



**BEYAZ DÖKME DEMİRİN DELİK İÇİ TORNALANMASINDA
KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Yasin ERKOÇAK

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

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.

Yasin ERKOÇAK

29 /07/ 2024

BEYAZ DÖKME DEMİRİN DELİK İÇİ TORNALANMASINDA KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

(Doktora Tezi)

Yasin ERKOÇAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Sertliği 45HRC'den yüksek olan ve sert malzemeler grubuna giren, yüksek aşınma direncine sahip beyaz dökme demirler, çamur pompalarında, beton kırıcılarda, çimento karıştırıcılarda, bazı otomotiv parçalarının (baga) üretiminde vb. yüksek aşınma direnci istenen yerlerde kullanılmaktadır. Martenzitik beyaz dökme demir (NiHARD-4) ve yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD) malzemelerin iç yapılarında bulunan sert karbürlerden dolayı işlenmesi zordur. Bu çalışmada; NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerinin delik içi tornalanması yöntemiyle işlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır. İşleme deneylerinde, kesme parametreleri olarak; iki farklı kesici uç (cbn, karbür) üç farklı kater tipi (çelik gövdeli, karbür gövdeli, avb), üç farklı kater bağlama uzunluğu (L/D: boy-çap oranı, 3-4-5) üç farklı ilerleme değeri (0,07-0,10-0,16 mm/dev), her bir kesici uç için üç farklı kesme hızı değeri (CBN için; 90-135-200 m/dak, KARBÜR için; 40-60-90 m/dak) ve sabit talaş derinliği sabit kullanılmıştır. Deneylerde Taguchi L18 karma tip deney tasarım modeli kullanılmıştır. Deneyler kuru ve ıslak işleme şartlarında ayrı ayrı yapılmıştır. Kullanılan kesme parametrelerinin, elde edilen yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma, çaptan sapma ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çıktılar üzerindeki en etkili parametreler ve etki oranları Taguchi ve Varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Kesme parametrelerinin çıktılar üzerindeki etkileri, oluşturulan iki ve üç boyutlu grafikler ile yorumlanmıştır. GRA (Gri İlişkisel Analiz) ve TOPSIS (İdeal Çözümüne Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği) çoklu optimizasyon yöntemleri kullanılarak deney sonuçları üzerinde en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, CBN ve KARBÜR kesici uçlarla malzemelerin işlenebildiği, CBN kesici uçların, KARBÜR kesici uçlara göre deney sonuçları üzerinde daha iyi performans sağladığı görülmüştür. CBN kesici uç ile ıslak işleme şartlarında KARBÜR kesici uç ile de kuru işleme şartlarında daha iyi yüzey pürüzlülüğü, CBN kesici uç ile kuru işleme şartlarında, KARBÜR kesici uç ile de ıslak işleme şartlarında daha düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir. AVB ve karbür katerler, çelik katere göre elde edilen delik geometrisi üzerinde daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur. Delik içi tornalamada genel olarak katerlerin kısa bağlanması (L/D:3) delik yüzeyi ve geometrisi üzerinde daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Beyaz Dökme Demir, NiHARD-4, YKBDD, İşlenebilirlik, Delik içi Tornalama, Sert Tornalama,

Sayfa Adedi : 237

Danışman : Prof. Dr. Yunus KAYIR

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN BORING OF WHITE CAST IRON

(Ph. D. Thesis)

Yasin ERKOÇAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

White cast irons with a hardness higher than 45HRC which are included in the group of hard materials and have high wear resistance are used in mud pumps, concrete crushers, cement mixers, in the production of some automotive parts (insert) etc. where high wear resistance is required. Martensitic white cast iron (NiHARD-4) and high chromium white cast iron (HCWCI) are difficult to machine due to the hard carbides in their internal structures. In this study, experiments were carried out on the machining of NiHARD-4 and HCWCI materials by internal turning method. In the machining experiments, the cutting parameters were; two different cutting inserts (cbn, carbide), three different cutter types (steel, carbide, avb), three different cutter clamping lengths (L/D: length-diameter ratio, 3-4-5), three different feed values (0.07-0.10-0.16 mm/rev), three different cutting speed values for each cutter insert (for CBN; 90-135-200 m/min, for CARBIDE; 40-60-90 m/min) and a constant depth of cut were used. Taguchi L18 mixed type experimental design model was used in the experiments. The experiments were carried out separately under dry and wet machining conditions. The effects of the cutting parameters used on the obtained surface roughness, deviation from circularity, deviation from cylindricality, deviation from diameter and cutting forces were investigated. The most effective parameters and effect rates on the outputs were determined by Taguchi and Analysis of Variance (ANOVA). The effects of cutting parameters on the outputs were interpreted with the two- and three-dimensional graphics created. The most suitable cutting parameters were determined on the experimental results using GRA (Grey Relational Analysis) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) multiple optimization methods. As a result of the study, it was seen that the materials can be processed with CBN and CARBIDE cutting inserts, and CBN cutting inserts provided better performance on the experimental results than CARBIDE cutting inserts. Better surface roughness was obtained with CBN insert in wet machining conditions and with CARBIDE cutting insert in dry machining conditions, and lower cutting forces were obtained with CBN insert in dry machining conditions and with CARBIDE cutting insert in wet machining conditions. AVB and carbide body toolholders showed better results on the hole geometry obtained compared to steel body toolholders. In internal turning, it was determined that short connection of the toolholders (L/D:3) was generally more suitable on the hole surface and geometry.

Science Code : 91438

Key Words : White cast iron, NiHARD-4, HCWCI, machinability, boring (internal Turning), hard turning

Page Number : 237

Supervisor : Prof. Dr. Yunus KAYIR

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince her türlü destek ve katkılarıyla çalışmamı yönlendiren çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yunus KAYIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen Tez İzleme Komitesi (TİK) üyeleri Sayın Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ ve Sayın Doç. Dr. Yakup TURGUT hocalarıma teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca atölyelerin kullanımı, ölçümlerin yapılması vb. katkılarından dolayı İmalat Mühendisliği, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü çalışanlarına ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma 07/2019-07 proje kodu ile Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xxvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxviii
1. GİRİŞ.....	1
2. TALAŞLI İMALAT.....	3
2.1. Talaş Kaldırma Mekaniği.....	4
2.2. Kesme Kuvvetleri	5
2.3. Yüzey Pürüzlülüğü.....	6
2.4. Geometrik Doğruluklar (Dairesellik, Silindiriklik ve Çap).....	8
2.5. Kesici Uç Malzemeleri.....	8
2.5.1. Yüksek hız çeliği.....	8
2.5.2. Karbür.....	9
2.5.3. Sermetler.....	9
2.5.4. Seramikler.....	9
2.5.5. Elmas	9
2.5.6. Kübik bor nitrür (CBN).....	10
2.6. Talaşlı İmalat Yöntemleri.....	10
2.6.1. Tornalama.....	10
2.6.2. Frezeleme.....	11
2.6.3. Delik delme.....	11

	Sayfa
2.7. Sert Tornalama.....	12
3. DELİK İÇİ TORNALAMA İŞLEMİ	13
3.1. Delik İçi Tornalama İşleminde Oluşabilecek Problemler	13
3.1.1. Titreşim ve tırlama	13
3.1.2. Dairesellikten sapma	15
3.1.3. Silindiriklikten sapma	15
3.1.4. Çaptan sapma.....	16
3.2. Delik İçi Tornalamada Meydana Gelen Geometrik Sapmaların Ölçülmesi	17
4. DÖKME DEMİRLER.....	19
4.1. Gri Dökme Demirler	19
4.2. Küresel Grafitli Dökme Demirler	20
4.3. Temper Dökme Demirler	20
4.4. Beyaz Dökme Demirler.....	20
4.4.1. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler	21
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	25
5.1. Sert Malzemelerin Delik İçi Tornalanması ile İlgili Yapılan Çalışmalar	25
5.2. Beyaz Dökme Demirin Tornalanması ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	29
5.3. Literatürün Değerlendirilmesi (Çalışmanın Yeri).....	37
6.MATERYAL ve METOT	41
6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	41
6.2. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri	43
6.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Uçlar ve Katerler	45
6.3.1. Kübik bor nitrür (CBN) kesici uçlar	45
6.3.2. Karbür kesici uçlar	46
6.4. Delik İşleme Katerleri.....	46
6.4.1. Çelik gövdeli delik kateri	47

	Sayfa
6.4.2. Karbür gövdeli delik kateri.....	47
6.4.3. Titreşim sönümlmeli (Anti Vibrasyon AVB) delik kateri.....	48
6.5. Deneyleerde Kullanılan Analiz ve Optimizasyon Yöntemleri.....	49
6.5.1. Taguchi deney tasarımı	50
6.5.2. Varyans analizi (ANOVA)	54
6.5.3. Çoklu optimizasyon yöntemleri (GRA ve TOPSIS).....	55
6.6. Deneyleerin Yapılışı	58
6.6.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve geometrik sapma (Ds, Ss, Çs) deneyleerinin yapılışı	59
6.6.2. Kesme kuvveti deneyleerinin yapılışı	60
6.7. Ölçme Yöntemleri.....	65
6.7.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri	65
6.7.2. Geometrik ve boyutsal ölçümler.....	65
6.7.3. Kesme kuvvetleri ölçümleri.....	66
7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	69
7.1. Deneyleerden Elde Edilen Sonuçlar	69
7.1.1. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları (Ra)	69
7.1.2. Diresellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss) ve çaptan sapma (Çs) sonuçları.....	72
7.1.3. Kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) sonuçları	74
7.2. CBN Kesici Uçlarla Yapılan Deney Sonuçlarının Taguchi ve ANOVA Analizi ile Değerlendirilmesi.....	77
7.2.1. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi	77
7.2.2. Kesme parametrelerinin dairesellikten sapmaya (Ds) etkisi	82
7.2.3. Kesme parametrelerinin silindiriklikten sapmaya (Ss) etkisi	87
7.2.4. Kesme parametrelerinin çaptan sapmaya (Çs) etkisi	92
7.2.5. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine (Fc,Fr,Ff) etkisi	97

	Sayfa
7.3. KARBÜR Kesici Uçlarla Yapılan Deney Sonuçlarının Taguchi ve Anova Analizi ile Değerlendirilmesi	109
7.3.1. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi	109
7.3.2. Kesme parametrelerinin dairesellikten sapmaya (Ds) etkisi	113
7.3.3. Kesme parametrelerinin silindiriklikten sapmaya (Ss) etkisi	118
7.3.4. Kesme parametrelerinin çaptan sapmaya (Çs) etkisi	122
7.3.5. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine (Fc,Fr,Ff) etkisi	126
7.4. Deney Sonuçlarının İki Boyutlu Grafiklerle Değerlendirilmesi.....	139
7.4.1.CBN kesici uçlarla yapılan deney sonuçları.....	139
7.4.2. KARBÜR kesici uçlarla yapılan deney sonuçları.....	142
7.5. Deney Sonuçlarının Üç Boyutlu Grafiklerle Değerlendirilmesi	146
7.5.1.CBN kuru / ıslak işleme yüzey pürüzlülüğü (Ra).....	146
7.5.2. CBN kuru / ıslak işleme dairesellikten sapma (Ds)	150
7.5.3. CBN kuru / ıslak işleme silindiriklikten sapma (Ss).....	154
7.5.4. CBN kuru / ıslak işleme çaptan sapma (Çs).....	158
7.5.5. CBN kuru / ıslak işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff)	162
7.5.6. KARBÜR kuru / ıslak işleme yüzey pürüzlülüğü (Ra).....	165
7.5.7. KARBÜR kuru / ıslak işleme dairesellikten sapma (Ds).....	169
7.5.8. KARBÜR kuru / ıslak işleme silindiriklikten sapma (Ss).....	173
7.5.9. KARBÜR kuru / ıslak işleme çaptan sapma (Çs)	177
7.5.10. KARBÜR kuru / ıslak işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff)	181
7.6. Deney Sonuçlarının Çoklu Optimizasyon Yöntemleri ile Değerlendirilmesi.....	183
7.6.1. Gri ilişkisel analiz (GRA) yöntemi ile optimizasyon.....	185
7.6.2. TOPSIS yöntemi ile optimizasyon.....	196
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	209
8.1. Sonuçlar.....	209
8.2. Öneriler.....	222

	Sayfa
KAYNAKLAR	223
EKLER	233
EK-1. Dinamometre bağlama aparatı teknik resmi.....	234
EK-2. Delik katerini dinamometreye bağlama aparatı teknik resmi.....	235
ÖZGEÇMİŞ	236



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Geometrik Toleranslar	8
Çizelge 4.1. Dökme demirlerin kimyasal bileşimleri	19
Çizelge 4.2. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin sınıflandırılması (ASTM A532).....	21
Çizelge 4.3. NiHARD malzemelerin kimyasal bileşimi	22
Çizelge 4.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin (YKBDD) kimyasal bileşimi.....	23
Çizelge 5.1. Sert malzemelerin delik içi tornalanması ile ilgili literatür özeti	28
Çizelge 5.2. Beyaz dökme demirin tornalanması ile ilgili literatür özeti.....	36
Çizelge 6.1. NiHARD-4 malzemelerin Kimyasal Bileşimi.....	43
Çizelge 6.2. YKBDD malzemelerin Kimyasal Bileşimi	43
Çizelge 6.3. Literatürde kullanılan ve kesici uç firmasının tavsiye ettiği aralıklar	44
Çizelge 6.4. CBN kesici uç için kullanılan kesme parametreleri	44
Çizelge 6.5.KARBÜR kesici uç için kullanılan kesme parametreleri	44
Çizelge 6.6. CBN kesici uç için kesme kuvvetleri için kesme parametreleri.....	45
Çizelge 6.7. KARBÜR kesici uç için kesme kuvvetleri için kesme parametreleri.....	45
Çizelge 6.8. CBN kesici ucun özellikleri	46
Çizelge 6.9. Karbür kesici ucun özellikleri	46
Çizelge 6.10. Çelik katerin özellikleri.....	47
Çizelge 6.11.Karbür katerin özellikleri	48
Çizelge 6.12. Titreşim sönümlenmeli kater özellikleri	49
Çizelge 6.13.Kartuş özellikleri	49
Çizelge 6.14. Bağlama kovanı özellikleri.....	49
Çizelge 6.15. Ra, Ds, Ss, Çs için tam faktöriyel deney tasarımı	51
Çizelge 6.16. Deney faktörleri ve seviyeleri	52
Çizelge 6.17. Taguchi L18 (2 ¹ x3 ⁴) deney tasarımları	52

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.18. Kesme kuvvetleri deney faktörleri ve seviyeleri	53
Çizelge 6. 19. Kesme kuvvetleri Taguchi L18 ($2^1 \times 3^2$) deney tasarımları.....	54
Çizelge 6.20. Kesme kuvvetleri (Fc,Fr,Ff) için tam faktöriyel deney tasarımı	54
Çizelge 6.21. CNC torna tezgâhı özellikleri.....	59
Çizelge 6.22. Dinamometre ölçüm aralığı.....	61
Çizelge 6.23. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm ayarları	65
Çizelge 7.1. CBN kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri	70
Çizelge 7.2. CBN ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri.....	70
Çizelge 7.3. KARBÜR kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri.....	71
Çizelge 7.4.KARBÜR ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri.....	71
Çizelge 7.5.CBN kuru işleme sonucunda elde edilen Ds-Ss ve Çs değerleri.....	72
Çizelge 7.6.CBN ıslak işleme sonucunda elde edilen Ds-Ss ve Çs değerleri	73
Çizelge 7.7.KARBÜR kuru işleme sonucunda elde edilen Ds-Ss ve Çs değerleri	73
Çizelge 7.8.KARBÜR ıslak işleme sonucunda elde edilen Ds-Ss ve Çs değerleri	74
Çizelge 7.9. CBN kuru işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri	75
Çizelge 7.10.CBN ıslak işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri	75
Çizelge 7.11.KARBÜR kuru işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri	76
Çizelge 7.12.KARBÜR ıslak işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri	76
Çizelge 7.13. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri.....	78
Çizelge 7.14. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları	78
Çizelge 7.15.CBN kuru işleme şartları Ra için Varyans analizi.....	79
Çizelge 7.16. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri.....	81
Çizelge 7.17. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları	81
Çizelge 7.18. CBN ıslak işleme şartları Ra için Varyans analizi	81
Çizelge 7.19. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri.....	83
Çizelge 7.20. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları	83

