-(MT-

TiCN)-TiN ve AlTiN kaplamalarına sahiptir. CVD yöntemiyle kaplanan kesici uçlar (MT-TiCN)- Al_2O_3 ve TiN-(MT-TiCN)- Al_2O_3 kaplamalarına sahiptir. Çalışmada 120 m/dak kesme hızı, 0,3 mm/dev ilerleme miktarı ve 1 mm kesme derinliği parametre olarak seçmişlerdir. CVD yöntemiyle (MT-TiCN)- Al_2O_3 kaplanmış kesici ucun en yüksek aşınma direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir. CVD yöntemiyle TiN-(MT-TiCN)- Al_2O_3 kaplanan kesici ucun yüksek kuvvetler sergilediğini görmüşlerdir. PVD yöntemiyle kaplanmış TiOCN- Al_2O_3 -TiCN-(MT-TiCN)-TiN ve CVD yöntemiyle kaplanmış (MT-TiCN)- Al_2O_3 kaplı kesici uçların, diğer kaplamalara göre takım aşınması, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve yüzey bütünlüğü açısından daha iyi performans verdiğini açıklamışlardır.

Rao, Mahaboob ve Saqheed (2018), AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında kaplamasız ve PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemiyle kapladıkları TiAlN (Titanyum Alüminyum Nitrür) kesici uçları kullanarak iş parçasının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deney tasarımında Taguchi L_9 dikey dizilimini kullanmışlar. Tasarımda, 140,180,224 m/dak kesme hızlarını, 0,1;0,15;0,2 mm/dev ilerleme miktarlarını, 0,5;1;1,5 mm kesme derinliklerini faktörler ve seviyeleri olarak belirlemişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda, kaplamalı kesici ucun daha iyi performans gösterdiğini ve daha düşük yüzey pürüzlülüğüne neden olduğunu belirtmişlerdir.

Bouزيد, Berkani, Yallese, Girardin ve Mabrouki (2018), CVD yöntemiyle Ti(C,N)- Al_2O_3 -TiN kaplanmış kesici uçlar kullanarak AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalamasını gerçekleştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmasını varyans analiziyle incelemişlerdir. Kesme hızı (280,330,400 m/dak), ilerleme miktarı (0,08;0,11;0,14 mm/dev) ve kesme süreleri (4,10,16 dak.) faktörlerini deneysel tasarımda kullanmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda, kesme hızı ve süresi arttığında takım aşınma oranının arttığını ve kesme süresinin artmasıyla beraber yüzey pürüzlülük değerinin arttığını görmüşlerdir. Kesme hızının, kesici takım ömründe ilerleme miktarından daha etkili bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü için en uygun değerlerin 280 m/dak kesme hızı, 0,08 mm/dev ilerleme miktarı ve 4 dakikalık kullanım süresi olduğunu tespit etmişlerdir.

7.4. Genel Literatür Değerlendirilmesi

Kesici takım açılarını konu alan çalışmalar incelendiğinde, kesici takım talaş açısının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı, yığma talaş oluşumunun daha az olduğu tespit edilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılan deneylerde, talaş açısının artmasıyla takım ömrünün daha uzun olduğu, teğetsel (esas kesme) kuvvetin ve ilerleme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Bakılan yüzey pürüzlülük değerlerinde, talaş açısının artmasıyla azalma belirlenmiştir. Yanaşma açısının talaş geometrisini belirlemede etkin olduğu, büyük yanaşma açılarında yüksek ilerleme kuvvetleri ve düşük radyal kuvvetlerin olduğu görülmüştür. Yanaşma açısının 90° olduğu durumlarda kesici takımın talaşa giriş ve çıkışlarda ani kuvvet yüklenmelerine maruz kaldığı anlaşılmıştır. Kesici uç yarıçapının artmasıyla, kuvvetlerde büyük bir değişim olmadığı ancak yüzey pürüzlülük değerinde azalma olduğu değerlendirilmiştir.

Paslanmaz çeliğin işlenebilirliği hakkında yapılan çalışmalar neticesinde, düşük kesme hızı ve yüksek ilerleme miktarlarında talaş kalınlığının arttığı ve bu artışın kesici uçta ısı transferini engellediği anlaşılmıştır. Kesme hızının artmasıyla, kesici uç üzerinde yığma talaş (BUE) oluşumunun azaldığı, yüzey pürüzlülük değerinde bir miktar azalma görüldüğü ve kesme kuvvetlerinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Belirli bir düzeye kadar kesme hızının artırılmasının takım aşınmasını azalttığı ancak belirli bir değerden sonra aşınmanın arttığı anlaşılmıştır. Yüksek kesme hızlarında, takım aşınmasında kesme hızının ilerleme miktarından daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Kaplamalı kesici uçların kaplamasız kesici uçlara göre daha iyi kesme performansı sergilediği ve daha düşük kesme kuvvetleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak CVD yöntemiyle kaplanmış kesici uçlar kullanılmasına rağmen PVD yöntemiyle kaplanmış kesici uçların özellikle süper dubleks ve PH paslanmaz çeliklerde daha yüksek takım ömrü süresine sahip olduğu görülmüştür.

Yapılan literatür araştırmasında, işlenebilirlik deneylerinde Taguchi metodu ve ANOVA (varyans analizi)'nin kullanıldığı ve elde edilen sonuçların geçerlilik sağladığı belirlenmiştir. Talaş kaldırma deneylerinde, kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkisin gözlemlendiği, faktörlerin ortalama etkileriyle ve sinyal-gürültü oranlarına ait grafikler yardımıyla optimum parametrelerin belirlendiği anlaşılmıştır. Uygulanan Taguchi

yöntemleriyle belirlenen optimum kesme parametrelerinin etki miktarlarının ANOVA analiziyle tespit edildiği görülmüştür (Asiltürk ve Akkuş, 2011; Debnath, Reddy ve Yi, 2015; Mandal, Doloi ve Mondal, 2015; Negrete, 2013; Sayeed Ahmed, Quadri ve Mohiuddin, 2015).

Kesici takım yükseklik ayarı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların ayar mekanizmaları ve tasarlanan tutucuların mukavemetleri üzerine olduğu görülmüştür. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, yükseklik ayarının işlenebilirliğe etkisine ait yeterli çalışma olmadığı ve genellikle yükseklik ayarıyla oluşan sıkıntıların teorisi üzerinde durulduğu anlaşılmıştır. Literatür incelemesi sonucunda bu çalışmada, kesici takımın iş parçası eksenine olan yükseklik ayarının etkisi, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin CNC torna tezgahında tornalanmasıyla incelenmiştir. Böylelikle, literatürde var olan teorik çalışmalara deneysel metotla katkı sağlanmıştır.

8. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde deneylerin ön hazırlıkları, kullanılan makine, cihazlar ve deney aşamalarına yer verilmiştir.

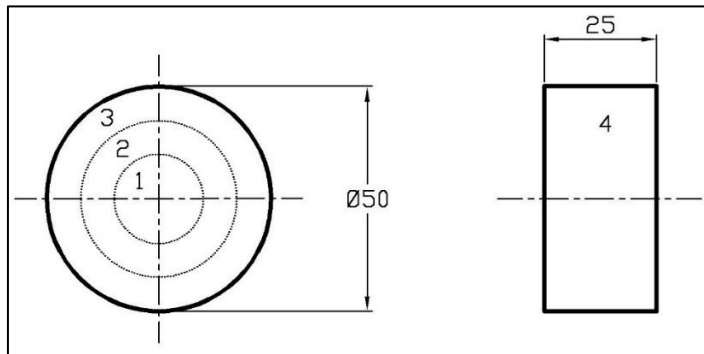
8.1. Deney Malzemesi ve Deney Parçalarının Hazırlanması

Deneylerde AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemesi iş parçası olarak kullanılmıştır. Piyasadan ısıtılmış işlem görmemiş olarak temin edilen iş parçası Ø50 mm bir boy (3 m) olarak temin edilmiştir. İş parçasına ait kimyasal kompozisyon Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kimyasal kimyasal kompozisyonu

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Cu
0,059	0,375	1,499	0,034	0,006	18,63	0,425	8,84	0,002	1,130
%Nb	%Ti	%V							
0,0147	0,0030	0,0821							

Temin edilen malzemenin sertliği 4 farklı bölgeden ve her bölgeden 3 ölçüm olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde malzemenin merkezinden (1. bölge) dış çapa (4. Bölge) ilerledikçe sertlik değerinin arttığı görülmüştür. Ölçülen sertlik değerleri Şekil 8.1’e göre Çizelge 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.1. AISI 304 malzemesi için yapılan sertlik ölçüm bölgeleri

Çizelge 8.2. İş parçası sertlik ölçüm değerleri

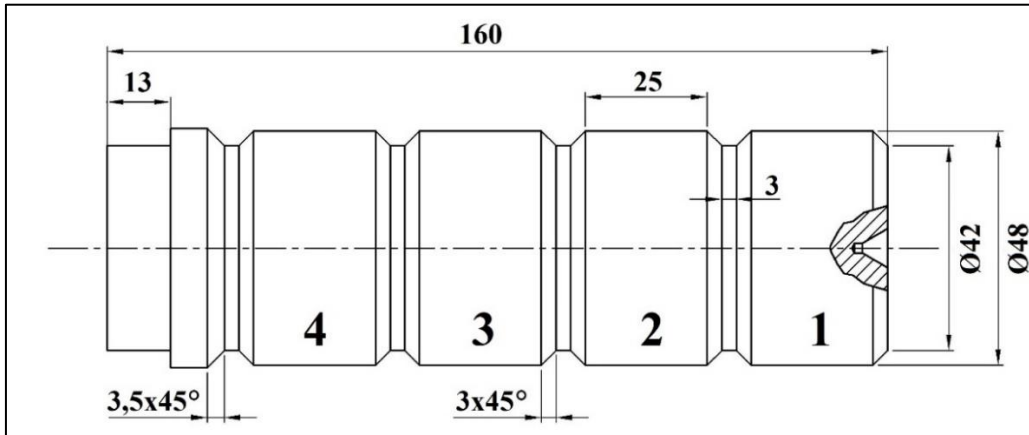
Bölge	1.Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
Sertlik (HLD)	350	395	457	485
Sertlik (BHN)	105	135	180	206

Malzemenin mekanik özellikleri, üretici firmadan temin edilen malzemenin kendi sertifikasından alınmıştır (Bkz. EK-1).

Çizelge 8.3. Malzeme mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama%	Sertlik (BHN)
383	644	52	189

Ø50 mm AISI 304 östenitik paslanmaz çelikler, CNC torna çalışma alanı dikkate alınarak bir boy malzemeden 160 mm boyunda kesilmiş olarak temin edilmiştir. İş parçasının ayna ve punta arasında işlenebilmesi için Şekil 8.2’deki gibi hazırlanmıştır. İş parçası üzerinde her deney için başlangıç ve bitiş kenarlarına 3x45° mm pah oluşturulmuş böylelikle kesici takım yavaşma açısına uygun form elde edilmiştir.

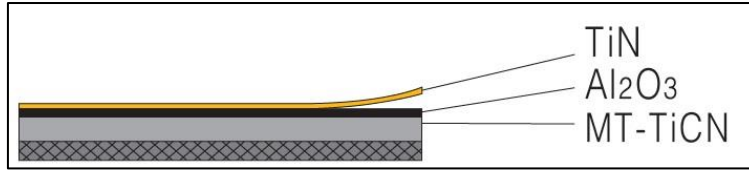


Şekil 8.2. Deney parçası şekil ve ölçüleri

Hazırlanan iş parçalarından, deney öncesinde 1 mm (çapta 2mm) derinliğinde talaş kaldırılarak bağlamadan kaynaklanan salgının önüne geçilmiş ve deneyler iş parçası sökülmeden gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ø48 mm çapında, 25 mm uzunluğunda ve her bir deney numunesinden 4 adet deney yapılacak şekilde elde edilmiştir.

8.2. Kesici Uçlar ve Takım Tutucu

Deneylerde kullanılan iki farklı boşluk açısına (0° ve 7°) ve iki farklı uç yarıçapına (0,4 ve 0,8 mm) sahip kesici uçlar, üretici firma Korloy kataloğundan östenitik paslanmaz çelikler için uygun olarak seçilmiştir (Çizelge 8.4). Her iki kesici uç CVD yöntemiyle kaplanmış (Şekil 8.3) ve kalitesi aynıdır. Kesici uçlara ait kalite kodu NC9125'tir.

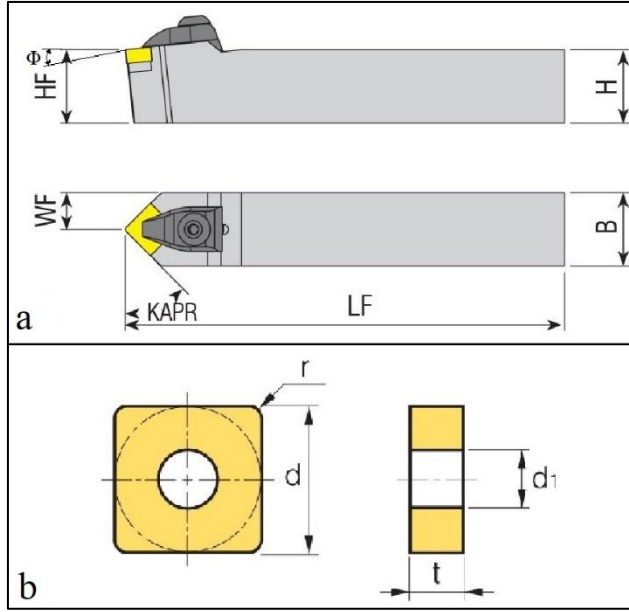


Şekil 8.3. Kesici uç kaplaması (Korloy, 2021)

Çizelge 8.4. Kesici uç özellikleri (Korloy, 2021)

Kod	Desen	Uç Geometrisi	Kalite	Uç yarıçapı
SNMG 1204... – MP			MT-TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN M25	0,4 0,8
SCMT 1204... – MP			MT-TiCN/Al ₂ O ₃ /TiN M25	0,4 0,8

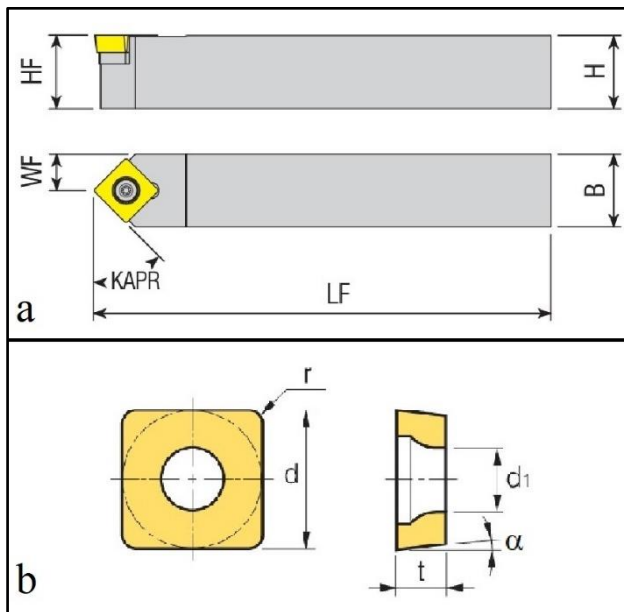
Deneylerde negatif SNMG ve pozitif SCMT kodlu kesici uçlara uygun iki ayrı takım tutucu, üretici firma Akko'nun katalog önerilerine göre seçilmiştir. Negatif 7° geriye eğim açısına sahip TSDNN2020K12 (Şekil 8.4) ve eğim açısı bulunmayan SSDCN2020K12 (Şekil 8.5) olarak kodlanan takım tutucuların ve kullanılan kesici uçların geometrik şekil ve ölçüleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 8.4. a) TSDNN2020K12 takım tutucu b) SNMG kesici uç (Akko, 2021; Korloy, 2021)

Çizelge 8.5. TSDNN2020K12 takım tutucu ve SNMG kesici uç ölçüleri

Takım tutucu ölçüleri (a)		Kesici uç ölçüleri (b)	
HF=H	20 mm	d	12,7 mm
B	20 mm	t	4,76 mm
LF	125 mm	d ₁	5,16 mm
WF	10 mm	r	0,4 mm-0,8 mm
KAPR	45°		
Φ	7°		



Şekil 8.5. a) SSDCN2020K12 takım tutucu b) SCMT kesici uç (Akko, 2021; Korloy, 2021)

Çizelge 8.6. SSDCN2020K12 takım tutucu ve SCMT kesici uç ölçüleri

Takım tutucu ölçüleri (a)		Kesici uç ölçüleri (b)	
HF=H	20 mm	d	12,7 mm
B	20 mm	t	4,76 mm
LF	125 mm	d ₁	5,5 mm
WF	10 mm	r	0,4 mm-0,8 mm
KAPR	45°	α	7°

8.3. Deney Tasarımı

Deney tasarımı için öncelikle ISO 3685, kesici takım kataloğu ve literatür dikkate alınarak kesme parametreleri belirlenmiştir. Negatif SNMG ve pozitif SCMT kodlu kesici uçlar için ayrı ayrı gerçekleştirilecek deneyler için kesme parametreleri Çizelge 8.7’de verilmiştir. Deneylerde, üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı, üç farklı kesme derinliği ve üç farklı kesici takım yükseklik ayarı seçilmiştir.

Çizelge 8.7. Kesme Parametreleri

(Rd) Kesici Uç Yarıçapı (mm)	(V) Kesme Hızı (m/dak)	(F) İlerleme Miktarı (mm/dev)	(Ap) Kesme Derinliği (mm)	(H) Takım Yükseklik Ayarı (mm)
0,4	100	0,15	0,8	-0,5
0,8	150	0,25	1,3	0
	225	0,35	2	+0,5

Çizelge 8.7’de görüldüğü üzere kesici takım yükseklik ayarı üç farklı konumda ayarlanmıştır. İş parçası ekseninde olduğu durum “0”, iş parçası ekseninden aşağıda “-0,5 mm” ve iş parçası ekseninden yukarıda bağlandığı durumda “+0,5 mm” dir. Bu yükseklik değerlerinin tespiti, aşağıda verilen Çizelge 8.8’de elde edilen değerler sonucunda belirlenmiştir. Tüm tolerans değerleri dikkate alındığında yaklaşık +/-0,5 mm’lik bir hatanın oluşabileceği görülmüştür. CNC tornalarda, kullanımdan dolayı meydana gelebilecek taret-iş mili hataları değerlendirmeye alınmamıştır. Deneysel çalışmalarda dinamometre üzerine bağlanan kesici takımların, iş parçası ekseniiyle yükseklik ayarının hassas olarak yapılması gerekmektedir. Bu ayar için ileride bir ölçüm yöntemi tavsiyesi verilmiştir (Bkz. Bölüm 8.4.3).

Çizelge 8.8. Kesici takım ve parçaları tolerans değerleri

Faktör	Tolerans
Kesici uç (M)	~ 0,13 mm
Kesici uç altlığı	~ 0,01 mm
Takım tutucu (kater)	~ 0,15 mm
Statik takım tutucu (Bkz. EK-2)	~ 0,15 mm
Toplam	~ 0,44 mm

Kesme parametreleri (Çizelge 8.7) incelendiğinde, toplamda (2x3x3x3x3) 162 deney yapılması gerektiği görülmüştür. Deneylerin 2 tekrarlı yapılacağı ve 2 farklı kesici takım için tekrar edileceği düşünüldüğünde deney sayısı 648'e çıkmaktadır. Yapılacak deney sayısının oluşturduğu maliyeti azaltmak ve kısa sürede doğru sonuçlara ulaşmak için Taguchi yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Bir istatistiksel analiz programı kullanılarak Taguchi modeli oluşturulmuş, modele ait faktör ve seviyeleri Çizelge 8.9'da verilmiştir.

Çizelge 8.9. Taguchi modeli için faktörler ve seviyeleri

Faktör	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye
Rd	0,4	0,8	-
V	100	150	225
F	0,15	0,25	0,35
Ap	0,8	1,3	2
H	-0,5	0	+0,5

Çizelge 8.9 incelendiğinde Rd (2 seviye) faktörü haricinde diğer faktörlerin 3 seviyesi olduğu görülmektedir. 2 seviyesi bulunan Rd faktörünü de modele dahil etmek için Taguchi karma (mixed) modeli kullanılmıştır. Araştırmalar neticesinde L_{36} ($2^1 3^4$) modelinin uygun olacağı kararlaştırılmıştır. Böylelikle pozitif ve negatif kesici takımlar için ayrı ayrı 36 deney yapılması ve 2 tekrarlı olması halinde toplamda 144 deneyle istenilen sonuçlara ulaşılması sağlanmıştır. L_{36} deney tasarımı Çizelge 8.10'da verilmiştir.

Çizelge 8.10. Taguchi L36 tasarımına göre deney parametreleri

Taguchi faktör ve seviyeleri						Deney parametreleri					
Deney No	A	B	C	D	E	Deney No	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)
1	1	1	1	1	1	1	0,4	100	0,15	0,8	-0,5
2	1	2	2	2	2	2	0,4	150	0,25	1,3	0
3	1	3	3	3	3	3	0,4	225	0,35	2	+0,5
4	1	1	1	1	1	4	0,4	100	0,15	0,8	-0,5
5	1	2	2	2	2	5	0,4	150	0,25	1,3	0
6	1	3	3	3	3	6	0,4	225	0,35	2	+0,5
7	1	1	1	2	3	7	0,4	100	0,15	1,3	+0,5
8	1	2	2	3	1	8	0,4	150	0,25	2	-0,5
9	1	3	3	1	2	9	0,4	225	0,35	0,8	0
10	1	1	1	3	2	10	0,4	100	0,15	2	0
11	1	2	2	1	3	11	0,4	150	0,25	0,8	+0,5
12	1	3	3	2	1	12	0,4	225	0,35	1,3	-0,5
13	1	1	2	3	1	13	0,4	100	0,25	2	-0,5
14	1	2	3	1	2	14	0,4	150	0,35	0,8	0
15	1	3	1	2	3	15	0,4	225	0,15	1,3	+0,5
16	1	1	2	3	2	16	0,4	100	0,25	2	0
17	1	2	3	1	3	17	0,4	150	0,35	0,8	+0,5
18	1	3	1	2	1	18	0,4	225	0,15	1,3	-0,5
19	2	1	2	1	3	19	0,8	100	0,25	0,8	+0,5
20	2	2	3	2	1	20	0,8	150	0,35	1,3	-0,5
21	2	3	1	3	2	21	0,8	225	0,15	2	0
22	2	1	2	2	3	22	0,8	100	0,25	1,3	+0,5
23	2	2	3	3	1	23	0,8	150	0,35	2	-0,5
24	2	3	1	1	2	24	0,8	225	0,15	0,8	0
25	2	1	3	2	1	25	0,8	100	0,35	1,3	-0,5
26	2	2	1	3	2	26	0,8	150	0,15	2	0
27	2	3	2	1	3	27	0,8	225	0,25	0,8	+0,5
28	2	1	3	2	2	28	0,8	100	0,35	1,3	0
29	2	2	1	3	3	29	0,8	150	0,15	2	+0,5
30	2	3	2	1	1	30	0,8	225	0,25	0,8	-0,5
31	2	1	3	3	3	31	0,8	100	0,35	2	+0,5
32	2	2	1	1	1	32	0,8	150	0,15	0,8	-0,5
33	2	3	2	2	2	33	0,8	225	0,25	1,3	0
34	2	1	3	1	2	34	0,8	100	0,35	0,8	0
35	2	2	1	2	3	35	0,8	150	0,15	1,3	+0,5
36	2	3	2	3	1	36	0,8	225	0,25	2	-0,5

8.4. Deneylerde Kullanılan Tezgah ve Cihazlar

8.4.1. Takım tezgahı

Talaş kaldırma deneyleri Fanuc kontrol ünitesine sahip Takisawa marka Nex-106 model CNC torna tezgahında (Resim 8.1) gerçekleştirilmiştir. Tezgahta devir kontrolü kademesiz olarak gerçekleştirebilmektedir. CNC torna tezgahına ait özellikler Çizelge 8.11’de verilmiştir.

Çizelge 8.11. Kullanılan CNC torna tezgahının teknik özellikleri

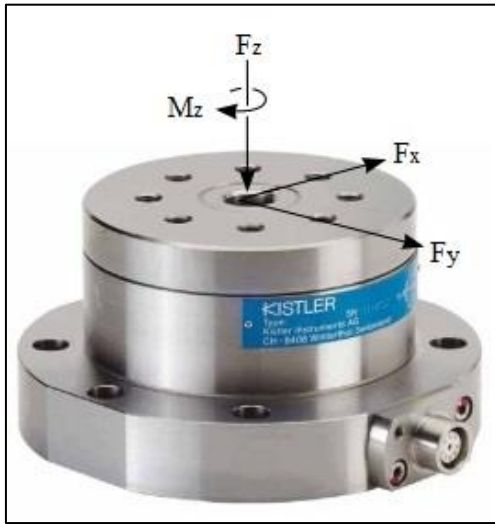
Tezgah Gücü	7,5 kW
En yüksek devir sayısı	5000 rpm
Taret takım kapasitesi	12
X eksen hareketi	140 mm
Z eksen hareketi	350 mm
En yüksek çevirme çapı	350 mm
En yüksek eksen hareket hızı	24 m/dak



Resim 8.1. Deneylerde kullanılan CNC torna tezgahı

8.4.2. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için deney düzeneği

Kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler marka 9272 (Resim 8.2) kodlu dinamometre kullanılmıştır. Kullanılan dinamometreye ait özellikler Çizelge 8.12’de verilmiştir. Dinamometre 4 bileşenlidir (F_x, F_y, F_z, M_z) ve hassas ölçüm yapabilmektedir. Dinamometre tezgahın taretine bağlanmış ve kesici takımında dinamometre üzerine bir tutucu yardımıyla bağlanarak deneyler yapılmıştır (Şekil 8.7). Dinamometrenin bağlanma pozisyonuna göre, ölçülen yüklerin yönü değişiklik göstermektedir. Ölçüm sonucunda elde edilen kuvvet değerlerinin torna tezgahında karşılıkları aşağıda verilmiştir.



Resim 8.2. Kullanılan dinamometre

$$F_x = F_r \text{ (Radyal kuvvet)}$$

$$F_y = F_t \text{ (Teğetsel kuvvet)}$$

$$F_z = F_f \text{ (İlerleme kuvveti)}$$

Çizelge 8.12. Dinamometre ölçüm özellikleri

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

Dinamometreyle ölçülen kuvvet değerlerini almak için bazı çevresel donanımlara ihtiyaç vardır. Bunlar Şekil 8.6’da görüldüğü üzere, dinamometre üzerinde okunan kuvvet

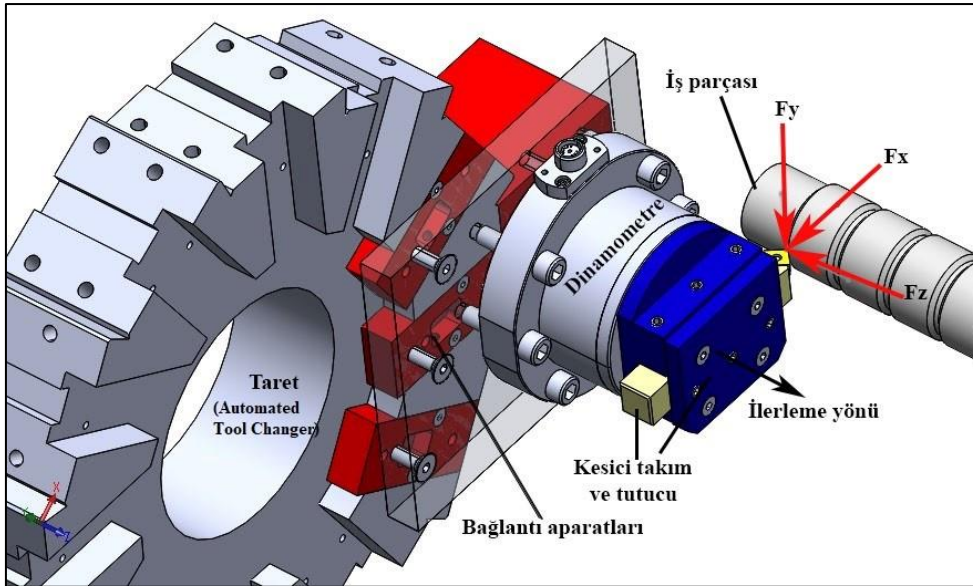
değerlerini bilgisayara aktarmak için kullanılan veri alma kartı ve dinamometrenin ölçtüğü kuvvet değerlerini veri alma kartının tanımlayabilmesi için dönüştürme işlemi sağlayan ampliflerdir.



Şekil 8.6. Dinamometre deney seti (Aytürk, 2010)

8.4.3. Dinamometrenin CNC torna tezgahına bağlanması

Dinamometrenin CNC torna tezgahının taret kısmına bağlanması için bir tasarım gerçekleştirilmiş ve tasarıma bağlı kalarak üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.7).



Şekil 8.7. CNC torna tezgahına dinamometrenin ve kesici takımın montajı

Şekil 8.7’de görüldüğü üzere, taret bölümünde yer alan takım yuvalarından 3 adedi için bağlama aparatları tasarlanmış ve cıvatalarla montajı sağlanmıştır. Geniş bir yüzeyin kullanılmasıyla dinamometrenin daha rijit bağlanması hedeflenmiştir. Dinamometrenin

bağlanması için tasarlanan taşlanmış yüzeye sahip plaka, küresel grafitli dökme demir malzemesinden imal edilmiştir. Böylelikle oluşan titreşimin sönümlenmesi amaçlanmıştır. Dinamometreye cıvatalar yardımıyla bağlanan kesici takım tutucu, kesici takımın iş parçası eksenine dik ve tezgah çalışma düzlemine paralel olması için her iki yönden cıvatalı tasarlanmıştır. Kesici takım tutucuda titreşim sönümleme özelliği olan küresel grafitli dökme demir malzemesinden imal edilmiştir.

Dinamometre ve kesici takım montaj aşamaları

Dinamometrenin bağlanacağı plakanın montajı için taret üzerinde bulunan kesici takım yuvaları kullanılmıştır. Bu amaçla tasarlanan ve imal edilen 3 adet adaptör cıvatalar yardımıyla taret kısmına monte edilmiştir (Resim 8.3).



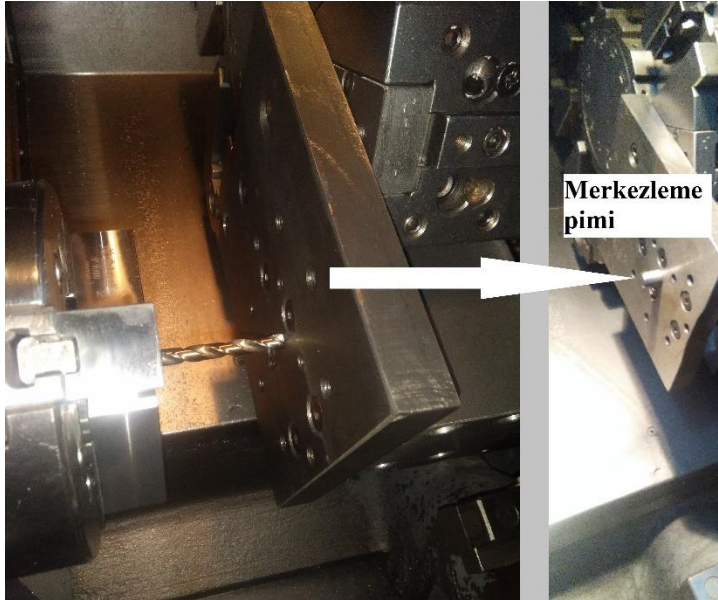
Resim 8.3. Plaka montajı için adaptörler

Dinamometrenin bağlanacağı plaka, küresel grafitli dökme demir malzemesinden imal edilmiş ve taret kısmına yerleştirilen adaptörlere cıvatalar yardımıyla bağlanmıştır (Resim 8.4). Plakanın taret kısmından taşan kısım için bir adet destek parçası (kütük) yine taret kısmına cıvatalar yardımıyla bağlanmıştır.



Resim 8.4. Plaka montajı

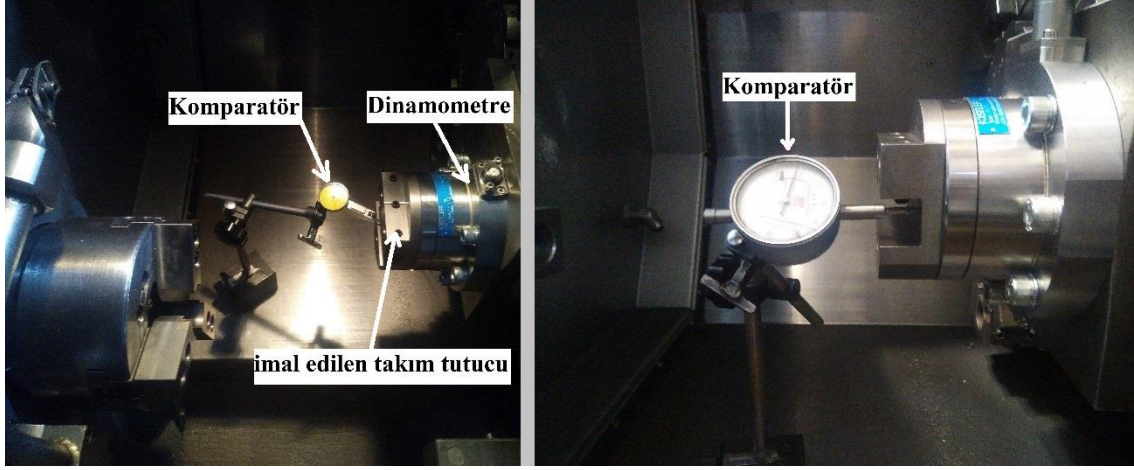
Dinamometrenin iş mili ekseninde olması için sabitleme plakası montajından sonra plaka üzerine, aynaya bağlanan matkap ve rayba vasıtasıyla merkezlenme deliği açılmıştır (Resim 8.5). Böylelikle dinamometre merkezinde bulunan delik kullanılarak, montajın iş mili ekseninde olması sağlanmıştır.



Resim 8.5. Dinamometre plakası delik açma ve pim montajı

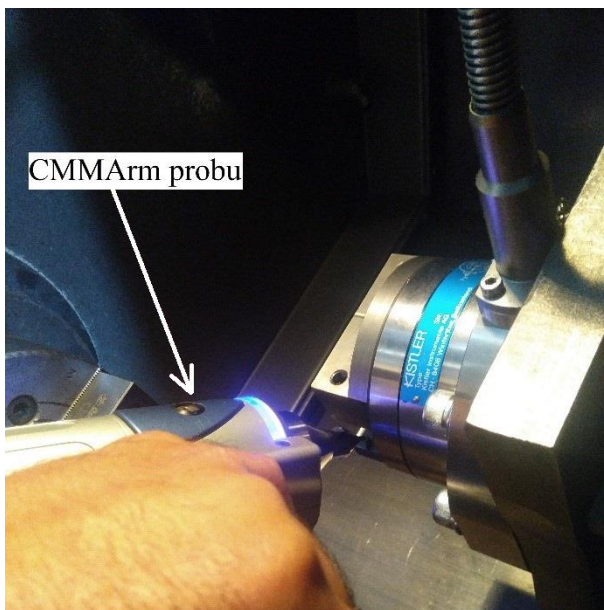
Yerleştirilen hassas pimle merkezlenen dinamometre, plaka üzerine cıvatalarla bağlanmış ve imal edilen takım tutucunun montajı cıvatalarla dinamometre üzerine yapılmıştır. Montaj

sırasında tutucunun, tezgah çalışma düzlemine paralelliği komparatör yardımıyla ayarlanmıştır. Böylelikle $\pm 0,01$ mm hassasiyetinde konumlandırılmıştır (Resim 8.6).



Resim 8.6. Dinamometre ve takım tutucu montajı

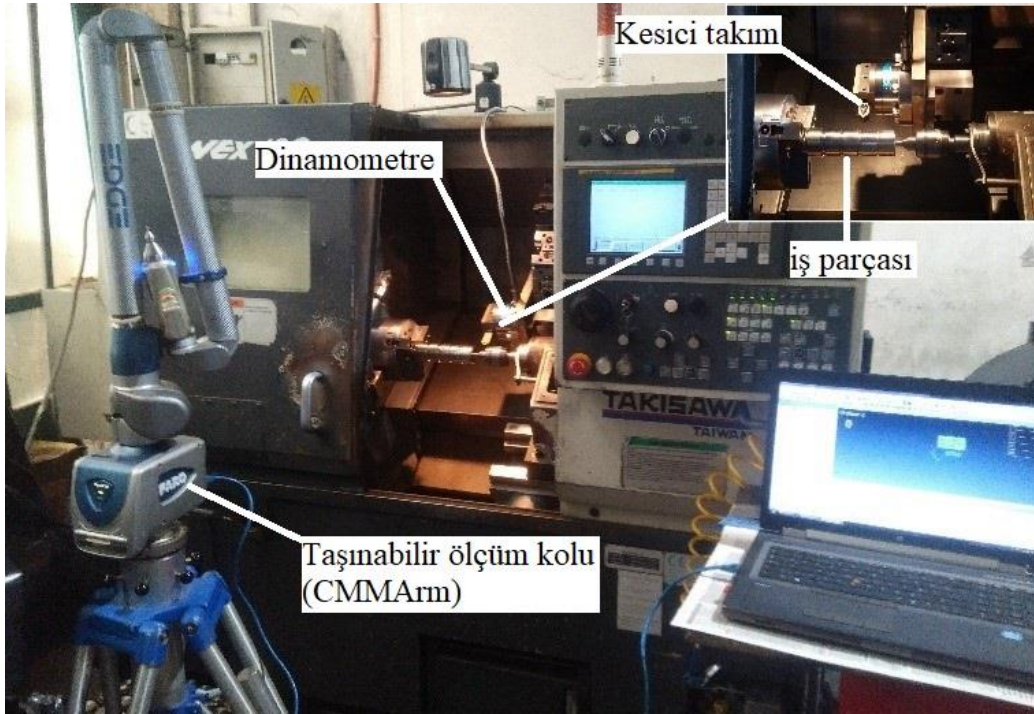
Montajı yapılan takım tutucu tabanıyla iş parçası ekseninin ölçüm kontrolü CMMArm (Portable Coordinate Measuring Arm) cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemi için aynaya bağlanan bir deney malzemesi üzerinden salgıyı yok etmek amacıyla talaş kaldırılmıştır ve iş parçası merkezi CMMArm probuyla belirlenmiştir. Böylelikle iş mili eksenini tespit edilmiştir. Belirlenen iş mili eksenini ve takım tutucu tabanı prob yardımıyla ölçülmüş (Resim 8.7) ve yükseklik farkı 20,997 mm olarak tespit edilmiştir (Bkz. EK-3).