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.21. CBN kuru işleme şartları Ds için Varyans analizi.....	84
Çizelge 7.22. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri.....	86
Çizelge 7.23. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları.....	86
Çizelge 7.24. CBN ıslak işleme şartları Ds için Varyans analizi	86
Çizelge 7.25. CBN kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri	88
Çizelge 7.26. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları	88
Çizelge 7.27. CBN kuru işleme şartları Ss için Varyans analizi	89
Çizelge 7.28. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri	91
Çizelge 7.29. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları.....	91
Çizelge 7.30. CBN ıslak işleme şartları Ss için Varyans analizi	91
Çizelge 7.31. CBN kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri.....	93
Çizelge 7.32. CBN kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları	93
Çizelge 7.33. CBN kuru işleme şartları Çs için Varyans analizi.....	94
Çizelge 7.34. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri.....	96
Çizelge 7.35. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları	96
Çizelge 7.36. CBN ıslak işleme şartları Çs için Varyans analizi.....	96
Çizelge 7. 37. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri	98
Çizelge 7. 38. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları.....	98
Çizelge 7. 39. CBN kuru işleme şartları Fc için Varyans analizi	99
Çizelge 7. 40. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri.....	100
Çizelge 7. 41. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları	100
Çizelge 7.42. CBN kuru işleme şartları Fr için Varyans analizi.....	101
Çizelge 7.43. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri.....	102
Çizelge 7. 44. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları	102
Çizelge 7.45. CBN kuru işleme şartları Ff için Varyans analizi.....	103
Çizelge 7.46. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri	104

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.47. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları	104
Çizelge 7.48. CBN ıslak işleme şartları Fc için Varyans analizi	105
Çizelge 7.49. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri	106
Çizelge 7.50. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları	106
Çizelge 7.51. CBN ıslak işleme şartları Fr için Varyans analizi	107
Çizelge 7.52. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri	108
Çizelge 7. 53. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları	108
Çizelge 7.54. CBN ıslak işleme şartları Ff için Varyans analizi	109
Çizelge 7.55. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri.....	110
Çizelge 7.56. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları	111
Çizelge 7.57. KARBÜR kuru işleme şartları Ra için Varyans analizi.....	111
Çizelge 7.58. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri	112
Çizelge 7.59. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları.....	113
Çizelge 7.60. KARBÜR ıslak işleme şartları Ra için Varyans analizi	113
Çizelge 7.61. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri.....	115
Çizelge 7.62. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları	115
Çizelge 7.63. KARBÜR kuru işleme şartları Ds için Varyans analizi.....	115
Çizelge 7.64. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri	117
Çizelge 7.65. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları.....	117
Çizelge 7.66. KARBÜR ıslak işleme şartları Ds için Varyans analizi	117
Çizelge 7.67. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri	119
Çizelge 7.68. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları.....	119
Çizelge 7.69.KARBÜR kuru işleme şartları Ss için Varyans analizi	120
Çizelge 7.70. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri	121
Çizelge 7. 71. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları.....	121
Çizelge 7.72. KARBÜR ıslak işleme şartları Ss için Varyans analizi	122

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.73. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri.....	123
Çizelge 7. 74.KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları	124
Çizelge 7.75. KARBÜR kuru işleme şartları Çs için Varyans analizi.....	124
Çizelge 7.76. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri.....	125
Çizelge 7.77. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları	126
Çizelge 7.78. KARBÜR ıslak işleme şartları Çs için Varyans analizi.....	126
Çizelge 7.79. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri	128
Çizelge 7.80. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları	128
Çizelge 7.81. KARBÜR kuru işleme şartları Fc için Varyans analizi	128
Çizelge 7.82.KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri.	130
Çizelge 7.83. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları.....	130
Çizelge 7.84. KARBÜR kuru işleme şartları Fr için Varyans analizi	130
Çizelge 7.85. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri.....	132
Çizelge 7.86. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları	132
Çizelge 7.87. KARBÜR kuru işleme şartları Ff için Varyans analizi	132
Çizelge 7.88. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri.....	134
Çizelge 7.89. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları	134
Çizelge 7.90. KARBÜR ıslak işleme şartları Fc için Varyans analizi.....	134
Çizelge 7.91. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri	136
Çizelge 7.92. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları.....	136
Çizelge 7.93. KARBÜR ıslak işleme şartları Fr için Varyans analizi	136
Çizelge 7.94. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri	138
Çizelge 7.95. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları.....	138
Çizelge 7.96. KARBÜR ıslak işleme şartları Ff için Varyans analizi	138
Çizelge 7.97. CBN kuru işleme parametreleri ve deney sonuçları	184
Çizelge 7.98. CBN ıslak işleme parametreleri ve deney sonuçları	184

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.99. KARBÜR kuru işleme parametreleri ve deney sonuçları.....	185
Çizelge 7.100. KARBÜR ıslak işleme parametreleri ve deney sonuçları.....	185
Çizelge 7.101. CBN kuru işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA).....	186
Çizelge 7.102. CBN kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları	187
Çizelge 7.103. CBN kuru işleme şartları GRG için Varyans analizi	188
Çizelge 7.104. CBN kuru işlemede GRG için doğrulama deney sonuçları	188
Çizelge 7.105. CBN ıslak işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA)	189
Çizelge 7.106. CBN ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları	190
Çizelge 7.107. CBN ıslak işleme şartları GRG için Varyans analizi (ANOVA)	190
Çizelge 7.108. KARBÜR kuru işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA)	191
Çizelge 7.109. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları	192
Çizelge 7.110. KARBÜR kuru işleme şartları GRG için Varyans analizi (ANOVA).....	193
Çizelge 7.111. KARBÜR kuru işlemede GRG için doğrulama deney sonuçları	193
Çizelge 7.112. KARBÜR ıslak işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA)	194
Çizelge 7.113. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları.....	194
Çizelge 7.114. KARBÜR ıslak işleme şartları GRG için Varyans analizi (ANOVA)	195
Çizelge 7.115. KARBÜR ıslak işlemede GRG için doğrulama deney sonuçları.....	195
Çizelge 7.116. CBN kuru işleme için TOPSIS Analizi.....	196
Çizelge 7.117. CBN kuru işlemede faktörlerin (pi) üzerindeki S/N oranları	197
Çizelge 7.118. CBN kuru işleme şartları (pi) için Varyans analizi (ANOVA)	198
Çizelge 7.119. CBN kuru işlemede TOPSIS için doğrulama deney sonuçları.....	198
Çizelge 7.120. CBN ıslak işleme için TOPSIS Analizi	199
Çizelge 7.121. CBN ıslak işlemede faktörlerin (pi) üzerindeki S/N oranları.....	200
Çizelge 7.122. CBN ıslak işleme şartları (pi) için Varyans analizi (ANOVA).....	200
Çizelge 7.123. KARBÜR kuru işleme için TOPSIS Analizi	201

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.124. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin (π_i) üzerindeki S/N oranları.....	202
Çizelge 7.125. KARBÜR kuru işleme şartları (π_i) için Varyans analizi (ANOVA).....	202
Çizelge 7.126. KARBÜR kuru işlemede TOPSIS için doğrulama deney sonuçları	203
Çizelge 7.127. KARBÜR ıslak işleme için TOPSIS Analizi	203
Çizelge 7.128. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin (π_i) üzerindeki S/N oranları.....	204
Çizelge 7.129. KARBÜR ıslak işleme şartları (π_i) için Varyans analizi (ANOVA).....	205
Çizelge 7.130. KARBÜR ıslak işlemede TOPSIS için doğrulama deney sonuçları	205



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. a) Dik (Orthogonal kesme) b) Eğik (Oblique) kesme.	4
Şekil 2.2. Dik kesme modeli.....	4
Şekil 2.3. Kayma açısı ve deformasyon bölgeleri.....	5
Şekil 2.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri	5
Şekil 2.5. Yüzey pürüzlülük profili.....	6
Şekil 2.6. İşlenmiş bir yüzeyde oluşan dalgalanmalar	6
Şekil 2.7. Uç yarıçapının yüzey kalitesine etkisi	7
Şekil 2.8. İlerleme oranının yüzey kalitesine etkisi	7
Şekil 2.9. Tornalama çeşitleri: a) boyuna tornalama b) alın tornalama c) konik tornalama d: delik içi tornalama e: delik delme f: vida çekme.....	10
Şekil 2.10. Frezeleme çeşitleri a) yüzey frezeleme b) kanal frezeleme c) profil frezeleme	11
Şekil 2.11. Matkapla delik delme işlemi	11
Şekil 3.1. Delik içi tornalamada meydana gelen titreşimler a) radyal yönde b) eksenel yönde c) dik yönde	14
Şekil 3.2. L/D oranları.....	14
Şekil 3.3. Dairesellik a) Dairesellikten sapma b) Ölçüm örneği	15
Şekil 3.4. Silindiriklikten sapma.....	16
Şekil 3.5. Çaptan sapma	16
Şekil 3.6. Geometrik sapmaların ölçümü a) Tarama şeklinde b) Noktasal şekilde	17
Şekil 6.1. Deney malzemelerinin ölçüleri	41
Şekil 6.2. CBN kesici uç.....	45
Şekil 6.3. Karbür kesici uç.....	46
Şekil 6.4. Çelik kater	47
Şekil 6.5. Karbür kater	48
Şekil 6.6. Titreşim sönmülemeli delik kateri a) Kater b) Kartuş.....	48
Şekil 6.7. Bağlama kovanı.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 6.8. Deney seti.....	62
Şekil 6.9. Kateri normal bağlama aparatı.....	62
Şekil 6.10. Deney setinin farklı açılardan görünümü.....	62
Şekil 6.11. CMM Ölçüm düzlemleri.....	66
Şekil 6.12. Kesme kuvvetlerinin ölçümü	67
Şekil 6.13. Kesme kuvvetleri yönleri a) Dinamometre üzerinde b) Delik içi tornalamada	67
Şekil 7.1. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri	77
Şekil 7.2. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları.....	78
Şekil 7.3. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri	80
Şekil 7.4. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları.....	80
Şekil 7.5. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri	82
Şekil 7.6. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları.....	83
Şekil 7.7. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri	85
Şekil 7.8. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları.....	85
Şekil 7.9. CBN kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri	87
Şekil 7.10. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları	88
Şekil 7.11. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri.....	90
Şekil 7.12. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları	90
Şekil 7.13. CBN kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri.....	92
Şekil 7.14. CBN kuru işlemede faktörlerin ÇS üzerindeki S/N oranları.....	93
Şekil 7.15. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri.....	95
Şekil 7.16. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları.....	95
Şekil 7.17. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri	97
Şekil 7.18. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları	98
Şekil 7.19. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri	99

Şekil	Sayfa
Şekil 7.20. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları.....	100
Şekil 7.21. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri	101
Şekil 7.22. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları.....	102
Şekil 7.23. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri.....	103
Şekil 7.24.CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları	104
Şekil 7.25. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri	105
Şekil 7.26. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları.....	106
Şekil 7.27. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri	107
Şekil 7. 28. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları.....	108
Şekil 7.29. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri	110
Şekil 7.30. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları.....	110
Şekil 7.31. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri	112
Şekil 7.32. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları.....	112
Şekil 7.33. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri	114
Şekil 7.34. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları.....	114
Şekil 7.35. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri	116
Şekil 7.36. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları.....	116
Şekil 7.37. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri	118
Şekil 7.38. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları	119
Şekil 7.39. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri.....	120
Şekil 7.40. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları	121
Şekil 7.41. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri.....	123
Şekil 7.42. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları	123
Şekil 7.43. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri	125
Şekil 7.44. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları.....	125
Şekil 7.45. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri.....	127

Şekil	Sayfa
Şekil 7.46. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları	127
Şekil 7.47. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri	129
Şekil 7.48. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları.....	129
Şekil 7.49. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri.	131
Şekil 7.50. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları.....	131
Şekil 7.51. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri.....	133
Şekil 7.52. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları	133
Şekil 7.53. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri	135
Şekil 7.54. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları	135
Şekil 7.55. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri	137
Şekil 7.56. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları	137
Şekil 7.57. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ra'nın göre değişimi.....	139
Şekil 7.58. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ds'nin değişimi	139
Şekil 7.59. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ss'nin değişimi	140
Şekil 7.60. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Çs'nin değişimi.....	140
Şekil 7.61. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fc'nin değişimi.....	141
Şekil 7.62. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fr'nin değişimi	141
Şekil 7.63. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ff'nin değişimi	142
Şekil 7.64. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ra'nın göre değişimi.....	142
Şekil 7.65. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ds'nin değişimi	143
Şekil 7.66. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ss'nin değişimi	143
Şekil 7.67. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Çs'nin değişimi.....	144
Şekil 7.68. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fc'nin değişimi.....	144
Şekil 7.69. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fr'nin değişimi	145
Şekil 7.70. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ff'nin değişimi	145

Şekil	Sayfa
Şekil 7.71. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	146
Şekil 7.72. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	147
Şekil 7.73. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	147
Şekil 7.74. CBN'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	148
Şekil 7.75. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	149
Şekil 7.76. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	150
Şekil 7.77. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	150
Şekil 7.78. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	151
Şekil 7.79. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	152
Şekil 7.80. CBN'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	152
Şekil 7.81. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	153
Şekil 7.82. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	154
Şekil 7.83. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	154
Şekil 7.84. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	155
Şekil 7.85. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	156
Şekil 7.86. CBN'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	156
Şekil 7.87. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	157

Şekil	Sayfa
Şekil 7.88. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	158
Şekil 7.89. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	158
Şekil 7.90. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	159
Şekil 7.91. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	160
Şekil 7.92. CBN'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	160
Şekil 7.93. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	161
Şekil 7.94. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	162
Şekil 7.95. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) göre Fc'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	162
Şekil 7.96. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) göre Fr'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	163
Şekil 7.97. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) göre Ff'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	164
Şekil 7.98. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	165
Şekil 7.99. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	166
Şekil 7.100. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	166
Şekil 7.101. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	167
Şekil 7.102. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	168
Şekil 7.103. KARBÜR'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	168
Şekil 7.104. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	169

Şekil	Sayfa
Şekil 7.105. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	170
Şekil 7.106. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	170
Şekil 7.107. KARBÜR'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	171
Şekil 7.108. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	172
Şekil 7.109. KARBÜR'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	172
Şekil 7.110. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	173
Şekil 7.111. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	174
Şekil 7.112. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	174
Şekil 7.113. KARBÜR'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	175
Şekil 7.114. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	176
Şekil 7.115. KARBÜR'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	177
Şekil 7.116. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	177
Şekil 7.117. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	178
Şekil 7.118. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	179
Şekil 7.119. KARBÜR'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	179
Şekil 7.120. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme	180
Şekil 7.121. KARBÜR'le işlemede kater ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	181