Resim 8.7. CMMArm ile tutucu tabanı ölçümü

CMMArm cihazı ölçüm hassasiyeti ölçüm yaptığı uzaklığa bağlı değişkenlik göstermektedir. Bu ölçüm için yaklaşık değerinin $\pm 0,0018$ mm olduğu belirlenmiştir (Faro, 2016).

Son olarak kesici takım, takım tutucuya bağlanmıştır. Kesici takım bağlama işlemi için tutucu üzerinde bulunan 3 adet cıvata ve kesici takım kesme yönünde bağlanan plaka üzerindeki 3 adet cıvata kullanılmıştır. Böylelikle kesici takımın rijitliği ve paralelliği sağlanmıştır. Ölçüm için kullanılan CMMArm ve deney seti son durumu Resim 8.8’de verilmiştir.



Resim 8.8 Deney seti ve CMMArm

8.4.4. Kesici takımlar ve kesici uçların yüksekliklerinin belirlenmesi

Deneylerde kullanılacak olan kesici takımların fonksiyonel yükseklikleri, iş parçası ekseninde (0), iş parçası eksenini altında (-0,5 mm) ve iş parçası eksenini yukarısında (+0,5 mm) ayarlanacağından mevcut yüksekliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle kesici takımlar CMM (Coordinate Measuring Machine) tezgahında ölçülmüştür. Ölçümde kesici takım tabanı referans alınmış ve kesici uç noktasının fonksiyonel yüksekliği belirlenmiştir (Resim 8.9).



Resim 8.9. CMM tezgahında kesici takım fonksiyonel yükseklik ölçümü

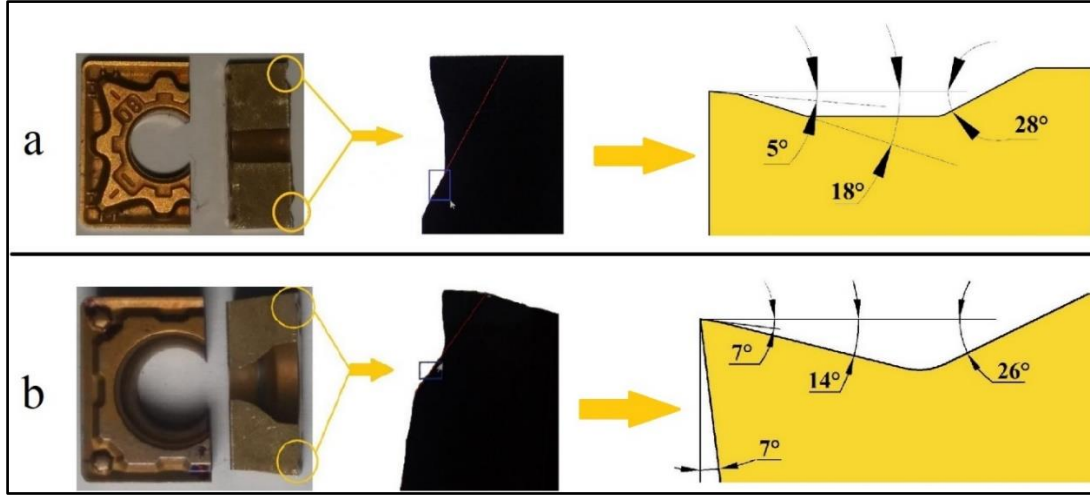
Kesici uç fonksiyonel yüksekliği, TSDNN2020K12 takım tutucu için 19,998 mm ve SSDCN2020K12 takım tutucu için 20,009 mm olarak ölçülmüştür. Kullanılacak SNMG ve SCMT kodlu kesici uçların yükseklikleri de CMM tezgahında ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda, kesici uçların köşeleri arasında yükseklik farkı olmadığı ancak kesici uçlar arasında $\pm 0,02$ mm farklar olduğu görülmüştür (Bkz. EK-4 ve EK-5).

8.4.5. Kesici uçlara ait form ve açılarının belirlenmesi

Kullanılacak kesici uçların talaş kaldırmada etkin olan form açıları takım ölçüm (Resim 8.10) cihazında belirlenmiştir. Cihaz görüntüyü 45X büyütme kabiliyetine sahiptir. Büyütülen görüntü üzerinde kesici uca ait kenarlar ve açıları otomatik olarak belirlenebilmektedir. Bu amaçla, negatif (SNMG) ve pozitif (SCMT) kesici uçlardan birer adet numune tel erozyon tezgahında kesilmiştir. Kesilen yüzeye dik bakılarak kesici uç formu ve üzerinde bulunan açılar belirlenmiştir (Şekil 8.8).



Resim 8.10. Takım ölçüm cihazı



Şekil 8.8. Kesici uç üzerinde ölçülen açılar a) Negatif (SNMG) b) Pozitif (SCMT)

8.4.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Yüzey pürüzlülük ölçümünde Mitutoyo marka SJ-201 model yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Ölçüm tarama uzunluğu 0,8 (cut of length) seçilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü bir universal frezinin takım bağlama pensine uygun tasarlanan ve imal edilen adaptör yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Resim 8.11). Adaptör yardımıyla tezgaha bağlanan yüzey pürüzlülük cihazının freze tablasına ve iş parçası eksenine paralellik ayarı komparator yardımıyla $\pm 0,01$ mm hassasiyetinde sağlanmıştır. Tezgah üzerine sabitlenen divizör ve punta arasına bağlanan deney malzemelerinden, her deney için 4 noktadan yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Noktalar arası açı, divizörün 180° döndürülmesiyle sağlanmıştır.



Resim 8.11. Yüzey pürüzlülük ölçümü

Kullanılan pürüzlülük cihazı ile R_a , R_y , R_z ve R_q değerlerine yönelik ölçümler yapılabilmektedir. Bu çalışma için R_a pürüzlülük değerleri kullanılmıştır.

8.4.7. Dairesellik ve silindiriklik sapması ölçümü

Deney numunelerin dairesellik ve silindiriklik sapması ölçümleri Mahr marka MMQ 400 model form ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir (Resim 8.12). Cihazın teknik özellikleri Çizelge 8.13'te verilmiştir. Ölçüm aşamasında parça doğrultma hassasiyeti $\pm 0,002$ mm olarak belirlenmiştir. Cihaz öncelikle deney numunesi yüzeyinde otomatik doğrultma işlemi gerçekleştirmiş, sonrasında dairesellik ve silindiriklik ölçümü için ikinci kez yüzey tarama işlemi yapmıştır. İşlenmiş yüzey üzerinden iki farklı noktadan tarama gerçekleştirilmiş ve ortalaması alınarak dairesellik ve silindiriklik sapması belirlenmiştir.

Çizelge 8.13. Form ölçüm cihazı teknik özellikler

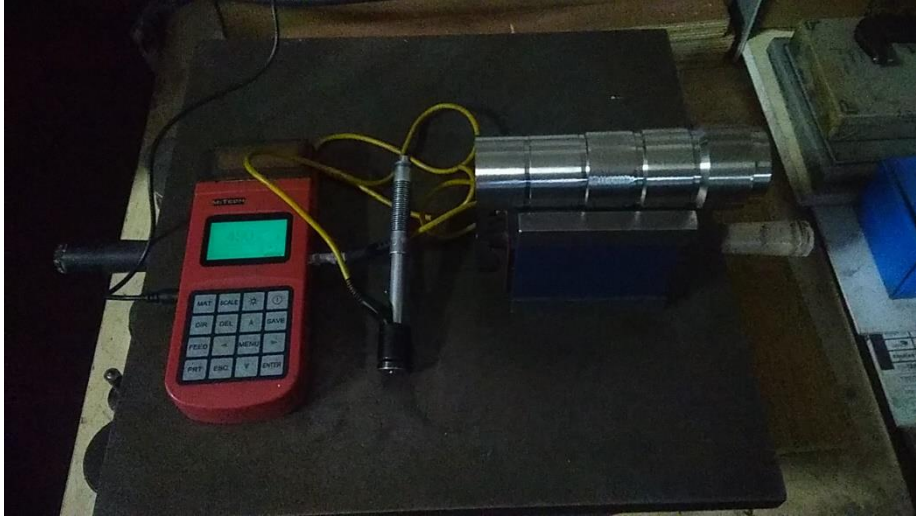
Dairesellik sapması ($\mu\text{m} + \mu\text{m}/\text{mm}$ ölçüm yüksekliği)	$0,01 + 0,00025$
Eksenel salgı sapması ($\mu\text{m} + \mu\text{m}/\text{mm}$ ölçüm yarıçapı)	$0,02 + 0,0001$
Merkezleme ve doğrultma tablası	Otomatik
Devir (dev/dak) 50 Hz / 60 Hz	0,2-15
Diklik X/C ekseni (μm)	2
Doğruluk sapması / toplam ölçüm yolu (μm)	0,9



Resim 8.12. Form ölçüm cihazı

8.4.8. İş parçası yüzey sertlik ölçümü

Bu çalışmada, kullanım kolaylığı, yüksek doğruluk oranı ve iş parçasının dairesel geometrisi nedeniyle Leeb sertlik ölçüm yöntemi tercih edilmiştir. Deney numunelerinin sertlik ölçümleri, Mitech marka mh320 model portatif Leeb sertlik ölçüm cihazıyla yapılmıştır (Resim 8.13). Sertlik değerinin belirlenmesi için işlenen yüzeyin 3 farklı noktasından test yapılmış ve ortalaması alınmıştır.



Resim 8.13. Sertlik ölçüm düzeneği

9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

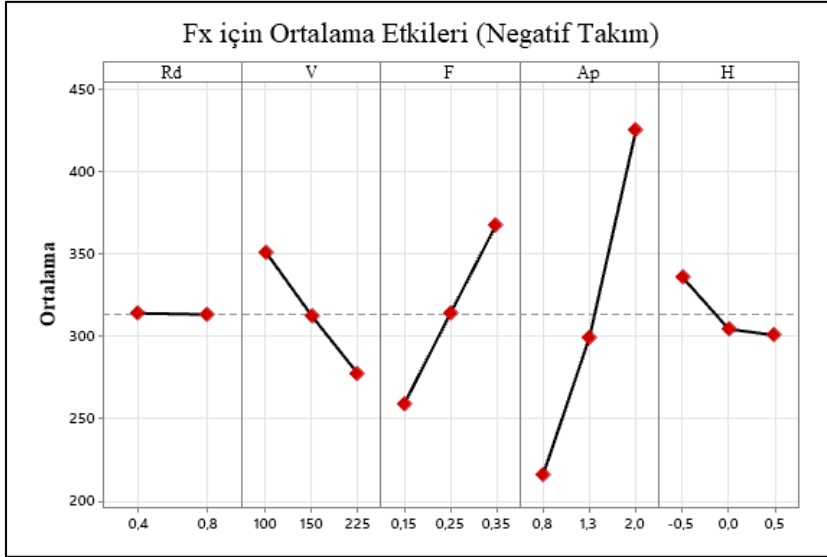
Bu bölümde Taguchi $L_{36} (2^1 3^4)$ modeline göre negatif ve pozitif kesici takımlar ile yapılan deneylerden elde edilen, F_x (radyal kuvvet), F_y (teğetsel (esas kesme) kuvvet), F_z (ilerleme kuvveti), R_a (yüzey pürüzlülüğü), C_r (dairesellik), C_y (silindiriklik) ve HL (yüzey sertliği) değerlerine yönelik yapılan analiz sonuçları verilmiştir.

9.1. Negatif Takım İçin Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Negatif takım ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen kuvvet değerleri belirlenmiştir (Bkz. EK-6). F_x , F_y , F_z kuvvetleri için ayrı ayrı Taguchi analizi yapılmıştır. Analizlerde işlenebilirlik için en az kuvvetin daha iyi verim sağladığı bilindiğinden “en küçük-en iyi” yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucunda ortaya çıkan faktörlerin ortalama etkileri ve S/N oranları değerlerinden, grafikler ve etki sıralaması çizelgeleri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler ve etki sıralaması çizelgeleri yardımıyla, faktörlere ait seviyelerinin etkileri tartışılmıştır. Kesici takım yükseklik ayarı (H) faktörü seviyeleriyle, R_d , V , F ve A_p faktörleri seviyelerinin etkisi 3 boyutlu grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Faktörlerin etki oranı varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir.

9.1.1. Radyal kuvvete bağı deney sonuçları (F_x)

Taguchi analizi sonucunda F_x kuvvetine ait faktörlerin ortalama etkileri (Şekil 9.1) ve S/N oranları (Şekil 9.2) grafikler yardımıyla incelenmiştir. Ortalama etkilerin (Çizelge 9.1) ve S/N oranlarının (Çizelge 9.2) etki sıralamaları ve incelenen grafikler açıklanmıştır.



Şekil 9.1. Negatif takımında F_x için faktörlerin ortalama etkileri

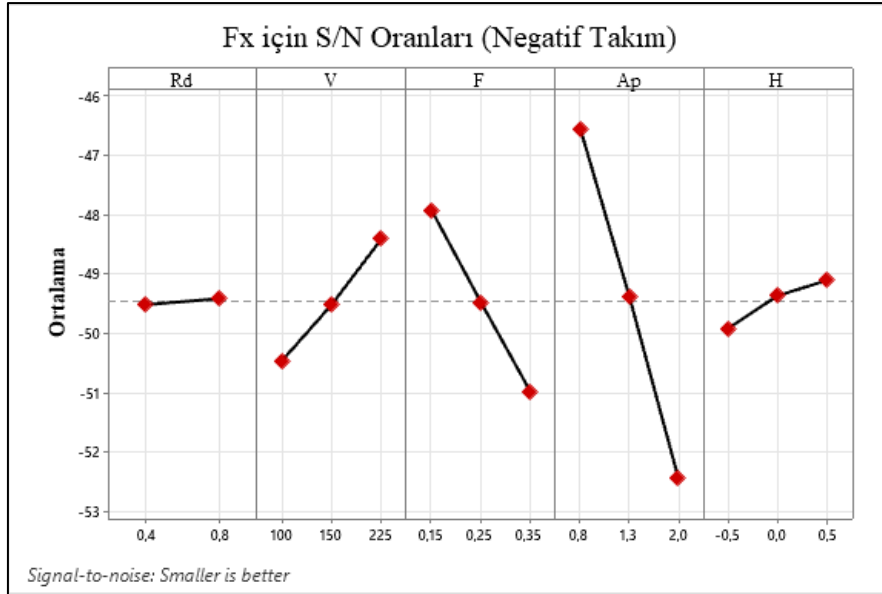
Çizelge 9.1. Negatif takımında F_x için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	313,8	351	258,9	215,5	335,7
2	313,1	312,1	313,6	299,3	304,2
3		277,1	367,8	425,5	300,4
Fark	0,7	73,9	108,9	210	35,3
Sıralama	5	3	2	1	4

F_x için verilen ortalama etki grafiğine (Şekil 9.1) bakıldığında, kesici uç yarıçapı (Rd) dışında, diğer tüm faktörlerin etkili olduğu görülmektedir. Çizelge 9.1 ile verilen etki sıralaması incelendiğinde, F_x kuvveti için ilk parametrenin Ap faktörü olduğu görünmekte ve faktörün seviyeleri dikkate alındığında ise kesme derinliğinin artmasıyla F_x kuvvetinin artacağı sonucu çıkarılabilmektedir. Ap faktöründen sonra en etkili faktörün F olduğunu Çizelge 9.1 bize vermektedir. F faktörü seviyeleri dikkate alındığında ilerleme miktarının artmasının F_x kuvvetini arttıracak sonucuna varılmıştır. Etki sıralamasında üçüncü sırada V faktörü yer almaktadır ve V faktörü seviyeleri incelendiğinde kesme hızının artmasıyla F_x kuvvetinde azalma olacağı sonucu çıkarılabilir. H faktörünün ise dördüncü sırada yer aldığı

görülmektedir. H faktörü seviyeleri incelendiğinde, kesici takımın iş parçası eksenine altında bağlanması F_x kuvvetini arttıracaktır sonucu çıkarılmıştır. Etki sıralamasında Rd faktörü son sıra yer almıştır. Rd faktörünün F_x kuvveti için etkisinin düşük olduğu değerlendirilmiştir.

F_x kuvvet değerleriyle Taguchi analizi sonucunda elde edilen S/N oranlarına ait grafik aşağıda (Şekil 9.2) verilmiştir.



Şekil 9.2. Negatif takımda F_x için S/N oranları

S/N oranları grafiği (Şekil 9.2) incelenirken en büyük yanıt değeri en uygun faktör seviyesini belirtmektedir. S/N oranları grafiği (Şekil 9.2) ve ortalama etki grafiği (Şekil 9.1) birbirinin tam tersi olmakta ve böylelikle benzerlik taşımaktadır. Şekil 9.2'nin daha iyi anlaşılması için F_x kuvvetine ait S/N oranları etki sıralamasını gösteren Çizelge 9.2 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 9.2. Negatif takımda F_x için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-49,51	-50,45	-47,90	-46,53	-49,91
2	-49,40	-49,50	-49,47	-49,37	-49,35
3		-48,40	-50,98	-52,45	-49,09
Fark	0,10	2,06	3,08	5,92	0,81
Sıralama	5	3	2	1	4

S/N oranları etki sıralaması incelenirken en büyük yanıt değeri bize en uygun faktör seviyesini göstermektedir. Ortalama etki sıralaması (Çizelge 9.1) ve S/N oranları etki

sıralaması (Çizelge 9.2) birlikte incelendiğinde faktörlerin etki sıralamasının değişmediği görülmektedir.

Analiz sonuçları F_x kuvveti için kesici takım yükseklik ayarının (H) kesici uç yarıçapından (Rd) daha etkili bir parametre olduğunu ortaya koymuştur. Kesici takım ucu, iş parçası ekseninin altında (H: -0,5 mm) olduğu durumda F_x kuvvetinin, ekseninde (H: 0 mm) ve eksenden yukarıda (H: +0,5 mm) olduğu duruma göre arttığını göstermiştir.

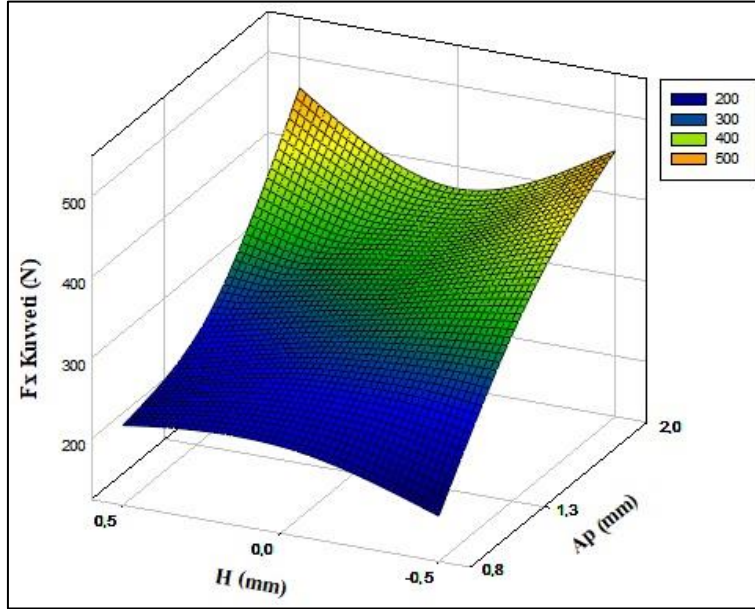
Ortalama etki ve S/N oranları etki sıralamasını gösteren Çizelge 9.1 ve 9.2'ye göre F_x kuvveti için en uygun faktör seviye değerleri $Rd_2V_3F_1Ap_1H_3$ olarak tespit edilmiştir. F_x (radyal kuvvet)'in en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,8 mm) büyük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) veya iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanmalıdır.

F_x kuvveti için yapılan Taguchi analizi sonucunda faktörlerin etki miktarını görmek için ANOVA analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonucu Çizelge 9.3'te verilmiştir. F_x kuvveti için ANOVA tablosu incelendiğinde V, F, Ap ve H faktörlerinin anlamlı ($P < 0,05$) olduğu ancak Rd faktörünün istatistiksel olarak anlamlı ($P > 0,05$) olmadığı görülmüştür. Faktörlerin yüzde etkilerine bakıldığında: Ap faktörü 71,67%, F faktörü 23,27%, V faktörü 2,80% ve H faktörü 0,60% olduğu anlaşılmaktadır. H faktörünün F_x kuvveti için etkisinin düşük (0,60%) olduğu ancak anlamlı olduğu değerlendirilmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R-sq(adj)$: %97,75 olarak bulunmuştur.

Çizelge 9.3. Negatif takımda F_x kuvveti için ANOVA sonuçları

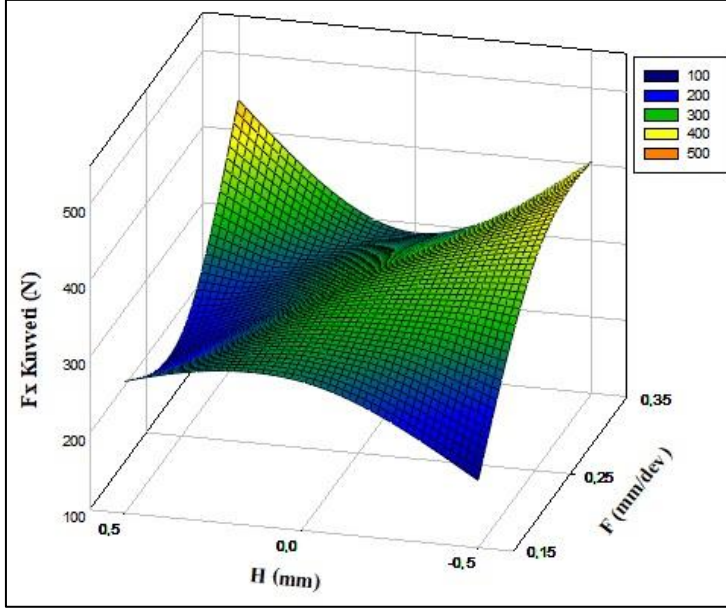
Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	3	0,00	3	3	0,01	0,9140
V	2	11222	2,80	11222	5611	21,79	0,0000
F	2	93390	23,27	93390	46695	181,31	0,0000
Ap	2	287644	71,67	287644	143822	558,44	0,0000
H	2	2396	0,60	2396	1198	4,65	0,0187
Error	26	6696	1,67	6696	258		
Total	35	401351	100,00				

ANOVA sonucunda istatistiksel anlamlı ($P<0,05$) olarak değerlendirilen H faktörünün, en büyük etkiye sahip Ap ve F faktörleriyle F_x kuvvetine etkisini görmek için 3 boyutlu etki grafikleri oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.3. Negatif takımda F_x için H - Ap etkisi

Şekil 9.3'te kesici takım yükseklik ayarı (H) ve kesme derinliği (Ap) faktörlerinin F_x kuvvetine etkileri verilmiştir. Kesme derinliğinin artmasıyla F_x kuvvetinin arttığı açık bir şekilde görünmektedir. H faktörü seviyelerinin, düşük kesme derinliklerinde (0,8 mm, 1,3 mm) etkisi az olurken yüksek kesme derinliğinde (2 mm) kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanması F_x kuvvetinde azalma sağlamıştır. Kesici takımın iş parçası eksenini yukarısında (H: +0,5 mm) ve altında (H: -0,5 mm) bağlanması durumlarının her ikisi içinde F_x kuvveti arttığı Şekil 9.3'ten anlaşılmaktadır.

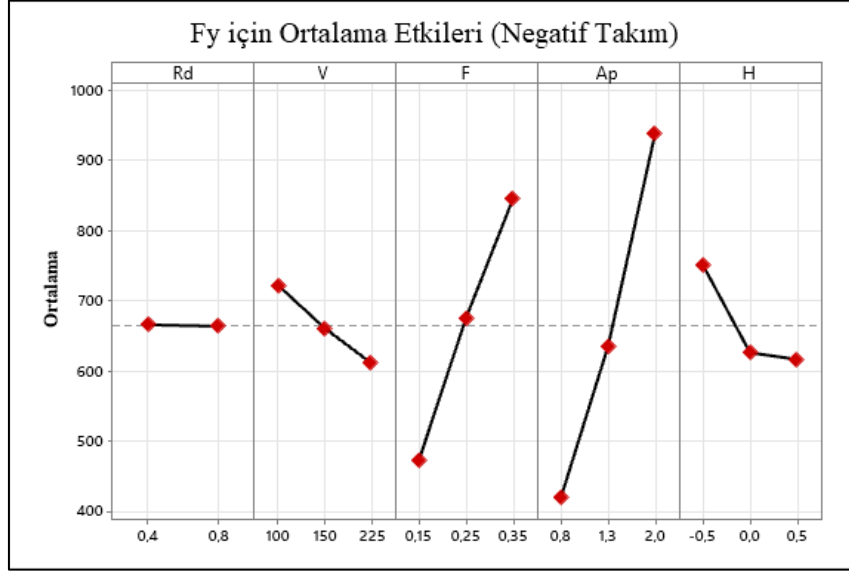


Şekil 9.4. Negatif takımı F_x için H - F etkisi

Şekil 9.4 kesici takım yükseklik ayarı ve ilerleme miktarının F_x kuvveti için etkisi incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla F_x kuvvetinin arttığı anlaşılmaktadır. Düşük ilerleme miktarında (0,15 mm/dev) kesici takım yükseklik ayarının (H) büyük bir etkisi olmadığı, kesici takımın iş parçası eksenin altında bağlanması (H: -0,5 mm) F_x kuvvetinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. İlerleme miktarının 0,25 mm/dev'e çıkmasıyla iş parçası eksenin altında (H: -0,5 mm) bağlanan kesici takım, eksenindeki (H: 0 mm) ve yukarıdaki (H: +0,5 mm) durumlara göre F_x kuvveti artmıştır. 0,35 mm/dev ilerleme miktarında F_x kuvvetinin kesici takımın iş parçası eksenine (H: 0 mm) bağlanmasıyla azaldığı grafikte görülmektedir.

9.1.2. Teğetsel (esas kesme) kuvvete bağlı deney sonuçları (F_y)

F_y kuvveti için yapılan Taguchi analizi sonucunda elde edilen ortalama etkilerine ait grafik Şekil 9.5'te verilmiştir.



Şekil 9.5. Negatif takımda F_y için faktörlerin ortalama etkileri

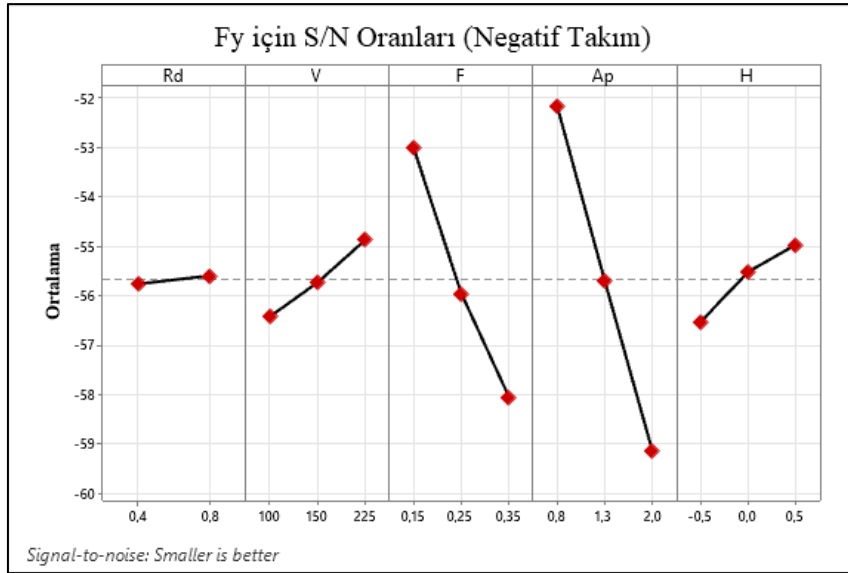
Şekil 9.5 incelendiğinde F_y kuvveti için en büyük etkiye sahip faktörlerin sırasıyla Ap (kesme derinliği) ve F (ilerleme miktarı) faktörleri olduğu anlaşılmaktadır. Etkilerin daha iyi anlaşılması için faktörlerin ortalama etki sıralaması tablo olarak aşağıda verilmiştir (Çizelge 9.4).

Çizelge 9.4. Negatif takımda F_y için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	665,9	722,2	472,2	419,3	751,5
2	663,9	661,1	675,7	635,3	626,2
3		611,0	846,4	939,7	616,6
Fark	2,0	111,1	374,2	520,4	134,9
Sıralama	5	4	2	1	3

Ortalama etkileri grafiği (Şekil 9.5) ve etki sıralamasını içeren tablo (Çizelge 9.4) birlikte incelendiğinde, en büyük etkiye sahip faktörün Ap olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla F_y kuvvetinin artacağı görülmektedir. İkinci sırada F faktörü yer almaktadır ve ilerleme miktarındaki artışın F_y kuvvetinin artmasına neden olacağı sonucuna varılmıştır. Üçüncü sırada yer alan H (kesici takım yükseklik ayarı) faktörü seviyeleri

incelendiğinde kesici takımın iş parçası ekseninde (H: -0,5 mm) bağlanmasıyla F_y kuvvetinin arttığı ancak iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanan kesici takımın F_y kuvvetinde azalmaya sebep olacağı belirlenmiştir. İş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanan kesici takımın, iş parçası ekseninde (H: -0,5 mm) bağlanmasına göre daha düşük kuvvetlere maruz kaldığı anlaşılmıştır. Dördüncü sırada V (kesme hızı) faktörü yer almıştır. Ortalama etkiler değerlendirildiğinde, kesme hızının artmasıyla F_y kuvvetinin azaldığı anlaşılmıştır. Son sırada Rd (uç yarıçapı) faktörü yer almıştır ve bu nedenle kesici uç yarıçapının F_y kuvvetinde etkisinin diğer faktörlere göre düşük olduğu değerlendirilmiştir. F_y kuvveti için oluşturulan S/N oranları grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 9.6).



Şekil 9.6. Negatif takımda F_y için Faktörlerin S/N oranları

F_y kuvveti için faktörlerin S/N oranları grafiği incelendiğinde (Şekil 9.6), en büyük etkiye sahip faktörlerin sırasıyla Ap ve F faktörleri olduğu anlaşılmaktadır. S/N oranlarına ait grafik (Şekil 9.6) ortalama etkileri grafiğini (Şekil 9.5) doğrulamaktadır.

Çizelge 9.5. Negatif takımda F_y kuvveti için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-55,77	-56,43	-53,01	-52,17	-56,54
2	-55,60	-55,73	-55,96	-55,71	-55,52
3		-54,87	-58,06	-59,16	-54,97
Fark	0,17	1,55	5,04	6,99	1,57
Sıralama	5	4	2	1	3

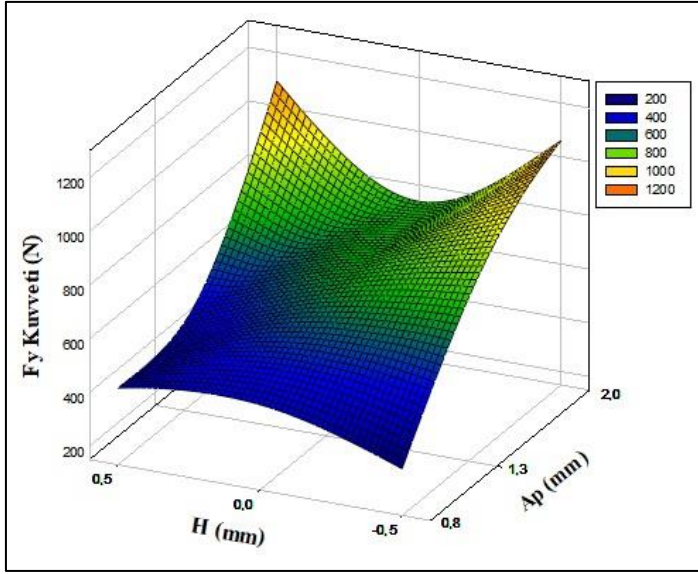
S/N oranları etki sıralamasının (Çizelge 9.5) ortalama etki sıralamasını veren Çizelge 9.4' ü desteklediği görülmektedir. Çizelge 9.5'te yer alan S/N oranları incelendiğinde faktörlerin etkisi sırasıyla Ap, F, H, V ve Rd şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama etki ve S/N oranları sıralamasını gösteren Çizelge 9.5 ve 9.6'ya göre F_y kuvveti için en uygun faktör seviye değerleri $Rd_2V_3F_1Ap_1H_3$ olarak tespit edilmiştir. F_y (teğetsel (esas kesme) kuvvet)'nin düşük istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,8 mm) büyük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) veya iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanmalıdır.

F_y kuvveti için yapılan ANOVA sonucuna ait değerler Çizelge 9.6'da verilmiştir.

Çizelge 9.6. Negatif takımda F_y kuvveti için ANOVA sonuçları

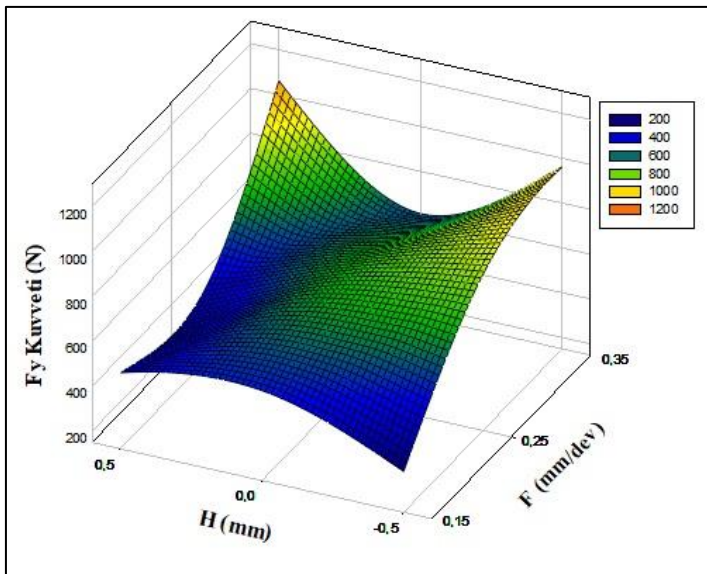
Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	935	0,03	935	935	0,29	0,5941
V	2	5737	0,19	5737	2868	0,89	0,4216
F	2	1064254	34,65	1064254	532127	165,65	0,0000
Ap	2	1870790	60,90	1870790	935395	291,19	0,0000
H	2	46419	1,51	46419	23210	7,23	0,0032
Hata	26	83520	2,72	83520	3212		
Toplam	35	3071656	100,00				

Çizelge 9.6 incelendiğinde Ap, F, H faktörlerinin istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olduğu ancak V ve Rd faktörlerinin anlamlı ($P > 0,05$) olmadığı anlaşılmıştır. Faktör etkileri sırasıyla, Ap (60,90%), F (34,65%), H (1,51%), V (0,19%) ve Rd (0,03%) şeklinde oluşmuştur. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R\text{-sq}(\text{adj})$: %96,34 olarak bulunmuştur. ANOVA sonucunda F_y kuvveti için H (kesici takım yükseklik ayarı) faktörünün Rd (kesici uç yarıçapı) ve V (kesme hızı) faktörlerinden daha etkili olduğu anlaşılmıştır. H faktörünün, en büyük etkiye sahip Ap ve F faktörleriyle F_y kuvvetine etkisini görmek için 3 boyutlu etki grafikleri oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.7. Negatif takımında F_y için H - A_p etkisi

Şekil 9.7’de kesici takım yükseklik ayarı (H) ve kesme derinliği (A_p) faktörlerinin F_y kuvvetine etkisi verilmiştir. Kesme derinliğinin artmasıyla F_y kuvvetinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. H faktörü seviyelerinin, düşük kesme derinliklerinde (0,8 mm, 1,3 mm) etkisi az olurken yüksek kesme derinliğinde (2 mm) kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanması F_y kuvvetinde azalma sağlamıştır. Kesici takımın iş parçası eksenini yukarısında (H: +0,5 mm) ve altında (H: -0,5 mm) bağlanması durumlarının her ikisi içinde F_y kuvvetinin arttığı grafikten anlaşılmaktadır.

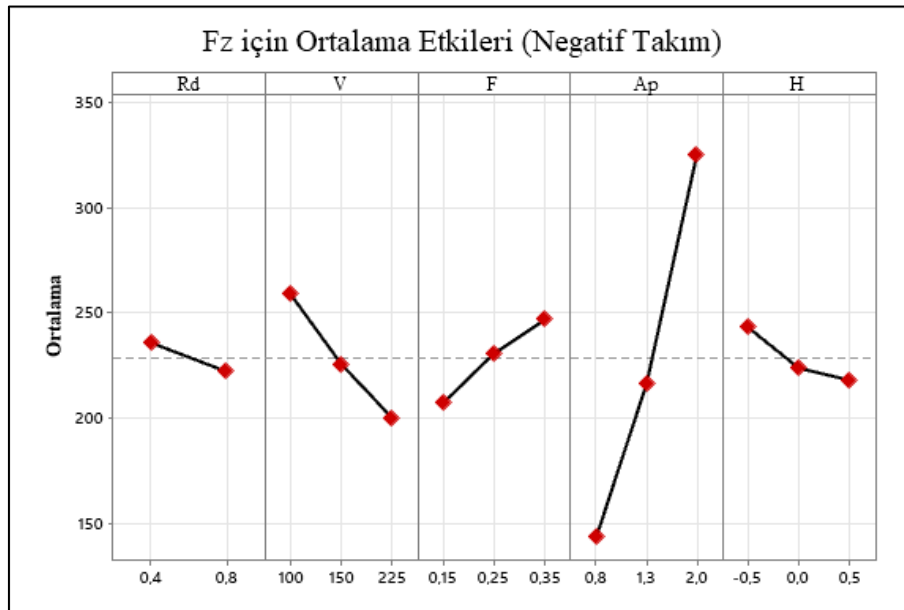


Şekil 9.8. Negatif takımında F_y için H - F etkisi

Şekil 9.8 kesici takım yükseklik ayarı ve ilerleme miktarının F_y kuvveti için etkisi incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla F_y kuvvetinin arttığı anlaşılmaktadır. Düşük ilerleme miktarında (0,15 mm/dev) kesici takım yükseklik ayarının (H) büyük bir etkisi olmadığı, kesici takımın iş parçası eksenin altında bağlanması (H: -0,5 mm) F_y kuvvetinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. İlerleme miktarının 0,25 mm/dev'e çıkmasıyla iş parçası eksenin altında (H: -0,5 mm) bağlanan kesici takımda, eksendeki (H: 0 mm) ve yukarıdaki (H: +0,5 mm) durumlara göre F_y kuvvetinde artış olduğu anlaşılmaktadır. 0,35 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımın iş parçası eksenine (H: 0 mm) bağlanmasıyla F_y kuvvetinde azalma meydana geldiği görülmektedir.