Şekil	Sayfa
Şekil 7.122. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_c 'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	181
Şekil 7.123. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_r 'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	182
Şekil 7.124. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_f 'nin değişimi a) kuru işleme b) ıslak işleme.....	183
Şekil 7.125. CBN kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları	187
Şekil 7.126. CBN ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları	190
Şekil 7.127. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları	192
Şekil 7.128. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları.....	194
Şekil 7.129. CBN kuru işlemede faktörlerin (π_i) üzerindeki S/N oranları.....	197
Şekil 7.130. CBN ıslak işlemede faktörlerin (π_i) üzerindeki S/N oranları.....	199
Şekil 7.131. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin (π_i) üzerindeki S/N oranları.....	201
Şekil 7.132. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin (π_i) üzerindeki S/N oranları	204
Şekil 7.133. CBN kuru işlemede GRA-TOPSIS grafiği	206
Şekil 7.134. CBN ıslak işlemede GRA-TOPSIS grafiği.....	206
Şekil 7.135. KARBÜR kuru işlemede GRA-TOPSIS grafiği	207
Şekil 7.136. KARBÜR ıslak işlemede GRA-TOPSIS grafiği.....	207

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Titreşim kaynaklı yüzey bozukluğu	14
Resim 4.1. Dökme demirlerin mikroyapısı a) Gri b) Küresel c) Temper d) Beyaz	19
Resim 6.1. Isıl işlem fırını	41
Resim 6.2. Malzemelerin sertlik ölçümleri	42
Resim 6.3. Malzemelerin mikroyapıları a) NiHARD-4 b) YKBDD.....	42
Resim 6.4. NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin temizlenmesi	43
Resim 6.5. a) Döküm halindeki malzeme b) Temizlenmiş malzeme	43
Resim 6.6. JOHNFORD TC35 CNC Torna tezgâhı	59
Resim 6.7. Delik içi temizleme ve deneyde kullanılan katerler	59
Resim 6.8. Deneylerin kuru ve ıslak şartlarda yapılışı.....	60
Resim 6.9. Kuvvet ölçüm ekipmanları.....	61
Resim 6.10. Dinamometre bağlama aparatı.....	63
Resim 6.11. Dinamometre bağlama aparatının CNC tezgâhına montajı	63
Resim 6.12. Delik katerini dinamometreye bağlama aparatı.....	64
Resim 6.13. Komparatör ile dinamometre bağlama aparatının konumlandırılması	64
Resim 6.14. Kesme kuvvetleri deneylerinin yapılışı	64
Resim 6.15. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	65
Resim 6.16. CMM tezgâhı ve ölçümü.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

Ap	Kesme derinliği (mm)
f	İlerleme (mm/dev)
F	Bileşke kuvvet (N)
Fc	Esas kesme kuvveti (N)
Ff	İlerleme kuvveti (N)
Fr	Radyal kuvvet (N)
mm	Milimetre
mm/s	Milimetre saniye
r	Kesici uç yarıçapı (mm)
Ra	Yüzey pürüzlülüğü (μm)
S	Devir sayısı (dev/dak)
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
Vc	Kesme Hızı (m/dak)

Kısaltmalar

Açıklamalar

Al₂O₃	Alüminyum Oksit
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ASTM	American Society for Testing and Materials
AVB	Anti vibration bar (titreşim söndürmeli kater)
bCBN	binderless CBN (az bağlayıcılı kübik bor nitrür)
CBN	Cubic Boron Nitride (kübik bor nitrür)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayısal Kontrol)
CMM	Computer Measuring Machine (Bilgisayarlı Ölçüm Cihazı)
Çs	Ortalama Çaptan Sapma
DOE	Design of Experiment (Deney tasarımı)
Ds	Ortalama Dairesellikten Sapma

Kısaltmalar	Açıklamalar
EDX	Energy Dispersive x-ray (X ışını dağılımı spektrometre)
GİA	Gri İlişkisel Analiz
GİD	Gri İlişkisel Derece
GRA	Gray Relational Analysis (Gri İlişkisel Analiz)
GRC	Grey Relational Coefficient (Gri İlişkisel Katsayı)
GRG	Grey Relational Grade (Gri İlişkisel Derece)
HRC	Hardness Rockwell C (Rokvel C sertlik değeri)
HV	Hardness Vickers (Vickers sertlik değeri)
L/D	Kater boy çap oranı
LAM	Laser Assisted Machining (Lazer Destekli İşleme)
LPG	Likid Petrol Gas (Sıvı petrol Gazı)
MCDM	Multi Criteria Decision Method
NiHARD-4	Martensitik beyaz dökme demir
pCBN	polycrystalin CBN (çok kristelli kübik bor nitrür)
PVD	Physical Vapor Deposition (fiziksel buhar çökeltme)
S/N	Signal / Noise (sinyal/gürültü)
Si₃N₄	Silisyum Nitrür
SiO₂	Silisyum oksit
Ss	Ortalama Silindiriklikten sapma
TEM	Thermally Enhanced Machining (Termal Gelişmiş İşleme)
TiC	Titanium Carbide (Titanyum Karbür)
TiCN	Titanium Carbonitride (Titanyum Karbonitrür)
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği)
TPL	Tool Protect layer (Takım koruma katmanı)
WC	Tungsten Karbür
YKBDD	Yüksek kromlu beyaz dökme demir
YSA	Yapay Sinir Ağları



1. GİRİŞ

Endüstriyel alanda, talaşlı imalat işlemlerinin maliyeti oldukça yüksektir. Maliyeti düşürmek için malzeme ve takımлама sarfiyatının önlenmesi gerekir. Talaşlı imalat yöntemleri ile istenilen ölçü tamlığı ve hassasiyette elde edilmeye çalışılan ürünlerin kalitesi de oldukça önemli bir unsurdur. Düşük maliyet ve yüksek kalitede istenilen ürünün elde edilebilmesi için, uygun talaş kaldırma yöntemlerinin belirlenmesi gerekir. Talaş kaldırma yöntemleri, takım tezgâhı, malzeme, işleme yöntemi ve kullanılacak kesicinin bileşenidir. İşlenecek her malzeme için iyi bir yüzey kalitesi, geometrik doğruluk ve ölçü tamlığı gerekli bir unsurdur. İşleme ile ilgili yapılan çalışmaların amacı, en uygun malzeme, kesici takım, tezgâh ve işleme parametrelerini elde ederek, takım ömrünü uzatmak, en uygun yüzey pürüzlülüğü ve istenilen geometrik doğrulukları elde ederek maliyeti düşürmek ve bu sayede istenilen ürün kalitesine ulaşmaktır. Dolayısı ile iş parçasının istenilen ölçü tamlığında işlenebilmesi, kesici takımların kesme performanslarının maksimum seviyeye çıkarılması, bu sayede istenilen kalitenin elde edilebilmesi ve maliyetin düşürülmesi için birçok malzeme üzerinde çok sayıda işleme çalışmaları yapılmıştır.

Endüstride yaygın olarak kullanılan malzeme gruplarından biri de dökme demirlerdir. Dökme demirler, döküm yoluyla elde edilen, farklı yapıda ve sertlikte olan malzemelerdendir. Kimyasal yapılarına ve fiziksel özelliklerine göre dökme demirler sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma içerisinde bulunan yüksek alaşımli beyaz dökme demirlerden, martenzitik beyaz dökme demir (NiHARD-4) ve yüksek kromlu beyaz dökme demir (HCWCI: YKBDD) malzemeler yüksek aşınma direnci ve sertlik istenen yerlerde, örneğin cevher kırıcılar, öğütücü değirmen merdaneleri, tarım makineleri, pistonlar, konveyörler, pompalar, dişliler ve madencilik sanayi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [1]. Yüksek aşınma direncine sahip olan NiHARD-4 ve YKBDD malzemeler, sertliklerinden dolayı, işlenmesi zor malzemelerdir. İşleme güçlüğünden dolayı genellikle döküm sonrası haliyle işlenilmeden kullanılmaktadır. Bu yüzden malzemelerin özelliklerinden tam olarak faydalanılamamaktadır.

Talaşlı imalatta tornalama, frezeleme, delik delme gibi birçok işleme yöntemi mevcuttur. Tornalama yöntemlerinden biri olan delik içi tornalama işlemi, önceden delinmiş veya farklı bir yöntemle elde edilmiş (döküm, dövme, pres vb) olan deliklerin istenilen ölçülere

getirilmesi için yapılan bir talaş kaldırma işlemidir. Delik işleme, dairesellik, silindiriklik, delik çapı ve yüzey pürüzlülüğü açısından son derece önemli ve hassas bir işlemdir. Delik içi tornalama esnasında istenilen yüzey kalitesine ve geometrik sapmalara kesme parametrelerinin yanı sıra kullanılan kesici ucun ve kullanılan delik işleme katerinin doğrudan etkisi vardır. Delik kateri; bir ucu sabit diğer ucu serbest şekilde delik merkezine dik yönde bağlanarak kullanılmakta, ayrıca işlenecek deliğin çapına ve boyuna göre katerin çapı ve uzunluğu değişmektedir [2]. Dolayısı ile delik işleme esnasında kesici uçta titreşim diğer işleme yöntemlerine göre daha fazla oluşmaktadır. Oluşan titreşimden dolayı delik içinde yüzey pürüzlülüğünde bozulma, delik içinin geometrik toleranslarının elde edilememesi (dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma ve çaptan sapma) gibi istenmeyen durumlar meydana gelmektedir. Dolayısı ile delik içi tornalama işleminde kesme parametrelerinin yanı sıra kesici ucun ve katerin de işleme açısından en uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, işlenmesi zor olan yüksek nikel alaşımlı (NiHARD-4) ve yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD) malzemeler üzerinde delik içi tornalama deneyleri yapılmıştır. Delik içi tornalama işleminde kesme parametreleri olarak farklı, kesici uçlar, kater malzemeleri, kater bağlama uzunlukları, ilerleme ve kesme hızları kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin (malzeme, kater, L/D, Vc, f,) yüzey pürüzlülüğü (Ra), dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss), çaptan sapma (Çs) ve kesme kuvvetleri (Fc, Fr, Ff) üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Deney sonuçları Taguchi ve ANOVA ile analiz edilmiştir. En uygun kesme parametrelerinin belirlenmesinde çoklu optimizasyon yöntemleri, GRA ve TOPSIS kullanılmıştır

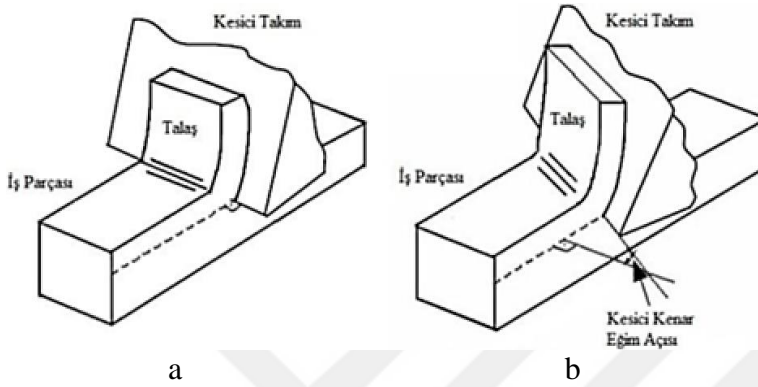
2. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat, üzerinde yıllar boyunca araştırma yapılan bir alan olmuştur. 20. yüzyıl, talaş kaldırma mekaniği üzerinde yapılan araştırmaları “Altın Çağı” olarak adlandırmaktadır. Metal kesme mekaniği temelini talaşlı imalat olduğu ifade edilmektedir [3]. Talaşlı imalat, iş parçası üzerindeki ölçüsel fazlalıkların, uygun tezgâh ve kesici takım kullanarak, atılması (kesilmesi) için yapılan bir talaş kaldırma yöntemidir. Döküm, dövme, haddeme gibi yöntemlerle şekillendirilmiş olan parçaların kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Talaşlı imalat ile istenilen toleranslarda ve yüzey kalitesinde parçalar üretilebilmektedir [4]. Talaşlı imalat için, tornalama, frezeleme ve delik delme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Endüstriyel alanda, talaşlı imalat işlemlerinin maliyeti oldukça yüksek bir orana sahiptir, fakat, iyi bir yüzey kalitesi ve geometrik toleransların elde edilmesinde talaşlı imalat gereklidir [5]. Maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmaların sonucu olarak, geliştirilmiş çeşitli yöntemler olsa da bu yöntemler oldukça sınırlıdır. Talaş kaldırma işlemi genel anlamda, kesici, iş parçası, tezgâh ve kesme parametrelerinden meydana gelmektedir. Talaş kaldırma için yapılan çalışmaların amacı, en uygun malzeme, kesici takım, tezgâh ve kesme parametrelerini belirleyerek kesici takım ömrünü uzatmak, en iyi yüzey pürüzlülüğü ve istenilen geometrik toleransları elde etmektir. Böylelikle maliyeti düşürerek istenilen ürün kalitesine ulaşmaktır.

Malzemelerin işlenebilirliği “malzeme üzerinden talaş kaldırmanın kolaylığı veya zorluğu olarak tanımlanabilir”. İşlenebilirlik aynı zamanda malzemenin en uygun koşullarda işlenmesi olarak ta ifade edilebilir. İşlenebilirlik, işleme yöntemine ve işleme parametrelerine bağlı olmaktadır [6]. Bu nedenle işleme sırasında uygun kesme parametrelerinin seçimi önemlidir. Malzemenin mekanik özellikleri (sertlik, süneklik, vb) ve malzemenin kimyasal özellikleri malzeme içindeki (alaşım elementi vb) kimyasal bileşimler malzemenin işlenmesini etkilemektedir [7]. İşlemenin belirlenmesinde, yüzey pürüzlülüğü, geometrik toleranslar, kesme kuvvetleri ve takım aşınması gibi kriterler araştırılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve geometrik toleranslar işlenen malzemenin maliyeti açısından önemlidir. Bununla birlikte kesme kuvvetleri tezgâh güç tüketimini ve takım aşınmasını doğrudan etkiledikleri için, kesme kuvvetlerinin optimize edilmesi önemlidir [8]. İşlenebilirlik için, talaş kaldırma mekaniği, kullanılan kesici uçların özellikleri, yüzey pürüzlülüğü, geometrik doğruluklar ve kesme kuvvetlerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

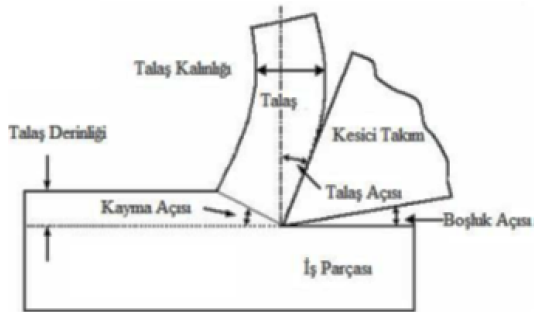
2.1. Talaş Kaldırma Mekanîği

İş parçası üzerinden talaş kaldırma bir kesme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Kesme işlemi sırasında yüksek ısı meydana gelmektedir. Talaşlı imalatta kesme işlemi, iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlardan birincisi dik (Orthogonal) kesme, ikincisi ise Eğik (Oblique) kesmedir (Şekil 2.1.a ve Şekil 2.1.b) [9].