9.1.3. İlerleme kuvvetine bağlı deney sonuçları (F_z)

F_z kuvveti için yapılan Taguchi analizi sonucunda elde edilen ortalama etkilerine ait grafik Şekil 9.9'da verilmiştir.



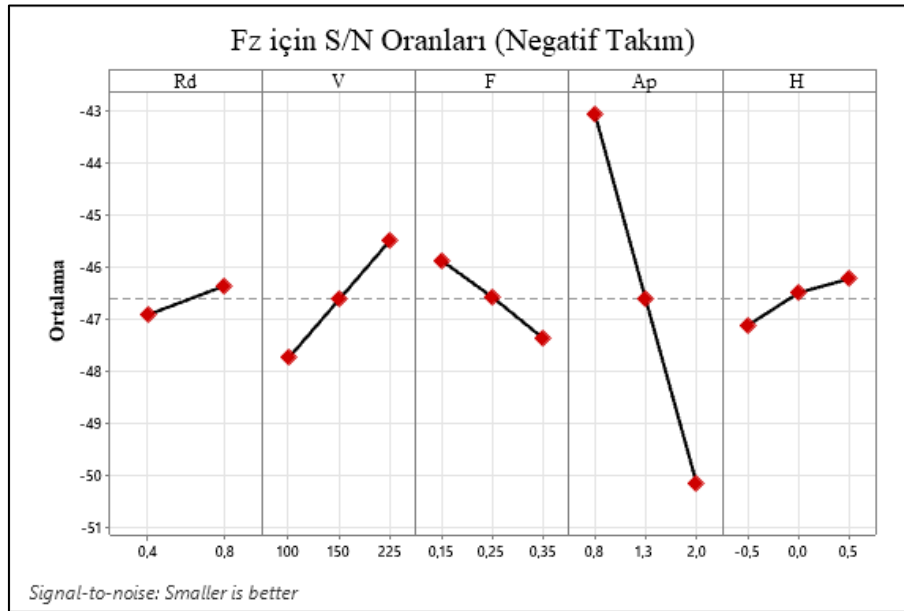
Şekil 9.9. Negatif takımda F_z için Faktörlerin ortalama etkileri

Şekil 9.9'da F_z kuvveti için en etkili faktörün Ap olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla F_z kuvvetinin arttığı anlaşılmaktadır. Şekil 9.9'un daha iyi anlaşılabilmesi için faktörlerin ortalama etki sıralamasını veren Çizelge 9.7 verilmiştir.

Çizelge 9.7. Negatif takımında F_z için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	235,8	259,0	207,3	143,3	243,2
2	222,1	225,8	230,7	216,3	223,8
3		200,1	246,9	325,3	218,0
Fark	13,7	58,9	39,5	182,0	25,2
Sıralama	5	2	3	1	4

Çizelge 9.7 incelendiğinde birinci sırada yer alan Ap faktörünün tüm seviyeleri için kesme derinliğinin artmasıyla F_z kuvvetinde artış olduğu görünmektedir. İkinci sırada yer alan V faktörü seviyelerine bakıldığında, kesme hızının artmasıyla F_z kuvvetinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. F_z kuvveti için üçüncü önemli faktör F (ilerleme miktarı) olarak görülmektedir. İlerleme miktarının artışının F_z kuvvetinde artışa sebep olacağı anlaşılmaktadır. Kesici takım yükseklik ayarı (H) faktörü Çizelge 9.7’de dördüncü sırada yer almaktadır. Kesici takımın iş parçası eksenı altında (H: -0,5 mm) bağlanması F_z kuvvetini arttırdığı ortalama etki grafiği (Şekil 9.9) ve ortalama etki sıralaması (Çizelge 9.7) tablosundan belirlenmiştir. Rd faktörünün F_z kuvvetinde etkisi düşük olmuştur. Kesici uç yarıçapının artmasının ilerleme kuvvetinde bir miktar azalma sağlayacağı görülmüştür.

Şekil 9.10. Negatif takımında F_z için Faktörlerin S/N oranları

Şekil 9.10’da verilen S/N oranları grafiği Şekil 9.9’u destekler niteliktedir. Burada da en büyük değişime sahip olan Ap faktörüdür.

Çizelge 9.8. Negatif takımında F_z kuvveti için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-46,92	-47,75	-45,89	-43,06	-47,13
2	-46,37	-46,62	-46,59	-46,63	-46,50
3		-45,49	-47,39	-50,17	-46,23
Fark	0,56	2,26	1,50	7,11	0,90
Sıralama	5	2	3	1	4

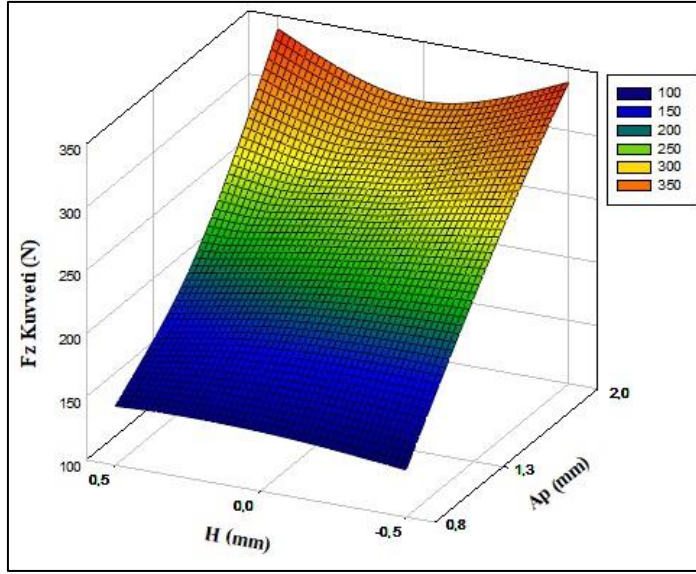
Çizelge 9.8 incelendiğinde, faktörlerin S/N oranları sıralaması Çizelge 9.7 ile aynıdır ve faktörlerin etki oranları sırasıyla Ap, V, F, H ve Rd şeklinde olmuştur. Çizelge 9.7 ve 9.8 incelendiğinde F_z kuvveti için en iyi faktör seviyeleri $Rd_2V_3F_1Ap_1H_3$ şeklinde olmuştur. F_z (ilerleme kuvveti)'nin en az istendiği durumlarda, kesici uç yarıçapı (0,8 mm) büyük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) veya iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanmalıdır.

F_z kuvveti için faktörlerin etki değerlerini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır ve Çizelge 9.9'da verilmiştir.

Çizelge 9.9. Negatif takımında F_z kuvveti için ANOVA sonuçları

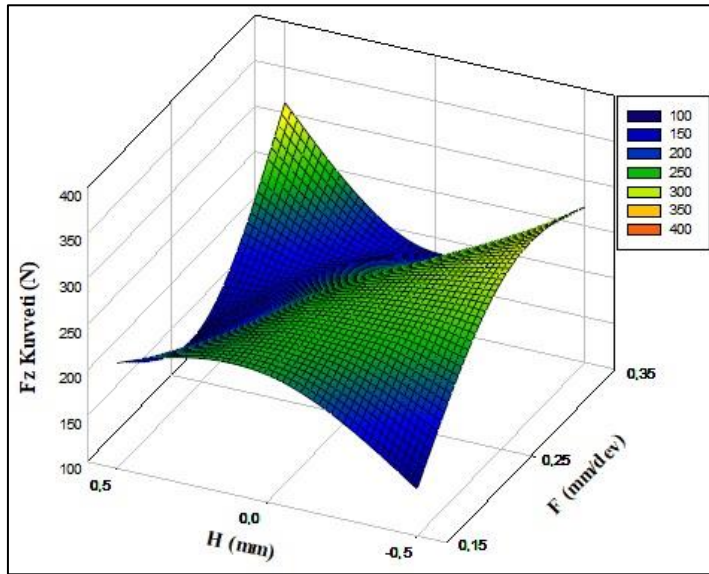
Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	1681	0,71	1681	1681	13,30	0,0012
V	2	8700	3,69	8700	4350	34,41	0,0000
F	2	16726	7,09	16726	8363	66,15	0,0000
Ap	2	204704	86,74	204704	102352	809,66	0,0000
H	2	890	0,38	890	445	3,52	0,0443
Hata	26	3287	1,39	3287	126		
Toplam	35	235987	100,00				

F_z kuvveti için ANOVA tablosu (Çizelge 9.9) incelendiğinde en büyük etkiye sahip faktörün Ap (kesme derinliği) olduğu anlaşılmıştır (etki: 86,74%). Ap faktörünü sırasıyla F (etki: 7,09%), V (etki: 3,69%), Rd (etki: 0,71%) ve H (0,38%) faktörleri izlemiştir. Çizelge 9.11'de yer alan tüm faktörlerin F_z kuvveti için anlamlı olduğu görülmüştür ($P < 0,05$). Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R\text{-sq(adj)}$: %98,13 olarak bulunmuştur. En büyük etkiye sahip (Çizelge 9.9) Ap, F faktörlerinin ve H faktörünün F_z kuvvetine etkileri grafik olarak verilmiştir (Şekil 9.11 ve Şekil 9.12).



Şekil 9.11. Negatif takımında F_z için H - A_p etkisi

Şekil 9.11 incelendiğinde kesme derinliği (A_p) arttıkça takım yükseklik ayarının etkisi artmıştır. Yüksek kesme derinliğinde, kesici takımın iş parçası ekseninde bağlanmasıyla F_z kuvvetinde azalma görülmüştür. Grafiğe göre düşük kesme derinliğinde (0,8 mm) kesici takım yükseklik ayarının etkisi düşük olmuştur.



Şekil 9.12. Negatif takımında F_z için H - F etkisi

İlerleme miktarı ve kesici takım yükseklik ayarı etkisini gösteren grafik (Şekil 9.12) incelendiğinde, düşük ilerleme miktarında kesici takım iş parçası eksenini yukarısında (H: +0,5 mm) ve altında (H: -0,5 mm) bağlandığında F_z kuvvetinde azalma görülmüştür. Ancak

ilerleme miktarı arttıkça kesici takımının ekseninde (H: 0 mm) olduğu konumda F_z kuvveti azalma eğiliminde olmuştur. 0,25 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımın iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanması F_z kuvvetinin azalmasını sağlamıştır.

9.1.4. Negatif takıma etki eden kuvvetlerin sebep-sonuç ilişkisi

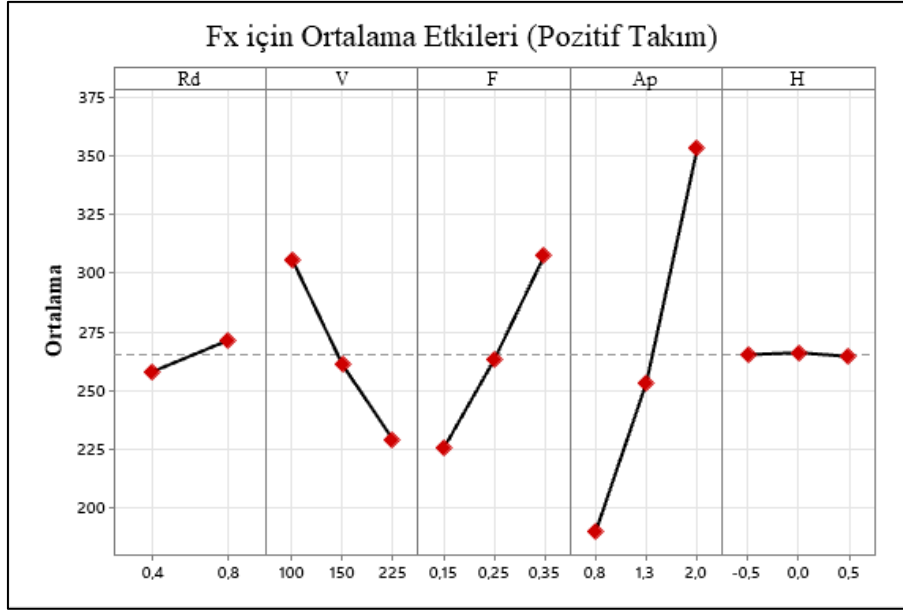
Negatif takımla yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama etkiler ve S/N oranları tablolarına göre kesici takımın iş parçası eksenine altında (H: -0,5 mm) bağlanmasıyla tüm kesme kuvveti bileşenlerinin ($F_x(F_r)$, $F_y(F_t)$, $F_z(F_f)$) artış yönünde olduğu görülmüştür. Bu artış, kesici uç formu üzerindeki açılarının iş parçası eksenine bağlı değişmesinden kaynaklanan talaş-temas uzunluğundaki farklılığın etkisi olduğuna atfedilmiştir (Duran ve Acır, 2004; Günay, Aslan, Korkut ve Şeker, 2004; Mavi ve Uzun, 2017; Memiş ve Turgut, 2020; Sekmen, 2013; Thomsen, Macdonald ve Kobayashi, 1962). Kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinde oluşan artışın kaldırılan talaş hacminden kaynaklandığı bilinmektedir. Kesme hızının artışıyla kuvvetlerde azalma meydana gelmiştir. Kesme hızının artmasıyla oluşan kuvvetlerdeki azalma, kesici kenarda oluşan yığıntı talaşının (BUE) azalmasına atfedilmiştir. Kesme hızının artmasıyla, belirli bir düzeye kadar artan sıcaklığın etkisiyle, iş parçasının kopma direncinin azalması da kuvvetlerin azalmasına olanak sağlamıştır (Korkut ve diğerleri, 2004). Kesici uç yarıçapının etkisinin düşük olduğu ve bu düşük etkinin küçük yanaşma açısına (45°) sahip kesici takımlarda, kuvvetlerin kesici kenar boyunca dengeli dağılımından kaynaklanmasına atfedilmiştir (Hwang, HyounJeong, Chung ve Liang, 2013).

9.2. Pozitif Takım İçin Kesme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi

Pozitif takımla yapılan deneyler sonucunda elde edilen kuvvet değerleri belirlenmiştir (Bkz. EK-7). Başlık 9.1’de sıralanan aşamalar burada pozitif kesici takım için uygulanmıştır.

9.2.1. Radyal kuvvete bağlı deney sonuçları (F_x)

Taguchi analizi sonucunda F_x kuvvetine ait faktörlerin ortalama etkileri (Şekil 9.13) ve S/N oranları (Şekil 9.14) grafikler yardımıyla incelenmiştir. Ortalama etkileri (Çizelge 9.10) ve S/N oranları (Çizelge 9.11) oluşturulan etki sıralaması tablolarıyla birlikte açıklanmıştır.

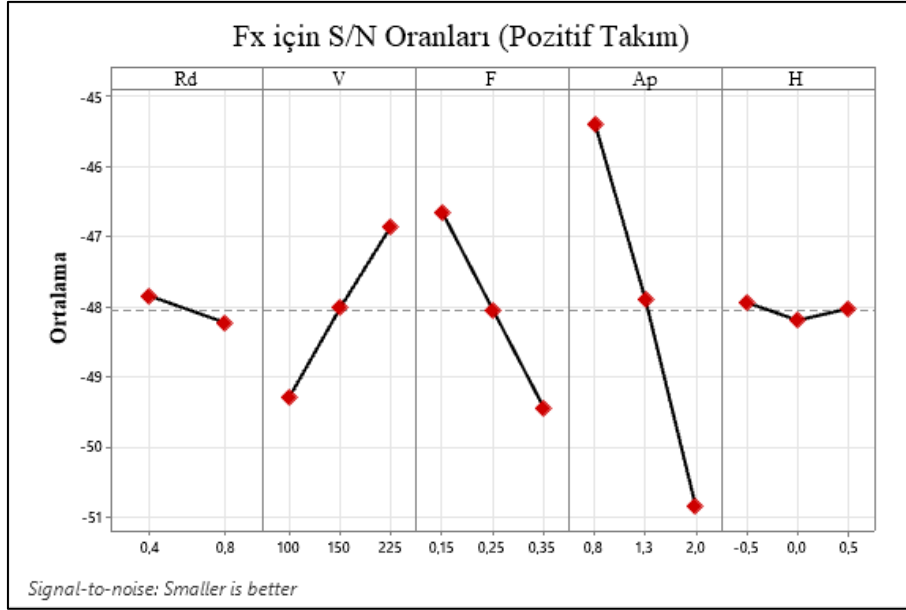


Şekil 9.13. Pozitif takımda F_x için faktörlerin ortalama etkileri

Çizelge 9.10. Pozitif takımda F_x için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	258,0	305,9	225,4	189,6	265,3
2	271,5	261,0	263,0	253,3	266,2
3		229,1	307,6	353,2	264,5
Fark	13,5	76,8	82,3	163,7	1,6
Sıralama	4	3	2	1	5

Şekil 9.13 ve Çizelge 9.10 incelendiğinde F_x kuvveti için en etkili faktörün Ap olduğu görülmüştür. Ap faktörü seviyeleri dikkate alındığında kesme derinliğinin artmasıyla F_x kuvvetinin arttığı belirlenmiştir. Ap faktöründen sonra F faktörünün en etkili faktör olduğu anlaşılmaktadır. İlerleme miktarının artmasıyla F_x kuvvetinin artacağı görülmektedir. Kesme hızının (V) artmasıyla F_x kuvvetinde azalma meydana geldiği Şekil 9.13 ve Çizelge 9.10'dan anlaşılmaktadır. Rd faktörü seviyeleri incelendiğinde uç yarıçapının büyümesi F_x kuvvetini arttırmıştır. H faktörü ortalama etki sıralamasını içeren Çizelge 9.10'da son sırada yer almış ve bu nedenle kesici takım yükseklik ayarının pozitif takımda F_x kuvvetine etkisinin düşük olduğu görülmüştür. F_x kuvvet değerleriyle Taguchi analizi sonucunda elde edilen S/N oranlarına ait grafik aşağıda (Şekil 9.14) verilmiştir.



Şekil 9.14. Pozitif takımda F_x için S/N oranları

Şekil 9.14 S/N oranları grafiği incelendiğinde oranlar arasındaki en büyük değişim burada da Ap faktöründe görünmektedir. Şekil 9.14'ün daha iyi anlaşılması için F_x kuvvetine ait S/N oranları etki sıralamasını gösteren Çizelge 9.11 aşağıda verilmiştir.

Çizelge 9.11. Pozitif takımda F_x için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-47,84	-49,29	-46,65	-45,39	-47,94
2	-48,23	-48,02	-48,05	-47,90	-48,19
3		-46,85	-49,45	-50,86	-48,02
Fark	0,39	2,44	2,80	5,47	0,25
Sıralama	4	3	2	1	5

S/N oranları grafikleri ve tabloları incelenirken en büyük yanıt değeri bize en uygun faktör seviyesini göstermektedir. Çizelge 9.11'de yer alan S/N oranları etki sıralaması incelendiğinde en büyük etkinin Ap faktöründe olduğu görülmüştür. Ap için S/N oranları seviyeleri incelendiğinde, kesme derinliği artıkça F_x kuvvetinin artış yönünde olacağı anlaşılmıştır. Ap faktöründen sonra en etkili faktör F' dir. Çizelge 9.11'de diğer faktörlerin S/N oranları etki sıralaması V, Rd, H şeklindedir. Kesici takım yükseklik ayarının (H) F_x kuvveti üzerinde etkisi çok düşük olmuştur.

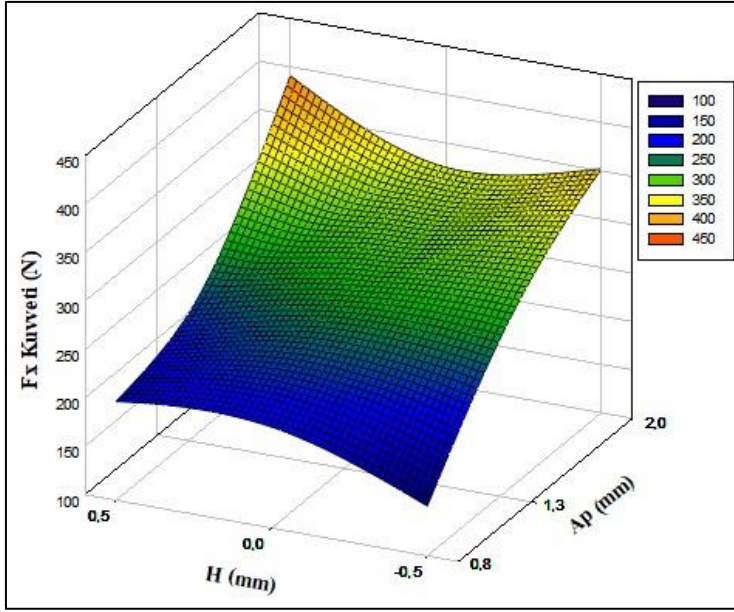
Ortalama etki ve S/N oranları etki sıralamasını gösteren Çizelge 9.10 ve 9.11'e göre F_x kuvveti için en uygun faktör seviye değerleri $Rd_1V_3F_1Ap_1H_1$ olarak tespit edilmiştir. F_x

(radyal kuvvet)'in en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,4 mm) küçük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninden aşağıda (H: -0,5 mm) bağlanmalıdır. F_x kuvvetine faktörlerin etki miktarını görmek için ANOVA sonucu Çizelge 9.12'de verilmiştir. F_x kuvveti için ANOVA tablosu incelendiğinde tüm faktörlerin anlamlı ($P<0,05$) olduğu görülmüştür. Faktörlerin yüzde etkilerine bakıldığında, Ap faktörü 69,03%, F faktörü 21,50%, V faktörü 6,11%, H faktörü 0,88% ve son olarak Rd faktörünün %0,66 olduğu anlaşılmaktadır. H faktörünün F_x kuvveti için etkisinin düşük (0,88%) olduğu ancak anlamlı olduğu görülmüş ve ANOVA sonucuna göre etkisinin Rd faktöründen yüksek olduğu değerlendirilmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R\text{-sq}(\text{adj})$: %97,56 olarak bulunmuştur.

Çizelge 9.12. Pozitif takımda F_x kuvveti için ANOVA sonuçları

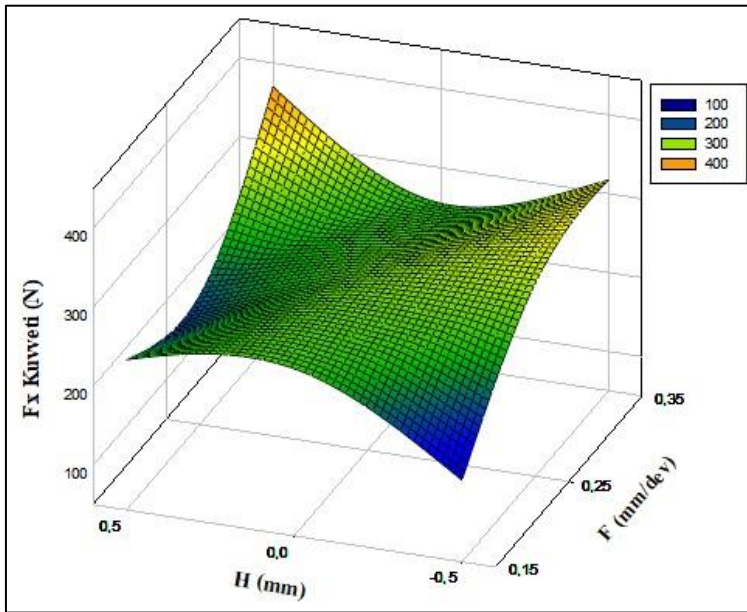
Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	1695	0,66%	1695	1694,7	9,52	0,005
V	2	15610	6,11%	15610	7805,2	43,84	0,000
F	2	54908	21,50%	54908	27454,2	154,22	0,000
Ap	2	176326	69,03%	176326	88162,8	495,23	0,000
H	2	2255	0,88%	2255	1127,3	6,33	0,006
Error	26	4629	1,81%	4629	178,0		
Total	35	255422	100,00%				

ANOVA sonucunda istatistiksel bakımdan anlamlı ($P<0,05$) olarak değerlendirilen H faktörünün ve en büyük etkiye sahip Ap ve F faktörleriyle F_x kuvvetine etkisini görmek için 3 boyutlu etki grafikleri oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.15. Pozitif takımda F_x için H - A_p etkisi

Kesme derinliğinin artmasıyla F_x kuvvetinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. H faktörü seviyelerinin, düşük kesme derinliklerinde (A_p : 0,8 mm, 1,3 mm) etkisi az olurken, yüksek kesme derinliğinde (A_p : 2 mm) kesici takımın iş parçası ekseninde (H : 0 mm) bağlanması F_x kuvvetinde azalma sağladığı belirlenmiştir. Kesici takımın iş parçası eksenini yukarısında (H : +0,5 mm) ve altında (H : -0,5 mm) bağlanması durumlarının her ikisi içinde F_x kuvvetinde artış görülmektedir.

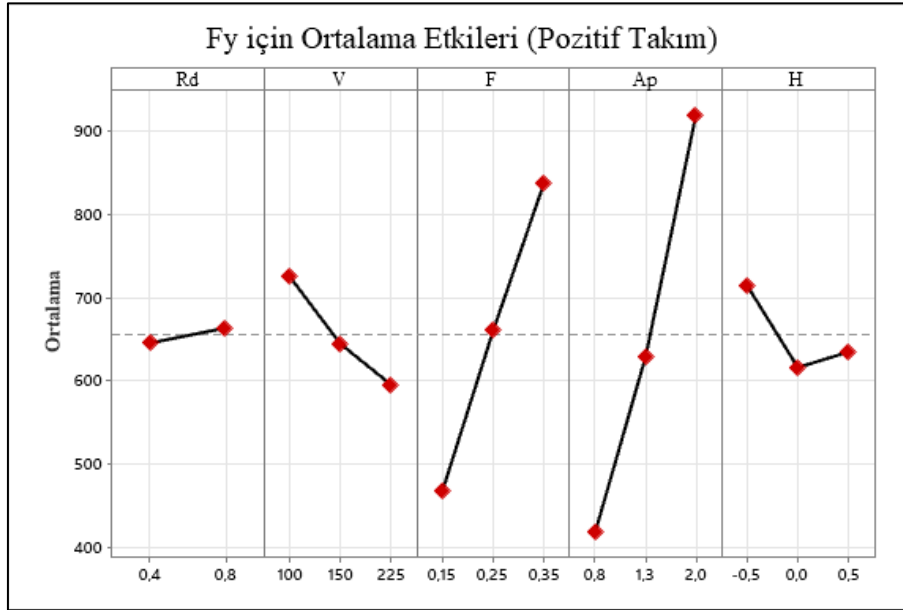


Şekil 9.16. Pozitif takımda F_x için H - F etkisi

Şekil 9.16 kesici takım yükseklik ayarı ve ilerleme miktarının F_x kuvveti için etkisi incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla F_x kuvvetinin arttığı anlaşılmaktadır. Düşük ilerleme miktarında (0,15 mm/dev) kesici takımın iş parçası eksenin altında bağlanması (H: -0,5 mm) F_x kuvvetinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. İlerleme miktarının 0,25 mm/dev'e çıkmasıyla iş parçası ekseninin altında (H: -0,5 mm) bağlanan kesici takımda, eksendeki (H: 0 mm) ve yukarıdaki (H: +0,5 mm) durumlara göre F_x kuvvetinin arttığı grafikten anlaşılmaktadır. 0,35 mm/dev ilerleme miktarında en düşük kuvvetin kesici takımın iş parçası eksenine (H: 0 mm) bağlanmasıyla elde edileceği anlaşılmaktadır.

9.2.2. Teğetsel (esas kesme) kuvvete bağlı deney sonuçları (F_y)

F_y kuvveti için yapılan Taguchi analizi sonucunda elde edilen ortalama etkilerine ait grafik Şekil 9.17'de verilmiştir.



Şekil 9.17. Pozitif takımda F_y için faktörlerin ortalama etkileri

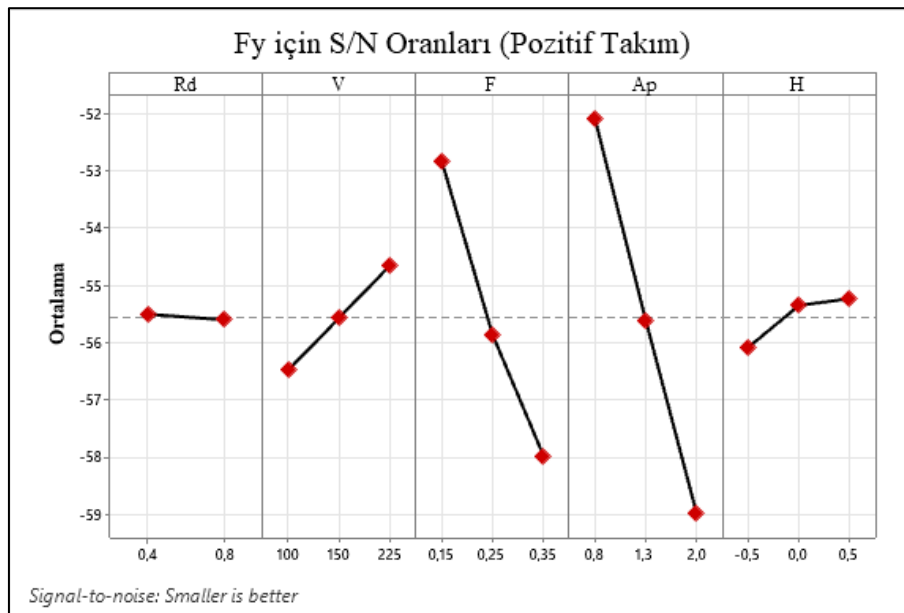
Şekil 9.17 incelendiğinde F_y kuvveti için en büyük etkiye sahip faktörlerin sırasıyla Ap ve F faktörleri olduğu anlaşılmaktadır. Etkilerin daha iyi anlaşılması için faktörlerin ortalama etki sıralamasını içeren tablo aşağıda verilmiştir (Çizelge 9.13).

Çizelge 9.13. Pozitif takımda F_y için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	645,4	726,0	467,4	418,1	715,0
2	663,6	644,7	660,5	628,8	616,1
3		595,3	838,2	919,1	634,9
Fark	18,2	130,7	370,8	501,0	98,9
Sıralama	5	3	2	1	4

Çizelge 9.13 incelendiğinde, en büyük etkiye sahip faktörün Ap olduğu görünmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla F_y kuvvetinin arttığı anlaşılmaktadır. İkinci sırada yer alan F faktörüne bakıldığında ilerleme miktarındaki artışın F_y kuvvetinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Çizelge 9.13'te üçüncü sırada V (kesme hızı) faktörü yer almıştır. V faktörü seviyeleri incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla F_y kuvvetinin azaldığı anlaşılmıştır. Dördüncü sırada yer alan H (kesici takım yükseklik ayarı) faktörü seviyeleri incelendiğinde kesici takımın iş parçası eksenini altında (H: -0,5 mm) bağlanmasıyla F_y kuvvetinin arttığı ancak iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanan kesici takımın F_y kuvvetinde azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Son sırada Rd faktörü yer almıştır ve kesici uç yarıçapının F_y kuvvetine etkisi düşük olmuştur.

F_y kuvveti için oluşturulan S/N oranları grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 9.18).

Şekil 9.18. Pozitif takımda F_y için Faktörlerin S/N oranları

F_y kuvveti için faktörlerin S/N oranları grafiği incelendiğinde (Şekil 9.18), en büyük etkiye sahip faktörlerin sırasıyla Ap ve F faktörleri olduğu anlaşılmaktadır. Rd faktörünün etkisi düşük olmuştur. S/N oranlarına ait grafik (Şekil 9.18) ortalama etkileri grafiğini (Şekil 9.17) doğrular niteliktedir. Ancak H faktöründeki değişim için Çizelge 9.14 incelenmelidir.

Çizelge 9.14. Pozitif takımda F_y için S/N oranları etki sıralaması

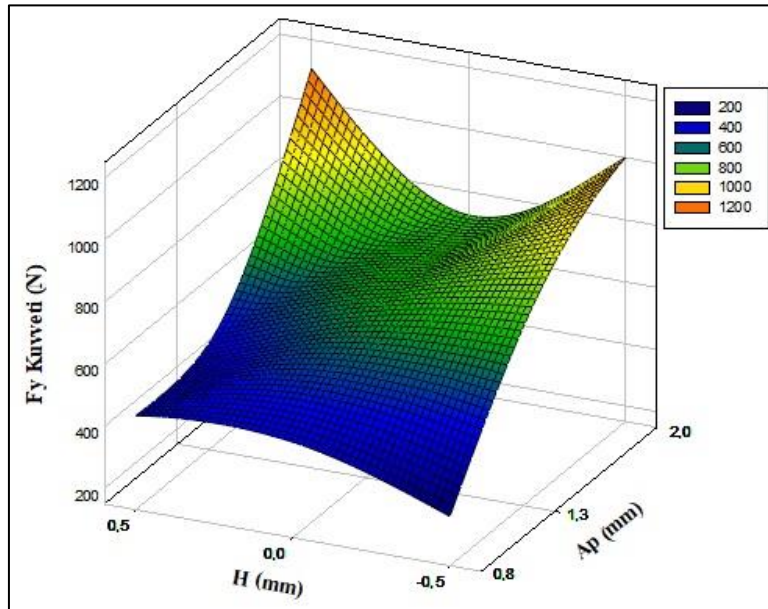
Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-55,51	-56,48	-52,84	-52,09	-56,10
2	-55,61	-55,57	-55,87	-55,62	-55,36
3		-54,65	-57,98	-58,99	-55,24
Fark	0,10	1,83	5,15	6,90	0,86
Sıralama	5	3	2	1	4

S/N oranları etki sıralaması (Çizelge 9.14) ortalama etki sıralamasını (Çizelge 9.13) H faktörü dışında desteklediği görünmektedir. Ortalama etki sıralaması tablosunda (Çizelge 9.13) H faktörü için en düşük değeri iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanan kesici takım verirken, burada S/N oranları etki sıralamasını içeren tabloda (Çizelge 9.14) iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanması daha uygun olmuştur. S/N oranları daha güvenilir bulunduğundan değerlendirme yapılırken H faktörü için Seviye 3 (H: +0,5 mm) değeri dikkate alınacaktır. Çizelge 9.14'te yer alan S/N oranları incelendiğinde etki sıralamasının Ap, F, V, H ve Rd şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama ve S/N oranları etki sıralamasını gösteren Çizelge 9.13 ve 9.14'e göre F_y kuvveti için en uygun faktör seviye değerleri $Rd_1V_3F_1Ap_1H_3$ olarak tespit edilmiştir. F_y (teğetsel (esas kesme) kuvvet)'nin en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,4 mm) küçük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) veya iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanmalıdır. F_y kuvveti için yapılan ANOVA sonucuna ait değerler Çizelge 9.15'te verilmiştir.

Çizelge 9.15. Pozitif takımda F_y kuvveti için ANOVA sonuçları

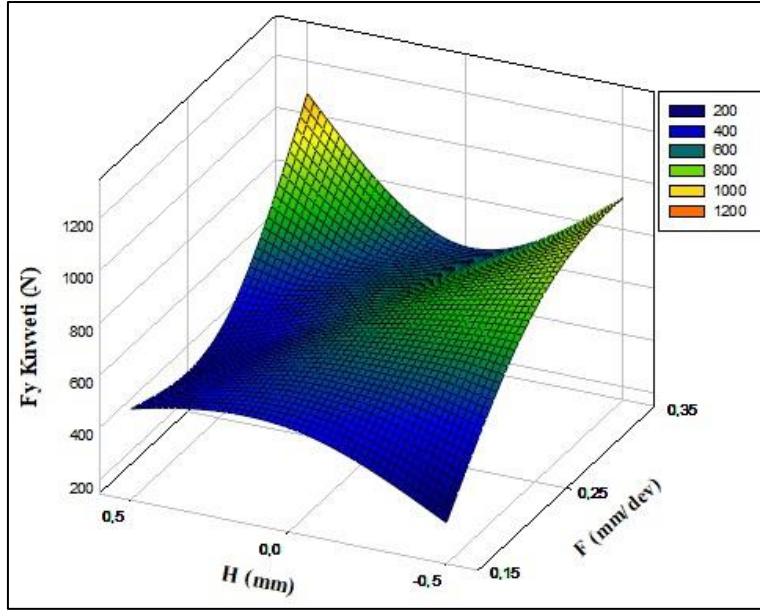
Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	856	0,03	856	856	0,35	0,559
V	2	15908	0,54	15908	7954	3,26	0,054
F	2	1052763	35,98	1052763	526381	215,94	0,000
Ap	2	1757201	60,06	1757201	878600	360,44	0,000
H	2	35471	1,21	35471	17735	7,28	0,003
Hata	26	63377	2,17	63377	2438		
Toplam	35	2925576	100,00				

Çizelge 9.15 incelendiğinde Ap, F, H faktörlerinin istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olduğu ancak V ve Rd faktörlerinin anlamlı ($P > 0,05$) olmadığı anlaşılmıştır. Faktör etkileri sırasıyla, Ap (60,06%), F (35,98%), H (1,21%), V (0,54%) ve Rd (0,03%) şeklinde oluşmuştur. Oluşturulan model için belirleme katsayısı R-sq(adj): %97,08 olarak bulunmuştur. ANOVA sonucunda F_y kuvveti için H (kesici takım yükseklik ayarı) faktörünün Rd (kesici uç yarıçapı) ve V (kesme hızı) faktörlerinden daha etkili olduğu anlaşılmıştır. H faktörünün, en büyük etkiye sahip Ap ve F faktörleri ile F_y kuvvetine etkisini görmek için 3 boyutlu etki grafikleri aşağıda verilmiştir.

Şekil 9.19. Pozitif takımda F_y için H - Ap etkisi

Şekil 9.19'da kesici takım yükseklik ayarı (H) ve kesme derinliği (Ap) faktörlerinin etkileri verilmiştir. Kesme derinliğinin artmasıyla F_y kuvvetinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. H faktörü seviyelerinin, düşük kesme derinliklerinde (0,8 mm, 1,3 mm)

etkisi az olurken yüksek kesme derinliğinde (2 mm) kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasının F_y kuvvetinde azalma sağladığı belirlenmiştir. Kesici takımın iş parçası eksenini yukarısında (H: +0,5 mm) ve altında (H: -0,5 mm) bağlanması durumlarının her ikisi içinde yüksek kesme derinliğinde F_y kuvvetinin arttığı etki grafiğinden (Şekil 9.19) anlaşılmaktadır.