Şekil 2.1. a) Dik (Orthogonal kesme), b) Eğik (Oblique) kesme [9]

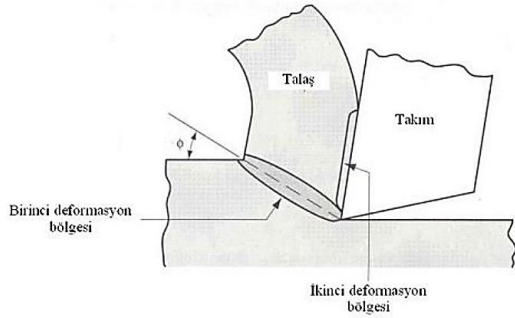
Birçok talaşlı imalat yönteminde, eğik kesme kullanılmaktadır. Talaşlı imalat işleminde kesici kenarın kesmeyi belirli bir eğimde yaptığı kabul edilmektedir. Bu durumda talaş kaldırma mekanizmasının analitik olarak modellenmesi daha karmaşık olmaktadır. Buna karşılık, analiz ve matematiksel hesaplamaların kolay olması sebebiyle, dik kesme işlemi tercih edilmekte ve hesaplamalar bu yönetime göre yapılmaktadır. Şekil 2.2’de dik kesme modeli şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.2. Dik kesme modeli [9]

Dik kesme işleminde kesici takım kenarı, iş parçasını işleme yönüne dik olarak hareket etmektedir. Bu işleme göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde

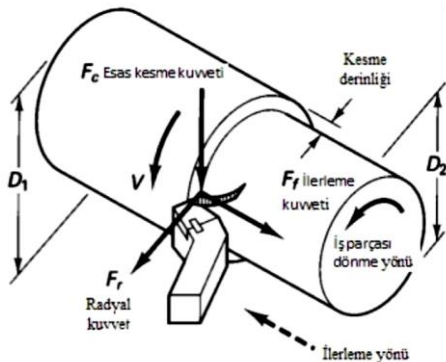
(Şekil 2.3'te ϕ açısının oluşturduğu düzlem) iş parçasının kayma gerilmesi değeri aşıldığı için, talaş oluşumu gerçekleşmektedir. Talaş oluşumu sırasında deformasyonlar meydana gelmektedir. [9,10]. Şekil 2.3'te meydana gelen deformasyon bölgeleri ve gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kayma açısı ve deformasyon bölgeleri [9]

2.2. Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminde kesici takım tarafından iş parçasına bir kuvvet (F) uygulanır. Uygulanan bu kuvvet kesici uca üç yönde etki eden kuvvetlerin bileşkesidir. Bu kuvvetlerin belirlenmesinde genellikle ölçme ve analitik olarak hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Bileşke kuvvetlerden birincisi kesme hızı yönünde (F_c : Esas kesme kuvveti olan), ikincisi kesme yönüne dik yönde (F_r : Radyal yönde kuvvet olan) ve üçüncüsü de talaş kaldırma yönünde (F_f : Eksenel yönde kuvvet olan ilerleme) meydana gelmektedir [9]. Delik içi tornalama işleminde katerin ilerleme yönü iş parçası eksenine paralel yöndedir. [10]. Dış çap tornalama işlemi sırasında meydana gelen kesme kuvvetleri de Şekil 2.4'te görülmektedir.



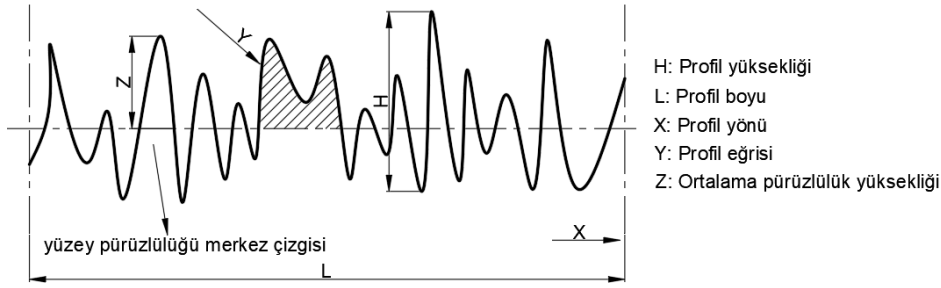
Şekil 2.4. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [11]

Bileşke kuvvet Eş 2.1. kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F = \sqrt{Fr^2 + Ff^2 + Fc^2} \quad (2.1)$$

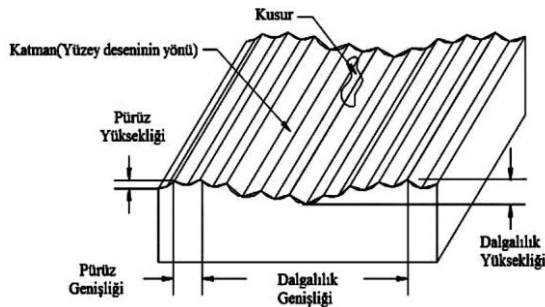
2.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü, işlenen malzemenin, fonksiyonunu yerine getirmesi, görsel ve boyutsal olarak istenilen toleranslarda olması ve kalite açısından önemli bir faktördür. Malzeme yüzeyinde oluşan pürüzler zamanla çentiklere ve sonuç olarak yorulma hasarına neden olabilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü, sürtünmeye bağlı olarak aşınmayı da etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünü ifade ederken genellikle ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a) kullanılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde yüzey profili kullanılmaktadır. Yüzey profili Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Yüzey pürüzlülük profili

Yüzey sapmasına neden olan iki faktör mevcuttur. Pürüzlülük yüzey kalitesini tayin etmektedir. Standartlara göre yüzey pürüzlülüğü yüzeye dik olan bir kesitte (belirli bir numune uzunluğu boyunca), bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre belirlenmektedir (Şekil 2.5). Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınmaktadır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenmektedir [12-13]. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini ifade etmektedir (Şekil 2.6). Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2.6. İşlenmiş bir yüzeyde oluşan dalgalanmalar [14]

Kesici uç yarıçapı ve ilerleme, malzemenin yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Kesici uç yarıçapının artışı ve ilerlemenin azalması yüzey pürüzlülüğünü azaltarak yüzey kalitesinin artmasına sebep olmaktadır. Uç yarıçapı, ilerleme ve ortalama yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki Eş. 2.2’de verilmiştir.

$$Ra = \frac{0,0312 f^2}{r} \quad (2.2)$$

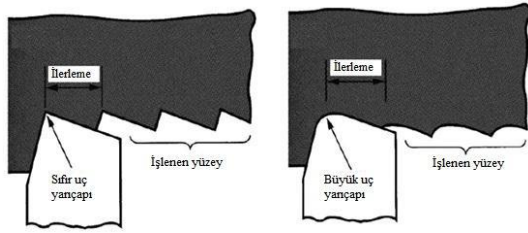
Burada,

Ra: yüzey pürüzlülüğünü

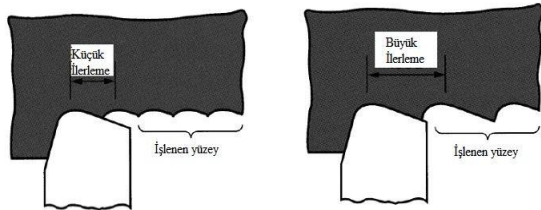
f: ilerleme oranını

r: uç yarıçapını ifade etmektedir [15].

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, uç yarıçapı büyüdükçe elde edilen yüzeyin pürüzlülüğü de artmaktadır. Aynı şekilde ilerleme oranının düşük olduğu durumlarda, yüzey pürüzlülüğünde iyileşme olduğu Şekil 2.8’de görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğündeki iyileşmede, yarıçap ve ilerleme dışındaki faktörlerin de etkisi (iş parçasının mekanik özellikleri, katerin bağlanma boyu, işleme şartları vb) dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.7. Uç yarıçapının yüzey kalitesine etkisi [15]


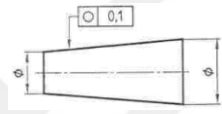
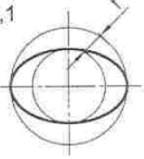

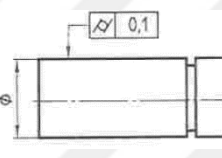
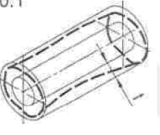

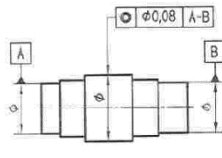
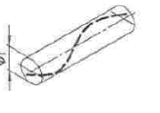


Şekil 2.8. İlerleme oranının yüzey kalitesine etkisi [15]

2.4. Geometrik Doğruluklar (Dairesellik, Silindiriklik ve Çap)

Talaşlı imalatta farklı talaş kaldırma yöntemleri yapılmaktadır. İşlenen yüzeylerin birbiri ile ilişkisinin hassas olarak sağlanması için yüzey işleme ve geometrik toleranslar kullanılmaktadır (Çizelge 2.1). Özellikle yuvarlak iş parçalarında, daireselliğin, silindirikliğin ve eş merkezliliğin (çaptan sapma) istenilen tolerans aralığında elde edilmesi önemlidir.

Çizelge 2.1. Geometrik Toleranslar

ŞEKİL TOLERANSLARI	SEMBOL	TEKNİK RESİM	TOLERANS	AÇIKLAMA
DAİRESELLİK			$t=0,1$ 	Silindir veya konide, eksene dik herhangi bir kesitin üzerindeki noktaların tümünün eksenenden eşit mesafede olması durumudur.
SİLİNDİRLİK			$t=0,1$ 	Silindiriklik, bir dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta bulunmaları koşuludur.
KONUM TOLERANSI ÇAPTAN SAPMA (Eş merkezlilik)			$t=0,08$ 	A ve B noktalarının silindir ekseninden belirli toleransta olan sapmasıdır.

2.5. Kesici Uç Malzemeleri

Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmakta olan kesici uç malzemeleri yüksek hız çeliği, karbür, sermet, seramik, elmas ve kübik bor nitrürden oluşmaktadır.

2.5.1. Yüksek hız çeliği

Yüksek hız çeliği, yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen yüksek alaşımli bir takım çeliğidir. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde kullanılmaktadır [16].

2.5.2. Karbür

Karbür kesici uçlar, genel olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmektedir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik ve demir dışı metallerin işlenmesinde, yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır [16]. Genelde karbür kesiciler farklı kaplama teknikleri (PVD, CVD) ile kaplanmış şekilde kullanılmaktadır.

2.5.3. Sermetler

Sermet kesici uçlar da karbürler gibi toz metalurjisi yöntemiyle üretilmektedirler. Sermet kesici uçların üretiminde seramik ve metal tozları birlikte kullanılmaktadır. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme (finish) ve yarı bitirme işlemlerinde, yüksek kesme hızlarında kullanılmaktadırlar. Sermet kesicilerle yüksek kesme hızları ve düşük ilerleme hızları kullanılarak taşlama kalitesinde yüzeyler elde edilebilmektedir [17].

2.5.4. Seramikler

Seramik kesici uçlar genel olarak, alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum nitrid (Si_3N_4) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Al_2O_3 seramik kesici uçlar, dökme demir ve çelik dökümlerin yüksek hızlarda işlenmesinde kullanılmaktadırlar. Üretim ve sinterlemedeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin ilave edilmesiyle, seramik kesici uçlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu gibi özelliklere sahip olmaktadır [18]. Genelde seramik uçların dayanımının yüksek olmasını sağlamak için büyük kesici uç yarıçaplarında ve negatif talaş açılarında üretilmektedir.

2.5.5. Elmas

Elmas dünyada bilinen en sert malzemedir. Elmas doğal ve yapay elmas olmak üzere iki türe sahiptir. Doğadan elde edilen doğal elmas pahalı olduğundan, kesici olarak tercih edilmez. Kesici olarak kullanılan, yapay elmas ise laboratuvar şartlarında yüksek sıcaklık ve basınç altında üretilmektedir. Çoğunlukla 0,5-1 mm kalınlığındaki elmas katmanı, karbür alt katman üzerine yapıştırılarak kesici uç olarak kullanılmaktadır [19].

2.5.6. Kübik bor nitrür (CBN)

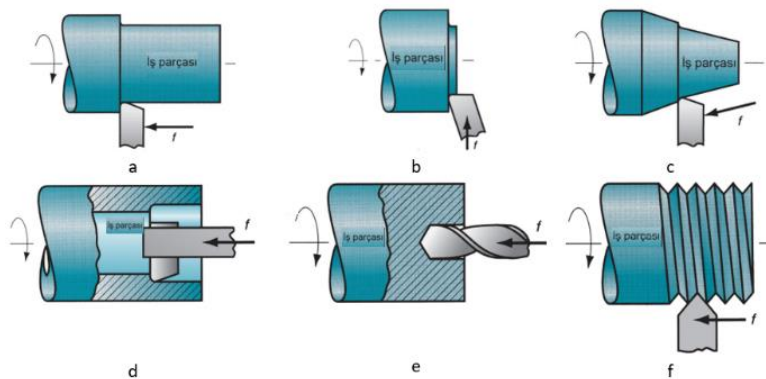
CBN kesici uçlar karbür kesici uç üzerine kübik bor nitrürün yüksek basınç altında sinterlenmesi yöntemiyle üretilmektedir. Bor nitrür 3500-4500 HV sertliği ile sertlikte elmastan sonra ikinci sırada yer almaktadır. 1100°C sıcaklıkta sertliği 1800-2000 HV'dir. Mükemmelen aşıma direnci, yüksek ısıl iletkenliği, düşük sürtünme özelliklerine sahiptir [20].

2.6. Talaşlı İmalat Yöntemleri

Talaşlı imalatta kullanılan tornalama, frezeleme ve delik delme yöntemleri endüstriyel alanda, iş parçalarının, istenilen, geometride ve toleranslarda elde edilmesini sağlamaktadır.

2.6.1. Tornalama

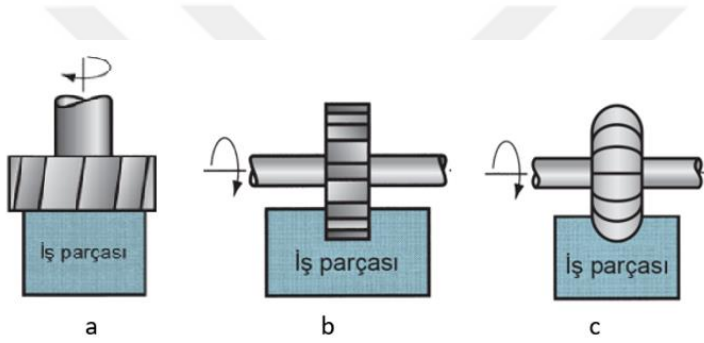
Tornalama işlemi, talaşlı imalatta en çok kullanılan işleme yöntemlerinden biridir. Tornalama işlemi silindirik iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak belli bir devirde döndürülür. Bir kater üzerine rijit olarak bağlanmış kesici ucun, dönen iş parçası ekseninde paralel, açılı veya dik Şekillerde ilerletilerek iş parçasından talaş kaldırılmasıyla, farklı parça geometrileri oluşturulur. Şekil 2.9'da tornalama eşitleri gösterilmektedir [21].



Şekil 2.9. Tornalama eşitleri: a) boyuna tornalama, b) alın tornalama, c) konik tornalama, d) delik içi tornalama, e) delik delme, f) vida ekme

2.6.2. Frezeleme

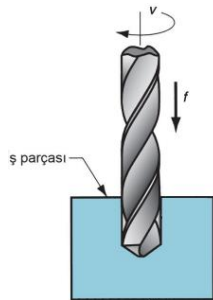
Talaş kaldırma yöntemlerinden frezeleme işlemi, talaşlı imalatta geniş uygulama alanına sahiptir. Frezeleme, çevresinde birçok kesici uca sahip belli bir devirde dönen kesici takımın, iş parçasının bağlandığı ve üç yönde de hareket edebilen tezgâh tablasının hareketi sayesinde kesme işlemini gerçekleştirdiği bir talaş kaldırma yöntemidir. Şekil 2.10'da frezeleme yönteminin çeşitleri görülmektedir. Frezeleme işleminde farklı geometrideki iş parçalarının işlenebilmesi, freze tezgâhının X, Y, Z eksenlerinde hareket edebilme kabiliyetine bağlıdır. Bu işleme tekniğinde, çok eksenli takım tezgâhlarının kullanımının mevcut olması, farklı geometrilerdeki iş parçalarının talaşlı işlenmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 2.10. Frezeleme çeşitleri a) yüzey frezeleme, b) kanal frezeleme, c) profil frezeleme

2.6.3. Delik delme

Delik delme işlemi, kendi eksenini etrafında dönen ve eksenini doğrultusunda ilerleyen bir kesici takım yardımı ile iş parçası üzerinden talaş kaldırma yöntemidir. Delme işleminde matkap olarak ifade edilen kesici takımlar kullanılır. Genelde matkaplarla delik delme; sonrasında yapılacak olan diğer işlemler (delik genişletme, vida açma, raybalama broşlama vb) için bir ön işlem olarak tercih edilir. Şekil 2.11'de matkapla delik delme işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Matkapla delik delme işlemi

2.7. Sert Tornalama

Yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesici uçlar kullanılarak, 45-70 HRC arasında sertliğe sahip iş parçalarının tornalanması işlemi, sert tornalama olarak adlandırılmaktadır [22]. Sert tornalama ile, taşlama kalitesinde yüzey elde edilebildiğinden dolayı, rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp malzemelerinin işlenmesi ve çeşitli motor ekipmanlarının imalatında kullanılmaktadır [22-25]. Sert malzemelerin tornalanması zordur. Sert malzemelerin işlenmesinde meydana gelen kesme kuvvetleri takım aşınması vb sebeplerden dolayı, yüzey pürüzlülüğünün ve geometrik toleransların elde edilebilirliği zordur. Dolayısı ile dayanımının ve sertliğinin yüksek olması istenen malzemeler genellikle sertleştirilmeden önce talaş kaldırma yöntemleriyle son şekle getirilmektedir. Bununla birlikte sert malzemeler ise CBN gibi kesici uçlarla işlenerek son şekle getirilmektedir [24,25]. Sert tornalamanın, düşük üretim maliyeti, kısa üretim süresi yüksek miktarda talaş kaldırma kapasitesi, farklı geometrilerin tek bir kesici takımla oluşturulabilmesi [27-30], kesme sıvısının kullanımına çoğunlukla ihtiyaç duyulmaması [27,28], yüksek parça kalitesi [29-31] gibi birçok avantajı vardır.

3. DELİK İÇİ TORNALAMA İŞLEMİ

Delik içi tornalama, döküm yoluyla veya farklı imalat yöntemleri sonucunda elde edilen malzemenin işlenmesinde kullanılır. Genellikle delik içi tornalama işlemi, malzemenin kullanılacağı yere göre, geometrik doğruluk, hassasiyet, yüzey kalitesi, ürün kalitesi ve maliyet açısından oldukça önemlidir. Delik içi tornalamada yüzey pürüzlülüğü ve geometrik doğrulukları sağlamak meydana gelen titreşimlerden dolayı zordur. Dolayısı ile delik içi tormalanacak malzemenin bağlanma şekli, kesici uç geometrisi, kesici uç malzemesi, kater, kater bağlanma şekli (L/D: kater boy çap oranı) ve kesme parametrelerinin (Vc: kesme hızı, f: ilerleme, Ap: kesme derinliği vb) işlenecek malzemenin cinsine bağlı olarak uygun seçilmesi gerekmektedir.

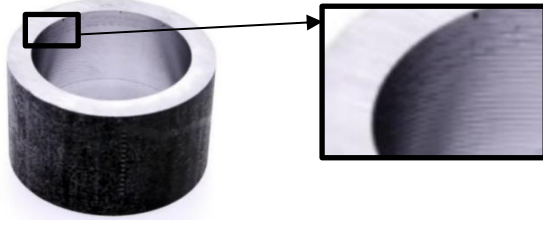
3.1. Delik İçi Tornalama İşleminde Oluşabilecek Problemler

Delik içi tornama işleminde uygun seçilemeyen işleme şartları titreşime, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma gibi geometrik bozukluklara neden olmaktadır. Dolayısı ile oluşan geometrik sapmalar, talaşlı imalat ile elde edilen parçanın kabul edilebilirliğinde maliyetleri olumsuz yönde etkilemektedir.

3.1.1. Titreşim ve tırlama

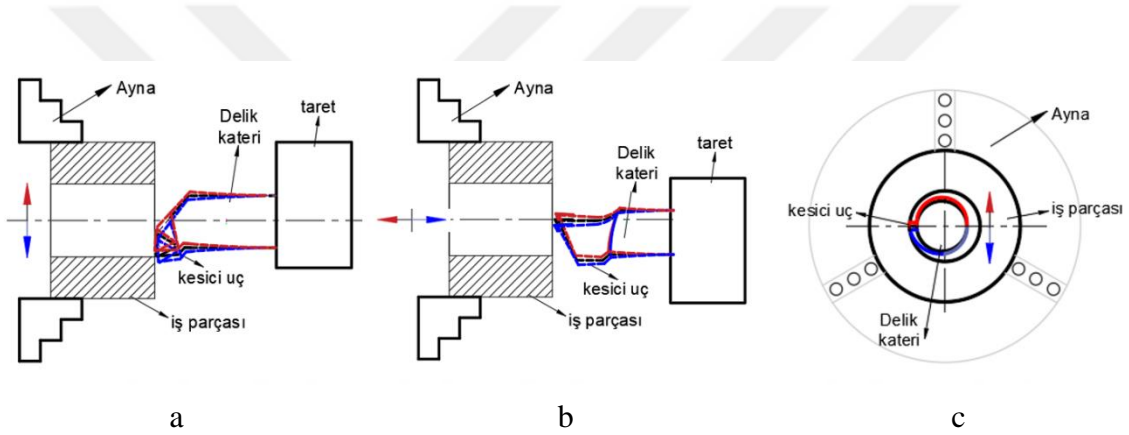
Talaş kaldırma esnasında en önemli sorunlardan biri titreşimdir (Resim 3.1). Özellikle de delik içi tornalama işleminde kesicinin bir ucu sabit diğer ucu kesme işlemi yaparken üç ekseninde de (kesici ucu: aksenal, radyal ve dik yönde) yüklere maruz kaldığından titreşim, diğer talaş kaldırma yöntemlerine göre daha fazla meydana gelmektedir. Meydana gelen titreşim aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Tezgâh (Takım tezgâhının rijitliği)
- Malzeme (Bağlanma şekli ve sertliği)
- Kater (çapı, boyu, malzemesi ve bağlanma şekli (boy çap (L/D) oranı),
- Kesici uç (malzemesi ve geometrisi)
- Kesme parametreleri (kesme derinliği: Ap, kesme hızı Vc, ilerleme: f)



Resim 3.1. Titreşim kaynaklı yüzey bozukluğu

Delik işleme sırasında kater (boy, çap, malzeme ve sönümlenme özelliği), kesme parametreleri ve kesici ucun uygun seçilmesi titreşimi azaltmaktadır. Delik içi tornalama işleminde meydana gelebilecek titreşim (salınım) yönleri oklarla (kırmızı, mavi) belirtilerek Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Delik içi tornalamada meydana gelen titreşimler a) radyal yönde, b) aksel yönde, c) dik yönde

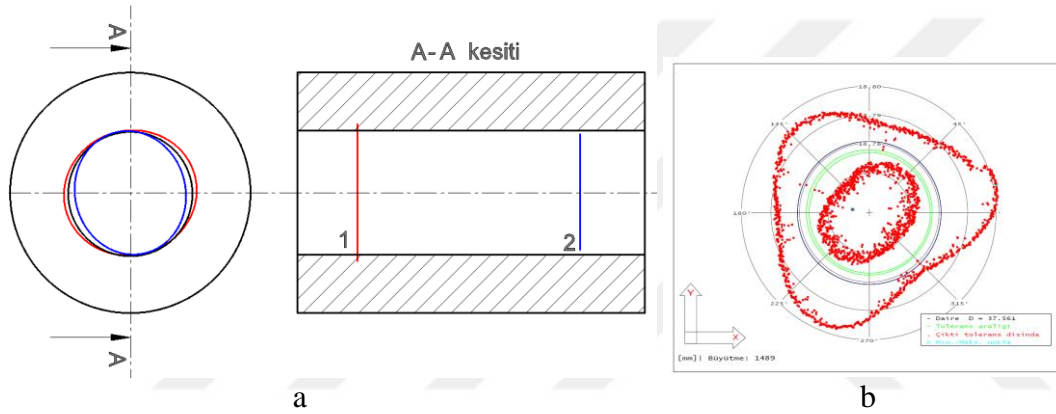
Delik içi tornalamada, titreşimi etkileyen en önemli faktörlerden biri kater bağlamada boy-çap (L/D) oranıdır. L/D oranının uygun şekilde belirlenmesinin titreşimleri azaltmada rolü büyüktür. Genellikle kater bağlama boyları Şekil 3.2’de görüldüğü gibi kullanılmaktadır. L/D oranı delik çapına ve delik boyuna göre dikkate alınır.



Şekil 3.2. L/D oranları

3.1.2. Dairesellikten sapma

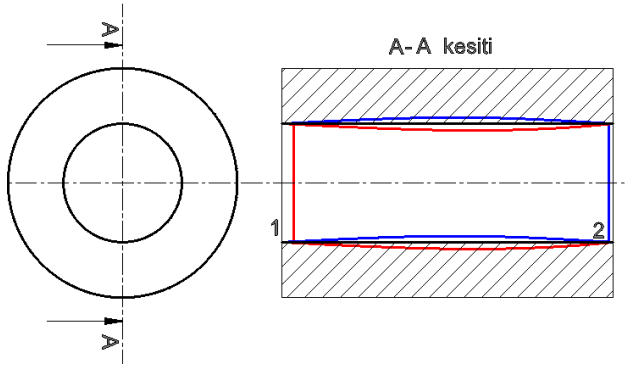
Dairesellik, delik merkez noktasının delik çapına mesafesinin her noktada (360° boyunca) eşit olması durumudur. Dairesellikten sapma ise, merkez noktanın delik çapına mesafesinin her noktada eşit olmaması, işleme şartlarından dolayı bozulması durumudur. Dairesellik, özellikle malzemenin kullanım yerlerine göre oldukça önemlidir. Daireselliğin istenilen ölçülerde elde edilebilmesi için titreşimin (tırlamanın) olmaması ya da minimize edilmesi gerekir. Talaş kaldırma esnasında titreşime sebep olan kesme parametrelerinin uygun şekilde belirlenememesi daireellikten sapmalara neden olmaktadır. Şekil 3.3'te daireellikten sapma (iki nokta üzerinde) ve ölçüm örneği görülmektedir.



Şekil 3.3. Dairesellik a) Dairesellikten sapma, b) Ölçüm örneği

3.1.3. Silindiriklikten sapma

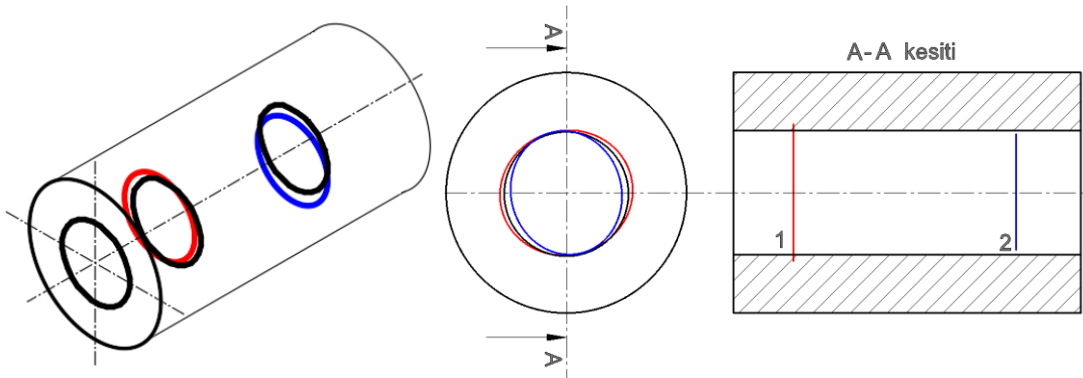
Silindiriklik, bir dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta bulunmaları koşuludur. Silindiriklikten sapma ise dönme yüzeyine ait elemanların dönme ekseninden eşit uzaklıkta olmamaları durumudur. Silindiriklik malzemenin kullanım yerlerine göre önemli bir geometrik özelliktir. Silindirikliğin istenilen ölçülerde elde edilebilmesi için, kullanılan kesme parametreleri, kesici uç ve kater bağlanma oranı önemli faktörlerdir. Katerin bağlanma uzunluğunun, talaş kaldırma esnasında meydana gelen titreşimin giderilmesinde rolü büyüktür. Şekil 3.4'te silindiriklikten sapma (iki nokta arasında) örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Silindiriklikten sapma

3.1.4. Çaptan sapma

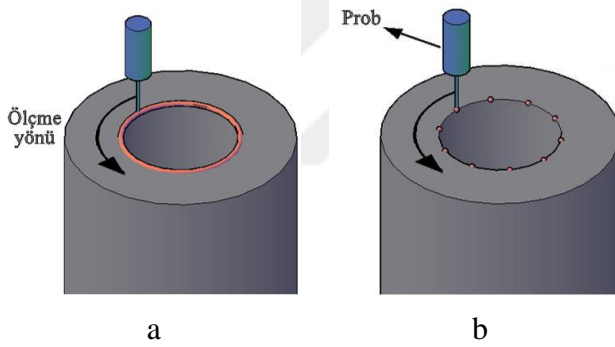
Delik içi tornalama işleminde kullanılan kesici ucun işlemeye başladığı noktadan işlemin bittiği mesafeye kadar elde edilen parçanın iç çap ölçüsünün aynı olması beklenir. Fakat uygun seçilemeyen kesme parametreleri, meydana gelen titreşim, kesici ucun aşınması vb gibi faktörlerden dolayı çaptan saptmalar meydana gelebilmektedir. Çaptan sapma, kesici ucun delik içi tornalanmasında başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki ölçülen çap farkıdır. Değer bir ifadeyle ölçümde dikkate alınan çapların parçanın merkezinde (eş merkezlilik) olmaması durumu olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.5'te çaptan sapma (iki nokta arasında) örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çaptan sapma

3.2. Delik İçi Tornalamada Meydana Gelen Geometrik Sapmaların Ölçülmesi

Dairesellik, silindiriklik ve çaptan sapma ölçümlerinde CMM gibi ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Dairesellik, silindiriklik ve çaptan sapma ölçümü için; ölçüm esnasında uygun ölçme ucu (prob) belirlendikten sonra cihazın özelliğine göre ölçüm iki yöntemle yapılabilmektedir. Birinci yöntemde ölçme ucu delik çapını 360° boyunca tarayarak, (Şekil 3.6.a) ikinci ölçümde ise prob delik çapı üzerinde belirlenen nokta sayısı kadar malzemeye temas ederek (Şekil 3.6.b) ölçüm yapmaktadır. Birinci yöntemdeki doğruluk oranı daha yüksektir. Genellikle kesici ucun iş parçasına giriş ve çıkış noktalarına belli mesafe uzaklıkta ölçüm yapılmakta olup, bu mesafe dışındaki noktalardan da ölçüm yapılabilmektedir. Prob katerin iş parçasına giriş (işlemenin başladığı) ve çıkış (işlemenin bittiği) noktaları arasında ya da belirlenen noktalar arasında devamlı olarak malzemeye temas halinde hareket ederek ölçüm yapmaktadır.