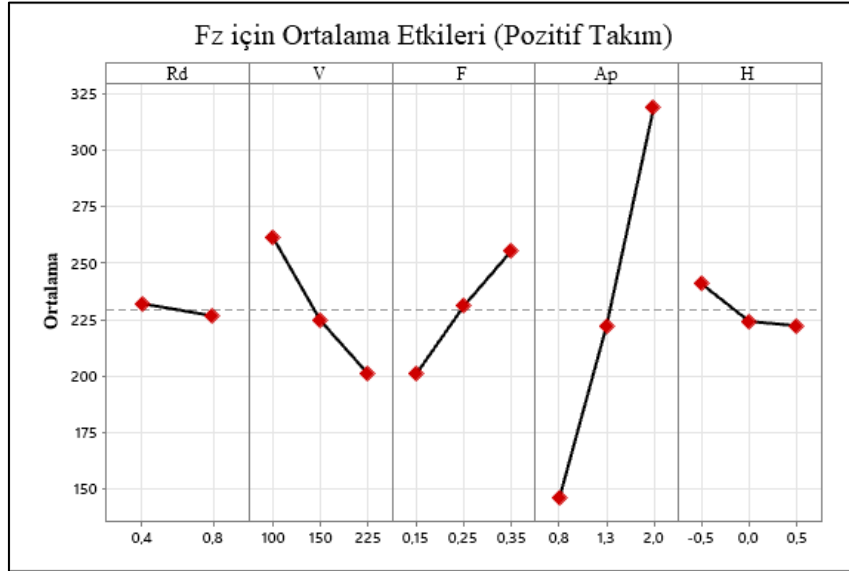


Şekil 9.20. Pozitif takımda F_y için H - F etkisi

Şekil 9.20 kesici takım yükseklik ayarı ve ilerleme miktarının F_y kuvveti için etkisi incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla F_y kuvvetinin arttığı anlaşılmaktadır. Düşük ilerleme miktarında (0,15 mm/dev) kesici takımın iş parçası eksenin altında bağlanmasının (H: -0,5 mm) F_y kuvvetinde azalma meydana getirdiği görülmektedir. İlerleme miktarının 0,25 mm/dev'e çıkmasıyla iş parçası eksenin altında (H: -0,5 mm) bağlanan kesici takımda, eksenindeki (H: 0 mm) ve yukarıdaki (H: +0,5 mm) durumlara göre F_y kuvvetinin arttığı belirlenmiştir. 0,35 mm/dev ilerleme miktarında kesici takımın iş parçası eksenine (H: 0 mm) bağlanmasıyla F_y kuvvetinin azalacağı grafikte görülmektedir.

9.2.3. İlerleme kuvvetine bağlı deney sonuçları (F_z)

F_z kuvveti için yapılan Taguchi analizi sonucunda elde edilen ortalama etkilerine ait grafik Şekil 9.21’de verilmiştir.



Şekil 9.21. Pozitif takımda faktörlerin F_z için ortalama etkileri

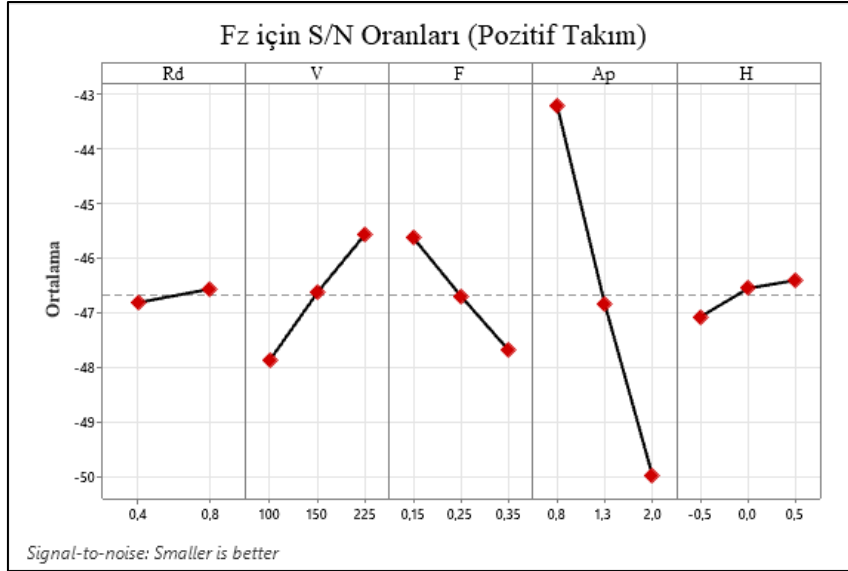
Şekil 9.21’de F_z kuvveti için en büyük etkiye sahip faktörün Ap olduğu açık olarak görülmektedir. Kesme derinliğinin artmasıyla F_z kuvvetinin arttığı grafikten anlaşılmaktadır. Şekil 9.21’in daha iyi anlaşılabilmesi için faktörlerin ortalama etki sıralamasını da içeren tablo (Çizelge 9.16) aşağıda verilmiştir.

Çizelge 9.16. Pozitif takımda F_z için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	232,0	261,7	200,8	145,8	240,8
2	226,7	224,6	231,0	222,3	224,2
3		201,0	255,6	319,2	222,3
Fark	5,4	60,8	54,8	173,3	18,5
Sıralama	5	2	3	1	4

Çizelge 9.16 incelendiğinde birinci sırada yer alan Ap (kesme derinliği) faktörünün tüm seviyeleri için kesme derinliğinin artmasıyla F_z kuvvetinin de artacağı görülmektedir. İkinci sırada yer alan V (kesme hızı) faktörü seviyelerine bakıldığında, kesme hızının artmasının F_z kuvvetinde azalma sağlayacağı anlaşılmıştır. F_z kuvveti için üçüncü sırada F (ilerleme

miktarı) faktörü yer almaktadır. İlerleme miktarının artışının F_z kuvvetinde artışa sebep olacağı görülmektedir. Kesici takım yükseklik ayarı (H) faktörü Çizelge 9.16'da dördüncü sırada yer almaktadır. Kesici takımın iş parçası eksenine altında (H: -0,5 mm) bağlanmasıyla F_z kuvvetinde artış meydana geleceği ortalama etki sıralaması tablosundan anlaşılmaktadır. Rd faktörünün F_z kuvvetinde etkisi düşük olmuş ve son sırada yer almıştır.



Şekil 9.22. Pozitif takımda faktörlerin F_z için S/N oranları

Şekil 9.22'de verilen S/N oranları grafiği de Şekil 9.21 ile benzerlik taşımaktadır. Burada da en büyük değişim Ap faktöründe olmuştur.

Çizelge 9.17. Pozitif takımda F_z için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-46,81	-47,86	-45,63	-43,20	-47,07
2	-46,56	-46,61	-46,70	-46,84	-46,55
3		-45,55	-47,69	-49,98	-46,40
Fark	0,25	2,31	2,06	6,78	0,67
Sıralama	5	2	3	1	4

Çizelge 9.17 incelendiğinde S/N oranlar sıralaması Çizelge 9.16 ile aynıdır ve faktörlerin etki oranları sırasıyla Ap, V, F, H ve Rd şeklinde olmuştur. Çizelge 9.16 ve 9.17 incelendiğinde F_z kuvveti için en iyi faktör seviyeleri $Rd_2V_3F_1Ap_1H_3$ şeklinde olmuştur. F_z (ilerleme kuvveti)'nin en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,8 mm) arttırılmalı, kesme hızı (225 m/dak) yüksek seçilmeli, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede

tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) veya iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanmalıdır.

F_z kuvveti için faktörlerin etki değerlerini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır ve Çizelge 9.18’de verilmiştir.

Çizelge 9.18. Pozitif takımda F_z kuvveti için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	377	0,16	377	377,0	1,88	0,183
V	2	8670	3,70	8670	4335,0	21,57	0,000
F	2	28705	12,24	28705	14352,5	71,40	0,000
Ap	2	190814	81,38	190814	95406,9	474,63	0,000
H	2	668	0,28	668	334,0	1,66	0,209
Hata	26	5226	2,23	5226	201,0		
Toplam	35	234460	100,00				

F_z kuvveti için ANOVA tablosu (Çizelge 9.18) incelendiğinde en büyük etkiye sahip faktörün Ap (kesme derinliği) olduğu anlaşılmıştır (etki: 81,38%). Ap faktörünü sırasıyla F (etki: 12,24%), V (etki: 3,70%), H (etki: 0,28 %) ve Rd (0,16%) faktörleri izlemiştir. Ap, F ve V faktörlerinin anlamlı olduğu ($P < 0,05$) ancak H ve Rd faktörlerinin istatistiksel olarak anlamsız olduğu ($P > 0,05$) değerlendirilmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı R^2_{adj} : %97,00 olarak bulunmuştur.

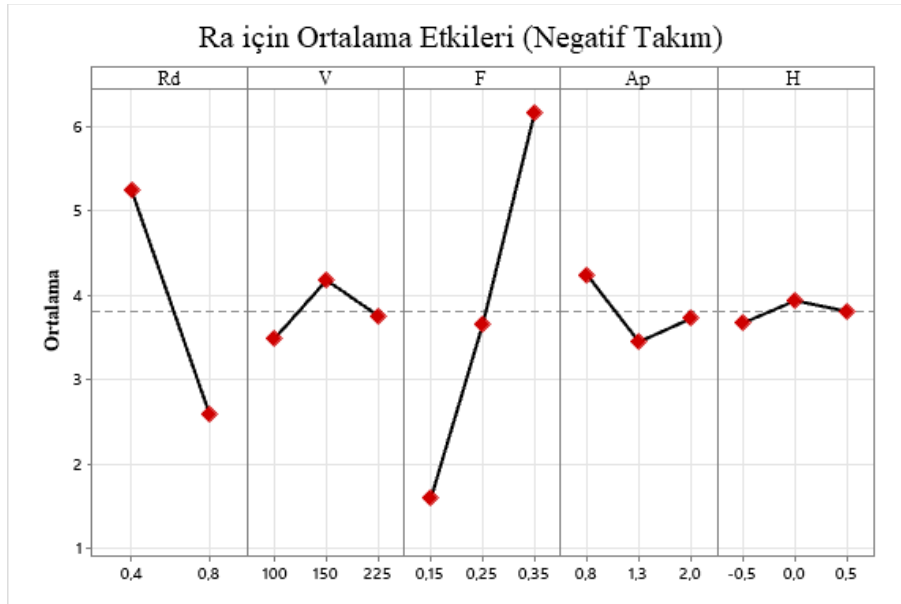
9.2.4. Pozitif takıma etki eden kuvvetlerin sebep-sonuç ilişkisi

Pozitif takımla yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama etkiler ve S/N oranları tablolarına göre kesici takımın iş parçası ekseninde (H: -0,5 mm) bağlanmasıyla tüm kesme kuvveti bileşenlerinin ($F_x(F_r)$, $F_y(F_t)$, $F_z(F_f)$) artış yönünde olduğu görülmüştür. Bu artış, kesici uç formu üzerindeki açıların iş parçası eksenine bağlı değişmesinden kaynaklanan talaş-temas uzunluğundaki farklılığın etkisi olduğuna atfedilmiştir (Duran ve Acır, 2004; Günay ve diğerleri, 2004; Mavi ve Uzun, 2017; Memiş ve Turgut, 2020; Sekmen, 2013; Thomsen ve diğerleri, 1962). Kesme derinliği ve ilerleme miktarının artmasıyla kesme kuvvetlerinde oluşan artışın kaldırılan talaş hacminden kaynaklandığı bilinmektedir. Kesme hızının artışıyla kuvvetlerde azalma meydana gelmiştir. Kesme hızının artmasıyla oluşan kuvvetlerdeki azalma, kesici kenarda oluşan yığıntı talaşın (BUE) azalmasına atfedilmiştir. Kesme hızının artmasıyla, belirli bir düzeye kadar artan sıcaklığın

etkisiyle, iş parçasının kopma direncinin azalması da kuvvetlerin azalmasına olanak sağlamıştır(Korkut ve diğerleri, 2004). Kesici uç yarıçapının etkisinin düşük olduğu görülmüş ve bu düşük etki küçük yavaşma açısına (45°) sahip kesici takımında, kuvvetlerin kesici kenar boyunca dengeli dağılımından kaynaklanmasına atfedilmiştir (Hwang ve diğerleri, 2013).

9.3. Negatif Takım İçin Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi (Ra)

Yüzey pürüzlülüğünün kontrolünde, ölçüm cihazıyla elde edilen Ra (ortalama pürüzlük değeri) değerleri kullanılmıştır (Bkz. EK-8). Taguchi analiziyle elde edilen ortalama etkiler grafiği (Şekil 9.23) ve etki sıralamasını içeren tablo (Çizelge 9.19) aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.23. Negatif takımında faktörlerin Ra için ortalama etkileri

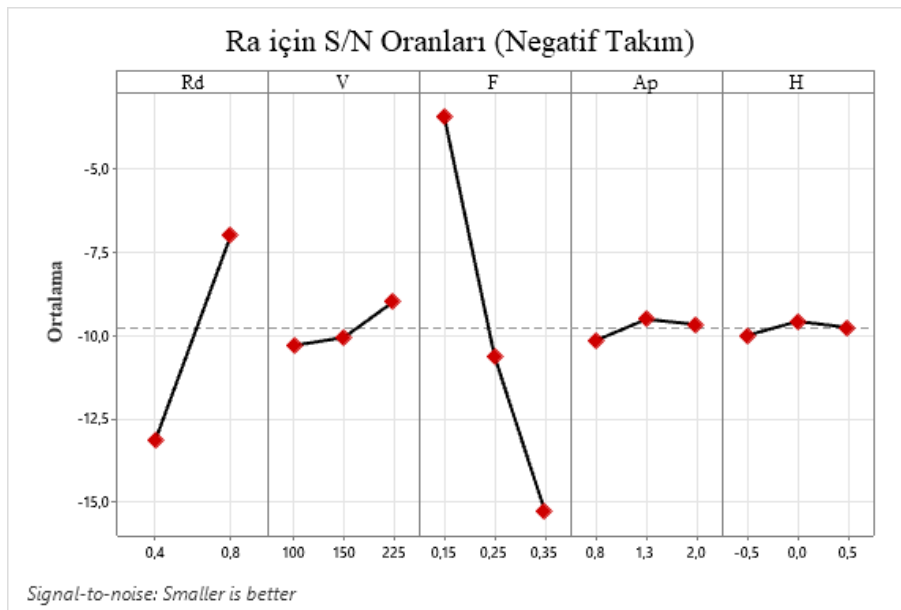
Çizelge 9.19. Negatif takımında Ra için ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	5,250	3,485	1,592	4,242	3,671
2	2,601	4,177	3,656	3,448	3,935
3		3,753	6,167	3,725	3,809
Fark	2,650	0,692	4,575	0,795	0,264
Sıralama	2	4	1	3	5

Şekil 9.23 ve Çizelge 9.19 incelendiğinde, en etkili faktörün F (ilerleme miktarı) olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı

anlaşılmaktadır. İkinci sırada yer alan Rd (uç yarıçapı) faktöründe uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde azalma olacağı grafik (Şekil 9.23) ve tablodan (Çizelge 9.19) belirlenmiştir. Rd faktöründen sonra en etkili faktör Ap (kesme derinliği) olmuştur. Kesme derinliğinin 0,8 mm'den 1,3 mm'ye artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı ancak 1,3 mm'den 2 mm'ye artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde tekrar artış olduğu görülmektedir. V (kesme hızı) faktöründe en düşük kesme hızında (100 m/dak) yüzey pürüzlülük değerinin düşük olacağı ortalama etki grafiği (Şekil 9.23) ve etki sıralaması tablosundan (Çizelge 9.19) anlaşılmaktadır. Çizelge 9.19'da son sırada H (takım yükseklik ayarı) faktörü yer almaktadır. Yüzey pürüzlülük değeri içim kesici takım yükseklik ayarının etkisi düşük olmuştur.

Yüzey pürüzlülük değerine (Ra) ait S/N oranları grafiği (Şekil 9.24) ve S/N oranları etki sıralamasını gösteren tablo (Çizelge 9.20) aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.24. Negatif takımda faktörlerin Ra için S/N oranları

Çizelge 9.20. Negatif takımda Ra için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-13,146	-10,304	-3,421	-10,160	-10,005
2	-6,984	-10,068	-10,641	-9,521	-9,582
3		-8,983	-15,293	-9,674	-9,768
Fark	6,161	1,322	11,872	0,639	0,423
Sıralama	2	3	1	4	5

Şekil 9.24 ve Çizelge 9.20 incelendiğinde, burada da en büyük etki sırasıyla F ve Rd faktörlerinde olmuştur. Çizelge 9.20 yardımıyla Çizelge 9.19 doğrulanmıştır. Ancak V faktörü sıralamada farklılık göstermektedir. V (kesme hızı) faktörü seviyeleri incelendiğinde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmektedir. Benzer bir durum H (takım yükseklik ayarı) faktörü içinde görünmekte ve kesici takımın iş parçası ekseninde bağlanmasıyla pürüzlülük değerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Analiz sonucunun değerlendirilmesinde S/N oranlarının kullanılması daha uygun görülmüştür.

Çizelge 9.20'deki değerler göz önünde bulundurulduğunda negatif kesici takım için en uygun faktör ve seviyeleri $Rd_2V_3F_1Ap_2H_2$ olarak belirlenmiştir. R_a (yüzey pürüzlülüğü)'nın en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,8 mm) büyük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (1,3 mm) belirli bir orana kadar düşürülmelidir ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmalıdır.

Yüzey pürüzlülük değeri için faktörlerin etki değerlerini belirlemede ANOVA yöntemi kullanılmıştır ve sonuçlar Çizelge 9.21'de verilmiştir.

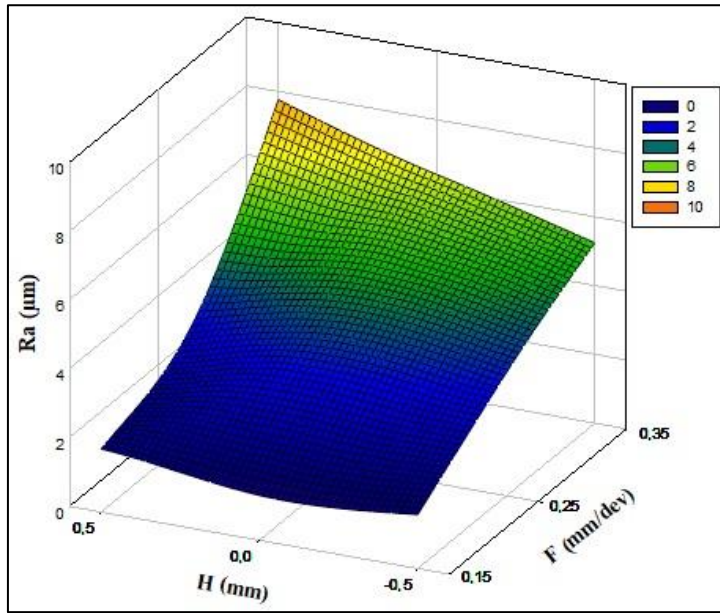
Çizelge 9.21. Negatif takımda R_a için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	64,294	29,64	64,294	64,2937	271,72	0,000
V	2	5,789	2,67	5,789	2,8945	12,23	0,000
F	2	135,578	62,51	135,578	67,7891	286,49	0,000
Ap	2	2,101	0,97	2,101	1,0507	4,44	0,022
H	2	2,978	1,37	2,978	1,4889	6,29	0,006
Hata	26	6,152	2,84	6,152	0,2366		
Toplam	35	216,892	100,00				

ANOVA sonuçları (Çizelge 9.21) incelendiğinde tüm faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olduğu anlaşılmaktadır. En büyük etkiye sahip faktörler F (%62,51) ve Rd (%29,64) olmuştur. F ve Rd faktöründen sonra sırasıyla faktörlerin etkileri V (%2,67), H (%1,37) ve Ap (%0,97) olarak görülmektedir. H (takım yükseklik ayarı) faktörü etkisi Ap (kesme derinliği) faktöründen daha yüksektir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R^2_{sq(adj)}$: %96,18 olarak bulunmuştur.

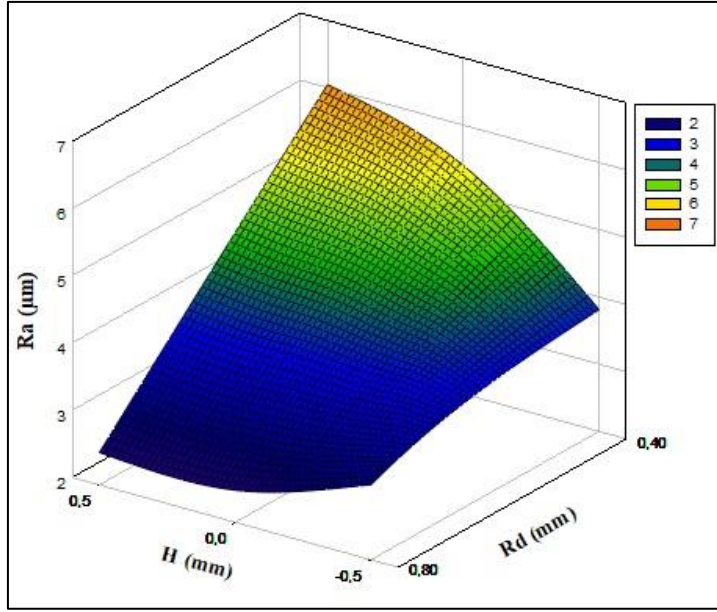
ANOVA sonucunda istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olduğu değerlendirilen H (takım yükseklik ayarı) faktörünün, en büyük etki değerine sahip F (ilerleme miktarı) ve Rd (uç yarıçapı) faktörleriyle ile yüzey pürüzlülüğüne etkisini değerlendirmek için oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir.

Şekil 9.25'te kesici takım yükseklik ayarı (H) ve ilerleme miktarı (F) faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü için etkisi verilmiştir.



Şekil 9.25. Negatif takımda R_a için H - F etkisi

Şekil 9.25 incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. H faktörü seviyelerinin, düşük ilerleme miktarlarında (0,15 mm/dev, 0,25 mm/dev) etkisi az olurken yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) kesici takımın iş parçası ekseninden yukarıda (H : +0,5 mm) bağlanmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttırdığı grafikten anlaşılmaktadır.

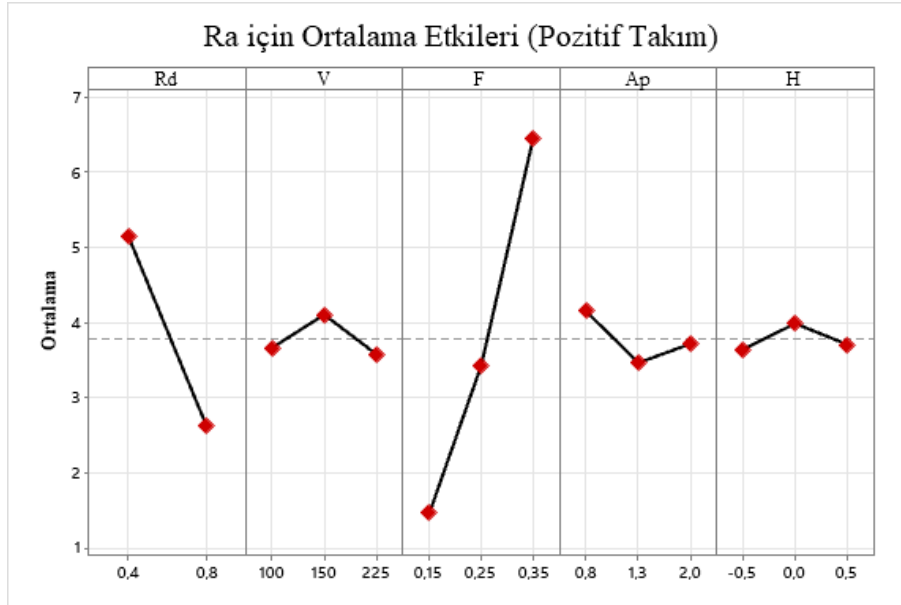


Şekil 9.26. Negatif takımında Ra için H - Rd etkisi

Şekil 9.26 kesici takım yükseklik ayarı ve uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğü için etkisi incelendiğinde, uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. 0,4 mm uç yarıçapında kesici takımın iş parçası ekseninden yukarıda bağlanmasının yüzey pürüzlülük değerini arttırdığı ve eksen altında bağlanan kesici takımında yüzeyde pürüzlülük değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, artan talaş açısı nedeniyle zayıflayan kesici kenarda oluşan aşınmaya ve küçük uç yarıçapına sahip kesici uca etki eden ısı birikmesinin dengeli dağılamamasına atfedilmiştir (Kayır ve diğerleri, 2014; Korkut ve diğerleri, 2004).

9.4. Pozitif Takım İçin Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi (Ra)

Yüzey pürüzlülüğünün kontrolünde ölçüm cihazıyla elde edilen Ra (ortalama pürüzlülük değeri) değeri kullanılmıştır (Bkz. EK-9). Taguchi analiziyle elde edilen ortalama etkiler grafiği (Şekil 9.27) ve etki sıralamasını içeren tablo (Çizelge 9.22) aşağıda verilmiştir.



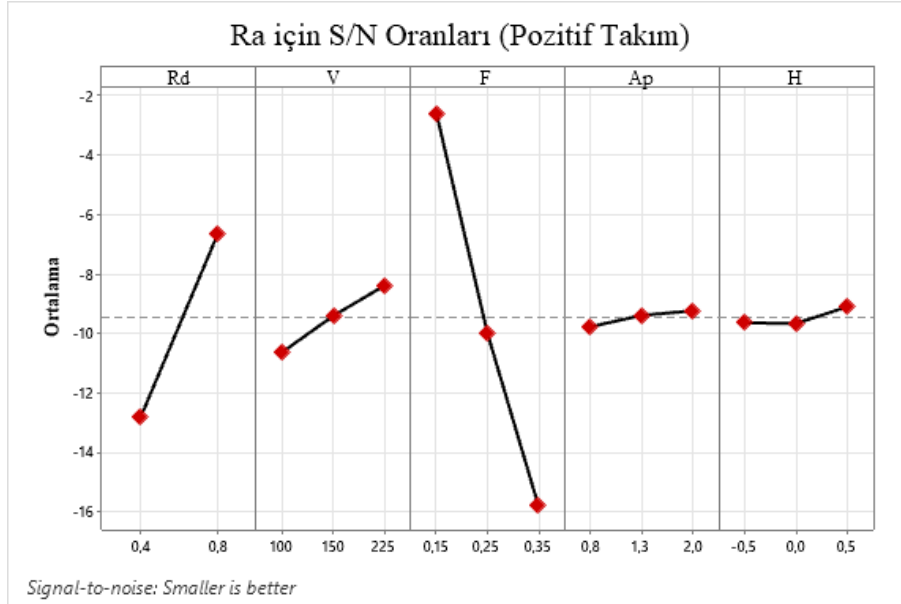
Şekil 9.27. Pozitif takımın faktörlerin Ra için ortalama etkileri

Çizelge 9.22. Pozitif takımın Ra için ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	5,154	3,659	1,459	4,156	3,644
2	2,634	4,105	3,428	3,464	3,987
3		3,575	6,451	3,718	3,706
Fark	2,520	0,530	4,992	0,692	0,343
Sıralama	2	4	1	3	5

Şekil 9.27 ve Çizelge 9.22 incelendiğinde, en etkili faktörün F (ilerleme miktarı) olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı anlaşılmaktadır. İkinci sırada yer alan Rd (uç yarıçapı) faktöründe uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde azalma olacağı grafik (Şekil 9.27) ve tablodan (Çizelge 9.22) belirlenmiştir. Rd faktöründen sonra etkili faktör Ap (kesme derinliği) olmuştur. Kesme derinliğinin 0,8 mm'den 1,3 mm'ye artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı ancak 1,3 mm'den 2 mm'ye artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerinde tekrar artış olduğu görülmektedir. V (kesme hızı) faktöründe kesme hızının belirli bir orana (150 m/dak) artırılmasının yüzey pürüzlülük değerini arttırdığı ancak artan kesme hızıyla (225 m/dak) tekrar azalma gösterdiği görülmektedir. Çizelge 9.22'de son sırada H (takım yükseklik ayarı) faktörü yer almaktadır. Yüzey pürüzlülük değeri için kesici takım yükseklik ayarının etkisi düşük olmuştur.

Yüzey pürüzlülük değerine (Ra) ait S/N oranları grafiği (Şekil 9.28) ve S/N oranları etki sıralaması (Çizelge 9.23) aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.28. Pozitif takımın faktörlerin Ra için S/N oranları

Çizelge 9.23. Pozitif takımın Ra için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-12,843	-10,635	-2,604	-9,782	-9,650
2	-6,664	-9,403	-10,008	-9,396	-9,663
3		-8,380	-15,807	-9,241	-9,106
Fark	6,179	2,255	13,203	0,541	0,558
Sıralama	2	3	1	5	4

Şekil 9.28 ve Çizelge 9.23 incelendiğinde, burada da en büyük etki sırasıyla F ve Rd faktörlerinde olmuştur. Ancak V, H ve Ap faktörleri sıralamada farklılık göstermektedir. V (kesme hızı) faktörü seviyeleri incelendiğinde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmektedir ve üçüncü sırada yer almaktadır. H faktörü dördüncü sıralamada yer almakta ve Ap faktöründen daha etkili olduğu görülmektedir. Kesici takımın iş parçası ekseninde yukarısında (+0,5 mm) bağlanmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı belirlenmiştir. Analiz sonucunun değerlendirilmesinde S/N oranlarının kullanılması daha uygun görülmüştür.

Çizelge 9.22 ve 9.23'teki değerler göz önünde bulundurulduğunda pozitif kesici takım için en uygun faktör ve seviyeleri $Rd_2V_3F_1Ap_2H_3$ olarak belirlenmiştir. Ra (yüzey

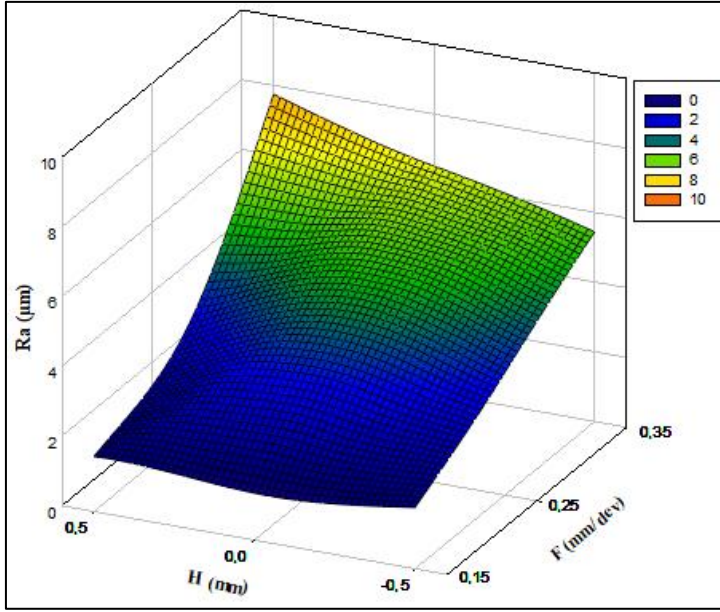
pürüzlülüğü)'nın en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,8 mm) büyük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) düşük olmamalı ve kesici takım iş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanmalıdır.

Yüzey pürüzlülük değeri için faktörlerin etki değerlerini belirlemede ANOVA yöntemi kullanılmıştır ve sonuçlar Çizelge 9.24'te verilmiştir.

Çizelge 9.24. Pozitif takımda Ra için ANOVA sonuçları

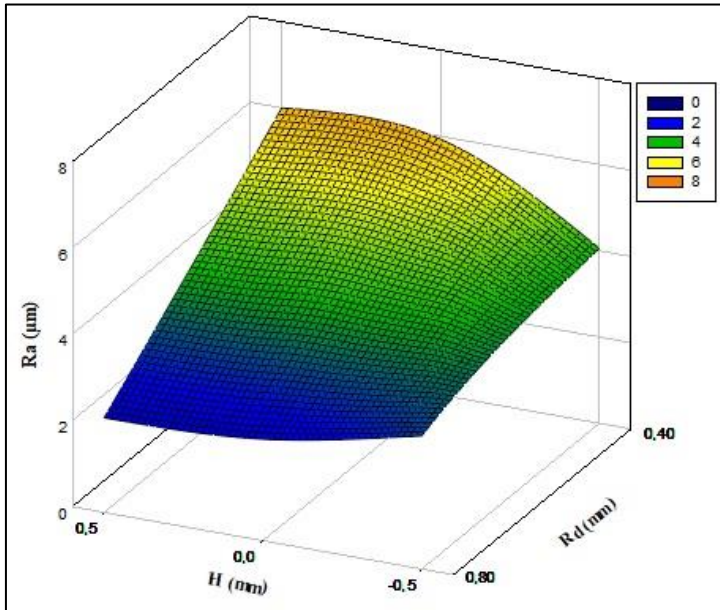
Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	56,701	24,29	56,701	56,7009	229,50	0,000
V	2	2,736	1,17	2,736	1,3681	5,54	0,010
F	2	162,469	69,60	162,469	81,2344	328,81	0,000
Ap	2	2,208	0,95	2,208	1,1038	4,47	0,021
H	2	2,891	1,24	2,891	1,4456	5,85	0,008
Hata	26	6,423	2,75	6,423	0,2471		
Toplam	35	233,428	100,00				

ANOVA sonuçları (Çizelge 9.24) incelendiğinde Ap faktörünün istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). Diğer faktörlerin anlamlı olduğu ($P<0,05$) görülmüş ve sıralaması F (%69,60), Rd (%24,29), V (%1,17) ve H (%1,24) şeklinde görünmektedir. En büyük etkiye sahip faktörler F ve Rd olmuştur. Oluşturulan model için belirleme katsayısı R^2 (adj): %96,30 olarak bulunmuştur. ANOVA sonucunda istatistiksel olarak anlamlı ($P<0,05$) olduğu değerlendirilen H (takım yükseklik ayarı) faktörünün, en büyük etki değerine sahip F (ilerleme miktarı) ve Rd (uç yarıçapı) faktörleriyle yüzey pürüzlülük değerine etkisi için oluşturulan 3 boyutlu grafikler aşağıda verilmiştir. Şekil 9.29'da kesici takım yükseklik ayarı (H) ve ilerleme miktarı (F) faktörlerinin etkisi verilmiştir.



Şekil 9.29. Pozitif takımda R_a için H - F etkisi

Şekil 9.29 incelendiğinde, ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. H faktörü seviyelerinin, düşük ilerleme miktarlarında (0,15 mm/dev, 0,25 mm/dev) etkisi az olurken yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) kesici takımın iş parçası ekseninden yukarıda (H : +0,5 mm) bağlanmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir.

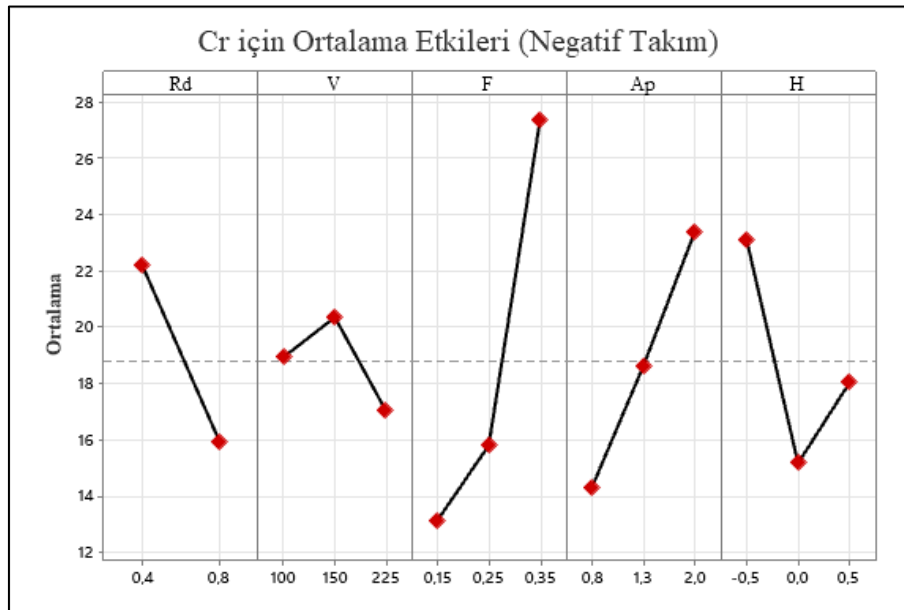


Şekil 9.30. Pozitif takımda R_a için H - R_d etkileşimi

Şekil 9.30 kesici takım yükseklik ayarı ve uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğü için etkisi incelendiğinde, uç yarıçapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. 0,4 mm uç yarıçapında kesici takımın iş parçası ekseninden yukarıda bağlanması yüzey pürüzlülük değerini arttırmıştır ve eksen altında bağlanan kesici takımla yüzey pürüzlülük değeri daha düşük olmuştur. Bu durum, artan talaş açısı nedeniyle zayıflayan kesici kenarda oluşan aşınmaya ve küçük uç yarıçapına sahip kesici uca etki eden ısı birikmesinin dengeli dağılamamasına atfedilmiştir (Kayır ve diğerleri, 2014; Korkut ve diğerleri, 2004; Outeiro, Dias, Lebrun ve Astakhov, 2002).

9.5. Negatif Takım İçin Dairesellik Sapması Değerlendirilmesi (Cr)

Dairesellik ölçümünden elde edilen dairesellik sapma değerleriyle (Cr) (Bkz. EK-8) Taguchi analizinde oluşturulan ortalama etkiler grafiği (Şekil 9.31) ve faktörlerin ortalama etki sıralamasını içeren tablo (Çizelge 9.25) aşağıda verilmiştir.