Şekil 3.6. Geometrik sapmaların ölçümü a) Tarama şeklinde, b) Noktasal şekilde



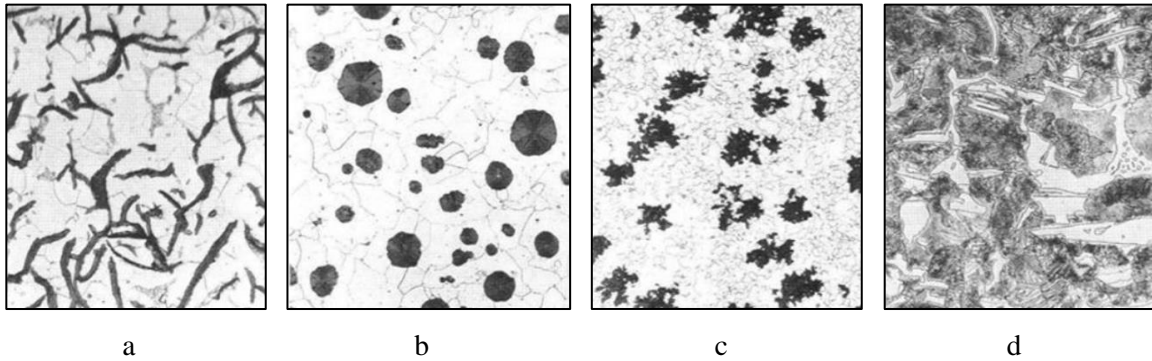
4. DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler, döküm endüstrisinin en yüksek üretim miktarına sahip ürünleridir. Alaşım elementleri ilavesi dökme demirlere yüksek sertlik, yüksek aşınma ve korozyon direnci vb önemli avantajlar sağlamaktadır. Yapılarında %2'den fazla karbon bulunan döküm alaşımlarıdır. Bileşimlerindeki karbon %4'e ve silisyum %3,5'e kadar bulunabilir. Dökme demirlerin kimyasal bileşimleri % olarak Çizelge 4.1'de verilmiştir. Dökme demirler mikro yapılarına göre dört ana gruba ayrılmaktadır (Resim 4.1) [32,33]:

- Gri (lamel grafitli) dökme demirler
- Sfero (küresel grafitli) dökme demirler
- Temper (rozet görünümlü) dökme demirler
- Beyaz dökme demirler

Çizelge 4.1. Dökme demirlerin kimyasal bileşimleri

Element %	Gri Dökme Demir	Beyaz Dökme Demir	Temper Dökme Demir	Küresel Grafitli Dökme Demir
Karbon % (C)	2,5 – 4,0	1,8 – 3,6	2,0 – 2,6	3,0 – 4,0
Silisyum % (Si)	1,0 – 3,0	0,5 – 1,9	1,1 – 1,6	1,8 – 2,8
Manganez % (Mn)	0,25 – 1,0	0,25 – 0,8	0,2 – 1,0	0,1 – 1,0
Kükürt % (S)	0,02 – 0,25	0,06 – 0,2	0,04 – 0,18	0,03 mak.
Fosfor % (P)	0,05 – 1,0	0,06 – 0,18	0,18 mak.	0,01 mak.



Resim 4.1. Dökme demirlerin mikroyapısı a) Gri, b) Küresel, c) Temper, d) Beyaz [33]

4.1. Gri Dökme Demirler

Gri dökme demir, bileşimindeki karbonun, kısmen veya tamamen grafit yapıda bulunduğu bir dökme demir çeşididir. Yapısında bulunan grafit, lameller şeklinde olduğundan lamel görünümüne sahiptir. (Resim 4.1.a). [34].

4.2. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Yapısında bulunan grafitin küresel şekilde olduğu dökme demirdir (Resim 4.1.b). Sfero veya nodüler dökme demir olarak da adlandırılmaktadır. Özel işlemler ile elde edilmektedir. Karbonu lamel şeklinden, küre şekline dönüştürmek için, ergimiş dökme demire magnezyum veya seryum katılır. Küresel hale getirilen grafitler, dökme demire süneklik kazandırır [35].

4.3. Temper Dökme Demirler

Temper dökme demir, sementit yapıda bulunan beyaz dökme demire ısı işlem (tavlama-temperleme vb) yapılarak bileşimindeki karbonun, rozet şeklini almasıyla elde edilen dökme demirdir (Resim 4.1.d). Temper dökme demirin, siyah temper dökme demir ve beyaz temper dökme demir olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır: Siyah temper dökme demir, sementit yapıda beyaz dökme demirin nötr bir ortamda uzun süre belli sıcaklıkta (östenit alanında) ısıtılmasıyla hazırlanan bir temper dökümdür. Kırılmış kesiti genellikle siyah renktedir. Beyaz temper dökme demir, sementit yapıda beyaz dökme demirin, oksitleyici bir ortamda uzun süre belli sıcaklıkta (östenit alanında) ısıtılmasıyla hazırlanan bir temper dökümdür. Kırılmış kesiti genellikle beyaz renktedir [36].

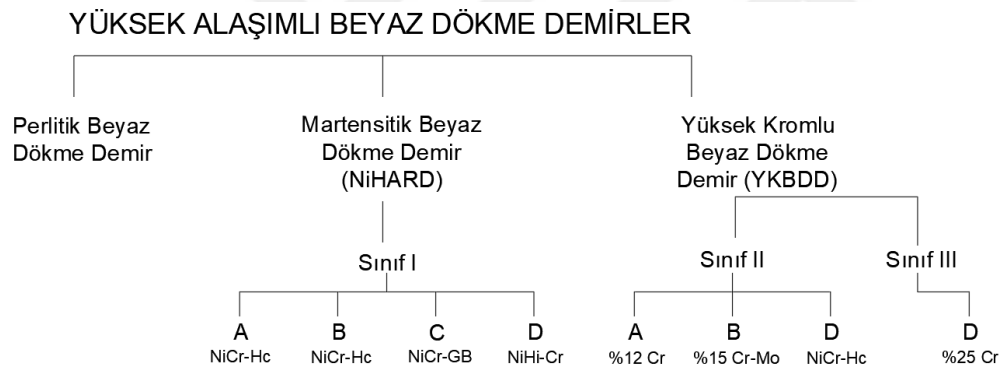
4.4. Beyaz Dökme Demirler

Beyaz dökme demirler, karbonun (C) tamamının sementite (Fe_3C) dönüştüğü (yapısında serbest grafit olmayan düşük karbonlu ve silisyumlu) dökme demirlerdir. Hızlı soğutma ile elde edilirler. Yapısında grafit bulunmadığı için beyaz renkte görünür ve yüksek sertliğe sahiptir. [37]. Beyaz dökme demirler içerdikleri element yüzdesi %4'ten daha az miktarda ise düşük alaşımlı beyaz dökme demir, daha fazla ise yüksek alaşımlı beyaz dökme demir olarak adlandırılmaktadır. Piyasada oldukça yaygın olarak kullanılan beyaz dökme demirler aşınmaya karşı dirençli olan yüksek alaşımlı dökme demirlerdir. Resim 4.1'de beyaz dökme demirin mikro yapısı görülmektedir.

4.4.1. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler

Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler, üretimi diğer dökme demirlerden ayrı olarak değerlendirilmesi gereken önemli bir malzeme grubudur. Bu tip dökme demirlerde alaşım miktarı %4'ten fazladır. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirler öncelikle aşınma direnci gerektiren uygulamalarda (kırıcı, öğütücü, dişli parçaları vb.) kullanılırlar. Mikroyapıdaki karbürlerin geniş hacim oranı, kırıcı ve öğütücü parçaları için gerekli olan yüksek sertliği sağlar. Alaşım içeriği %4'ün altında olan düşük alaşımlı beyaz dökme demirler, 37-54 HRC arası sertliğe sahip olurken, yüksek alaşımlılar 47-65 HRC sertliğe sahiptir. Çizelge 4.2'de yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin sınıflandırılması (ASTM A532) görülmektedir [37].

Çizelge 4.2. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin sınıflandırılması (ASTM A532) [38]



Deneylerde kullanılan NiHARD-4 malzeme Sınıf I-D grubunda, YKBDD malzeme ise Sınıf II-D grubunda yer almaktadır.

Perlitik beyaz dökme demir

Perlitik beyaz dökme demir aşınmaya dayanımlı bir yüksek alaşımlı beyaz dökme demir çeşididir. Fakat kullanımı yaygın değildir.

Martensitik beyaz dökme demir (NiHARD)

NiHARD, aşınmaya karşı çok yüksek dirence sahip (50-65 HRC), martenzitik yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin ticari adıdır. Nikel-Krom beyaz dökme demir olarak ta

bilinir. Yüksek nikel (%3-5 arası) ve düşük krom (%1-4) oranlarına sahiptir. NiHARD dökme demirlerde nikel birincil alaşım elementidir. Alaşıma %3-5 oranında eklenen nikelin, ostenit matrisin, perlitte dönüşmesini engelleyici etkisi vardır. Ayrıca alaşıma %1,4-4 oranında eklenen krom da nikelin grafitleştirme etkisini artırır. En uygun nikel-krom beyaz dökme demir alaşımının bileşimi, dökümün boyutları ve malzemenin çalışma şartlarına bağlıdır. Nikel-krom beyaz dökme demirler endüstriyel anlamda en eski yüksek alaşım grubudur. NiHARD malzemesi kırma ve öğütme malzemesi olarak üretilmektedir. Cevher kırıcıları, öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, pompalar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve çubuklar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek aşınma direnci gerektiren yerlerde NiHARD malzemeler kullanılır [39]. ASTM A532'ye göre dört çeşit NiHARD grubu bulunmaktadır.

NiHARD 1: Sert bir yapıya sahiptir ve aşınma direnci yüksektir.

NiHARD 2: Ni-Hard 1'den daha serttir ve aşınmaya karşı daha dayanıklıdır.

NiHARD 3: Ni-Hard 2'ye benzer özellikleri bulunmaktadır. Sıklıkla tercih edilmemektedir.

NiHARD 4: Yüksek sertliğe, çok iyi aşınma mukavemetine ve yüksek darbe dayanımına sahiptir [40]. Endüstride en çok kullanılan NiHARD malzeme grubudur.

NiHARD malzemelerin kimyasal bileşimi Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. NiHARD malzemelerin kimyasal bileşimi

Sınıf	Tip	Sembol	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu	%P	%S
I	A	Ni-Cr-Hc	2,8-3,6	2,0 max	0,8 max	3,3-5,0	1,4-4,0	1,0 max	---	0,3 max	0,15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2,4-3,0	2,0 max	0,8 max	3,3-5,0	1,4-4,0	1,0 max	---	0,3 max	0,15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2,5-3,7	2,0 max	0,8 max	4,0 max	1,0-2,5	1,0 max	---	0,3 max	0,15 max
I	D	Ni-HiCr	2,5-3,6	2,0 max	2,0 max	4,5-7,0	7,0-11	1,5 max	---	0,1 max	0,15 max

Yüksek kromlu beyaz dökme demir

Beyaz dökme demirler kararlı karbür yapısı oluşturmak için krom ile alaşımlandırılırlar. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler genel olarak yüksek aşınma direnci ve tokluk özellikleri gösterirler. Bu nedenle geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Cevher kırıcıları,

öğütücü değirmen bilyeleri, çeşitli astarlar, tarım alet ve makinaları, pistonlar ve dişlileri, çeşitli konveyörler, greyder bıçakları, pompalar, diskler, tuğla kalıpları, segmanlar ve çubuklar, madencilik ve mineral sanayi gibi yüksek aşınma direnci gerektiren yerlerde yüksek kromlu beyaz dökme demirler kullanılır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.3'te verilmiştir [39,40].

Çizelge 4.4. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin (YKBDD) kimyasal bileşimi

Sınıf	Tip	Sembol	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	% Mo	% Cu	% P	% S
II	A	12% Cr	2,0-3,3	2,0 max	1,5 max	2,5 max	11,0-14,0	3,0 max	1,2 max	0,3 max	0,15 max
II	B	15% Cr	2,0-3,3	2,0 max	1,5 max	2,5 max	14,0-18,0	3,0 max	1,2 max	0,3 max	0,15 max
II	D	20% Cr	2,0-3,3	2,0 max	1,0-2,2	2,5 max	18,0-23,0	3,0 max	1,2 max	0,3 max	0,15 max
III	A	25% Cr	2,0-3,3	2,0 max	1,5 max	2,5 max	23,0-30,0	3,0 max	1,2 max	0,1 max	0,15 max



5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmaları sonucunda, delik içi tornalama ile ilgili sadece sert malzemelerin kullanıldığı deneysel çalışmalar ele alınmıştır. Beyaz dökme demir malzemelerle ilgili az sayıda dış çap tornalama ve iki adet alın tornalama çalışmalarına rastlanmıştır. Beyaz dökme demir malzemelerin delik içi tornalanması ile ilgili herhangi bir çalışma bulunamamıştır. Sert malzemelerin delik içi tornalanması ve beyaz dökme demirlerin işlenmesi ile ilgili literatür çalışmaları başlıklar halinde verilmiştir. Sert malzemelerin delik içi tornalanması ile ilgili literatür özeti Çizelge 5.1’de, Beyaz dökme demirin tornalanması ile ilgili literatür özeti ise Çizelge 5.2’de verilmiştir.

5.1. Sert Malzemelerin Delik İçi Tornalanması ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Zhou ve diğerleri, AISI 52100 çelik malzemeyi (60-62 HRC) delik içi tornalamada CBN kesici ve 16 mm çapında çelik delik kateri kullanarak işlemişlerdir. Kuru ve ıslak işlemede yapılan deneylerde, kesme parametrelerinin (V_c : 160 m/dak, A_p : 0,1 mm, f : 0,08 mm/dev) yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda soğutma sıvısı basıncındaki artışın, talaş formu ve takım aşınması açısından kesme performansını önemli ölçüde iyileştiremediği, ıslak işlemede kesme kenarında daha az talaş oluşması nedeniyle kuru işlemeye göre biraz daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağlama eğiliminde olduğu, basınçlı kesme sıvısı kullanıldığında pasif kuvvetlerin dalgalanmasının kuru işlemeye göre daha küçük olduğu vurgulanmıştır [41].

Fu ve diğerleri, AISI 4340 çelik malzemeyi delik içi tornalamada kaplamalı ve kaplamasız karbür kesici uçlar kullanarak, 25 mm çapında çelik delik kateri üzerine plazma destekli kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle nanokompozit bir malzeme kaplayarak elde ettikleri sönümlenmeli delk kateri ile işlemişlerdir. Çalışmada kesme parametrelerinin (kater boyu:125mm, S :640-960 dev/dak, A_p : 0,25-0,5 mm, f : 0,15 mm/dev) mekanik titreşimler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sönümlenmeli katerin, işleme sırasında ölçülen mutlak ses seviyesini yaklaşık %90 oranında azalttığı bulunmuştur. Kaplanmamış bir kater kaplanmış kater ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık 3-6 μ m'den 2 μ m'a kadar düştüğü ve deneylerin %50'sinde 1 μ m'dan daha küçük olduğu gözlemlenmiştir [42].

Boy ve diğerleri AISI52100 malzemeden üretilmiş bir rulmanın (58-62 HRC) iç çapını delik içi tormalama yöntemiyle işlemişlerdir. Çalışmada düşük içerikli CBN kesici uçlar ve 25 mm çapında çelik delik kateri kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin (V_c :120-140-160 f: 0,04-0,06-0,08 işlenmiş parça sayısı) dairesellikten sapma ve çaptan sapma üzerinde etkileri araştırılmıştır. Deneylerde Taguchi L9 deney tasarımı kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin çıktılar üzerindeki etki oranlarını belirlemek için varyans analizi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörün ilerleme olduğu, dairesellikten ve çaptan sapma üzerindeki en önemli faktörün kesme hızı olduğu, ilerleme arttığında yüzey pürüzlülüğünün arttığı, yüzey pürüzlülüğü ile işlenmiş malzeme sayısı arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı sonuçları vurgulanmıştır [43].

Suyama ve diğerleri AISI 4340 çelik malzemeyi (52-55 HRC) delik içi tormaladıkları bir çalışmada kaplamalı CBN kesici uç ve 20 mm çapında çelik, karbür ve titreşim sönümlemeli delik kateri kullanarak, kesme parametrelerinin (V_c : 360 m/dak, A_p : 0,1 mm, f: 0,08 mm/dev) yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Her deneyde elde edilebilecek en uzun kater bağlama boyu (60,65,68 70,75,80 90,95 ve 100 mm) test edilmiştir. Deneylerden, karbür katerlerin titreşimleri azalttığı ve daha uzun bağlamada kullanılabilirdiği, titreşim sönümleyici katerin maliyeti yüksek olan karbür katerlere alternatif olabileceği, karbür katerin sadece çelik katerin uygun olmadığı ve çelik katerden daha iyi bir yüzey sağlanmayan uygulamalar için tavsiye edilebileceği, sönümlemeli bir katerin kullanılması, titreşimlerin sönümlenmesini ve sonuç olarak çelik kater ile kullanılacak maksimum kararlı çıkıntının artırılmasını sağladığı, sönümlemeli katerin, karbür katere göre basit ve ucuz bir alternatif olabileceği sonuçları vurgulanmıştır [44].

Suyama ve diğerleri AISI 4340 çelik malzemeyi (52-55 HRC) delik içi tormalayarak kaplamalı CBN kesici uç ve 20 mm çapında çelik ve karbür delik kateri kullanarak, kesme parametrelerinin (V_c : 300-360 m/dak, A_p : 0,1 mm, f: 0,06-0,08 mm/dev) takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. L/D oranı olarak 3-3,25-3,4-3,5-3,75-4-4,5 ve 5 değerleri kullanılmıştır. Deneylerde tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır. Deneylerden, titreşim ve kater malzemesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin olduğu, karbür katerin uzun bağlamalar için verimli olduğu, işlemenin stabil olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu, düşük kesme hızı ve yüksek ilerlemede takım ömrünün daha uzun olduğu sonuçlarının elde edildiği bildirilmiştir [45].

Lawrance ve diğeri AISI 4340 çelik malzemeyi (45 HRC) delik içi tornalayarak kaplamalı CBN kesici uç ve 25 mm çapında çelik ve karbür delik kateri kullanarak, kesme parametrelerinin (V_c : 50-60-70 m/dak, A_p : 0,5 mm, f : 0,05 mm/dev) kesme kuvveti, yan yüzey aşınması, takım titreşim genliği ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneylerden önce kater ve kesici uç solidworks programında tasarlanarak üzerine yaylar vasıtası ile darbe sönümleyici kütle eklenerek ANSYS analiz programında analizi yapılmıştır. Daha sonra tasarlanan sönümlemesiz ve sönümlemeli katerlerle deneyler yapılmıştır. Kater boyları 150 ve 200 mm olarak kullanılmıştır. Çalışma sonunda sönümlemenin yüzey pürüzlülüğünü, kesme kuvvetini, takım aşınmasını önemli derecede azalttığı ve kesme performansını arttırdığı belirtilmiştir [46].

Singh ve diğeri EN32 sertleştirilmiş çeliğin delik içi tornalanmasında, kaplamasız karbür kesici uç, 32 mm çapında çelik ve sönümlemeli (içi çelik bilyelerle doldurulmuş) çelik kater kullanmışlardır. Kesme parametrelerinin (V_c : 125-500 m/dak f :0,1-0,4 mm/dev, A_p :1 mm) takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kater bağlama uzunluğu 95-125 mm olarak kullanılmıştır. Parçacık sönümleme tekniğinin işleme sırasında gürültüyü önemli ölçüde azalttığı, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede ve takım aşınmasını azaltmada iyi bir etkiye sahip olduğu ve kesici uçlarda serbest yüzey aşınmasının meydana geldiği sonuçları elde edilmiştir [47].

Suyama ve diğeri AISI 4340 çelik malzemeyi (53-54 HRC) delik içi tornalayarak kaplamalı CBN kesici uç ve 20 mm çapında çelik ve karbür delik kateri kullanarak, kesme parametrelerinin (V_c : 300-360 m/dak, A_p : 0,1 mm, f : 0,06-0,08 mm/dev L/D :3-3,4) takım aşınması, takım ömrü ve titreşim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. L/D oranı olarak 3 ve 3,4 değerleri kullanılmıştır. Deneylerde tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, kararlı işlemede, titreşimin çelik kater için karbür katere kıyasla iki kat daha yüksek olduğu, takım ömrünü etkilemediği, ancak artmasının takım aşınma mekanizmasını değiştirdiği, ilerleme ve kesme hızının takım ömrünü etkilediği, kesme hızındaki artışla takım ömründeki güçlü düşüşün, takım sıcaklığındaki artıştan kaynaklandığı sonuçları elde edilmiştir [48].

De Aguiar ve diğeri AISI 4340 çelik malzemeyi (55 HRC) delik içi tornalayarak kaplamalı CBN kesici uç ve 20 mm çapında sıkıştırılmış hava akışı destekli parçacık darbeli (çelik ve kurşun bilyeler) pasif sönümlemeli çelik delik kateri ve standart çelik delik kateri

kullanarak, kesme parametrelerinin (V_c : 360 m/dak, A_p : 0,10 mm, f : 0,08 mm/dev L/D:) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde hava akışı desteğiyle yapılan sönümlenme ile hava akışı desteği olmadan yapılan sönümlenme ve standart çelik kater karşılaştırılmıştır. Deneylerde parçacık malzemesi (çelik, kurşun) ve parçacık boyutları test edilmiştir. Kater uzunluğu 70-120 mm olarak kullanılmıştır. Deneylerden, hava akışı destekli parçacık sönümleyicinin, 120 mm'lik çıkıntıda, hava akışı olmayan sönümleyiciye kıyasla ortalama yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık %60 oranında azalttığı, hava akışı desteğinin verimliliğinin delik kateri çıkıntısına bağlı olduğu, parçacık boyutu ile titreşim sinyalleri arasında etkileşimin olduğu sonuçları elde edilmiştir [49].

Gunaraj ve diğerleri AISI 4340 malzemeyi delik içi tornalayarak, karbür kesici uçlarla kesme parametrelerinin (V_c : 60-80-100 m/dak, A_p : 0,5-0,6-0,7 mm, f : 0,06-0,08-0,1 mm/dev) kesme sıcaklığı, takım aşınması, kesme kuvveti ve takım titreşimi üzerindeki etkisini belirlemek için modeller geliştirmeye yönelik istatistiksel ve matematiksel yaklaşımları ele almışlardır. Deneylerde Taguchi L27 deney tasarımı, çıktılar üzerinde çoklu optimizasyon için gri ilişkisel analiz yöntemi, çıktılar üzerinde tekli optimizasyon yöntemlerini belirlemek için de S/N oranı ve varyans analizi kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, titreşim, kesme kuvveti, kesme sıcaklığı ve takım aşınması üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme olduğu, en uygun işleme parametrelerinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük kesme derinliğinde elde edildiği ifade edilmiştir. Hem tek yanıtlı hem de çok yanıtlı optimizasyon tekniğinin aynı optimize edilmiş kesme parametresini gösterdiği belirtilmiştir [50].

Çizelge 5.1. Sert malzemelerin delik içi tornalanması ile ilgili literatür özeti

Yıl	Kater özellikleri			Kesici	İş parçası malzeme-Sertlik	Kesme Parametreleri	İncelenen Kriterler	Yöntem	İşleme Ortamı
	Çap	Malzeme	L/D						
2010	16	ÇELİK	-	CBN	AISI52100 60-62 HRC	Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği	Yüzey pürüzlülüğü takım aşınması, kesme kuvvetleri		Kuru ve ıslak işleme
2014	25	ÇELİK PASİF SÖN.	5	(Kaplama lı, kaplamas ız) KARBÜ R	AISI 4340	Devir sayısı, ilerleme, kesme derinliği L/D, sönümlenme	Yüzey pürüzlülüğü titreşim, ses basıncı	Sönümle me etkisi	Kuru işleme

Çizelge 5.1 (devamı) Sert malzemelerin delik içi tornalanması ile ilgili literatür özeti

2015	25	ÇELİK	-	CBN	AISI 52100 58-62 HRC	Kesme hızı, ilerleme, işlenmiş parça sayısı	Yüzey pürüzlülüğü yuvarlaklık, çap hatası	Taguchi L9 ANOVA	
2016	20	ÇELİK KARBÜR AVB	Kater çıkıntı uzunl. 60-65- 68 70- 75-80 90-95- 100 mm	Kaplamalı CBN	AISI 4340 52-55 HRC	Kesme hızı, ilerleme, L/D, Kesme derinliği	Yüzey pürüzlülüğü Titreşim		Kuru işleme
2017	20	ÇELİK KARBÜR	3-3,25- 3,4-3,5- 3,75-4- 4,5-5	Kaplamalı CBN	AISI 4340 52-55 HRC	Kesme hızı, ilerleme, L/D,	Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü Titreşim	Tam faktöriyel deney tasarımı	Kuru işleme
2017	25	ÇELİK PASİF SÖNÜMLEME Lİ KATER	Kater çıkıntı uzunl. 150-200 mm	Kaplamalı CBN	AISI 4340 45 HRC	Kesme hızı L/D oranı	Kesme kuvveti, takım aşınması, titreşim genliği yüzey pürüzlülüğü	ANSYS Pasif sönümle me	Kuru işleme
2018	32	ÇELİK	kater çıkıntı uzunl. 95-125 mm	Kaplamasız KARBÜR	EN32	Kesme hızı, ilerleme L/D	Takım aşınması yüzey pürüzlülüğü	Parçacık sönümle me	Kuru işleme
2020	20	ÇELİK KARBÜR	3-3,4	Kaplamalı CBN	AISI 4340 53-54 HRC	Kesme hızı, ilerleme,	Takım aşınması, takım ömrü titreşim	Tam faktöriyel deney tasarımı sönümle me	Kuru işleme
2020	20	ÇELİK SÖNÜMLEME Lİ KATER	kater çıkıntı uzunl. 70-120 mm	Kaplamalı CBN	AISI 4340 55 HRC	Kesme hızı, ilerleme, L/D	Yüzey pürüzlülüğü	Parçacık sönümle me	Kuru işleme
2023	20	ÇELİK	-	KARBÜR	AISI 4340	Kesme hızı, ilerleme, L/D, Kesme derinliği	Kesme sıcaklığı, takım aşınması, kesme kuvveti ve titreşim	Taguchi L27, GRA	Kuru işleme

5.2. Beyaz Dökme Demirin Tornalanması ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Masood ve diğerleri CBN kesici uçlarla 60 HRC sertliğindeki YKBDD malzemenin lazer destekli işleme yöntemi ile dış çapını tornalayarak işlenebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada lazerin, kesme kuvvetlerine, sıcaklığa, yüzey profiline, sertliğe ve kesilen talaşlara etkisi araştırılmıştır. Lazerle işlemede yüzey pürüzlülüğünün daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Lazer destekli işleme ile kesme kuvvetlerinde azalma ve takım ömründe artma olduğu sonucu elde edilmiştir. Lazer destekli işleme ile esas kesme kuvvetinin %24, ilerleme kuvvetinin ise %22 oranında azaltılabileceği gözlemlenmiştir. Lazer destekli

işlemenin YKBDD gibi sert malzemelerin işlenmesinde iyi bir alternatif olduğu ifade edilmiştir [51].

Yücel ve Günay, CBN ve seramik kesici uçlarla, 50 – 62 HRC sertliğinde NİHARD malzemeyi dış çap tornalayarak işleme deneyleri yapmışlar, çalışmalarında deneyler için Taguchi L18 deney tasarımı ve kesme parametrelerinin (V_c : 50, 100, 150 m/dak, A_p : 0,25-0,50-0,75 mm, f : 0,05-0,075-0,1 mm/dev) çıktılar üzerindeki etki oranlarını belirlemek için de varyans analizi kullanmışlardır. 50 HRC sertliğindeki malzeme üzerinde kesme kuvveti modellenmiş, kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla kesme derinliği ve ilerleme olduğu ifade edilmiştir. Seramik ve CBN kesicilerin her ikisinde de kesme derinliği arttığında kesme kuvvetinin arttığı ancak düşük kesme hızı ve orta ilerlemede CBN kesici uçta kesme kuvvetinin azaldığı belirtilmiştir [52].

Günay ve Yücel, bir başka çalışmada en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerini CBN kesici uçlarla elde etmişlerdir. Çalışmada 62HRC sertliğindeki NiHARD-4 malzemedeki yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre ilerleme iken 50HRC sertliğindeki malzemedeki yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin kesme hızı olduğu ortaya koyulmuştur. İlerlemenin artırılması ile CBN ve seramik kesici uçlarla yüzey pürüzlülüğünün arttığı, seramik kesici uçla kesme derinliği artarken yüzey pürüzlülüğünün arttığı ortaya koyulmuştur [53].

Yücel ve Günay, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti için işleme koşullarının modellendiği ve optimize edildiği çalışmalarında ise, kesme kuvvetleri üzerindeki en önemli faktörün varyans analizi sonucunda kesme derinliği olduğunu, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en önemli faktörün de ilerleme olduğunu ortaya koymuşlardır. En düşük yüzey pürüzlülüğü 62 HRC sertliğe sahip malzeme üzerinde CBN kesici uçla elde edilmiştir. NİHARD malzemenin işlenmesinde CBN kesici uç önerilmiştir [54].

Ding ve Shin, CBN kesici uçlarla 60-66 HRC aralığında farklı krom oranlarına (%27-%30-%35) sahip YKBDD malzemelerin dış çapını tornalayarak, lazer destekli işleme yöntemi ile kesme parametrelerinin (V_c : 90, 110, 150 m/dk, f : 0.1mm/dev, A_p : 0.76 mm, T : 500°C) takım aşınması, talaş kaldırma oranı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada en uygun işleme sıcaklığı 400°C olarak bulunmuştur. Kesme kuvvetinin sırasıyla %27 Cr ve %35 Cr oranları için %28 ve %26 oranlarında azaldığı

ifade edilmiştir. Sıcaklık artışının kesme kuvvetini azalttığı, yüzey pürüzlülüğünü ileri derecede iyileştirdiği ifade edilmiştir. Cr oranı %27 olan malzemenin yüzey pürüzlülüğünün Cr oranı %35 olan malzemedan daha iyi olduğu belirtilmiştir. Lazer destekli işlemin normal işlemeye göre takım ömründe %100 artış sağladığı ortaya çıkmıştır [55].

Chen ve diğerleri çok kristalli CBN (pCBN) ve tek fazlı CBN (bCBN) kesici uçlarla 57-58 HRC aralığındaki düşük krom silisyumlu (C: %2,71, Si: %0,8) ve yüksek krom silisyumlu (C: %2,95, Si: %1,47) YKBDD malzemelerin dış çapını tornalayarak işlenebilirliği kuru işleme şartlarında araştırmışlardır. Çalışmada kesme parametrelerinin (V_c : 120,140,160 m/dk, f : 0,4mm/dev, A_p : 1,5 mm) takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. bCBN kesicide oluşan kesme kuvvetleri ve aşınma pCBN kesici uçtan daha yüksek, yüzey pürüzlülüğü ise daha düşük şekilde elde edilmiştir. Malzemede C-Si oranının az olmasının her iki takımında da yüksek kesme kuvveti ve yüksek aşınma oluşturduğu bildirilmiştir [56].

Ravi ve diğerleri kaplamalı karbür ($TiC/TiCN/Al_2O_3$) kesici uçlarla 54-55HRC aralığında sertliğe sahip YKBDD malzemelerin dış çapını tornalayarak minimum kesme kuvvetleri, işleme gücü ve maksimum talaş kaldırma için işlenebilirliği araştırmışlardır. Deneylerde Taguchi L27 deney tasarımı kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin (V_c : 40-56-96 m/dak, A_p : 0,1-0,2-0,3 mm, f : 0,096-0,124-0,179 mm/dev) çıktılar üzerindeki etki oranlarını görebilmek için varyans analizi yapılmıştır. Kesme derinliği ve ilerleme oranı arttığında radyal kuvvetin arttığı, kesme hızı arttığında kesme kuvvetinin azaldığı, kesme hızının veya ilerlemenin artmasıyla ilerleme kuvvetinin azaldığı kesme derinliği arttığında ise ilerleme kuvvetinin arttığı sonuçları elde edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre işleme gücü üzerindeki en etkili faktörün kesme hızı olduğu ortaya çıkmıştır. Belirli bir ilerlemede kesme derinliği veya kesme hızı arttığında işleme gücünün arttığı, ilerlemenin artmasıyla da işleme gücünün azaldığı ifade edilmiştir. Kesme hızının artışında ise aşınmanın arttığı ifade edilmiştir. Deney sonuçlarının doğrulanmasında regresyon analizi ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Doğrulama testlerinde YSA'nın, regresyon analizinden daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [57].