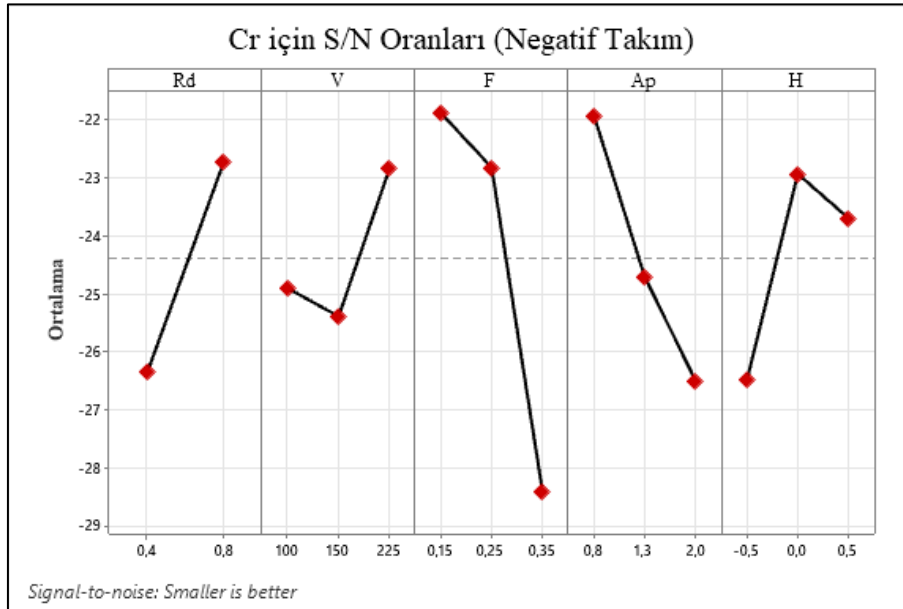
Şekil 9.31. Negatif takımın faktörlerin Cr için ortalama etkileri

Çizelge 9.25. Negatif takımın Cr için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	22,20	18,95	13,14	14,32	23,14
2	15,94	20,36	15,82	18,64	15,18
3		17,05	27,41	23,41	18,05
Fark	6,26	3,32	14,27	9,09	7,95
Sıralama	4	5	1	2	3

Şekil 9.31 ve Çizelge 9.25 incelendiğinde, en büyük etki F (ilerleme miktarı) faktöründe görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla dairesellik sapma değerinin arttığı belirgin olarak anlaşılmaktadır. İlerleme miktarının artışıyla yüzey pürüzlülük değerinin artması ve buna bağlı olarak dairesellik sapma değerinin yükselmesi beklenen bir durumdur. İkinci sırada yer alan Ap (kesme derinliği) faktöründe kesme derinliğinin artmasının dairesellik sapmasını arttırdığı görülmektedir. Kaldırılan talaş hacminin artmasıyla artan kesme kuvveti iş parçası daireselliğini olumsuz etkilemiştir. H (takım yükseklik ayarı) faktöründe kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasıyla dairesellik sapmasında azalma görülmüştür. İş parçası ekseninde (H: -0,5 mm) bağlanan kesici takımda, dairesellik sapmasının artması değişen form açılarının kesme kuvvetini arttırmasına atfedilmiştir (Chanthana ve Tangjitsitharoen, 2015; Hadi, Varghese ve İbrahim, 2009; Rico, Naranjo, Noriega, Martínez ve Vidal, 2010). Rd (uç yarıçapı) faktöründe uç yarıçapının küçülmesinin dairesellik sapmasını arttıracakları belirlenmiştir. Çizelge 9.25'te son sırada yer alan V (kesme hızı) faktöründe kesme hızının artmasıyla dairesellik sapması azalma göstermiştir.

Dairesellik sapmasına (Cr) ait S/N oranları grafiği (Şekil 9.32) ve S/N oranları etki sıralaması (Çizelge 9.26) aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.32. Negatif takımın faktörlerin Cr için S/N oranları

Çizelge 9.26. Negatif takımında Cr için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-26,36	-24,91	-21,89	-21,93	-26,50
2	-22,74	-25,39	-22,83	-24,71	-22,94
3		-22,85	-28,43	-26,51	-23,71
Fark	3,62	2,55	6,53	4,58	3,55
Sıralama	3	5	1	2	4

Şekil 9.32 ve Çizelge 9.26 incelendiğinde, en büyük etki F (ilerleme miktarı) faktöründe görülmektedir. Şekil 9.32 ve Şekil 9.31 benzerlik taşımaktadır. Ancak Çizelge 9.25'te üçüncü sırada yer alan H (takım yükseklik ayarı) faktörü Çizelge 9.26'da dördüncü sırada yer almıştır. Bu nedenle değerlendirme yapılırken S/N oranlarına ait sıralamayı içeren Çizelge 9.26 dikkate alınacaktır.

Çizelge 9.26'daki değerler göz önünde bulundurulduğunda negatif kesici takım için en uygun faktör ve seviyeleri $Rd_2V_3F_1Ap_1H_2$ olarak belirlenmiştir. Cr (dairesellik sapması)'nin en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,8 mm) büyük seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmalıdır.

Dairesellik sapması için faktörlerin etki değerlerini belirlemede ANOVA yöntemi kullanılmıştır ve sonuçlar Çizelge 9.27'de verilmiştir.

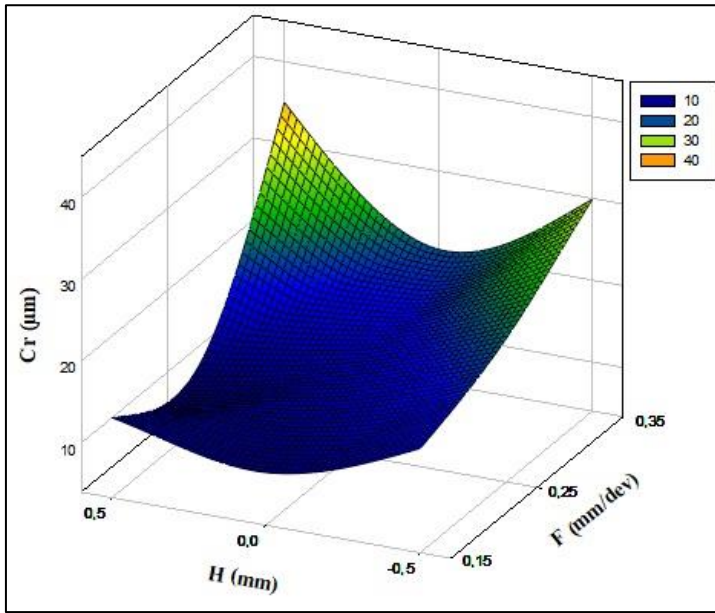
Çizelge 9.27. Negatif takımında Cr için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	400,00	12,36	400,00	400,000	36,86	0,000
V	2	7,39	0,23	7,39	3,694	0,34	0,715
F	2	1559,06	48,16	1559,06	779,528	71,83	0,000
Ap	2	636,22	19,65	636,22	318,111	29,31	0,000
H	2	352,39	10,89	352,39	176,194	16,24	0,000
Hata	26	282,17	8,72	282,17	10,853		
Toplam	35	3237,22	100,00				

ANOVA sonuçları (Çizelge 9.27) incelendiğinde, V (kesme hızı) faktörü haricinde tüm faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olduğu değerlendirilmiştir. En büyük etkiye sahip faktör F (ilerleme miktarı) olmuştur. Bunu sırasıyla Ap (%19,65), Rd (%12,36) ve H

(%10,89) takip etmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R\text{-sq}(\text{adj})$: %88,27 olarak bulunmuştur.

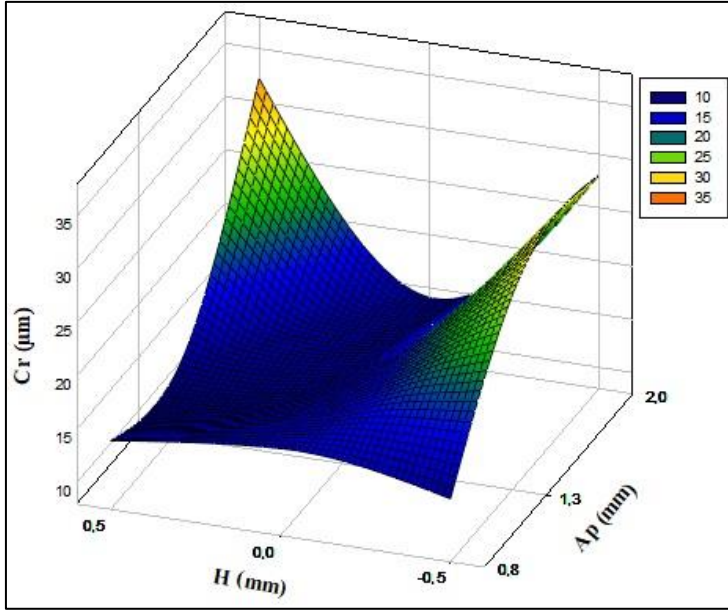
H (takım yükseklik ayarı) faktörünün F (ilerleme miktarı), Ap (kesme derinliği) ve Rd (uç yarıçapı) faktörleriyle Cr (dairesellik sapması)'ye olan etkisinin görülmesi için 3 boyutlu grafikler oluşturulmuştur. Takım yükseklik ayarının ilerleme miktarıyla dairesellik sapmasına etkisi Şekil 9.33'te verilmiştir.



Şekil 9.33. Negatif takımda Cr için H-F etkisi

Şekil 9.33 incelendiğinde, ilerleme miktarının artışıyla dairesellik sapmasının da arttığı görülmektedir. Düşük ilerleme miktarlarında (0,15 mm/dev, 0,25 mm/dev) kesici takım yükseklik ayarının etkisinin miktarı az olmuş ancak yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasıyla dairesellik sapmasının daha düşük olduğu görülmektedir.

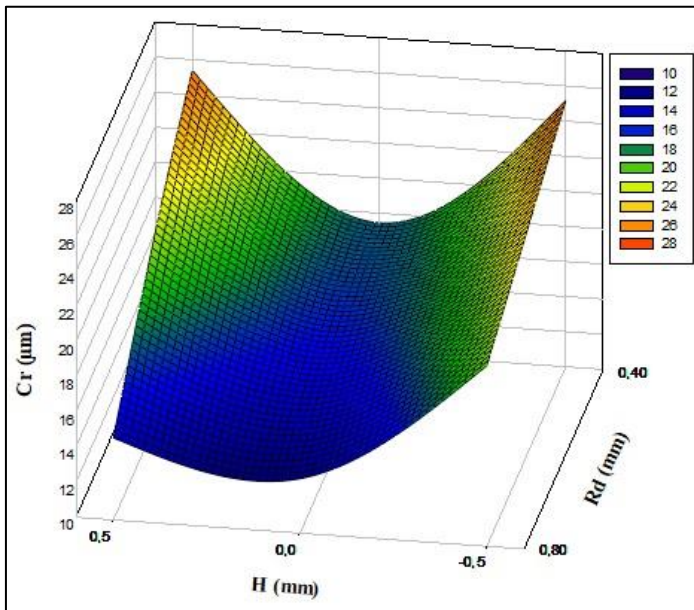
Takım yükseklik ayarının ve kesme derinliğinin dairesellik sapmasına etkisi Şekil 9.34'te verilmiştir.



Şekil 9.34. Negatif takımda Cr için H-Ap etkileşimi

Şekil 9.34'te kesme derinliğinin artmasıyla dairesellik sapmasında artış olmuştur. Kesici takım yükseklik ayarının düşük kesme derinliğinde (0,8 mm) etkisi çok az görünmekte ancak kesme derinliğinin artmasıyla beraber kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanması durumunda dairesellik sapmasında azalma görülmektedir.

Takım yükseklik ayarı ve kesici uç yarıçapının dairesellik sapmasına etkisi Şekil 9.35'te verilmiştir.

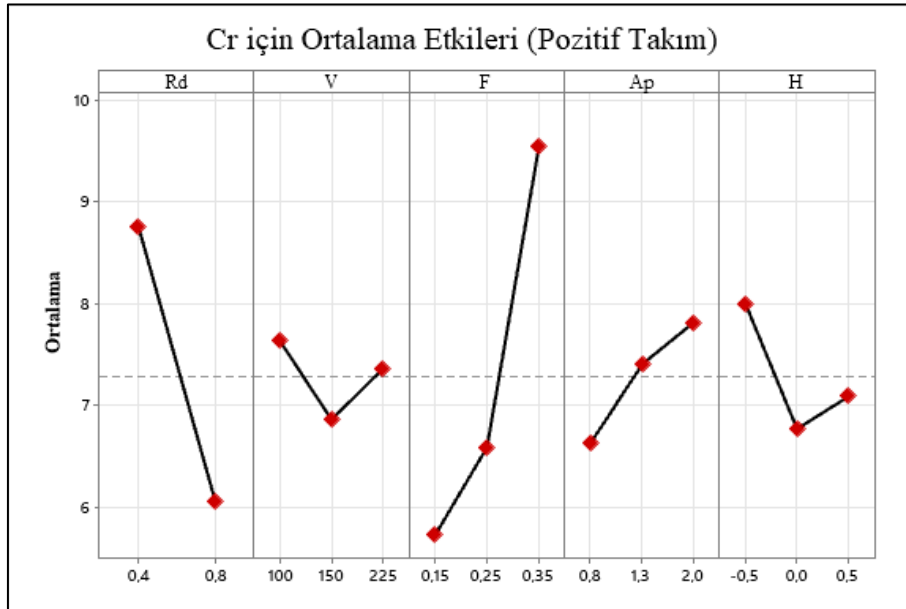


Şekil 9.35. Negatif takımda Cr için H-Rd etkileşimi

Şekil 9.35'te uç yarıçapının büyümesiyle dairesellik sapmasının azaldığı görülmektedir. Kesici takımın iş parçası ekseninde olmadığı (H: -0,5 mm ve H: +0,5 mm) durumlarda dairesellik sapmasının arttığı anlaşılmıştır.

9.6. Pozitif Takım İçin Dairesellik Sapması Değerlendirilmesi (Cr)

Dairesellik ölçümünden elde edilen dairesellik sapma değerleriyle (Cr) (Bkz. EK-9) Taguchi analizinde oluşturulan ortalama etkiler grafiği (Şekil 9.36) ve faktörlerin ortalama etki sıralamasını içeren tablo (Çizelge 9.28) aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.36. Pozitif takımda faktörlerin Cr için ortalama etkileri

Çizelge 9.28. Pozitif takımda Cr için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	8,767	7,636	5,727	6,636	8,000
2	6,056	6,864	6,591	7,409	6,773
3		7,364	9,545	7,818	7,091
Fark	2,711	0,773	3,818	1,182	1,227
Sıralama	2	5	1	4	3

Şekil 9.36 ve Çizelge 9.28 incelendiğinde, en büyük etki F (ilerleme miktarı) faktöründe görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla dairesellik sapma değerinin arttığı belirgin olarak anlaşılmaktadır. İlerleme miktarının artması ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerinin artmasıyla birlikte dairesellik sapmasının artması da beklenen bir sonuçtur. İkinci

Şekil 9.37 ve Çizelge 9.29 incelendiğinde, en büyük etki F (ilerleme miktarı) ve Rd (uç yarıçapı) faktörlerinde görülmektedir. Şekil 9.36 ve Şekil 9.37’de sonuçlar benzer çıkmıştır. Çizelge 9.28 (ortalama etki sıralaması)’in de Çizelge 9.29 (S/N oranları etki sıralaması)’u desteklediği görülmektedir.

Çizelge 9.28 ve 9.29’da ki değerler göz önünde bulundurulduğunda, dairesellik sapmasını azaltmada pozitif kesici takım için en uygun faktör ve seviyeleri $Rd_2V_2F_1Ap_1H_2$ olarak belirlenmiştir. Cr (dairesellik sapması)’nin en az istendiği durumlarda kesici uç yarıçapı (0,8 mm) büyük seçilmeli, kesme hızı (150 m/dak) orta seviyede tutulmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmalıdır.

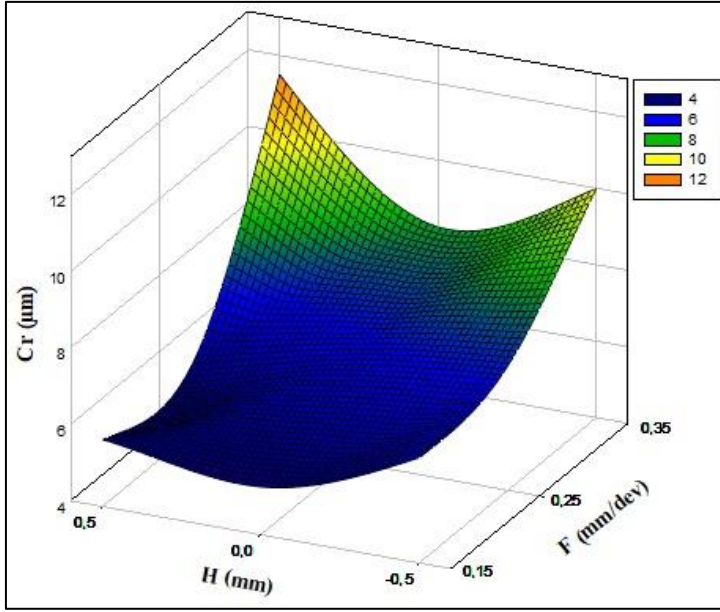
Dairesellik sapması için faktörlerin etki değerlerini belirlemede ANOVA yöntemi kullanılmıştır ve sonuçlar Çizelge 9.30’da verilmiştir.

Çizelge 9.30. Cr için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	72,250	29,25	72,250	72,2500	59,95	0,000
V	2	7,722	3,13	7,722	3,8611	3,20	0,057
F	2	110,222	44,63	110,222	55,1111	45,73	0,000
Ap	2	15,389	6,23	15,389	7,6944	6,38	0,006
H	2	10,056	4,07	10,056	5,0278	4,17	0,027
Hata	26	31,333	12,69	31,333	1,2051		
Toplam	35	246,972	100,00				

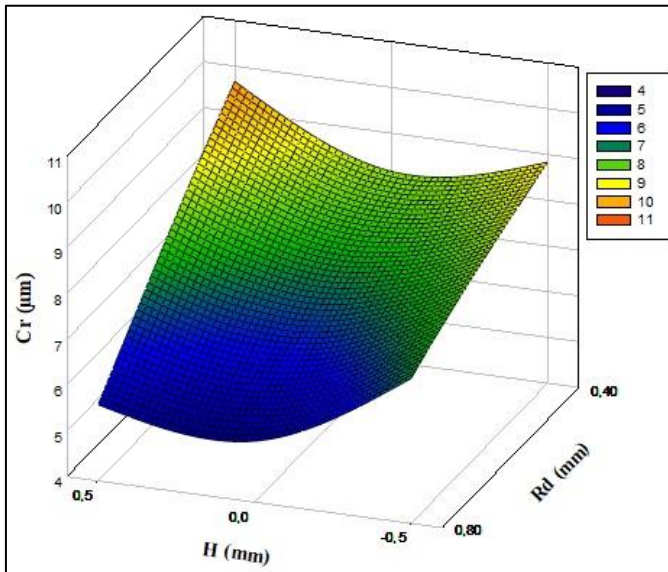
ANOVA sonuçları (Çizelge 9.30) incelendiğinde, V (kesme hızı) faktörü haricinde tüm faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olduğu değerlendirilmiştir. En büyük etkiye sahip faktör F (ilerleme miktarı) olmuştur. Bunu sırasıyla Rd (%29,25), Ap (%6,23) ve H (%4,07) takip etmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R-sq(adj)$: %82,92 olarak bulunmuştur.

H (takım yükseklik ayarı) faktörünün F (ilerleme miktarı), Rd (uç yarıçapı) ve Ap (kesme derinliği) faktörleriyle Cr (dairesellik sapması)’ye olan etkisinin görülmesi için 3 boyutlu grafikler oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir.



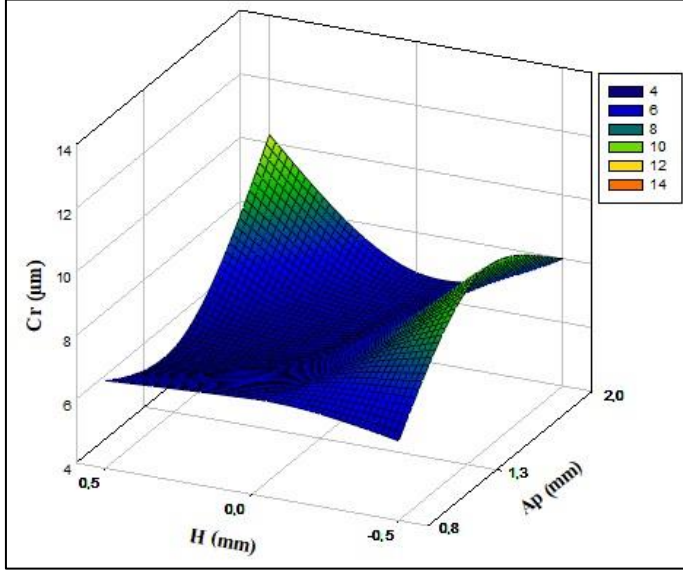
Şekil 9.38. Pozitif takımda Cr için H-F etkisi

Şekil 9.38 incelendiğinde, ilerleme miktarının artışıyla dairesellik sapmasının arttığı görülmektedir. Düşük ilerleme miktarlarında (0,15 mm/dev, 0,25 mm/dev) kesici takım yükseklik ayarının etkisini az olmuş ancak yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasıyla dairesellik sapmasının azaldığı görülmüştür. Takım yükseklik ayarının ve uç yarıçapının dairesellik sapmasına etkisi Şekil 9.39’da verilmiştir.



Şekil 9.39. Pozitif takımda Cr için H-Rd etkisi

Şekil 9.39’da uç yarıçapının büyümesiyle dairesellik sapmasının azaldığı görülmektedir. Kesici takımın iş parçası ekseninde olmadığı (H : -0,5 mm ve H : +0,5 mm) durumlarda dairesellik sapmasında artış olduğu anlaşılmaktadır.

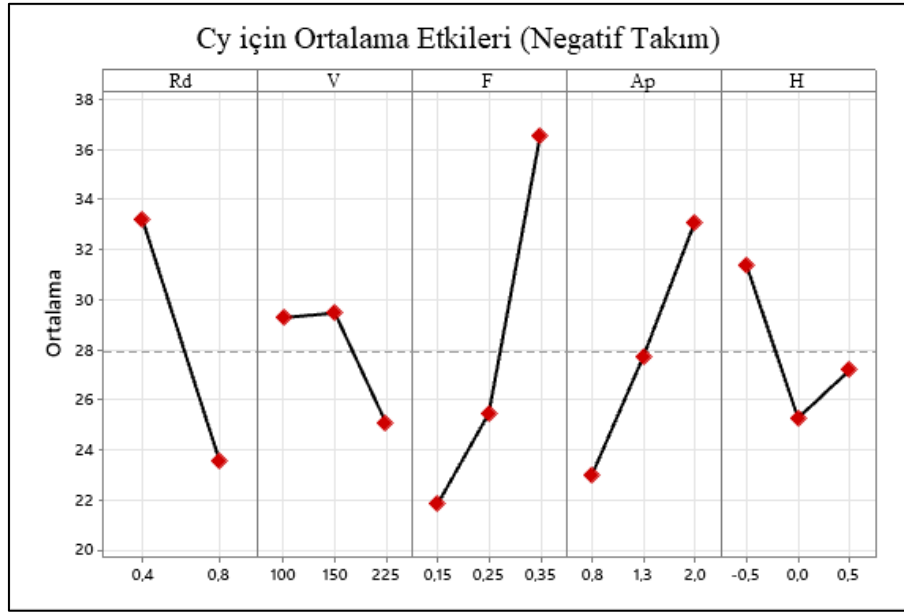


Şekil 9.40. Pozitif takımda Cr için H - Ap etkisi

Şekil 9.40’da kesme derinliğinin artmasıyla dairesellik sapmasında artış olduğu görülmektedir. Kesici takım yükseklik ayarının düşük kesme derinliğinde (0,8 mm) etkisi çok az görünmekte ancak kesme derinliğinin artmasıyla beraber kesici takımın iş parçası ekseninde (H : 0 mm) bağlanması durumunda dairesellik sapmasında azalma görülmektedir. 1,3 mm kesme derinliğinde kesici takımın iş parçası eksenini altında (H : -0,5 mm) bağlanmasıyla dairesellik sapması büyümüştür.

9.7. Negatif Takım İçin Silindiriklik Sapması Değerlendirilmesi (Cy)

Silindiriklik ölçümünden elde edilen silindiriklik sapma değerleriyle (Cy) (Bkz. EK-8) Taguchi analizinde oluşturulan ortalama etkiler grafiği (Şekil 9.41) ve faktörlerin ortalama etki sıralamasını içeren tablo (Çizelge 9.31) aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.41. Negatif takımın faktörlerinin Cy için ortalama etkileri

Çizelge 9.31. Negatif takımın Cy için faktörlerinin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	33,20	29,27	21,82	23,00	31,36
2	23,56	29,45	25,45	27,73	25,27
3		25,09	36,55	33,09	27,18
Fark	9,64	4,36	14,73	10,09	6,09
Sıralama	3	5	1	2	4

Şekil 9.41 ve Çizelge 9.31 incelendiğinde, en büyük etki F (ilerleme miktarı) faktöründe görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla silindiriklik sapma değerinin arttığı anlaşılmıştır. İkinci sırada yer alan Ap (kesme derinliği) faktöründe kesme derinliğinin azaltılmasıyla silindiriklik sapmasının azalacağı görülmektedir. Rd faktörü incelendiğinde uç yarıçapının büyümesinin silindiriklik sapmasını azalttığı belirlenmiştir. H (takım yükseklik ayarı) faktöründe kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasıyla silindiriklik sapmasında azalma görülmüştür. V (kesme hızı) faktöründe kesme hızının

seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) arttırılmalı, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) düşük seviyede tutulmalıdır. Kesme derinliği (0,8 mm) en az seçilmeli ve kesici takım iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmalıdır.

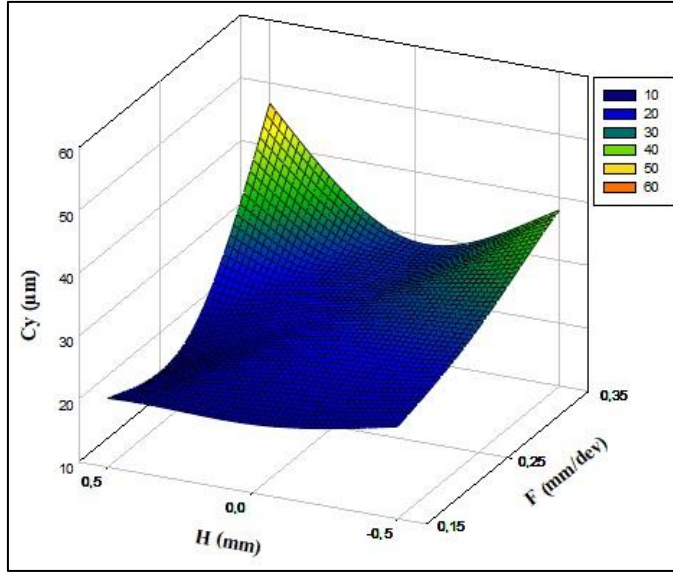
ANOVA yöntemi ile belirlenen faktör etki değerlerine ait ve sonuçlar Çizelge 9.33'te verilmiştir.

Çizelge 9.33. Negatif takımda Cy için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	920,11	23,90	920,11	920,111	73,71	0,000
V	2	30,89	0,80	30,89	15,444	1,24	0,307
F	2	1611,56	41,85	1611,56	805,778	64,55	0,000
Ap	2	790,72	20,54	790,72	395,361	31,67	0,000
H	2	172,72	4,49	172,72	86,361	6,92	0,004
Hata	26	324,56	8,43	324,56	12,483		
Toplam	35	3850,56	100,00				

ANOVA sonuçları (Çizelge 9.33) incelendiğinde, V (kesme hızı) faktörü haricinde tüm faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı ($P < 0,05$) olduğu değerlendirilmiştir. En büyük etkiye sahip faktör F (ilerleme miktarı) olmuştur. Bunu sırasıyla Rd (%23,90), Ap (%20,54) ve H (%4,49) takip etmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R\text{-sq}(\text{adj})$: %88,65 olarak bulunmuştur.

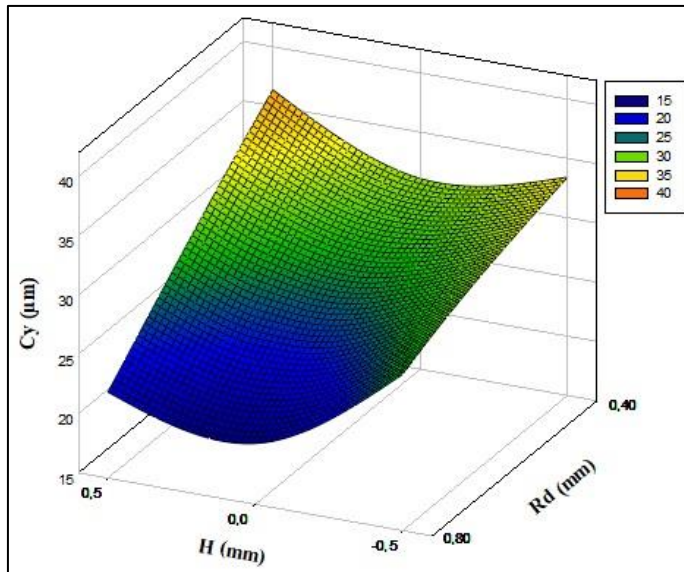
H (takım yükseklik ayarı), F (ilerleme miktarı), Rd (uç yarıçapı) ve Ap (kesme derinliği) faktörlerinin Cy (silindiriklik sapması)'ye olan etkisinin görülmesi için 3 boyutlu grafikler oluşturulmuştur. Takım yükseklik ayarı ve ilerleme miktarının silindiriklik sapmasına etkisi Şekil 9.43'te verilmiştir.



Şekil 9.43. Negatif takımında Cy için H-F etkisi

Şekil 9.43 incelendiğinde, ilerleme miktarının artışıyla silindiriklik sapmasının arttığı görülmektedir. Düşük ilerleme miktarlarında (0,15 mm/dev, 0,25 mm/dev) kesici takımın iş parçası eksenine altında (H: -0,5 mm) bağlanmasıyla silindiriklik sapmasının arttığı grafikten anlaşılmaktadır. Yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasıyla silindiriklik sapmasının daha az olacağı görülmektedir.

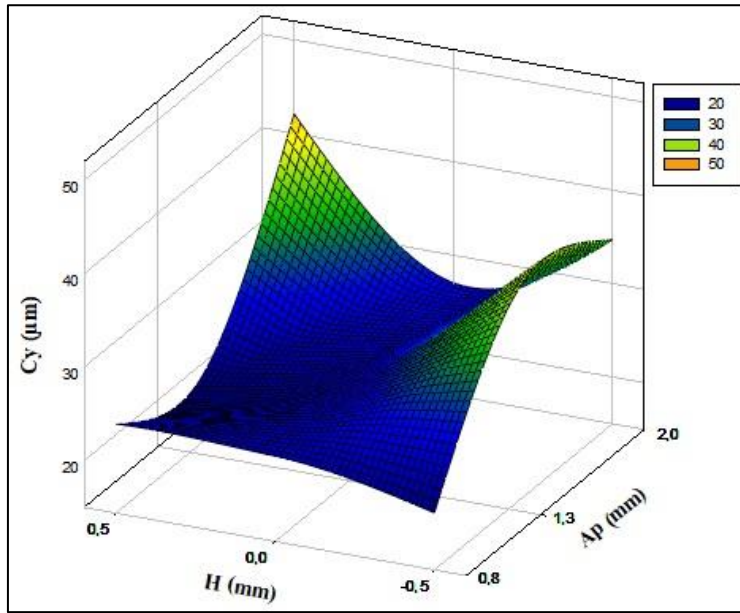
Takım yükseklik ayarı ve uç yarıçapının silindiriklik sapmasına etkisi Şekil 9.44'te verilmiştir.



Şekil 9.44. Negatif takımında Cy için H-Rd etkisi

Şekil 9.44'te uç yarıçapının büyümesiyle silindiriklik sapmasının azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. Kesici takımın iş parçası ekseninde ($H: 0$ mm) bağlanması durumunda diğer durumlara ($H: -0,5$ mm ve $H: +0,5$ mm) göre silindiriklik sapma değerinde azalma görülmektedir.

Takım yükseklik ayarının ve kesme derinliğinin silindiriklik sapmasına etkisi Şekil 9.45'te verilmiştir.

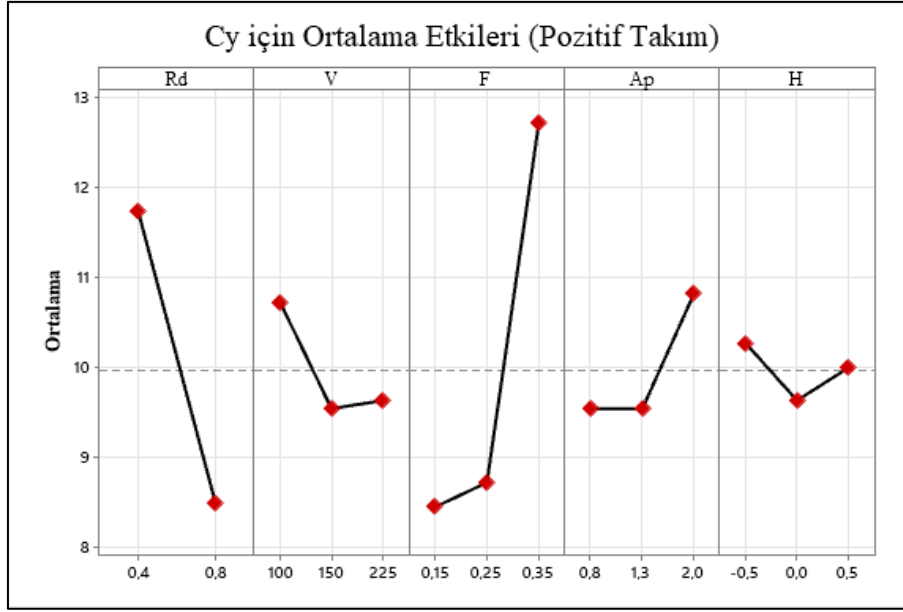


Şekil 9.45. Negatif takımında C_y için H - A_p etkisi

Şekil 9.45'te kesici takım yükseklik ayarının düşük kesme derinliğinde (0,8 mm) etkisi çok az görünmekte ancak kesme derinliğinin artmasıyla beraber kesici takımın iş parçası ekseninde ($H: 0$ mm) bağlanması durumunda silindiriklik sapma değerinde azalma görülmektedir. 1,3 mm kesme derinliğinde kesici takımın iş parçası eksenini altında ($H: -0,5$ mm) bağlanmasıyla silindiriklik sapmasının arttığı grafikten anlaşılmaktadır.

9.8. Pozitif Takım İçin Silindiriklik Sapması Değerlendirilmesi (C_y)

Pozitif takım ile yapılan deneylerden sonra silindiriklik ölçümünden elde edilen silindiriklik sapma değerleriyle (C_y) (Bkz. EK-9) Taguchi analizinde oluşturulan ortalama etkiler grafiği (Şekil 9.46) ve faktörlerin ortalama etki sıralamasını içeren tablo (Çizelge 9.34) aşağıda verilmiştir.



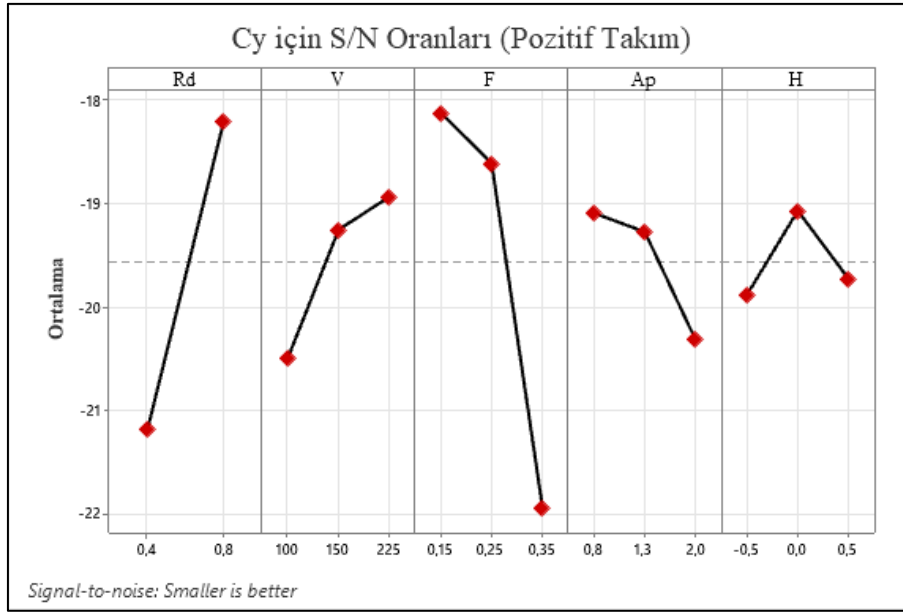
Şekil 9.46. Pozitif takımın faktörlerinin Cy için ortalama etkileri

Çizelge 9.34. Pozitif takımın Cy için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	11,733	10,727	8,455	9,545	10,273
2	8,500	9,545	8,727	9,545	9,636
3		9,636	12,727	10,818	10,000
Fark	3,233	1,182	4,273	1,273	0,636
Sıralama	2	4	1	3	5

Şekil 9.46 ve Çizelge 9.34 incelendiğinde, en büyük etkinin F (ilerleme miktarı) faktöründe olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının artmasıyla silindiriklik sapma değerinin artacağı grafik (Şekil 9.46) ve tablodan (Çizelge 9.34) anlaşılmaktadır. İkinci sırada yer alan Rd (uç yarıçapı) faktörü seviyeleri dikkate alındığında, uç yarıçapının büyümesinin silindiriklik sapmasını azaltacağı belirlenmiştir. Ap (kesme derinliği) faktöründe kesme derinliğinin artması silindiriklik sapma değerini arttırmıştır. V (kesme hızı) faktöründe kesme hızının 150 m/dak değerinde silindiriklik sapma değerinin azalacağı görülmektedir. H (takım yükseklik ayarı) faktöründe kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanmasıyla silindiriklik sapmasında azalma olacağı Şekil 9.46’da ve Çizelge 9.34’ten anlaşılmaktadır.

Silindiriklik sapmasına (Cy) ait S/N oranları grafiği (Şekil 9.47) ve S/N oranları etki sıralaması (Çizelge 9.35) aşağıda verilmiştir.



Şekil 9.47. Pozitif takımın faktörleri için S/N oranları

Çizelge 9.35. Pozitif takımın S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-21,19	-20,50	-18,13	-19,10	-19,89
2	-18,21	-19,26	-18,62	-19,28	-19,07
3		-18,94	-21,95	-20,32	-19,74
Fark	2,98	1,56	3,82	1,23	0,81
Sıralama	2	3	1	4	5

Şekil 9.47 ve Çizelge 9.35 incelendiğinde, ortalama etkileri grafiği (Şekil 9.46) ve ortalama etki sıralamasını içeren tablodan (Çizelge 9.34) farklı olarak V (kesme hızı) faktöründe farklılık görülmektedir. S/N oranları etki sıralaması tablosuna (Çizelge 9.35) göre silindiriklik sapmasının, en yüksek kesme hızı değerinde (225 m/dak) azaldığı görülmektedir.

Çizelge 9.34 ve 9.35'teki değerler göz önünde bulundurulduğunda, silindiriklik sapmasının en düşük değerini elde etmek amacıyla, pozitif kesici takım için faktör ve seviyeleri $Rd_2V_3F_1Ap_1H_2$ olarak belirlenmiştir. Silindiriklik sapmasının en aza indirilmesi için büyük uç yarıçapına (0,8 mm) sahip kesici uç seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) yüksek seçilmeli, ilerleme miktarı (0,15 mm/dev) ve kesme derinliği (0,8 mm) düşük olmalıdır. Kesici takım yüksekliğinin iş parçası ekseninde ayarlanması silindiriklik sapma değerini azaltacaktır.

ANOVA yöntemi ile belirlenen faktör etki değerlerine ait sonuçlar Çizelge 9.36’da verilmiştir.

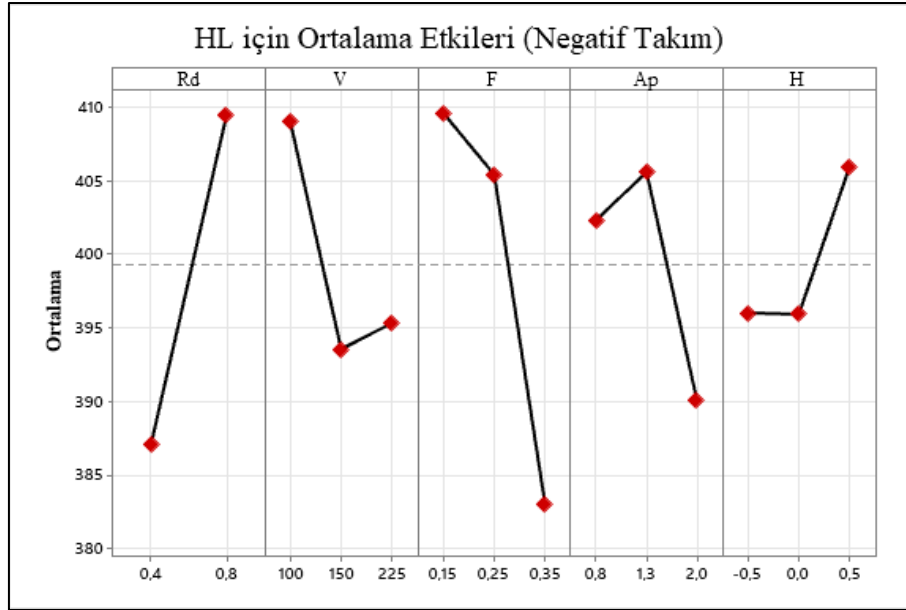
Çizelge 9.36. Pozitif takımda Cy için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	96,694	27,29	96,694	96,694	44,19	0,000
V	2	10,889	3,07	10,889	5,444	2,49	0,103
F	2	156,056	44,05	156,056	78,028	35,66	0,000
Ap	2	26,056	7,35	26,056	13,028	5,95	0,007
H	2	7,722	2,18	7,722	3,861	1,76	0,191
Hata	26	56,889	16,06	56,889	2,188		
Toplam	35	354,306	100,00				

ANOVA sonuçları (Çizelge 9.36) incelendiğinde, V (kesme hızı) ve H (takım yükseklik ayarı) faktörlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($P>0,05$) belirlenmiştir. En büyük etkiye sahip faktör F (ilerleme miktarı) olmuştur. Bunu sırasıyla Rd (%27,29), Ap (%7,35) takip etmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R\text{-sq}(\text{adj})$: %78,39 olarak bulunmuştur. Belirleme katsayısının düşüklüğünün, CNC tornada meydana gelen değişken titreşimlerden, işlenen deney parçası yüzeyinde kalan kalıntılardan ve talaşların oluşturduğu çiziklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

9.9. Negatif Takım İçin Yüzey Sertliği Değerlendirilmesi (HL)

Negatif takım ile yapılan deneylerden sonra iş parçası yüzeylerinden ölçülen sertlik değerleriyle (HL) (Bkz. EK-9) Taguchi analizinde oluşturulan ortalama etkiler grafiği Şekil 9.48’de verilmiştir. Faktörlerin ortalama etki sıralamasını içeren tablo Çizelge 9.37’de yer almaktadır.



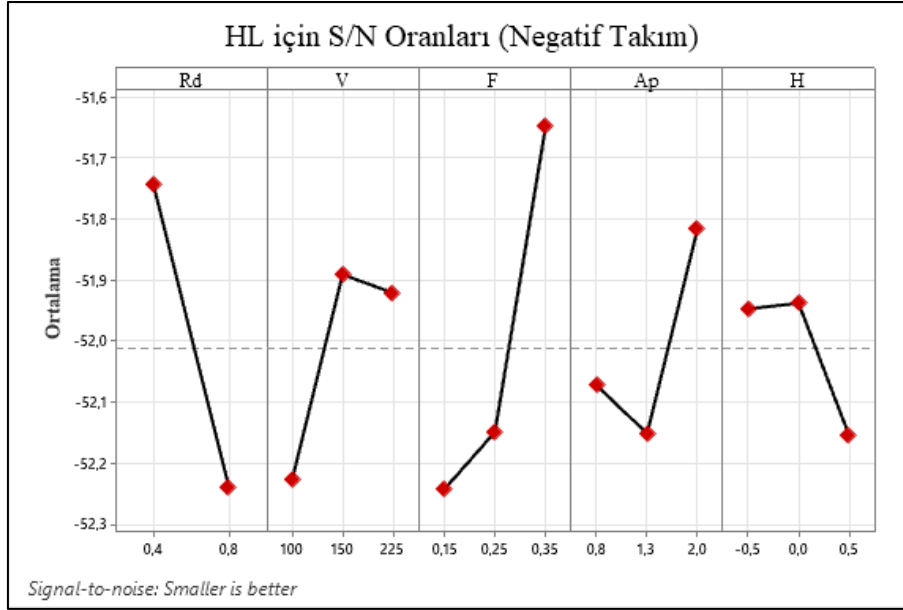
Şekil 9.48. Negatif takımda faktörlerin HL için ortalama etkileri

Çizelge 9.37. Negatif takımda HL için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	387,1	409,0	409,5	402,3	396,0
2	409,4	393,5	405,4	405,5	395,9
3		395,3	383,0	390,0	406,0
Fark	22,3	15,5	26,6	15,5	10,0
Sıralama	2	4	1	3	5

Ortalama etkileri grafiği ve Çizelge 9.37 incelendiğinde, en büyük etkinin F (ilerleme miktarı) faktöründe olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının düşük seçilmesinin sertlik değerini arttırdığı grafik (Şekil 9.48) ve tablodan (Çizelge 9.37) anlaşılmaktadır. İkinci sırada yer alan Rd faktörü için büyük uç yarıçapına (0,8 mm) sahip kesici uçta sertlik değeri daha yüksek görülmektedir. Ap faktörü için kesme derinliğinin artışının sertlik değerini düşürdüğü ancak 1,3 mm kesme derinliğinde sertlik değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek kesme derinliğinde sertliğin az belirlenmesi, malzemenin sertlik

değerinin iş parçası merkezine ilerledikçe azalmasına atfedilebilir. V faktörü seviyeleri dikkate alındığında, düşük kesme hızının (100 mm/dev) sertlik değerini arttırdığı anlaşılmaktadır. Faktörler arasında en küçük etkiye sahip olan H faktörüdür. Ortalama etki sıralamasına (Çizelge 9.37) göre kesici takım yüksekliğinin iş parçası eksenine (H: 0 mm) göre ayarlanması iş parçası yüzeyinde sertlik değerinin düşük çıkmasını sağlamıştır.



Şekil 9.49. Negatif takımda faktörlerin HL için S/N oranları

Çizelge 9.38. Negatif takımda HL için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-51,74	-52,23	-52,24	-52,07	-51,95
2	-52,24	-51,89	-52,15	-52,15	-51,94
3		-51,92	-51,65	-51,81	-52,15
Fark	0,50	0,34	0,60	0,34	0,22
Sıralama	2	3	1	4	5

Şekil 9.49 ve Çizelge 9.38 incelendiğinde, S/N oranlarının da ortalama etkileri (Şekil 9.48 ve Çizelge 9.37) desteklediği görülmektedir. Çizelge 9.37 ve 9.38'deki değerler göz önünde bulundurulduğunda, yüzey sertliği en düşük değeri, negatif kesici takımda $Rd_1V_2F_3Ap_3H_2$ olarak belirlenmiştir. Sertlik değerinin en az istendiği durumlarda, küçük uç yarıçapında (0,4 mm) kesici uç seçilmeli, kesme hızı 150 m/dak seçilmeli, ilerleme miktarı (0,35 mm/dev) ve kesme derinliği (2 mm) yüksek olmalıdır. Kesici takım yüksekliğinin iş parçası ekseninde (H: 0 mm) ayarlanması yüzey sertliğinin düşük çıkmasına fayda sağlayacaktır.

ANOVA yöntemi ile belirlenen faktör etki değerlerine ait ve sonuçlar Çizelge 9.39’da verilmiştir.

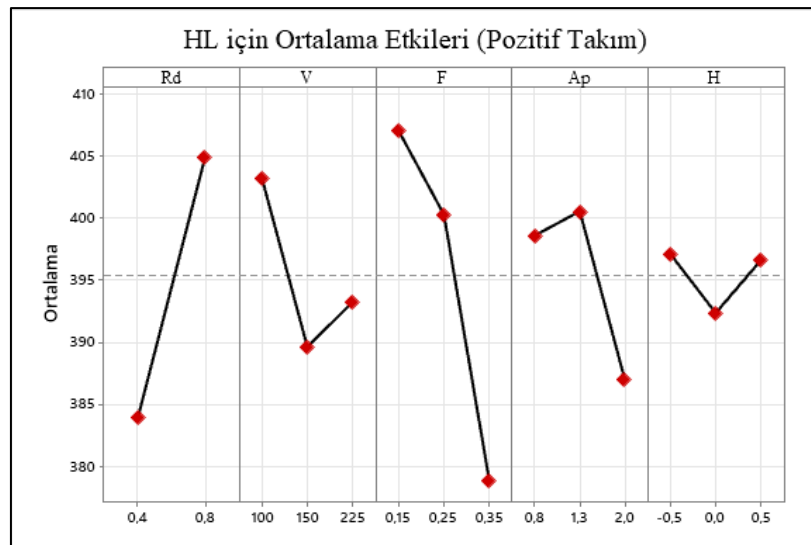
Çizelge 9.39. Negatif takımda HL için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	4422,3	23,13	4422,25	4422,25	35,58	0,000
V	2	2534,7	13,26	2534,72	1267,36	10,20	0,001
F	2	6254,1	32,71	6254,06	3127,03	25,16	0,000
Ap	2	2498,4	13,07	2498,39	1249,19	10,05	0,001
H	2	181,7	0,95	181,72	90,86	0,73	0,491
Hata	26	3231,2	16,90	3231,17	124,28		
Toplam	35	19122,3	100,00				

ANOVA sonuçları (Çizelge 9.39) incelendiğinde H (takım yükseklik ayarı) faktörünün istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($P>0,05$) belirlenmiştir. En büyük etkiye sahip faktör F (ilerleme miktarı) olmuştur. Bunu sırasıyla Rd (%27,29), V (%13,26) ve Ap (%13,07) takip etmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı R-sq(adj): %77,25 olarak bulunmuştur.

9.10. Pozitif Takım İçin Yüzey Sertliği Değerlendirilmesi (HL)

Pozitif takım ile yapılan deneylerden sonra iş parçası yüzeylerinden ölçülen sertlik değerleriyle (HL) (Bkz. EK-9) Taguchi analizinde oluşturulan ortalama etkiler grafiği Şekil 9.50’de verilmiştir. Faktörlerin ortalama etki sıralamasını içeren tablo Çizelge 9.40’da yer almaktadır.

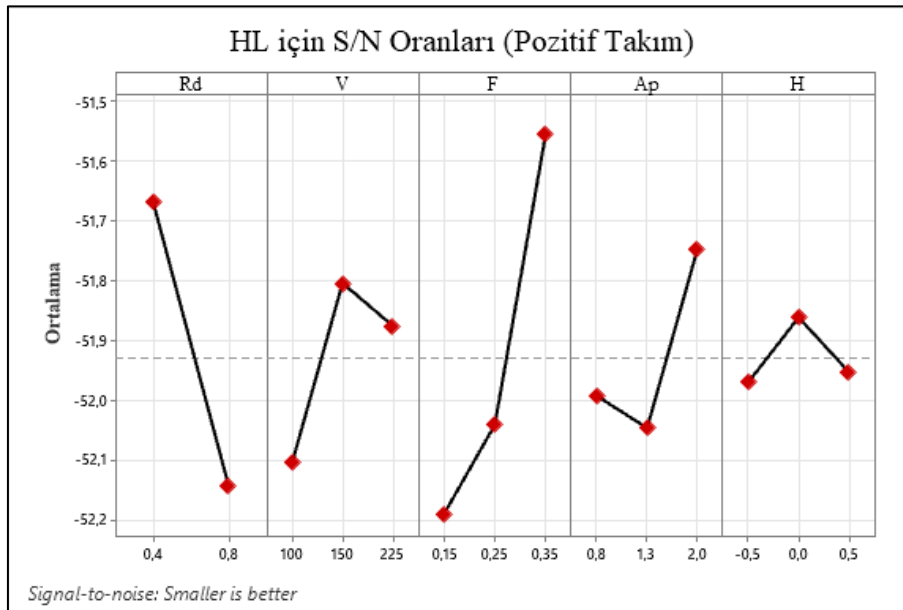


Şekil 9.50. Pozitif takımda faktörlerin HL için ortalama etkileri

Çizelge 9.40. Pozitif takımda HL için faktörlerin ortalama etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	383,9	403,2	407,0	398,6	397,1
2	404,9	389,6	400,3	400,5	392,4
3		393,3	378,8	387,0	396,6
Fark	21,0	13,6	28,2	13,5	4,8
Sıralama	2	3	1	4	5

Şekil 9.50 ve Çizelge 9.40 incelendiğinde, en büyük etkinin F (ilerleme miktarı) faktöründe olduğu görülmektedir. İlerleme miktarının düşük seçilmesinin sertlik değerinin yüksek çıkmasına neden olduğu belirlenmiştir. İkinci sırada yer alan Rd faktörü için büyük uç yarıçapına (0,8 mm) sahip kesici uçta sertlik değeri daha yüksek görülmektedir. V faktörü seviyelerine bakıldığında orta seviye kesme hızının (150 mm/dev) sertlik değerini azalttığı anlaşılmaktadır. Ap faktörü için kesme derinliğinin artışı sertlik değerinin düşük çıkmasını sağlamıştır. Ancak 1,3 mm kesme derinliğinde sertlik değerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Yüksek kesme derinliğinde sertliğin az belirlenmesi, malzemenin sertlik değerinin merkeze ilerledikçe azalmasından kaynaklanacağı burada da düşünülmektedir. Faktörler arasında en düşük etkiye sahip olan H faktörüdür. Ortalama etkileri tablosuna göre kesici takım yüksekliğinin iş parçası eksenine (H: 0 mm) göre ayarlanması iş parçası yüzeyinde sertlik değerinin düşük çıkmasını sağlamıştır.



Şekil 9.51. Pozitif takımda faktörlerin HL için S/N oranları

Çizelge 9.41. Pozitif takımda HL için S/N oranları etki sıralaması

Seviye	Rd	V	F	Ap	H
1	-51,67	-52,10	-52,19	-51,99	-51,97
2	-52,14	-51,89	-52,04	-52,05	-51,86
3		-51,88	-51,55	-51,75	-51,95
Fark	0,48	0,30	0,64	0,30	0,11
Sıralama	2	3	1	4	5

Şekil 9.51 ve Çizelge 9.41 incelendiğinde, S/N oranlarının da ortalama etkileri (Şekil 9.50 ve Çizelge 9.40) desteklediği görülmektedir. Çizelge 9.40 ve 9.41'deki değerler göz önünde bulundurulduğunda, yüzey sertliği en düşük değeri, pozitif kesici takımda $Rd_1V_3F_3Ap_3H_2$ olarak belirlenmiştir. Sertlik değerinin en az istendiği durumlarda, küçük uç yarıçapında (0,4 mm) kesici uç seçilmeli, kesme hızı (225 m/dak) yüksek seçilmeli, ilerleme miktarı (0,35 mm/dev) ve kesme derinliği (2 mm) yüksek olmalıdır. Grafik ve tablolar değerlendirildiğinde, kesici takım yüksekliğinin iş parçası ekseninde (H: 0 mm) ayarlanması yüzey sertliğinin düşük çıkmasına fayda sağlayacaktır. ANOVA yöntemi ile belirlenen faktör etki değerlerine ait ve sonuçlar Çizelge 9.42'de verilmiştir.

Çizelge 9.42. HL için ANOVA sonuçları

Faktör	DF	Seq SS	Faktör Etkisi%	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Rd	1	3864,7	21,85	3864,69	3864,69	43,34	0,000
V	2	1926,2	10,89	1926,17	963,08	10,80	0,000
F	2	6852,7	38,75	6852,67	3426,33	38,42	0,000
Ap	2	2316,2	13,10	2316,17	1158,08	12,99	0,000
H	2	406,5	2,30	406,50	203,25	2,28	0,122
Hata	26	2318,6	13,11	2318,56	89,18		
Toplam	35	17684,7	100,00				

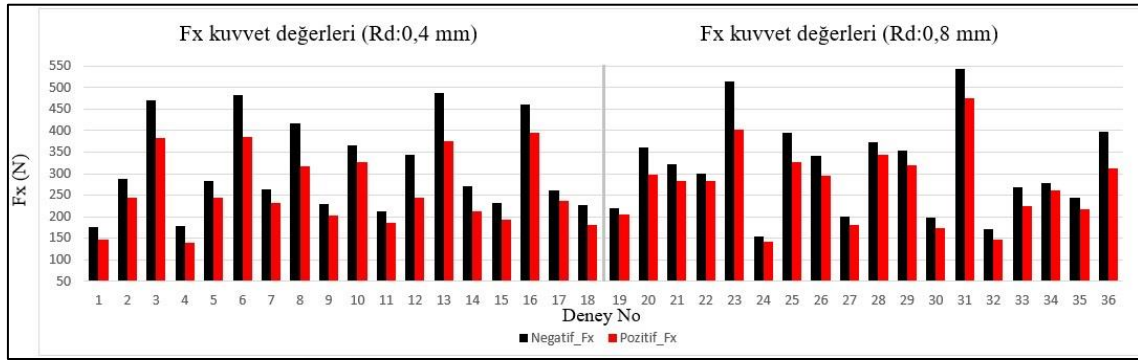
ANOVA sonuçları (Çizelge 9.42) incelendiğinde H (takım yükseklik ayarı) faktörünün istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($P>0,05$) belirlenmiştir. En büyük etkiye sahip faktör F (ilerleme miktarı) olmuştur. Bunu sırasıyla Rd (%21,85), Ap (%13,10) ve V (%10,89) takip etmiştir. Oluşturulan model için belirleme katsayısı $R\text{-sq}(\text{adj})$: %82,35 olarak bulunmuştur.

9.11. Pozitif ve Negatif Takımların Performans Karşılaştırması

Bu bölümde, ayrı ayrı değerlendirilen negatif kesici takım ve pozitif kesici takımın performansları karşılaştırılacaktır. Kesici takımların performansı, deneyler sırasında ve sonucunda ölçülen kuvvetler, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik sapması, silindiriklik sapması ve yüzey sertlik değerlerinden oluşturulan grafikler aracılığıyla tartışılacaktır.

9.11.1. Kuvvelere bağlı karşılaştırma (F_x , F_y , F_z)

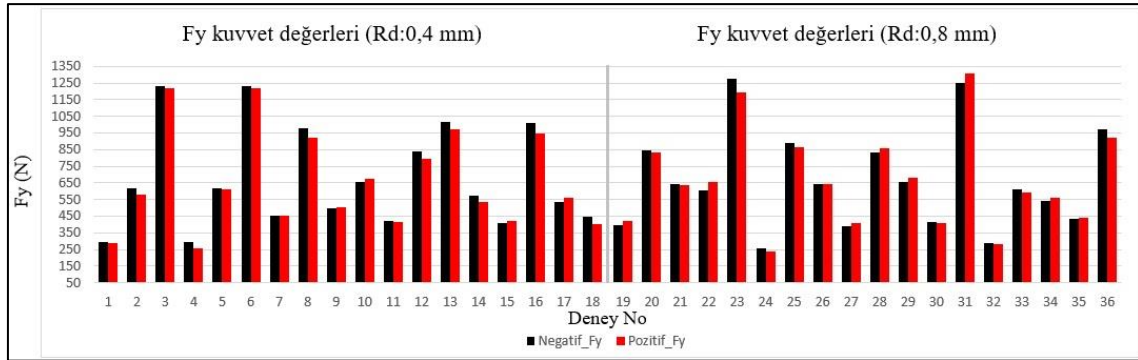
Negatif ve pozitif kesici takımlarla yapılan deneyler sonucunda elde edilen kuvvetler ile oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir (Bkz. EK-6 ve EK-7).



Şekil 9.52. Kesici takıma bağlı F_x kuvveti değerleri

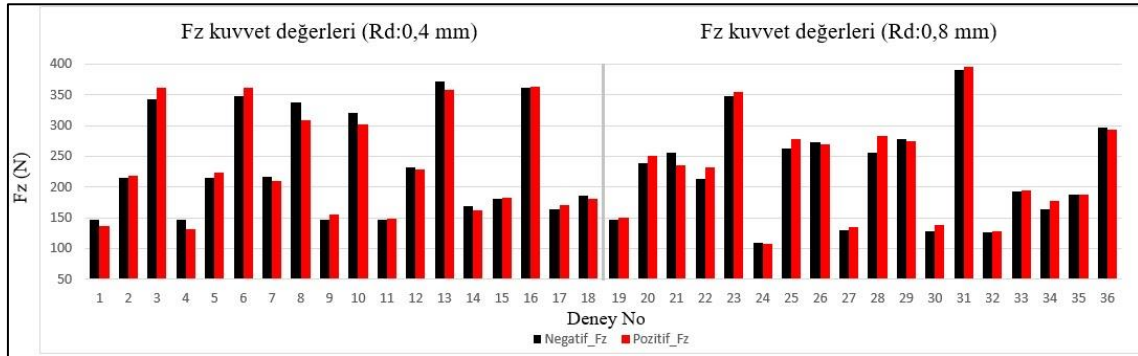
Şekil 9.52’de pozitif kesici takımında oluşan radyal kuvvetin daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Pozitif kesici takımla elde edilen radyal kuvvet değerleri negatif kesici takıma göre %8 ile %40 arasında daha düşük elde edilmiştir. Kesme derinliğinin ve ilerleme miktarının artmasıyla kuvvetler arasındaki farkında genel olarak arttığı belirlenmiştir.

Teğetsel (esas kesme) kuvvet değerlerini gösteren grafik Şekil 9.53'te verilmiştir.



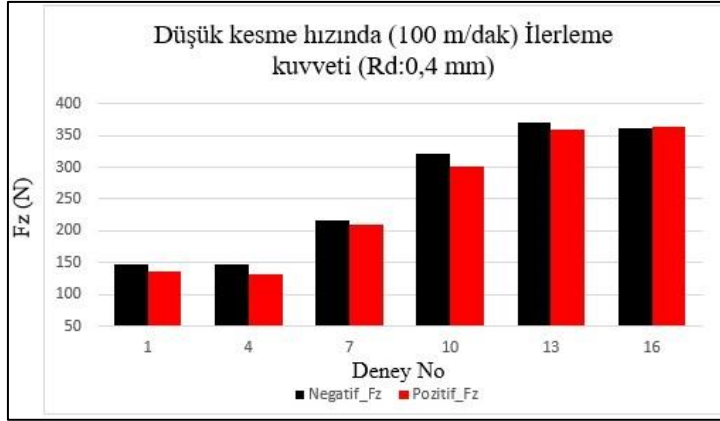
Şekil 9.53. Kesici takıma bağlı F_y kuvveti değerleri

Teğetsel (esas kesme) kuvvet her iki kesici takım için yaklaşık değerler olarak görünmektedir. Ancak düşük kesme hızında (100 m/dak) 0,4 mm uç yarıçapına sahip pozitif kesici takımda negatif takıma göre %7 ile %14 arasında azalma olmuştur. Kesici uç yarıçapının büyümesiyle durum tam tersi olarak görülmüş ve negatif kesici takımda teğetsel (esas kesme) kuvvette pozitif kesici takıma göre yaklaşık %3 azalma meydana gelmiştir. İlerleme kuvveti değerlerini gösteren grafik Şekil 9.54'te verilmiştir.

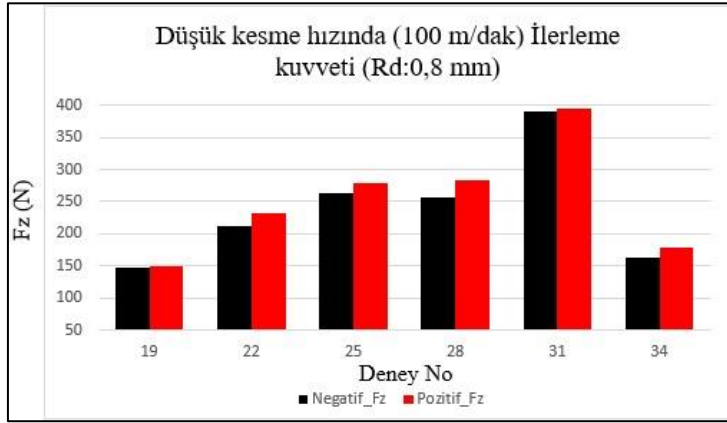


Şekil 9.54. Kesici takıma bağlı kuvvet F_z değerleri

İlerleme kuvveti düşük kesme hızında (100 m/dak) ve küçük uç yarıçapına (0,4 mm) sahip pozitif kesici takımda negatif kesici takıma göre daha düşük olmuştur. Negatif kesici takıma göre %3 ile %11 arasında kuvvette azalma görülmüştür. Ancak uç yarıçapının büyümesiyle negatif kesici takıma etki eden ilerleme kuvveti pozitif takıma göre daha düşük çıkmıştır. Düşük kesme hızında (100 m/dak) yapılan deney sonuçları aşağıda grafik olarak verilmiştir (Şekil 9.55 ve 9.56).



Şekil 9.55. 100 m/dak kesme hızında F_z kuvveti değerleri

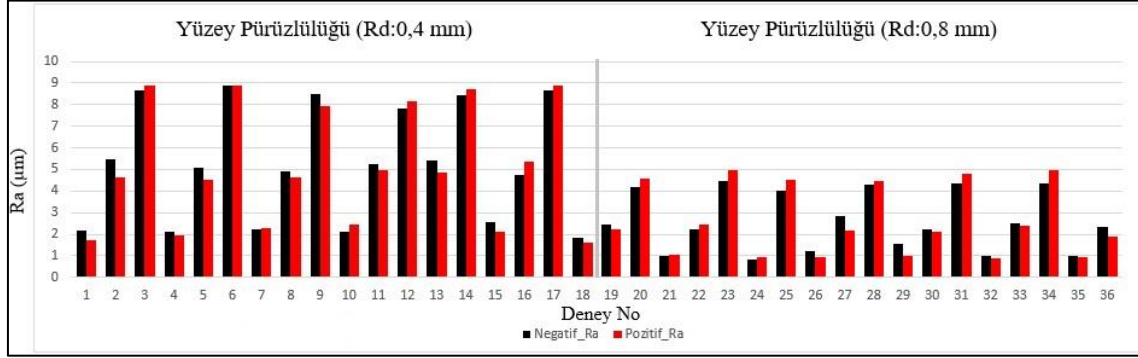


Şekil 9.56. 100 m/dak kesme hızında F_z kuvveti değerleri

Genel olarak pozitif kesici takım ile yapılan deneylerde kuvvetlerin belli oranda düşük olduğu görülmektedir. Özellikle radyal yönde bütün deney sonuçlarında pozitif takıma etki eden kuvvet düşük olmuştur. Düşük kesme hızlarında küçük uç yarıçapına sahip pozitif kesici takım negatif takıma göre daha düşük kuvvetlere maruz kalmıştır.

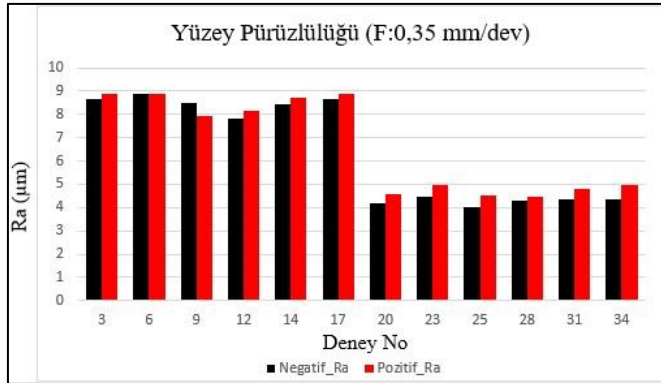
9.11.2. Yüzey pürüzlülüğüne bağlı karşılaştırma (Ra)

Negatif ve pozitif kesici takımlarla yapılan deney sonuçlarına ait yüzey pürüzlülük değerlerini gösteren grafik aşağıda verilmiştir (Bkz. EK-8 ve EK-9).



Şekil 9.57. Kesici takıma bağlı yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)

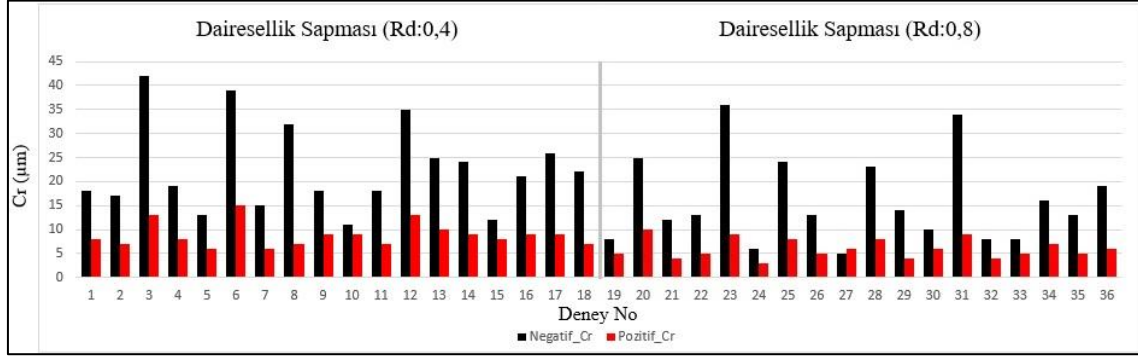
Grafik (Şekil 9.57) incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerlerinin her iki kesici takım içinde yaklaşık değerler olduğu görülmektedir. Ancak deneylerde yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) negatif kesici takımla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri genel olarak pozitif kesici takıma göre daha düşük elde edilmiştir (Şekil 9.58).



Şekil 9.58. 0,35 mm/dev için yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)

9.11.3. Dairesellik sapmasına bağlı karşılaştırma (Cr)

Negatif ve Pozitif kesici takımlarla yapılan deney sonuçlarına ait daireellik sapma grafiği aşağıda verilmiştir (Bkz. EK-8 ve EK-9).

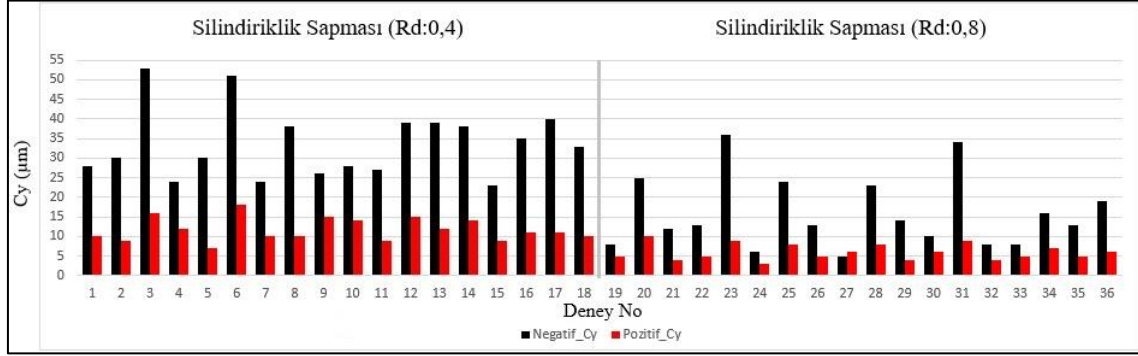


Şekil 9.59. Kesici takıma bağlı daireellik sapma değerleri (Cr)

Negatif kesici takımla yapılan deney sonuçlarında daireellik sapmasının (Cr) daha yüksek olduğu açık olarak görülmektedir. Pozitif kesici takımla yapılan deneylerde daireellik sapma değeri %22 ile %300 arasında daha düşük olmuştur. Pozitif kesici takımla yapılan deneylerin neredeyse tamamında daireellik sapma değeri daha düşük olmuş ancak 27 numaralı deneyde her iki kesici takımında da yaklaşık değer elde edilmiştir (Bkz. EK-8 ve EK-9). Özellikle kesme derinliğinin ve ilerleme miktarının artışı daireellik sapmasını iki kesici takım içinde arttırmıştır. Kesme derinliği ve ilerleme miktarının yüksek seçilmesi negatif kesici takımında çok yüksek daireellik sapmasına neden olmuştur.

9.11.4. Silindiriklik sapmasına bağlı karşılaştırma (Cy)

Negatif ve Pozitif kesici takımlarla yapılan deney sonuçlarına ait silindiriklik sapma değerleri grafiği aşağıda verilmiştir (Bkz. EK-8 ve EK-9).

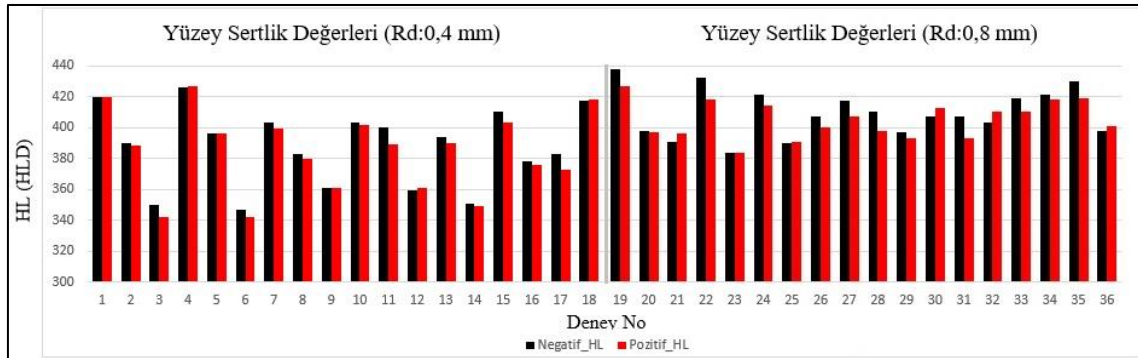


Şekil 9.60. Kesici takıma bağlı silindiriklik sapma değerleri (Cy)

Şekil 9.60 incelendiğinde negatif kesici takımla yapılan deneylerde silindiriklik sapmasının (Cy) yüksek olduğu görülmektedir. Kesme derinliğinin ve ilerleme miktarının artmasıyla sapma değeri yükselmektedir. Düşük silindiriklik sapma değeri için pozitif kesici takımın kullanılması gerektiği görülmektedir. Böylelikle, silindiriklik sapmasının azaltılmasında kesici uç talaş açısının etkili olduğu belirlenmiştir. Negatif kesici uç ile yapılan deneylerde silindiriklik sapmasının yüksek olması artan radyal kuvvete atfedilmiştir.

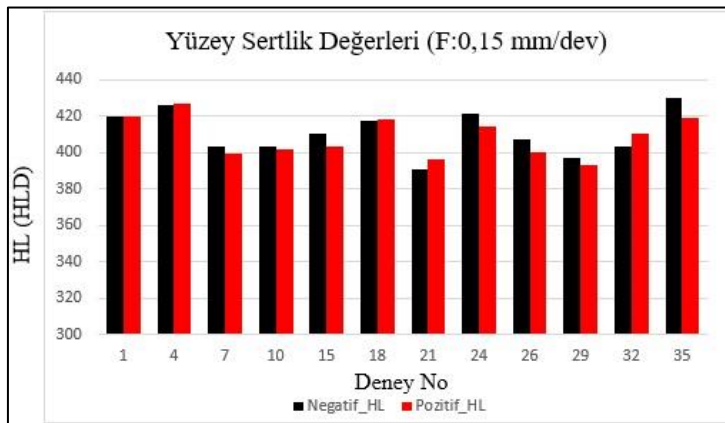
9.11.5. Yüzey sertlik değerine bağlı karşılaştırma (HL)

Leeb sertlik ölçüm yöntemiyle elde edilen değerler aşağıda grafik (Şekil 9.61) olarak verilmiştir (Bkz. EK-8 ve EK-9).

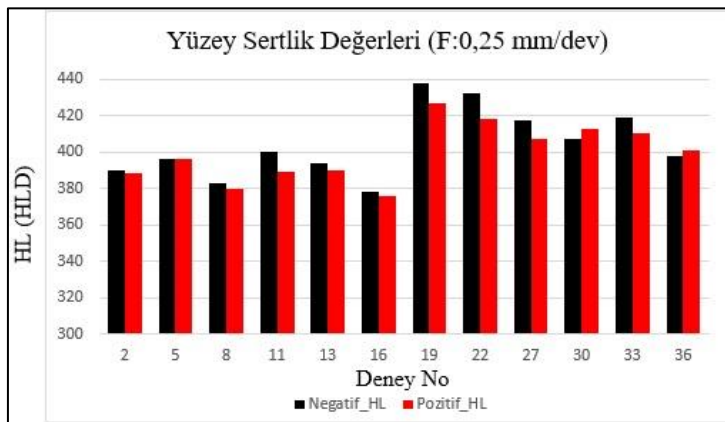


Şekil 9.61. Kesici takıma bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)

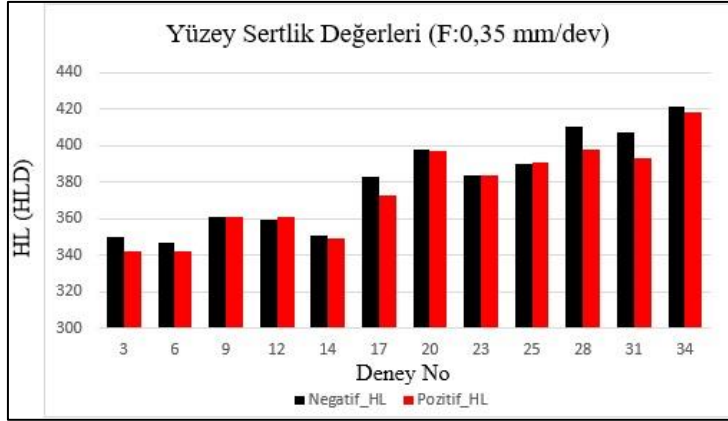
Grafik (Şekil 9.61) incelendiğinde özellikle kesme derinliğinin artmasıyla yüzey sertlik değerinde azalma meydana gelmiştir. Bu azalma, iş parçası malzemesinin dış çaptan merkeze doğru ilerledikçe sertlik değerinin düşmesine atfedilmiştir. Kesici uç yarıçapının artması, her iki kesici takımla işlenen yüzeylerde sertlik değerinin artmasına ve daha kararlı bir grafik sergilemesine neden olmuştur. Kesici uç yarıçapının büyük seçildiği ve ilerleme miktarının düşük olduğu deneylerde genel olarak sertlik değeri yüksek ölçülmüştür. Sertlik değerinin yüksek ölçülmesi, iş parçası yüzeyinde oluşan kalıntı gerilmelere atfedilmiştir (Gürbüz, Kafkas ve Şeker, 2012; Subaşı, Kafkas ve Karataş, 2010). İlerleme miktarının artmasıyla azalan yüzey sertlik değeri, kesme bölgesinde oluşan ısıya atfedilmiştir (Elitaş ve Çiftçi, 2017) ve ilerleme miktarına bağlı sertlik değerlerine ait grafikler aşağıda verilmiştir. Grafikler (Şekil 9.62, 9.63 ve 9.64) incelendiğinde genel olarak pozitif kesici takımla işlenen yüzeylerde sertlik değerinin daha düşük çıktığı görülmektedir.



Şekil 9.62. İlerlemeye bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)



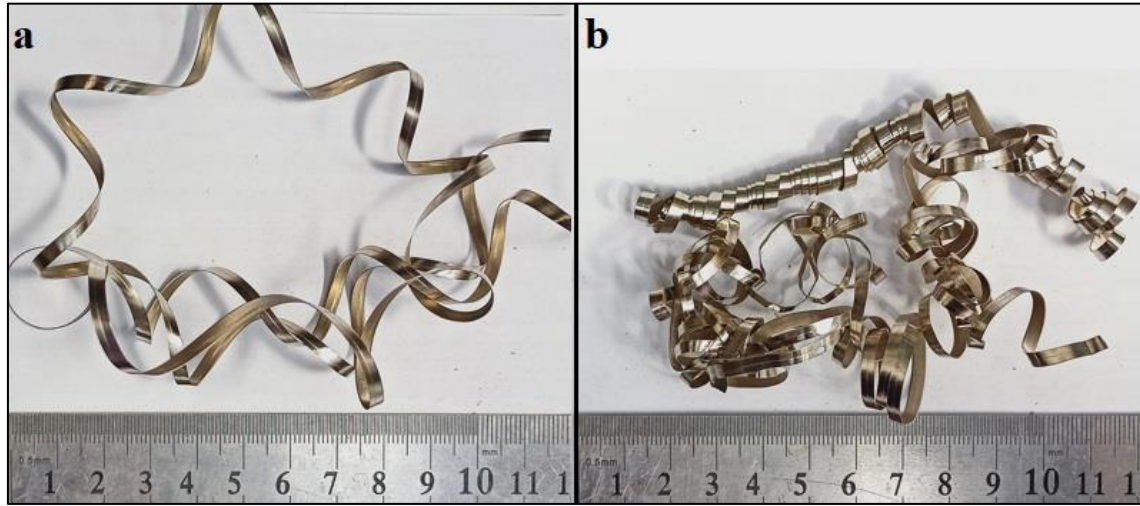
Şekil 9.63. İlerlemeye bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)



Şekil 9.64. İlerlemeye bağlı yüzey sertlik değerleri (HL)

9.12. Talaşların İncelenmesi

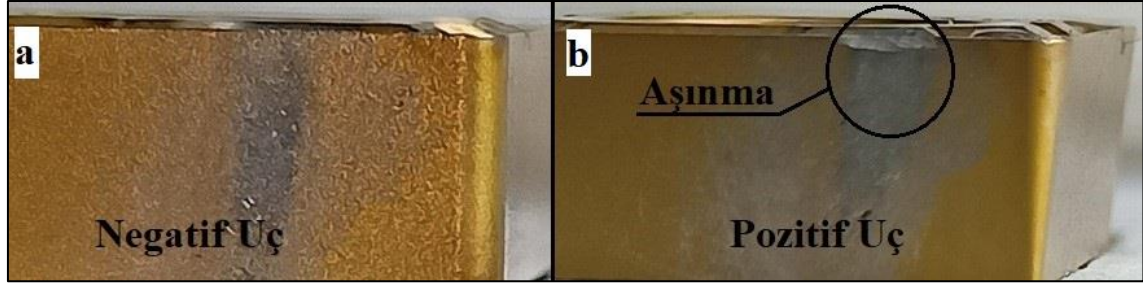
Deneyler sonunda oluşan tüm talaşlar fotoğraflanmıştır (Bkz. EK-12 ve EK-13). Yapılan gözle kontrolde pozitif kesici uçlara ait talaşların kıvrım yarıçaplarının daha küçük olduğu değerlendirilmiştir (Resim 9.2).



Resim 9.1. Talaşlara ait fotoğraf a) Negatif b) Pozitif (Deney 10)

9.13. Kesici Uçların İncelenmesi

Deneyle sonunda kullanılan kesici uçlar fotoğraflanmıştır (Bkz. EK-10 ve EK-11). İncelemelerde pozitif kesici uçların yüksek ilerleme miktarlarında kesme performanslarının iyi olmadığı ve kesici kenarlarında negatif kesici uca göre daha yüksek aşınma olduğu görülmektedir (Resim 9.1).



Resim 9.2. Kesici uçlara ait fotoğraf a) SNMG b) SCMT (Deney 34)

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1. Sonuçlar

Bu çalışmada kesici takım yükseklik ayarının etkisi CNC torna tezgahında AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalamasıyla araştırılmıştır. Deneyler iki farklı kesici takım (negatif ve pozitif) için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve son olarak kesici takımların kesme performansları karşılaştırılmıştır. Deney faktörleri olarak, uç yarıçapı (0,4 mm ve 0,8 mm), kesme hızı (100, 150, 225 m/dak), ilerleme (0,15;0,25;0,35 mm/dev), kesme derinliği (0,8;1,3;2 mm) ve iş parçası eksenine göre kesici takım yükseklik ayarı (-0,5;0;+0,5 mm) seçilmiştir. Yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kesici takım yükseklik ayarının kesme kuvvetlerine etkisi

Taguchi analizi sonucunda, kesici takım yükseklik ayarının radyal kuvvet (F_x), teğetsel kuvvet (F_y) ve ilerleme kuvvetlerinin (F_z) tamamında etkisi görülmüştür. Kesici takımın iş parçası ekseninin altında (H: -0,5 mm) bağlanması tüm kesme kuvvetlerini arttırmıştır. Kesme kuvvetlerindeki bu artış, kesici takım yükseklik ayarına bağlı değişen form açıları nedeniyle artan talaş temas uzunluğuna atfedilmiştir. İş parçası ekseninden yukarıda (H: +0,5 mm) bağlanan kesici takıma etki eden kuvvetler, artan talaş açısıyla diğer durumlara (H: 0 mm ve H: -0,5 mm) göre daha düşük olmuştur (Bkz. Şekil 5.4 ve 5.5) (Akkurt, 2000; Duran ve Acır, 2004; Günay ve diğerleri, 2004; Jana ve Mandal, 2008; Mavi ve Uzun, 2017; Memiş ve Turgut, 2020; Sekmen, 2013; Thomsen ve diğerleri, 1962; Yıldız, 2010). ANOVA sonucuna göre her iki kesici takım için kesme kuvveti bileşenlerinde en büyük etki teğetsel kuvvette (F_y) görülmüştür. Negatif kesici takımda etkisi %1,51 olurken pozitif kesici takımda %1,21 olmuştur ($P<0,05$). Negatif kesici takımda, radyal (F_x) ve ilerleme (F_z) kuvvetlerinde kesici takım yükseklik ayarının etkisi sırasıyla %0,60 ve %0,38 olmuştur ($P<0,05$). Pozitif kesici takımda, radyal kuvvete (F_x) etkisi %0,88 olarak elde edilmiş ve anlamlı ($P<0,05$) olduğu görülmüştür. Kesici takım yükseklik ayarının pozitif kesici takımda ilerleme kuvvetine (F_z) etkisi %0,28 olarak bulunmuş ve 0,5 mm yükseklik ayarıyla yapılan deneyler için etkisinin düşük ($P>0,05$) olduğu belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleriyle oluşturulan 3 boyutlu grafikler yardımıyla, yüksek kesme derinliğinde (2 mm) ve yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanan kesici takıma etki eden kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür.

Kesici takım yükseklik ayarının yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi

Taguchi analiziyle elde edilen S/N oranlarına göre negatif kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanması yüzey pürüzlülük değerini azaltmıştır. Pozitif kesici takımın iş parçası eksenini yukarısında (H: +0,5 mm) bağlanması yüzey pürüzlülük değerinde azalma sağlamıştır. Her iki kesici takımın iş parçası eksenini altında (H-0,5 mm) bağlanması yüzey pürüzlülük değerinin artmasına neden olmuştur. Elde edilen ANOVA sonucuna göre kesici takım yükseklik ayarının etkisi negatif kesici takımda %1,37 ve pozitif kesici takımda %1,24 olarak bulunmuştur ($P < 0,05$). Yüzey pürüzlülük değerleriyle oluşturulan 3 boyutlu grafiklerde (Bkz. Şekil 9.25, 9.26, 9.29 ve 9.30), küçük kesici uç yarıçapına (0,4 mm) sahip uçların iş parçası eksenini yukarısında (+0,5 mm) bağlanması, yüzey pürüzlülük değerini arttırmıştır. Bu durum, artan talaş açısıyla kesici kenarın zayıflamasına ve küçük uç yarıçapına sahip kesici uca etki eden ısı birikmesinin dengeli dağılamamasına atfedilmiştir (Kayır ve diğerleri, 2014; Korkut ve diğerleri, 2004).

Kesici takım yükseklik ayarının dairesellik ve silindiriklik sapmasına (Cr-Cy) etkisi

Kesici takımın iş parçası eksenini altında (-0,5 mm) ve yukarısında (+0,5 mm) bağlanması dairesellik ve silindiriklik sapmasını her iki kesici takım (negatif ve pozitif) için arttırmıştır. Kesici takım yükseklik ayarının etkisinin, dairesellik ve silindiriklik sapma miktarında Taguchi analizi sonucunda negatif kesici takımda daha yüksek olduğu görülmüştür. ANOVA sonucunda, dairesellik sapmasında negatif kesici takım için kesici takım yükseklik ayarının etkisi %10,89 ve pozitif kesici takım için %4,07 olarak bulunmuştur ($P < 0,05$). ANOVA sonucuna göre kesici takım yükseklik ayarının silindiriklik sapmasına etkisi, negatif kesici takım için %4,49 ile anlamlı ($P < 0,05$) olurken pozitif kesici takım için etkisi %2,18 elde edilmiş ve 0,5 mm yükseklik ayarı için istatistiksel olarak anlamsız ($P > 0,05$) olduğu değerlendirilmiştir. Kesici takımların iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanması dairesellik ve silindiriklik sapmasının azalmasını sağlayacaktır.

Kesici takım yükseklik ayarının işlenen yüzey sertlik değerine (HL) etkisi

Taguchi analizi sonucunda kesici takım yükseklik ayarının işlenen yüzey sertliğine etkisinin düşük olduğu değerlendirilmiştir. S/N oranlarına göre kesici takımın iş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanması işlenen yüzeylerde sertlik değerinin düşük çıkmasını sağlamıştır. Yapılan

ANOVA analizi sonucunda negatif takım da etkisi %0,95 ve pozitif takım da %2,3 olarak bulunmuştur. Her iki kesici takım için 0,5 mm yükseklik ayarının işlenen yüzey sertliğine etkisi istatistiksel olarak anlamsız ($P>0,05$) olmuştur.

Deneyler sonucunda, kesici takım yükseklik ayarının AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin işlenebilirliğine etkisi olduğu görülmüştür. İş parçası eksen i altında (H: -0,5 mm) bağlanan kesici takımlar da (negatif ve pozitif) kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülük değ erinin arttığı gözlemlenmiştir. İş parçası ekseninde (H: 0 mm) bağlanan kesici takımlar da (negatif ve pozitif) dairesellik ve silindiriklik sapmasının diğ er durumlara (H: -0,5;+0,5 mm) göre daha düşük olduğu değ erlendirilmiştir. İşlenen yüzey sertlik değ erine kesici takım yükseklik ayarının etkisinin düşük olduğu ancak iş parçası ekseninde bağlanan kesici takımın (negatif ve pozitif) yüzey sertlik değ erinin daha düşük çıkmasına fayda sağlayacağı belirlenmiştir.

Bunula birlikte, deneylerde kullanılan kesme parametrelerinin elde edilen kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, dairesellik sapması, silindiriklik sapması ve işlenen yüzey sertliği değ erlerine etkisi de aşağıda verilmiştir.

Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkisi

Radyal kuvvetin (F_x) artışında her iki kesici takım için en büyük etki kesme derinliği (A_p) faktöründe görülmüştür. Kesme derinliğinin artması radyal kuvvetin (F_x) büyümesine neden olmuştur. ANOVA sonucunda negatif kesici takım da etki %71,62 ve pozitif kesici takım da %69,03 olarak elde edilmiştir. Radyal kuvveti (F_x) arttıran ikinci faktör ise ilerleme miktarı olarak belirlenmiştir. Negatif kesici takım da etkisi %23,31, pozitif kesici takım da ise % 21,5 olmuştur. Kesme hızının artması radyal kuvvetin (F_x) azalmasını sağlamıştır ve negatif kesici takım da etkisi %2,80 olurken pozitif kesici takım da %6,11 olarak elde edilmiştir. Kesici uç yarıçapının negatif kesici takım da radyal kuvvet (F_x) üzerinde etkisi düşük olmuştur. Pozitif kesici takım da %0,66'lık bir etkiye sahiptir ($P<0,05$). Kesici takımlar karşılaştırıldığında pozitif kesici takıma etki eden radyal kuvvet (F_x) negatif kesici takıma göre %8 ile %40 arasında daha düşük olmuştur. Bu farklılık artan talaş açısıyla beraber radyal kuvvetin azalacağı sonucuna ulaştırmıştır.

Her iki kesici takım da teğetsel (F_y) kuvveti arttıran en önemli faktör kesme derinliği (A_p) olmuştur. Kesme derinliğinin artmasıyla teğetsel kuvvet (F_y) artmıştır. ANOVA sonucunda

bu etki negatif kesici takımda %60,91 ve pozitif kesici takımda %60,06 olarak yaklaşık değerler olmuştur. İlerleme miktarının yükselmesi teğetsel kuvveti (F_y) arttırmıştır. ANOVA sonucunda negatif kesici takımda ilerleme miktarının etkisi %34,65 ve pozitif kesici takımda %35,98 olarak elde edilmiştir. Kesme hızının artmasıyla her iki takımda teğetsel kuvvette (F_y) azalma görülmüştür. ANOVA sonucunda negatif kesici takımda kesme hızının etkisi %0,19 ve uç yarıçapının etkisi %0,03 olarak bulunmuştur ($P>0,05$). Pozitif takım için kesme hızının etkisi %0,54 ve uç yarıçapının etkisi %0,03 olarak bulunmuştur ($P>0,05$). Kesici takımlar karşılaştırıldığında her iki kesici takıma etki eden teğetsel (F_y) kuvvetlerin yaklaşık değerler olduğu belirlenmiştir. Ancak düşük kesme hızında (100 m/dak) yapılan deneylerde 0,4 mm uç yarıçapına sahip pozitif kesici takımda negatif kesici takıma göre %7 ile %14 arasında azalma olmuştur. Kesici uç yarıçapının büyümesiyle durum tam tersi olarak görülmüş ve negatif kesici takımda teğetsel kuvvette (F_y) pozitif kesici takıma göre yaklaşık %3 azalma meydana gelmiştir.

İlerleme kuvvetinde (F_z) negatif ve pozitif kesici takım için en büyük etki kesme derinliği olmuştur. Kesme derinliğinin artmasıyla ilerleme kuvveti (F_z) artmıştır. ANOVA sonucuna göre negatif kesici takımda bu etki %86,74 olarak, pozitif kesici takımda ise %81,38 değerinde elde edilmiştir. Kesme derinliğinden sonra etkili faktör ilerleme miktarı olmuş ve etkisi negatif kesici takımda %7,09 pozitif kesici takımda %12,24 olarak belirlenmiştir. Kesme hızının artması ilerleme kuvvetinin (F_z) azalmasını sağlamıştır ve etkisi her iki kesici takımda yakın değerler olmuştur. Negatif kesici takımda %3,69 ve pozitif kesici takımda %3,70 olarak belirlenmiştir. İlerleme kuvveti (F_z), düşük kesme hızı (100 m/dak) ve küçük uç yarıçapına (0,4 mm) sahip pozitif kesici takımla yapılan deneylerde negatif kesici takıma göre %3 ile %11 arasında daha düşük olmuştur. Uç yarıçapının büyümesiyle negatif kesici takıma etki eden ilerleme kuvveti (F_z) pozitif kesici takıma göre daha düşük belirlenmiştir (Bkz. Şekil 9.55 ve 9.56).

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (R_a) etkisi

Her iki kesici takımla (negatif ve pozitif) yapılan deneylerde ilerleme miktarının artırılması yüzey pürüzlülük değerini arttırmıştır ve en etkili faktör olmuştur. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 0,15 mm/dev ilerleme miktarıyla elde edilmiştir. ANOVA sonucunda negatif kesici takımda ilerleme miktarının etkisi %62,51 ve pozitif kesici takım için %69,60 olarak elde edilmiştir. İlerleme miktarından sonra etkili faktör kesici uç yarıçapı olmuştur. Kesici uç

yarıçapının büyümesi yüzey pürüzlülük değerinin azalmasını sağlamıştır. Uç yarıçapının etkisi negatif kesici takımında %29,64 ve pozitif kesici takımında %24,29 olarak bulunmuştur. Taguchi analizinden elde edilen S/N oranlarına göre kesme hızının yükseltilmesi yüzey pürüzlülük değerinin azalmasını sağlamıştır. ANOVA sonucunda kesme hızının etkisi negatif kesici takımında %2,67 ve pozitif kesici takımında %1,17 olarak belirlenmiştir ($P<0,05$). Yüzey pürüzlülük değerine en düşük etki kesme derinliğinde görülmüştür. Kesme derinliğinin 0,8 mm'den 1,3mm'ye artırılması yüzey pürüzlülük değerini azaltmış ancak 2 mm'ye çıkarılan kesme derinliğinde yüzey pürüzlülük değeri tekrar artmaya başlamıştır. ANOVA sonucunda negatif kesici takımında kesme derinliğinin etkisi %0,97 ve pozitif kesici takımında %0,95 olarak elde edilmiştir ($P<0,05$). Deneyler sonucunda yüksek ilerleme miktarında (0,35 mm/dev) pozitif kesici takım ile işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerleri negatif takım ile işlenen yüzeylere göre daha yüksek çıkmıştır (Bkz. Şekil 9.58).

Kesme parametrelerinin dairesellik sapmasına (Cr) etkisi

Dairesellik sapmasında her iki kesici takımında (negatif ve pozitif) en etkili faktör ilerleme miktarı olmuştur. Artan ilerleme miktarıyla beraber dairesellik sapması değeri de artış göstermiştir. En düşük dairesellik sapması 0,15 mm/dev ilerleme miktarında görülmüştür. ANOVA sonucunda negatif kesici takımında ilerleme miktarının etkisi %48,16 ve pozitif kesici takımında %44,63 oranlarıyla yaklaşık değerler elde edilmiştir. Kesme derinliğinin artmasıyla dairesellik sapmasının da arttığı belirlenmiştir. Negatif kesici takımında kesme derinliğinin etkisi %19,65 olurken pozitif kesici takımında %6,23 olmuştur. Kesici uç yarıçapının büyümesi dairesellik sapmasının azalmasında etkili bir faktör olmuştur. Negatif kesici takımında etkisi %12,36 olarak bulunmuştur. Kesici uç yarıçapının etkisi pozitif kesici takımında %29,25 elde edilmiştir ve pozitif kesici takımında kesme derinliğinden daha etkili bir faktör olduğu belirlenmiştir. Her iki kesici takımında, kesme hızının 100 m/dak'dan 150 m/dak'ya artırılması dairesellik sapmasını azaltmıştır. Ancak 225 m/dak'ya çıkarılan kesme hızında dairesellik sapması tekrar artış göstermiştir. Negatif kesici takım ile yapılan deneylerde dairesellik sapması pozitif kesici takıma göre %22 ile %300 arasında daha fazla olmuştur. Bu farklılık pozitif kesici takımında artan talaş açısıyla beraber azalan radyal kuvvete atfedilmiştir.

Kesme parametrelerinin silindiriklik sapmasına (Cy) etkisi

Silindiriklik sapması değeri ilerleme miktarının arttırılmasıyla ve uç yarıçapının küçülmesiyle artış göstermiştir. Her iki kesici takım (negatif ve pozitif) için en etkili faktör ilerleme miktarı ve uç yarıçapı olmuştur. Negatif kesici takımda ilerleme miktarının etkisi %41,85 ve uç yarıçapının etkisi %23,90 olarak elde edilmiştir. Pozitif kesici takımda ilerleme miktarı etkisi %44,05 ve uç yarıçapının etkisi %27,29 olarak belirlenmiştir. Kesme derinliğinin yükseltilmesi silindiriklik sapmasının artışına neden olmuştur. Negatif kesici takımda etkisi %20,54 olurken pozitif kesici takımda %7,35 olmuştur. Kesme derinliği negatif kesici takımda daha etkili bir faktör olarak belirlenmiştir. Kesme hızının arttırılması silindiriklik sapmasında azalma sağlamıştır. Ancak her iki takım için yapılan ANOVA sonucunda, kesme hızının silindiriklik sapmasına etkisi istatistiksel olarak anlamsız ($P>0,05$) olmuştur. Negatif kesici takımla yapılan deneylerde silindiriklik sapması pozitif kesici takıma göre daha yüksek olmuştur (Bkz. Şekil 9.60).

Kesme parametrelerinin işlenen yüzey sertliğine etkisi

İlerleme miktarının arttırılması her iki kesici takımla (negatif ve pozitif) işlenen yüzeylerde sertlik değerinin düşük çıkmasını sağlamıştır. İlerleme miktarının artmasıyla azalan yüzey sertlik değeri, kesme bölgesinde oluşan ısıya atfedilmiştir (Elitaş ve Çiftçi, 2017). Negatif kesici takımda ilerlemenin etkisi %32,71 ve pozitif kesici takımda %38,75 olarak belirlenmiştir. Kesici uç yarıçapının artması her iki kesici takım ile işlenen yüzeylerde sertlik değerinin artmasına neden olmuştur. Negatif kesici takımda etkisi %23,13 olarak, pozitif kesici takımda etkisi %21,85 olarak elde edilmiştir. Kesme hızının yükseltilmesi yüzey sertlik değerinin azalmasını sağlamıştır. Taguchi analizi sonucunda, her iki kesici takım için en düşük sertlik değerini elde etmek amacıyla 150 m/dak kesme hızının uygun olduğu S/N oranlarıyla belirlenmiştir. ANOVA sonucunda kesme hızının etkisi negatif kesici takımda %13,26 ve pozitif kesici takımda %10,89 olarak belirlenmiştir. Kesme derinliğinin yüksek seçilmesi yüzey sertlik değerinin düşük çıkmasını sağlamıştır ancak iş parçasının yüzeyinden merkezine ilerledikçe sertlik değeri azalan malzemenin yapısı nedeniyle bu beklenen bir durumdur. Kesme derinliğinin etkisi negatif kesici takımda %13,07, pozitif kesici takımda %13,10 olmuştur. Her iki kesici takım için elde edilen sertlik değerleri karşılaştırıldığında pozitif kesici takımla yapılan deneylerde yüzey sertlik değerleri daha düşük belirlenmiştir (Bkz. Şekil 9.61).

10.2. Öneriler

- Farklı geometrilere sahip kesici takımlarla deneyler genişletilebilir.
- İş parçasının farklı çapları için çalışmalar yapılabilir.
- Belirlenen 0,5 mm kesici takım yükseklik ayarının farklı değerleri için deneyler yapılabilir.
- Farklı iş parçası malzeme grupları için benzer çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Deneyler sırasında talaş oluşumu görüntülenerek farklılıkları çıkarılabilir.
- Talaş kaldırmada kesici takım yükseklik ayarının oluşan ısıya etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abhang, L. B. and Hameedullah, M. (2010). Chip-Tool Interface Temperature Prediction Model for Turning Process. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(4), 382-393.
- Abukhshim, N., Mativenga, P. and Sheikh, M. (2006). Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(7), 782-800.
- Akbay, D., Ekincioglu, G., Altındağ, R. and Şengün, N. (2021). Investigation of the usability of Shore hardness values determined by different devices and methods to estimate the brittleness values of carbonated rocks. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 442-449.
- İnternet: Akko. Dış Çap Tornalama. *Kesici Uç ve Bağlama Sistemleri*. URL: http://web.archive.org/web/20220207194111/https://www.akko.com.tr/download_dosya/akko-cutting-tools-2021-products-catalogue.pdf, Son Erişim Tarihi: 10.12.2021.
- Akkurt, M. (2000). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 5-83.
- İnternet: Aksu, M. *CNC Torna Tezgahları*. URL: <http://web.archive.org/web/20220207194548/https://aksumakina.wordpress.com/2018/01/21/cnc-torna-tezgahlari>, Son Erişim Tarihi: 15.11.2021.
- Altan Özbek, N., Çiçek, A., Gülesin, M. ve Özbek, O. (2017). AISI 304 ve AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(1), 43-49.
- Altıntaş, Y. (2012). *Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design, Manufacturing Automation*. Cambridge: Cambridge University Press, 35-70.
- Aran, A., ve Temel, M. A. (2004). *Paslanmaz Çelik üretimi, kullanımı, standartları*. İstanbul: Sarıtaş A.Ş, 8-57.
- Asiltürk, İ. and Akkuş, H. (2011). Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method. *Measurement*, 44(9), 1697-1704.
- Aydemir, B. (2009). Sertlik Ölçüm Yöntemlerinin Bugünü ve Yarını. *Metal Dünyası*, 1(189), 1-5.
- Aytürk, A. (2010). *AISI316Ti Paslanmaz Çeliğin İşlenmesinde Kesici Uç Geometrisinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 55-74.
- Bakşıyev, İ. (2014). *Takım Tezgahları Ders Notları*. Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 35-55.

- Baldoukas, A. K., Soukatzidis, F. A., Demosthenous, G. A. and Lontos, A. E. (2008). *Experimental Investigation Of The Effect Of Cutting Depth, Tool Rake Angle And Workpiece Material Type On The Main Cutting Force During A Turning Process*. Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering, Chalkidiki, Greece, 47-56.
- Bono, M. and Hibbard, R. (2007). A flexure-based tool holder for sub- μ m positioning of a single point cutting tool on a four-axis lathe, *Precision Engineering*, 31(2), 169-176.
- Bouazid, L., Berkani, S., Yallese, M. A., Girardin, F. and Mabrouki, T. (2018). Estimation and optimization of flank wear and tool lifespan in finish turning of AISI 304 stainless steel using desirability function approach. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(3), 349-368.
- Chanthana, D. and Tangjitsitharoen, S. (2015). A Study of Relation between Roundness and Cutting Force in CNC Turning Process. *Applied Mechanics and Materials*, 799(8), 366-371.
- Çakır, M. C. (1999). *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*. Bursa: Vipaş A.Ş., 32-99.
- Debnath, S., Reddy, M. M. and Yi, Q. S. (2015). Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning process using Taguchi method. *Measurement*, 1(78), 111-119.
- DeGarmo, E., Black, J. and Kohser, R. (1999). *Materials and Processes in Manufacturing*. New Jersey: Prentice-Hall, 254-281.
- İnternet: Dormer. *Technical Handbook*. URL: http://web.archive.org/web/20220207194849/https://www.dormerpramet.com/downloads/tech_handbook_2015.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.11.2021.
- Duran, A. ve Acır, A. (2004). HSS Torna Kalemindeki Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7(3), 211-215.
- Elitaş, M. ve Çiftçi, İ. (2017). Sertleştirilmiş AISI 52100 Malzemenin Aşındırıcı Diskle Kesilmesinin Araştırılması. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(2), 1-10.
- Ertek, C. (2013). *Kesici Takımların Fonksiyonel Derecelendirilmiş TiCN ve TiBCN ile Kaplamasının Karakterizasyonu*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 65-75.
- Fang, D. and Lee, N. J. (2001). A new tooling mechanism for CNC lathes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(1) 89-101.
- Faraway, J. J. (2002). *Practical Regression and Anova using R*. Bath: University of Bath, 95-200.

- İnternet: Faro. 8 Axis Edge FaroArm and ScanArm. URL: <http://web.archive.org/web/20220207195411/https://www.faro.com/en/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-8-axis-edge-faroarm-scanarm>, Son Erişim Tarihi: 05.03.2021.
- Gilmore, C. M. (2015). *Materials Science and Engineering Properties* (First edition). Stamford: Nelson Education, 185-206.
- Gökkaya, H., Nalbant, M. ve Şeker, U. (2004). Talaş Kaldırma Sırasında Açığa Çıkan Isının Kesme Bölgesinde Oluşturduğu Sıcaklıkların Ölçülmesinde Kullanılan Yöntemler. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 297-305.
- Görög, A. (2011). Number of Points for Roundness Measurement - Measured Results Comparison. *Research Papers Research Papers Faculty of Materials Science and Technology in Trnava*, 19(30), 19-24.
- Groover. (2008). *Fundamentals of Modern Manufacturing* (Fourth edition). New Jersey: John Wiley and Sons, 495-510.
- Groover. (2016). *Modern İmalatın Prensipleri* (Birinci baskı). (çev. M. Yurdakul ve Y. T. İç) Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık (Eserin orijinali 2008'de yayımlandı), 483-577.
- Gupta, V. K. and Parsad, R. (2013). *Fundamentals of Design of Experiments*. Singapore: World Scientific Publishing, 185-210.
- Gülmez, T. (2015). *Kesme Takımı Teknolojisi Ders Notları*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 56.
- Günay, M. (2003). *Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 95-97.
- Günay, M. (2013). AISI316L Çeliğinin İşlenmesinde Takım Radyüsü ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 437-444.
- Günay, M. ve Şeker, U. (2005). Kesici Takım Talaş Açısının İlerleme Kuvveti Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 8(4), 323-328.
- Günay, M., Aslan, E., Korkut, İ. and Şeker, U. (2004). Investigation of the effect of rake angle on main cutting force. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(9), 953-959.
- Güneş, S. (2015). *Honlama Prosesinde Yüzey Kalitesini Etkileyen Parametrelerin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37-74.

- Gürbüz, H. (2012). *Çeliğin İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi Ve Kaplama Tiplerinin Yüzey Bütünlüğü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 42-64.
- Gürbüz, H., Kafkas, F. ve Şeker, U. (2012). *AISI 316L Çeliğinin İşlenmesinde Kesici Takım Burun Yarıçapının Kalıntı Gerilmeler Üzerine Etkisi*. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara, 35-50.
- Hadi, Y. A., Varghese, S. and İbrahim, A. A. (2009). Effects Of Machining Parameters In Turning On Roundness Error Of Machined Components. *International Journal of Materials Engineering and Technology*, 2(1), 55-68.
- İnternet: Hobson, T. Methods of Roundness Measurement in Metrology. *What is Roundness*. URL: <http://web.archive.org/web/20220207200003/https://www.taylor-hobson.com/resource-center/blog/2019/october/introduction-to-the-measurement-of-roundness>, Son Erişim Tarihi: 12.09.2021.
- Hwang, J., HyounJeong, E., Chung, E.S., and Liang, S. Y. (2013). Assessment of the Cutting Tool ing Effect on Turning Chatter. *Applied Mechanics and Materials*, 433(1), 2101-2106.
- İnternet: ISSForum. *The Stainless Steel Family*. URL: <http://web.archive.org/web/20220207200410/https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/TheStainlessSteelFamily.pdf>, Son Erişim Tarihi: 12.09.2021.
- Işık, Y. (2009). *Kesici Takım Teknolojisi*. Bursa: Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, 15-38.
- Jana, D. R. and Mandal, T. (2008). *Mathematical Calculation of Effects on Tool Setting on Tool Cutting Angle*. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, China, Hong Kong, 19-21.
- Jawahir, I. S., Ghosh, R., Fang, X. D. and Li, P. X. (1995). An investigation of the effects of chip flow on tool-wear in machining ith complex grooved tools. *Wear*, 184(2), 145-154.
- Kaldor, S. and Ber, A. (1990). A Criterion to Optimize Cutting Tool Geometry. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 39(1), 155-164.
- Karagöl, T. (2008). *Al 7075 Alaşım Malzemesinin DLC Kaplamalı Kesici Takımlarla CNC Torna Tezgahında İşlenebilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 57-69.
- Kaya, M. K. (2019). *Talaş Kırıcı Formu Uygulanmış Çok Kristalli Elmas (ÇKE) Takımların Performansının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20.

- Kayır, Y., Aslan, S. ve Aytürk, A. (2014). AISI 316Ti Paslanmaz Çeliğin Tornalanmasında Kesici Uç Etkisinin Taguchi Yöntemi ile Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 363-372.
- Klocke, F. (2011). *Manufacturing Processes 1* (First edition). Berlin: Springer, 95-156.
- Koçak, H. (2011). *GGG 90 Küresel Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Yüzey Pürüzlülüğü Ve Takım Aşınması Açısından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 56-78.
- Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ. and Şeker, U. (2004). Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials and Design*, 25(4), 303-305.
- İnternet: Korloy. *Kesici Takımlar Kataloğu*. URL: http://web.archive.org/web/20220207200811/http://www.korloy.com/en/ebook/2020-2021_%20KORLOY%20CUTTING%20TOOLS%28TR%29/, Son Erişim Tarihi: 05.01. 2022.
- Kosaraju, S., Anne, V. and Ghanta, V. (2011). *Effect of Rake Angle and Feed Rate on Cutting Forces in an Orthogonal Turning Process*. International Conference on Trends in Mechanical and Industrial Engineering, Bangkok, Thailand, 150-154.
- Kul, S. (2014). İstatistik Sonuçların Yorumu: P Değeri ve güven Aralığı Nedir? *Bulletin of Pleura-Plevra Bülteni*, 8(1), 11-13.
- Kuzu, C. (2008). *Metal Sertliği Test Cihazlarının Kalibrasyonu*. VII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Ankara, 517-523.
- Lata, S. and Hitesh. (2020). A Design Insight for Substitution of Metal Shims with Reverse Engineered Element in Tool Post for Alignment of Tool-Work Center. *European Journal of Engineering Science and Technology*, 3(1), 114-129.
- Ma, T. (2014). A Height Adjustable Tool Holder. *Applied Mechanics and Materials*, 496(1), 873-876.
- Magdum, V. B. (2016). Investigate the effectt of approaching angle on cutting force during EN 8 steel turning. *International Journal of Computer Engineering In Research Trends*, 3(9), 471-475.
- Mandal, N., Doloi, B. and Mondal, B. (2015). Surface Roughness Prediction Model using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) Turning Inserts: Taguchi Method and Regression Analysis. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*, 97(1), 77-84.
- Mavi, A. (2018). Gri İlişkisel Analiz Yöntemi ile Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Delinmesinde Yüzey Form Özelliklerini Etkileyen Optimum Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(3), 634-643.

- Mavi, A. ve Uzun, G. (2017). Double 1.4462 Stainless Steel's Machining Parameters' Effect on Machinability. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(3), 177-184.
- Memiş, F. (2015). *AISI 2205 (EN 1.4462) Paslanmaz Çeliğin CNC Torna Tezgahında İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerinin Deneysel Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 47-56.
- Memiş, F. and Turgut, Y. (2020). AISI 2205 Double Stainless Steel's CNC Torna Tezgahında İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerinin Deneysel Araştırılması. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1(1), 22-33.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (Eighth edition). New York: John Wiley and Sons, 112-200.
- Mori, M. and Fujishimaa, M. (2013). *Sustainable service system for machine tools*. 2. International Through-life Engineering Services Conference, Nagoya, Japan, 8-14.
- Negrete, C. C. (2013). Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA. *Journal of Cleaner Production*, 53(1), 1-9.
- Neşeli, S. (2006). *Tornalamada takım geometrisi ve tirlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 100-140 .
- Oğuz, B. (1993). *Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları*. Kocaeli: Oerlikon Yayını, 25-35.
- Outeiro, J. C., Dias, A. M., Lebrun, J. L. and Astakhov, V. P. (2002). Machining residual stresses in AISI 316L steel and their correlation with the cutting parameters. *Machining Science and Technology*, 6(2), 251-270.
- Özçatalbaş, Y. (2020). Çeliklerin işlenebilirliği: Kimyasal bileşim, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirlik ilişkisi. *Politeknik Dergisi*, 23(2), 457-482.
- Özdemir, C. (2010). *Paslanmaz Çelikler ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 35-45.
- Pınar, A. M. ve Güllü, A. (2007). Dairesellik Hatası Ölçümünde Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi . *Politeknik Dergisi*, 10(2), 137-144.
- Rajaguru, J. and Arunachalam, N. (2017). Coated tool Performance in Dry Turning of Super Duplex Stainless Steel. *Procedia Manufacturing*, 10(1), 601-611.
- Rao, V. D., Mahaboob, S. R. and Saqheed, k. Z. (2018). Multi-objective optimization of cutting parameters in CNC turning of stainless steel 304 with TiAlN nano coated tool. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 25789–25797.

- Rico, L., Naranjo, A., Noriega, S., Martínez, E. and Vidal, L. (2010). *Effect Of Cutting Parameters On The Roundness Of Cylindrical Bars Turned Of 1018 Steel*. Proceedings of the 15th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Burgos, Spain, 131-136.
- Saglam, H., Unsacar, F. and Yaldiz, S. (2006). Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(1), 132-141.
- İnternet: Sandvik Coroman. *Metal Cutting Technology, A Training Handbook*. URL: <http://web.archive.org/web/20220207201648/https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/downloads/pages/default.aspx?filter=%7B%22refiners%22%3A%7B%22languages%22%3A%5B%22trtr%22%5D%2C%22categories%22%3A%5B%5D%7D%7D>, Son Erişim Tarihi: 05.01.2022.
- Sandvik Coromant. (1997). *Modern Metal Cutting: A Practical Hand Book*. (First edition). U.S.A: Sandvik Coromant, 15-45.
- Sayeed Ahmed, G. M., Quadri, S. H. and Mohiuddin, M. S. (2015). Optimization of Feed and Radial Force in Turning Process by using Taguchi Design Approach. *Materials Today: Proceedings*, 2(4), 3277-3285.
- Sekmen, M. (2013). *Talaş Açısının Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmeler Üzerindeki Etkilerinin Simülasyonu ve Deneysel Olarak Doğrulanması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 84-159.
- Sekmen, M., Günay, M. ve Şeker, U. (2015). Alüminyum Alaşımlarının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 18(3), 141-148.
- Shaw, M. (2005). *Metal cutting principles* (Second edition). New York: Oxford University Press, 307-479.
- Subaşı, M., Kafkas, F. ve Karataş, Ç. (2010). *AISI 4140 Çeliğinde Sertlik ve Kalıntı Gerilme İlişkisi*. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 211-220.
- Sui, W. and Zhang, D. (2012). *Four Methods for Roundness Evaluation*. International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering, Zibo, China, 2159-2164.
- Şahin, Y. (2000). *Talaş kaldırma prensipleri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 298-332.
- Şeker, U. (2008). *Kesici Takım Tasarımı Ders Notları*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 37-85.
- Tekaslan, Ö., Gerger, N., Günay, M. ve Şeker, U. (2007). AISI304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Titanyum Karbür Kaplamalı Kesici Takım ile Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 135-144.

- Tekiner, Z. and Yeşilyurt, S. (2004). Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials and Design*, 25(1), 507-513.
- Thomsen, E. G., Macdonald, A. G. and Kobayashi, S. (1962). Flank Friction Studies With Carbide Tools Reveal Sublayer Plastic Flow. *Journal of Engineering for Industry*, 84(1), 53-62.
- Thyer, G. E. (1991). *Computer Numerical Control of Machine Tools*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 219-239.
- Usman, K. M. (2012). Effects of Tool Rake Angle on Tool Life in Turning Tools. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 3(4), 1-4.
- Wang, M., Cheraghi, S. H. and Masud, A. M. (1999). Circularity error evaluation theory and algorithm. *Precision Engineering*, 23(3), 164-176.
- Yaldız, S. (2010). *Talaşlı İmalat Usülleri Ders Notları*. Konya: Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, 26.
- Yaşar, S. A. (2017). *PH Paslanmaz Çeliğinin İşlenebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 10.
- Yeyen, H. E. (2006). *AISI304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 50-70.

EKLER

EK-1. Malzeme sertifikası

VIRAJ PROFILES LIMITED
10 IMPERIAL CHAMBERS, 1ST FLOOR,
WILSON ROAD, BALLARD ESTATE,
MUMBAI 400 038 INDIA

CUSTOMER:
İNANLI METAL
SAN. DİST. TİC. LTD. ŞTİ.
Emineel Sarıaylı Sitesi 1450. Sok. No: 31
Yedik ÖSD / Yenimahalle / ANKARA
Tel: 0 312 395 40 01
U.S. V.D. 470 085 2727

TEST CERTIFICATE
ORDER NO.
PO#1295-1/2009
BUNDLE NO.
2050381

PACKING LIST NO.
IMP/102037
INSPECTION NO.
IMP/102037/12
DATE
12/06/2009
GRADE
AISI 304

DESCRIPTION:
STAINLESS STEEL BRIGHT BARS

PEELED & POLISHED

SIZE (MM)	SHAPE	TOLERANCE	LENGTH (MTR)	PIECES	WEIGHT (MTS)
50.000	ROUND	h9	6.00 - 6.20	8	0.750

CHEMICAL ANALYSIS

AT NO.	80015										
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	N	Co
	0.045	1.64	0.45	0.025	0.039	8.02	18.33	0.35	0.55	0.093	0.14

TEST RESULT

2% YIELD STRENGTH MPA	TENSILE STRENGTH MPA	ELONGATION %	REDUCTION OF AREA %	HARDNESS BHN
303	644	52	70	189

Specification:
MATERIAL CONFORMING TO ASTM A 276-98 COND A, 100% SATISFACTORY AS PER ASTM A292-02a PRACTICE C. CERTIFIED AS PER EN 10204-3.1.

WORKS:
VIRAJ IS FREE FROM MERCURY CONTAMINATION, FREE FROM WELD OR WELD REPAIRS, MELTED AND PROCESSED IN INDIA. WE CONFIRM THAT THE MATERIAL HAS BEEN TESTED AND FOUND TO BE FREE FROM RADIOACTIVE CONTAMINATION.

We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of order/contract.

İNANLI METAL
SAN. DİST. TİC. LTD. ŞTİ.
Emineel Sarıaylı Sitesi 1450. Sok. No: 31
Yedik ÖSD / Yenimahalle / ANKARA
Tel: 0 312 395 40 01
U.S. V.D. 470 085 2727

WORKS INSPECTOR

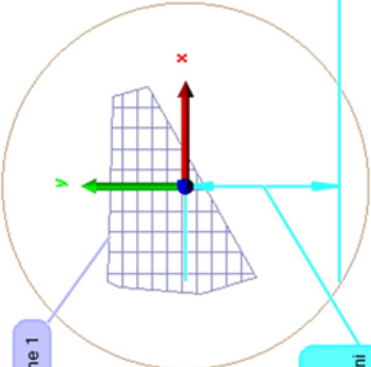
Resim 1.1. Malzeme sertifikası

EK-2. Statik takım tutucu



Resim 1.2. Statik takım tutucu

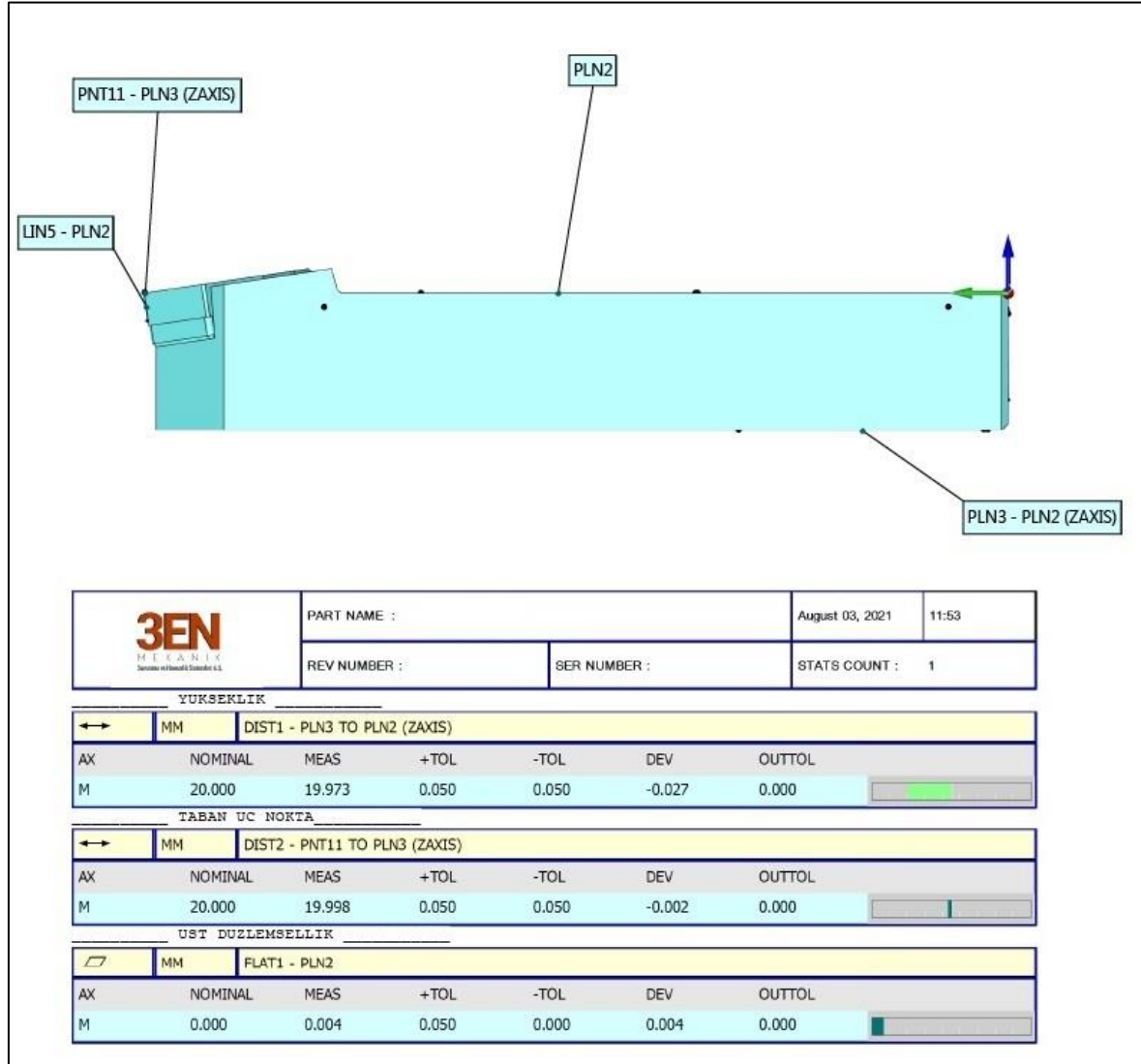
EK-3. CMMArm ölçüm raporu

 AKINCI® TASARIM VE ÖLÇÜM TEKNOLOJİLERİ ERCAN DEMİRER Report Author: Yasin ÖZAL Date: 07.08.2021 	plane 1  distance 1 Ref Feature: circle 1 Feature: kaler tutucu zemini Control Meas Y Distance 20,997	Organization: Akinci Design and Measurement Technologies Operator: Yasin ÖZAL E-mail: yasin.ozal@akincimakina.com.tr Project Number AKN-Ref-1548 Part Name Takım Tutucu Piece: -
--	--	--

Şekil 1.3. CMMArm ölçüm raporu

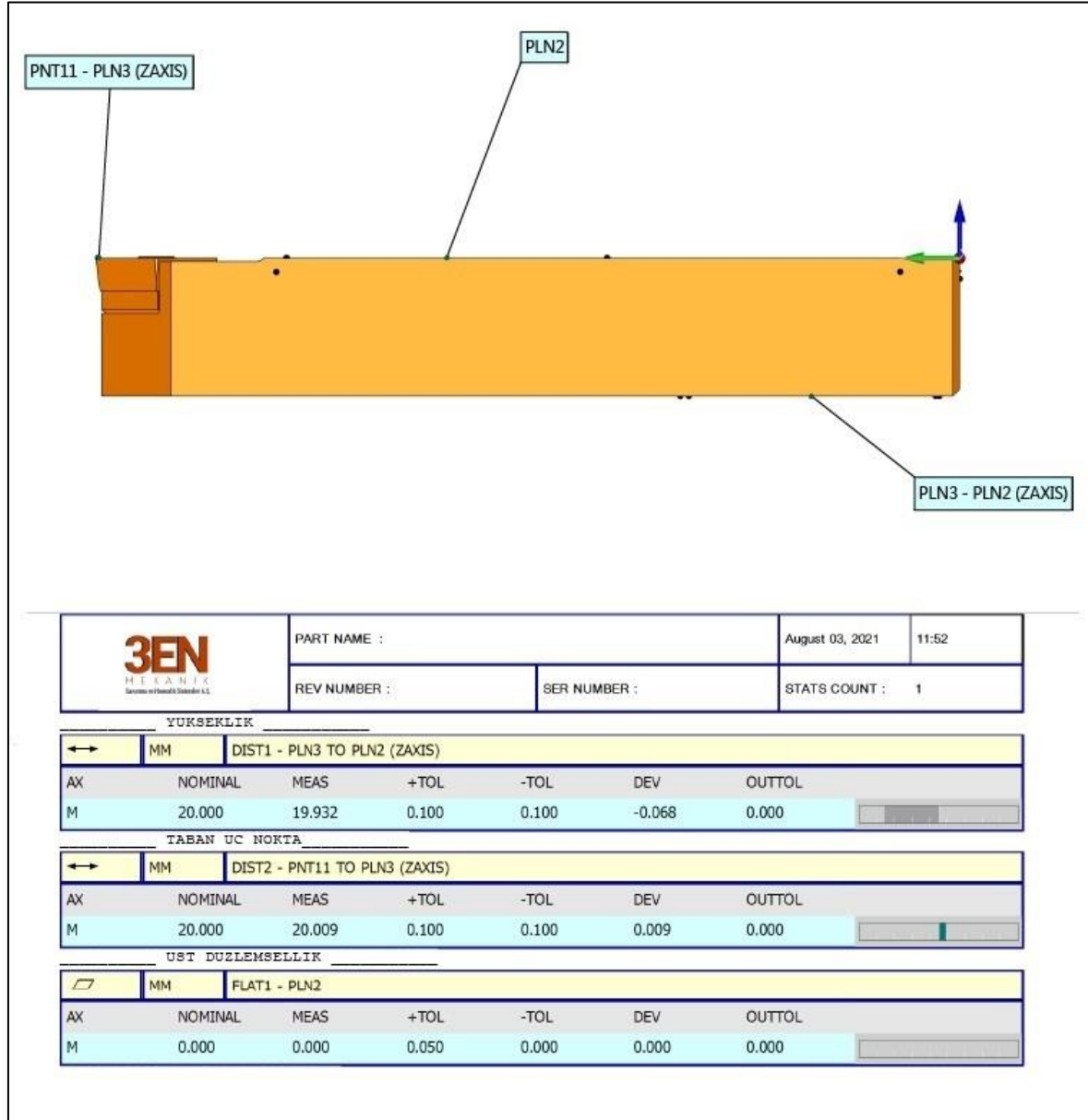
EK-4. Negatif kesici takım CMM ölçüm raporu

Çizelge 1.1. Negatif kesici takım CMM ölçüm raporu



EK-5. Pozitif kesici takım CMM ölçüm raporu

Çizelge 1.2. Pozitif kesici takım CMM ölçüm raporu



EK-6. Negatif takım ile dinamometreden alınan kuvvet değerleri

Çizelge 1.3. Negatif takım dinamometreden alınan kuvvet değerleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Fx(N)	Fy(N)	Fz(N)
1	0,4	100	0,15	0,8	-0,5	176	296	147
2	0,4	150	0,25	1,3	0	289	621	214
3	0,4	225	0,35	2	+0,5	470	1234	343
4	0,4	100	0,15	0,8	-0,5	179	294	147
5	0,4	150	0,25	1,3	0	284	617	215
6	0,4	225	0,35	2	+0,5	482	1230	348
7	0,4	100	0,15	1,3	+0,5	263	455	216
8	0,4	150	0,25	2	-0,5	418	978	338
9	0,4	225	0,35	0,8	0	229	499	146
10	0,4	100	0,15	2	0	365	658	321
11	0,4	150	0,25	0,8	+0,5	212	420	146
12	0,4	225	0,35	1,3	-0,5	344	840	232
13	0,4	100	0,25	2	-0,5	487	1015	371
14	0,4	150	0,35	0,8	0	270	575	168
15	0,4	225	0,15	1,3	+0,5	231	408	181
16	0,4	100	0,25	2	0	461	1010	362
17	0,4	150	0,35	0,8	+0,5	262	535	164
18	0,4	225	0,15	1,3	-0,5	227	450	185
19	0,8	100	0,25	0,8	+0,5	220	396	147
20	0,8	150	0,35	1,3	-0,5	362	847	239
21	0,8	225	0,15	2	0	322	646	255
22	0,8	100	0,25	1,3	+0,5	300	605	213
23	0,8	150	0,35	2	-0,5	515	1273	348
24	0,8	225	0,15	0,8	0	153	257	110
25	0,8	100	0,35	1,3	-0,5	394	888	263
26	0,8	150	0,15	2	0	341	643	273
27	0,8	225	0,25	0,8	+0,5	201	390	130
28	0,8	100	0,35	1,3	0	373	833	256
29	0,8	150	0,15	2	+0,5	353	657	278
30	0,8	225	0,25	0,8	-0,5	199	416	128
31	0,8	100	0,35	2	+0,5	544	1250	390
32	0,8	150	0,15	0,8	-0,5	171	290	127
33	0,8	225	0,25	1,3	0	269	609	192
34	0,8	100	0,35	0,8	0	278	540	164
35	0,8	150	0,15	1,3	+0,5	245	436	188
36	0,8	225	0,25	2	-0,5	398	975	297

EK-7. Pozitif takım ile dinamometreden alınan kuvvet değerleri

Çizelge 1.4. Pozitif takım dinamometreden alınan kuvvet değerleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Fx(N)	Fy(N)	Fz(N)
1	0,4	100	0,15	0,8	-0,5	146	288	136
2	0,4	150	0,25	1,3	0	243	582	219
3	0,4	225	0,35	2	+0,5	383	1220	362
4	0,4	100	0,15	0,8	-0,5	140	257	132
5	0,4	150	0,25	1,3	0	244	610	223
6	0,4	225	0,35	2	+0,5	385	1220	361
7	0,4	100	0,15	1,3	+0,5	231	451	210
8	0,4	150	0,25	2	-0,5	318	921	308
9	0,4	225	0,35	0,8	0	202	501	155
10	0,4	100	0,15	2	0	328	676	301
11	0,4	150	0,25	0,8	+0,5	186	416	149
12	0,4	225	0,35	1,3	-0,5	245	796	229
13	0,4	100	0,25	2	-0,5	375	972	358
14	0,4	150	0,35	0,8	0	212	533	162
15	0,4	225	0,15	1,3	+0,5	194	421	183
16	0,4	100	0,25	2	0	394	944	363
17	0,4	150	0,35	0,8	+0,5	237	560	170
18	0,4	225	0,15	1,3	-0,5	181	404	180
19	0,8	100	0,25	0,8	+0,5	205	424	150
20	0,8	150	0,35	1,3	-0,5	297	832	250
21	0,8	225	0,15	2	0	284	636	235
22	0,8	100	0,25	1,3	+0,5	284	658	232
23	0,8	150	0,35	2	-0,5	402	1191	354
24	0,8	225	0,15	0,8	0	142	236	108
25	0,8	100	0,35	1,3	-0,5	326	866	278
26	0,8	150	0,15	2	0	294	644	269
27	0,8	225	0,25	0,8	+0,5	180	410	134
28	0,8	100	0,35	1,3	0	345	858	283
29	0,8	150	0,15	2	+0,5	320	680	274
30	0,8	225	0,25	0,8	-0,5	173	409	138
31	0,8	100	0,35	2	+0,5	475	1305	395
32	0,8	150	0,15	0,8	-0,5	147	281	128
33	0,8	225	0,25	1,3	0	224	595	195
34	0,8	100	0,35	0,8	0	261	560	178
35	0,8	150	0,15	1,3	+0,5	217	441	188
36	0,8	225	0,25	2	-0,5	313	923	294

EK-8. Negatif takım dairesellik ve silindiriklik sapması, sertlik ölçüm sonuçları

Çizelge 1.5. Negatif takım dairesellik ve silindiriklik sapması, sertlik ölçüm sonuçları

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takım			
						Ra (μ m)	Cr (μ m)	Cy (μ m)	HL (HLD)
1	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	2,17	18	28	420
2	0,4	150	0,25	1,3	0	5,45	17	30	390
3	0,4	225	0,35	2	+0.5	8,66	42	53	350
4	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	2,10	19	24	426
5	0,4	150	0,25	1,3	0	5,06	13	30	396
6	0,4	225	0,35	2	+0.5	8,89	39	51	347
7	0,4	100	0,15	1,3	+0.5	2,25	15	24	403
8	0,4	150	0,25	2	-0.5	4,94	32	38	383
9	0,4	225	0,35	0,8	0	8,52	18	26	361
10	0,4	100	0,15	2	0	2,12	11	28	403
11	0,4	150	0,25	0,8	+0.5	5,24	18	27	400
12	0,4	225	0,35	1,3	-0.5	7,83	35	39	359
13	0,4	100	0,25	2	-0.5	5,43	25	39	394
14	0,4	150	0,35	0,8	0	8,42	24	38	351
15	0,4	225	0,15	1,3	+0.5	2,55	12	23	410
16	0,4	100	0,25	2	0	4,76	21	35	378
17	0,4	150	0,35	0,8	+0.5	8,68	26	40	383
18	0,4	225	0,15	1,3	-0.5	1,85	22	33	417
19	0,8	100	0,25	0,8	+0.5	2,44	8	15	438
20	0,8	150	0,35	1,3	-0.5	4,17	25	37	398
21	0,8	225	0,15	2	0	1,02	12	20	391
22	0,8	100	0,25	1,3	+0.5	2,25	13	23	432
23	0,8	150	0,35	2	-0.5	4,49	36	38	384
24	0,8	225	0,15	0,8	0	0,84	6	10	421
25	0,8	100	0,35	1,3	-0.5	4,00	24	38	390
26	0,8	150	0,15	2	0	1,23	13	26	407
27	0,8	225	0,25	0,8	+0.5	2,85	5	16	417
28	0,8	100	0,35	1,3	0	4,29	23	29	410
29	0,8	150	0,15	2	+0.5	1,55	14	21	397
30	0,8	225	0,25	0,8	-0.5	2,22	10	19	407
31	0,8	100	0,35	2	+0.5	4,33	34	43	407
32	0,8	150	0,15	0,8	-0.5	0,99	8	14	403
33	0,8	225	0,25	1,3	0	2,50	8	14	419
34	0,8	100	0,35	0,8	0	4,33	16	22	421
35	0,8	150	0,15	1,3	+0.5	0,98	13	15	430
36	0,8	225	0,25	2	-0.5	2,33	19	24	398

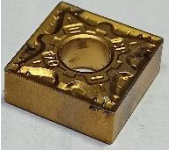
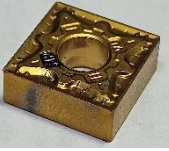
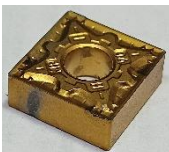
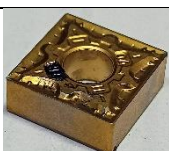
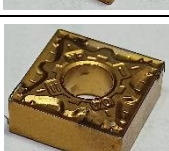
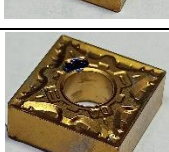
EK-9. Pozitif takım dairesellik ve silindiriklik sapması, sertlik ölçüm sonuçları

Çizelge 1.6. Pozitif takım dairesellik ve silindiriklik sapması, sertlik ölçüm sonuçları

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takım			
						Ra (μ m)	Cr (μ m)	Cy (μ m)	HL (HLD)
1	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	1,72	8	10	420
2	0,4	150	0,25	1,3	0	4,63	7	9	388
3	0,4	225	0,35	2	+0.5	8,90	13	16	342
4	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	1,93	8	12	427
5	0,4	150	0,25	1,3	0	4,51	6	7	396
6	0,4	225	0,35	2	+0.5	8,88	15	18	342
7	0,4	100	0,15	1,3	+0.5	2,28	6	10	399
8	0,4	150	0,25	2	-0.5	4,64	7	10	380
9	0,4	225	0,35	0,8	0	7,95	9	15	361
10	0,4	100	0,15	2	0	2,46	9	14	402
11	0,4	150	0,25	0,8	+0.5	4,98	7	9	389
12	0,4	225	0,35	1,3	-0.5	8,16	13	15	361
13	0,4	100	0,25	2	-0.5	4,83	10	12	390
14	0,4	150	0,35	0,8	0	8,73	9	14	349
15	0,4	225	0,15	1,3	+0.5	2,09	8	9	403
16	0,4	100	0,25	2	0	5,38	9	11	376
17	0,4	150	0,35	0,8	+0.5	8,89	9	11	373
18	0,4	225	0,15	1,3	-0.5	1,63	7	10	418
19	0,8	100	0,25	0,8	+0.5	2,22	5	8	427
20	0,8	150	0,35	1,3	-0.5	4,58	10	13	397
21	0,8	225	0,15	2	0	1,06	4	6	396
22	0,8	100	0,25	1,3	+0.5	2,47	5	9	418
23	0,8	150	0,35	2	-0.5	4,98	9	12	384
24	0,8	225	0,15	0,8	0	0,92	3	5	414
25	0,8	100	0,35	1,3	-0.5	4,53	8	10	391
26	0,8	150	0,15	2	0	0,94	5	8	400
27	0,8	225	0,25	0,8	+0.5	2,19	6	9	407
28	0,8	100	0,35	1,3	0	4,45	8	9	398
29	0,8	150	0,15	2	+0.5	1,02	4	8	393
30	0,8	225	0,25	0,8	-0.5	2,13	6	7	413
31	0,8	100	0,35	2	+0.5	4,82	9	13	393
32	0,8	150	0,15	0,8	-0.5	0,90	4	5	410
33	0,8	225	0,25	1,3	0	2,42	5	5	410
34	0,8	100	0,35	0,8	0	4,98	7	11	418
35	0,8	150	0,15	1,3	+0.5	0,92	5	7	419
36	0,8	225	0,25	2	-0.5	1,88	6	8	401

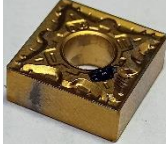
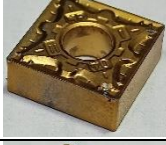
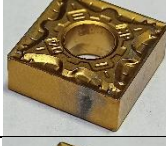
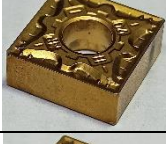
EK-10. Negatif kesici uç resimleri (SNMG)

Çizelge 1.7. Deneylerden sonra negatif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takım	
1	0,4	100	0,15	0,8	-0.5		
2	0,4	150	0,25	1,3	0		
3	0,4	225	0,35	2	+0.5		
4	0,4	100	0,15	0,8	-0.5		
5	0,4	150	0,25	1,3	0		
6	0,4	225	0,35	2	+0.5		
7	0,4	100	0,15	1,3	+0.5		
8	0,4	150	0,25	2	-0.5		
9	0,4	225	0,35	0,8	0		

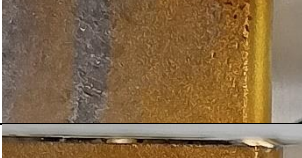
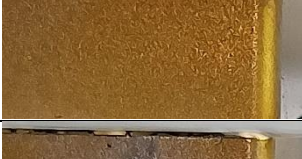
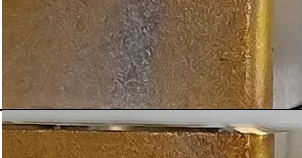
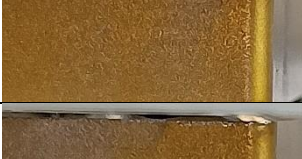
EK-10. (devam) Negatif kesici uç resimleri (SNMG)

Çizelge 1.7. Deneylerden sonra negatif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takım	
10	0,4	100	0,15	2	0		
11	0,4	150	0,25	0,8	+0.5		
12	0,4	225	0,35	1,3	-0.5		
13	0,4	100	0,25	2	-0.5		
14	0,4	150	0,35	0,8	0		
15	0,4	225	0,15	1,3	+0.5		
16	0,4	100	0,25	2	0		
17	0,4	150	0,35	0,8	+0.5		
18	0,4	225	0,15	1,3	-0.5		
19	0,8	100	0,25	0,8	+0.5		

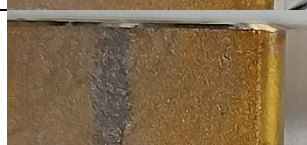
EK-10. (devam) Negatif kesici uç resimleri (SNMG)

Çizelge 1.7. Deneylerden sonra negatif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takım	
20	0,8	150	0,35	1,3	-0.5		
21	0,8	225	0,15	2	0		
22	0,8	100	0,25	1,3	+0.5		
23	0,8	150	0,35	2	-0.5		
24	0,8	225	0,15	0,8	0		
25	0,8	100	0,35	1,3	-0.5		
26	0,8	150	0,15	2	0		
27	0,8	225	0,25	0,8	+0.5		
28	0,8	100	0,35	1,3	0		
29	0,8	150	0,15	2	+0.5		

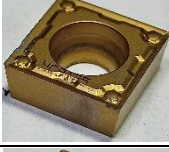
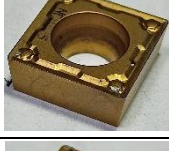
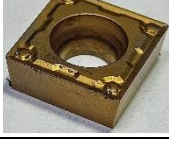
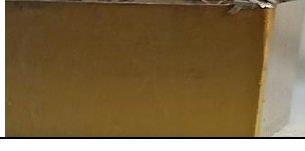
EK-10. (devam) Negatif kesici uç resimleri (SNMG)

Çizelge 1.7. Deneylerden sonra negatif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takım	
30	0,8	225	0,25	0,8	-0.5		
31	0,8	100	0,35	2	+0.5		
32	0,8	150	0,15	0,8	-0.5		
33	0,8	225	0,25	1,3	0		
34	0,8	100	0,35	0,8	0		
35	0,8	150	0,15	1,3	+0.5		
36	0,8	225	0,25	2	-0.5		

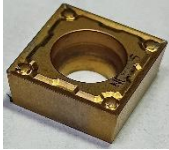
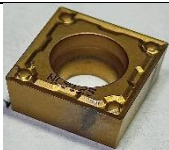
EK-11. Pozitif kesici uç resimleri (SCMT)

Çizelge 1.8. Deneylerden sonra pozitif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takım	
1	0,4	100	0,15	0,8	-0.5		
2	0,4	150	0,25	1,3	0		
3	0,4	225	0,35	2	+0.5		
4	0,4	100	0,15	0,8	-0.5		
5	0,4	150	0,25	1,3	0		
6	0,4	225	0,35	2	+0.5		
7	0,4	100	0,15	1,3	+0.5		
8	0,4	150	0,25	2	-0.5		
9	0,4	225	0,35	0,8	0		
10	0,4	100	0,15	2	0		

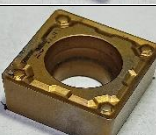
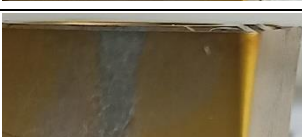
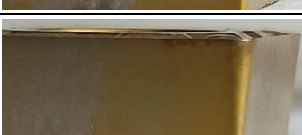
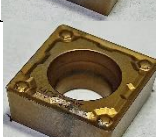
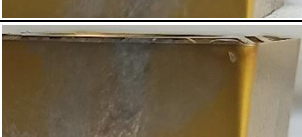
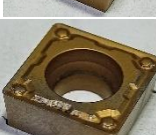
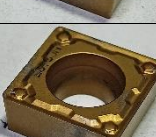
EK-11. (devam) Pozitif kesici uç resimleri (SCMT)

Çizelge 1.8. Deneylerden sonra pozitif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takım	
11	0,4	150	0,25	0,8	+0.5		
12	0,4	225	0,35	1,3	-0.5		
13	0,4	100	0,25	2	-0.5		
14	0,4	150	0,35	0,8	0		
15	0,4	225	0,15	1,3	+0.5		
16	0,4	100	0,25	2	0		
17	0,4	150	0,35	0,8	+0.5		
18	0,4	225	0,15	1,3	-0.5		
19	0,8	100	0,25	0,8	+0.5		
20	0,8	150	0,35	1,3	-0.5		

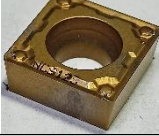
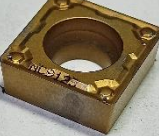
EK-11. (devam) Pozitif kesici uç resimleri (SCMT)

Çizelge 1.8. Deneylerden sonra pozitif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takım		
21	0,8	225	0,15	2	0			
22	0,8	100	0,25	1,3	+0.5			
23	0,8	150	0,35	2	-0.5			
24	0,8	225	0,15	0,8	0			
25	0,8	100	0,35	1,3	-0.5			
26	0,8	150	0,15	2	0			
27	0,8	225	0,25	0,8	+0.5			
28	0,8	100	0,35	1,3	0			
29	0,8	150	0,15	2	+0.5			
30	0,8	225	0,25	0,8	-0.5			

EK-11. (devam) Pozitif kesici uç resimleri (SCMT)

Çizelge 1.8. Deneylerden sonra pozitif kesici uç resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takım		
31	0,8	100	0,35	2	+0.5			
32	0,8	150	0,15	0,8	-0.5			
33	0,8	225	0,25	1,3	0			
34	0,8	100	0,35	0,8	0			
35	0,8	150	0,15	1,3	+0.5			
36	0,8	225	0,25	2	-0.5			

EK-12. Negatif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri (SNMG)

Çizelge 1.9. Negatif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri
1	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	
2	0,4	150	0,25	1,3	0	
3	0,4	225	0,35	2	+0.5	
4	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	
5	0,4	150	0,25	1,3	0	
6	0,4	225	0,35	2	+0.5	
7	0,4	100	0,15	1,3	+0.5	

EK-12. (devam) Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SNMG)

Çizelge 1.9. Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
8	0,4	150	0,25	2	-0.5	
9	0,4	225	0,35	0,8	0	
10	0,4	100	0,15	2	0	
11	0,4	150	0,25	0,8	+0.5	
12	0,4	225	0,35	1,3	-0.5	
13	0,4	100	0,25	2	-0.5	
14	0,4	150	0,35	0,8	0	

EK-12. (devam) Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SNMG)

Çizelge 1.9. Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
15	0,4	225	0,15	1,3	+0.5	
16	0,4	100	0,25	2	0	
17	0,4	150	0,35	0,8	+0.5	
18	0,4	225	0,15	1,3	-0.5	
19	0,8	100	0,25	0,8	+0.5	
20	0,8	150	0,35	1,3	-0.5	
21	0,8	225	0,15	2	0	

EK-12. (devam) Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SNMG)

Çizelge 1.9. Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
22	0,8	100	0,25	1,3	+0.5	
23	0,8	150	0,35	2	-0.5	
24	0,8	225	0,15	0,8	0	
25	0,8	100	0,35	1,3	-0.5	
26	0,8	150	0,15	2	0	
27	0,8	225	0,25	0,8	+0.5	
28	0,8	100	0,35	1,3	0	

EK-12. (devam) Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SNMG)

Çizelge 1.9. Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
29	0,8	150	0,15	2	+0.5	
30	0,8	225	0,25	0,8	-0.5	
31	0,8	100	0,35	2	+0.5	
32	0,8	150	0,15	0,8	-0.5	
33	0,8	225	0,25	1,3	0	
34	0,8	100	0,35	0,8	0	
35	0,8	150	0,15	1,3	+0.5	

EK-12. (devam) Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SNMG)

Çizelge 1.9. Negatif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Negatif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
36	0,8	225	0,25	2	-0.5	

EK-13. Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SCMT)

Çizelge 1.10. Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
1	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	
2	0,4	150	0,25	1,3	0	
3	0,4	225	0,35	2	+0.5	
4	0,4	100	0,15	0,8	-0.5	
5	0,4	150	0,25	1,3	0	
6	0,4	225	0,35	2	+0.5	

EK-13. (devam)Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SCMT)

Çizelge 1.10. Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
7	0,4	100	0,15	1,3	+0.5	
8	0,4	150	0,25	2	-0.5	
9	0,4	225	0,35	0,8	0	
10	0,4	100	0,15	2	0	
11	0,4	150	0,25	0,8	+0.5	
12	0,4	225	0,35	1,3	-0.5	
13	0,4	100	0,25	2	-0.5	

EK-13. (devam) Pozitif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri (SCMT)

Çizelge 1.10. Pozitif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri
14	0,4	150	0,35	0,8	0	
15	0,4	225	0,15	1,3	+0.5	
16	0,4	100	0,25	2	0	
17	0,4	150	0,35	0,8	+0.5	
18	0,4	225	0,15	1,3	-0.5	
19	0,8	100	0,25	0,8	+0.5	
20	0,8	150	0,35	1,3	-0.5	

EK-13. (devam) Pozitif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri (SCMT)

Çizelge 1.10. Pozitif kesici takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takım ile yapılan deneylere ait talaş resimleri
21	0,8	225	0,15	2	0	
22	0,8	100	0,25	1,3	+0.5	
23	0,8	150	0,35	2	-0.5	
24	0,8	225	0,15	0,8	0	
25	0,8	100	0,35	1,3	-0.5	
26	0,8	150	0,15	2	0	
27	0,8	225	0,25	0,8	+0.5	

EK-13. (devam) Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SCMT)

Çizelge 1.10. Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
28	0,8	100	0,35	1,3	0	
29	0,8	150	0,15	2	+0.5	
30	0,8	225	0,25	0,8	-0.5	
31	0,8	100	0,35	2	+0.5	
32	0,8	150	0,15	0,8	-0.5	
33	0,8	225	0,25	1,3	0	
34	0,8	100	0,35	0,8	0	

EK-13. (devam) Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri (SCMT)

Çizelge 1.10. Pozitif kesici takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri

D.No.	Rd (mm)	V (m/dak)	F (mm/dev)	Ap (mm)	H (mm)	Pozitif takımla yapılan deneylere ait talaş resimleri
35	0,8	150	0,15	1,3	+0.5	
36	0,8	225	0,25	2	-0.5	

EK-14. Sertlik değeri dönüşüm tablosu

Çizelge 1.11. Sertlik değeri dönüşüm tablosu (Gilmore, 2015)

Brinell (HB)	Vickers (HV)	Rockwell C (HRC)	Rockwell B (HRB)	Leeb (HLD)
725	1060	67	-	829
712	1021	66	-	824
682	940	65	-	812
668	905	64	-	806
652	867	63	-	799
626	803	62	-	787
614	775	61	-	782
601	746	60	-	776
590	727	59	-	770
576	694	57	-	763
552	649	56	-	751
545	639	55	-	748
529	606	54	-	739
514	587	53	120	731
502	565	52	119	724
495	551	51	119	719
477	534	49	118	709
461	502	48	117	699
451	489	47	117	693
444	474	46	116	688
427	460	45	115	677
415	435	44	115	669
401	423	43	114	660
388	401	42	114	650
375	390	41	113	640
370	385	40	112	635
362	380	39	111	630
351	361	38	111	622
346	352	37	110	617
341	344	37	110	613
331	335	36	109	605
323	320	35	109	599
311	312	34	108	588
301	305	33	107	579
293	291	32	106	572
285	285	31	105	565
276	278	30	105	557
269	272	29	104	550
261	261	28	103	542
258	258	27	102	539
249	250	25	101	530
245	246	24	100	526

EK-14. (devam) Sertlik değeri dönüşüm tablosu

Çizelge 1.11. Sertlik değeri dönüşüm tablosu

Brinell (HB)	Vickers (HV)	Rockwell C (HRC)	Rockwell B (HRB)	Leeb (HLD)
237	235	23	99	518
229	226	22	98	510
224	221	21	97	505
217	217	20	96	497
211	213	19	95	491
206	209	18	94	485
203	201	17	94	482
200	199	16	93	478
196	197	15	92	474
191	190	14	92	468
187	186	13	91	463
185	184	12	91	461
183	183	11	90	459
180	177	10	89	455
175	174	9	88	449
170	171	7	87	443
167	168	6	87	439
165	165	5	86	437
163	162	4	85	434
160	159	3	84	430
156	154	2	83	425
154	152	1	82	423
152	150	-	82	420
150	149	-	81	417
147	147	-	80	413
145	146	-	79	411
143	144	-	79	408
141	142	-	78	405
140	141	-	77	404
135	135	-	75	398
130	130	-	72	390
114	120	-	67	365
105	110	-	62	350
95	100	-	56	331
90	95	-	52	321
81	85	-	41	300
76	80	-	37	287



GAZİ GELECEKTİR..