Ravi ve diğerleri CBN kesici uçlarla 53HRC sertliğinde YKBDD malzemenin dış çap tornalanmasında kesme parametrelerinin (V_c : 53-84-132 m/dak, f : 0,096-0,124-0,179 mm/dev, A_p : 0,1-0,2-0,3 mm, T : 200°C-325°C-450°C) yüzey pürüzlülüğü ve kesme

kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişler, lazer destekli işleme (LAM) ve sıvı petrol gazı ile işleme (LPG) yöntemlerini kullanmışlardır. Deneylede Taguchi L27 deney tasarımı kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin çıktılar üzerindeki etkileri ANOVA ile incelenmiş sonuçlar YSA ile ilişkilendirilmiştir. Kontrol parametreleri ile sonuçlar arasındaki ilişkiyi kurmak için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. YSA'nın regresyon modelinden daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkarılmıştır. Termal destekli işlemenin malzemenin daha kolay işlenmesine, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünde önemli derecede iyileşmelere sebep olduğu vurgulanmıştır. Sert tornalama işlemlerinde LPG ile işlemenin lazerle işlemeye göre daha ekonomik bir seçenek olduğu ifade edilmiştir. Kesme derinliğinin artışının kesme kuvvetlerini arttırdığı, kesme hızı ve ilerleme arttığında kesme kuvvetlerinin azaldığı, kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği olduğu sonuçları çıkarılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili faktörün ilerleme olduğu ifade edilmiştir [58].

Ravi ve diğerleri CBN kesici uçlarla 53HRC sertliğinde YKBDD malzemeyi dış çap tornalayarak kesme parametrelerinin (V_c : 82-128-198 m/dak, f : 0,096-0,124-0,179 mm/dev, A_p : 0,4 mm, T : 425°C) takım ucu sıcaklığı ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında termal destekli işleme (TEM) yöntemi kullanmışlardır. Deneylede Taguchi L9 deney tasarımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, kesme hızı arttığında kesme kuvvetlerinin azaldığı, iş parçasının sertliğindeki bölgesel ısının azalmasıyla işlemenin zorlaştığı ve takım üzerindeki ısının %30'u aşmadığı ifade edilmiştir [59].

Ravi ve diğerleri CBN kesici uçlarla 53HRC sertliğinde YKBDD malzemenin dış çap tornalanmasında kesme parametrelerinin (V_c : 53-84-132 m/dak, f : 0,096-0,124-0,179 mm/dev, A_p : 0,1-0,2-0,3 mm, T : 425°C) kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülüğü ve talaş hacmi üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında Taguchi L27 deney tasarımı kullanmışlardır. Deneylede sonucunda kesme kuvvetleri üzerindeki en etkili faktörün talaş derinliği olduğu, yüzey pürüzlülüğü ve tezgâh gücü üzerindeki en etkili faktörün de kesme hızı olduğu ortaya konulmuştur. İlerleme ve kesme hızındaki artışın deforme olmuş talaş hacmini arttırdığı böylece kesme işlemi için gerekli kuvvetin arttığı tespit edilmiştir. Varyans analizi sonucunda kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği olduğu belirtilmiştir. Kesme hızı arttıkça malzemenin yumuşamasından dolayı kesme kuvvetinin azaldığı, en iyi yüzeyin yüksek kesme hızlarında ve düşük talaş derinliği ve

ilerleme hızlarında elde edildiği ifade edilmiştir. CBN kesici ucun yüksek kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde mükemmel bir performans ortaya koyduğu vurgulanmıştır [60].

Chen ve diğerleri pCBN ve bCBN kesici takımları kullandıkları bir çalışmada yüksek C-Si'lu ve düşük C-Si'lu YKBDD malzemeleri hem döküm halinde hem de sertleştirilmiş şekilde (53HRC) dış çap tornalama yöntemiyle işlemiş ve kesme parametrelerinin (V_c : 120, 140, 160 m/dak, f : 0,4 mm/dev, A_p : 1,5 mm) kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, takım aşınması üzerindeki etkilerini incelemiştir. bCBN kesici uçlarda meydana gelen kesme kuvvetlerinin pCBN kesici uçlardan daha yüksek olduğu, pCBN kesici uçla daha düşük takım aşınması ve daha uzun takım ömrü elde edildiği, bCBN kesici uçla daha iyi yüzey kaliteleri elde edildiği sonuçları elde edilmiştir. Döküm halindeki malzemede daha düşük C-Si, her iki kesici uç için daha yüksek kesme kuvvetleri oluşurken ve daha yüksek C-Si'a sahip malzemelerde göre daha yüksek aşınma oranlarının oluştuğu belirtilmiştir. Malzemelerin sertleştirme işleminden sonra hem düşük hem de daha yüksek C-Si içerikli malzemeler için kesme kuvvetleri ve aşınma oranları ile aynı eğilimlerin gözlemlendiği ifade edilmiştir [61].

Chen ve diğerleri bir başka çalışmada düşük C-Si'lu ve yüksek C-Si'lu YKBDD malzemelerin mikro sertlik ve mikro yapısındaki değişimin, takım aşınması takım ömrü, kesme kuvveti ve yüzey kalitesi açısından işleme performansı üzerindeki etkisinde ise, kesme kuvvetlerinin düşük C-Si'lu malzemede yüksek C-Si'lu malzemeye göre daha yüksek olduğunu, düşük C-Si'lu malzemedeki matris yüksek C-Si lu malzemedeki matrisden daha sert olduğundan yan yüzey aşınmasının düşük C-Si'lu malzemede daha fazla olduğunu vurgulamışlardır [62].

Kır ve diğerleri farklı tane boyutlarına (BS710-WC: 0,8 μ – BS610-WC:1,25 μ) sahip kaplamasız karbür kesici uçlarla 55 HRC sertliğinde NiHARD-4 malzemeyi dış çap tornalayarak, çalışmada Taguchi L9 deney tasarımı kullanarak kesme parametrelerinin (V_c : 100-150-200 m/dak, f :0,05 – 0,075 -0,1 mm/dev, A_p : 0,1-0,2-0,3 mm) takım aşınması ve takım ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. BS 610 ve BS 710 kesici takımlarla yapılan deneylerde kesme uzunluğu, kesme derinliği ve kesme hızı arttığında kesme kenarı üzerindeki aşınma oranının arttığı belirtilmiştir. Varyans analizine göre her iki kesici takımında da kesme derinliği en önemli parametre olarak belirlenmiştir. Düşük kesme hızında takım aşınması ve takım ömründe, BS 710 kesici takımın BS 610'dan daha iyi performans

sergilediği, WC kaba tanelerinin ince tanelerden daha iyi bir performans sergilediği vurgulanmıştır [63].

De Oliveira ve diđerleri yüksek CBN iđerine sahip pCBN ve dūřuk CBN iđerine sahip bCBN kesici uęlarla YKBDD malzemeyi alın tornalama yōntemi ile iřleyerek (sūrekli ve kesikli iřleme), kesme parametrelerinin ($V_c:200$ m/dk, $f:0,08$ mm/dev, $A_p:0,15$ mm) takım ařınması, yūzey pūrūzlūlūđu ve mikro yapı ūzerindeki etkilerini incelemiřlerdir. bCBN takımların, takım ōmrūnūn pCBN takımlara gōre ūç kat daha uzun olduđu belirtilmiřtir. bCBN kesici ucun sūrekli iřlemede daha iyi performans gōsterdiđi, kesikli iřleme ięin, iki CBN kalitesinin benzer sonuęlar gōsterdiđi, yūzey pūrūzlūlūđu aęısından kesikli iřlemede, sūrekli iřlemeye kıyasla daha dūřuk yūzey pūrūzlūlūđu deđerlerinin elde edildiđi bildirilmiřtir [64].

Gutnichenko ve diđerleri dōkūm halinde (54-40 HRC) ve sertleřtirilmiř halde (57-58 HRC) pCBN ve bCBN kesici uęlarla dıř ęap tornalama yōntemiyle YKBDD malzemelerin iřlenmesinde kesme parametrelerinin ($V_c: 120, 140-150-160$ m/dak, $f: 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,4 - 0,5 - 0,6$ mm/dev, $A_p:1.5$ mm) takım ařınması ve kesme kuvvetleri ūzerindeki etkilerini incelemiřlerdir. İř paręasındaki dūřuk C-Si oranının dūzensiz bir katman oluřturduđunu bunun sonucu olarak ta iř paręasının sertliđinin azaldıđını ve ęatlama oluřabileceđini, yūsek C-Si'lu malzemede ve yūsek kesme hızlarında ise karalı bir yapı oluřtuđunu ve iřlenebilirliđin en uygun dūzeyde olduđu ōngōrmūřlerdir [65].

Gutnichenko ve diđerleri bir bařka ęalıřmada, bađlayıcı olmayan bCBN kesici ucun krater ve yan ařınmaya meyilli olduđunu yūsek oranda CBN oranına sahip pCBN kesici ucun kesme kenarının yan yūzey ařınmasına daha meyilli olduđunu, kesme kuvvetlerindeki artıřa titreřimlerin eřlik ettiđini, yūsek C-Si'lu malzemenin iřlenmesinde takım-talař ara yūzūnde bir takım koruma katmanının (TPL) oluřtuđunu ifade etmiřlerdir. Elektron mikroskobu ve EDX analizi ile incelendiđinde, TPL'nın SiO_2 ile nanokristalin Al_2O_3 'ten oluřtuđunu, katmanın yokluđunun veya uzaklařtırılmasının, iřlenmiř yūzeyi etkileyen, 380Hz frekansında kendiliđinden uyarılan titreřimlerin (chatter) geliřmesine yol aętıđını ortaya koymuřlardır. Dōkūm halindeki malzemenin iřlenmesi sırasında dūřuk takım ařınmasının ve kesme kuvvetlerinin elde edildiđi vurgulanmıřtır. Sertleřtirilmiř malzemenin bCBN ile iřlenmesinde, daha yođun takım ařınması ve kesme kuvvetlerinin (%30'a kadar daha būyūk) meydana geldiđi belirtilmiřtir [66].

Chen ve diğerkleri çalışmalarında pCBN kesici uçlarla düşük C-Si'lu ve yüksek C-Si'lu YKBDD malzemeleri dış çap tormalayarak, mikro sertlik dağılımının etkisini, yüksek aşındırıcı malzemelerin işlenmesindeki aşınma mekanizmalarını açıklamak için kullanmış ve aşındırıcılığı tahmin etmek için bir model önermişlerdir. Kesme parametrelerinin (V_c : 120-140-160 m/dak, f : 0,4 mm/dev A_p : 0,4 mm) aşınmaya etkilerinin incelendiği çalışmada, kesici uçta krater aşınması ve aşındırıcı aşınmalarının meydana geldiği, ana aşınma türünün aşındırıcı aşınması olduğu, aşınmanın kesme hızı ile arttığı sonuçları vurgulanmıştır [67].

Kalyon ve diğerkleri CBN kesici uçlarla, farklı Cr oranlarına (%10-%12-%14) ve sertliklere (52-55-57 HRC) sahip YKBDD malzemeleri dış çap tormalayarak kesme parametrelerinin (Cr oranı: %10-%12- %14, V_c :100-125-150 m/dk, f : 0,05 – 0,075-0,1 mm A_p : 0,1-0,15- 0,2 mm) kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini Taguchi L27 deney tasarımına bağlı gri ilişkisel analiz yöntemiyle (GRA) araştırmışlardır. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranlarını varyans analizi ile incelemişlerdir. Varyans analizi sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin ilerleme, kesme kuvveti için en etkili parametrenin kesme derinliği olduğu ifade edilmiştir. Gri ilişkisel analize göre kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en önemli parametrenin ilerleme olduğu belirtilmiştir [68].

Da Silva ve diğerkleri pCBN kesici uçlarla Nb ilaveli ve Nb ilavesiz YKBDD malzemelerin döküm ve serleştirilmiş şekillerde alın tormalama işlemiyle kuru işleme ve yağlama ile soğutma şartlarında işlenmesinde kesme parametrelerinin (V_c : 100-200-300 m/dak, f : 0,08 mm/dev A_p : 0,20 mm) takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada Nb ilavesinin iç yapıdaki karbür hacmini ve sertliği azalttığı ve işlenebilirliği önemli ölçüde arttırdığı vurgulanmıştır. Soğutmanın her iki işlemede de takım ömrünü önemli derecede arttırdığını ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği belirtilmiştir [69].

Ravi ve diğerkleri kaplamalı karbür (TiC /TiCN/ Al_2O_3) kesici uçlarla 53HRC sertliğinde YKBDD malzemenin dış çap tormalanmasında kesme parametrelerinin (V_c : 55-88-132 m/dak, f : 0,096-0,124-0,179 mm/dev, A_p : 0,1-0,2-0,3 mm, T : 250°C-350°C-450°C) yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelemişler, çalışmada termal destekli işleme (TEM) olan sıvı petrol gazı ile işleme (LPG) yöntemini kullanmışlardır. Deneylerde Taguchi L27 deney tasarımı kullanılmıştır. Ön ısıtmalı deneylerde düşük kesme derinliğinde

en iyi yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği, kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetinde önemli derecede azalmaların olduğu ifade edilmiştir. 350°C’de daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiği, daha yüksek yüzey sıcaklıklarında, kesme alanının genişlemesi nedeniyle takım talaş yüzeyinde BUE oluşma durumunun meydana gelebileceği ifade edilmiştir. Isıtma ile karbür kesici ucun performansının daha iyi olabileceği ve CBN kesici uca göre daha düşük maliyette işleme yapılabileceği ifade edilmiştir [70].

Çizelge 5.2. Beyaz dökme demirin tornalanması ile ilgili literatür özeti

Yıl	Malzeme Sertlik	Kesici uç malzemesi	Kesme Parametreleri	İncelenen Kriterler	Yöntem	İşleme Ortamı
2011	YKBDD 60 HRC	CBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği	Yüzey pürüzlülüğü Kesme kuvvetleri Sıcaklık	Dış çap tornalama Lazer destekli işleme	Kuru işleme
2012	NiHARD 50 – 62 HRC	SERAMİK CBN	Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği	Kesme kuvveti istatistiksel modeli	Dış çap tornalama Taguchi L18 ANOVA	Kuru işleme
2013	NiHARD 50 – 62 HRC	SERAMİK CBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği	Yüzey pürüzlülüğü	Dış çap tornalama Taguchi L18 ANOVA	Kuru işleme
2013	NiHARD 50 – 62 HRC	SERAMİK CBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği	Yüz. Prüzl. Kesme kuvveti Modelleme	Dış çap tornalama Taguchi L18 ANOVA	Kuru işleme
2013	YKBDD 60-66 HRC	CBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği, Cr oranı, sıcaklık	Takım aşınması, talaş kaldırma oranı, kesme kuvveti yüzey pürüzlülüğü	Dış çap tornalama Lazer destekli işleme	Kuru işleme
2014	YKBDD 57-58 HRC	pCBN bCBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği, C-Si oranı	Takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü	Dış çap tornalama	Kuru işleme
2014	YKBDD 54-55 HRC	Kaplamalı KARBÜR	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği	Kesme kuvvetleri, işleme gücü maksimum talaş kaldırma oranı	Dış çap tornalama Taguchi L27 ANOVA Regresyon, YSA	Kuru işleme
2014	YKBDD 53HRC	CBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği	Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri	Dış çap tornalama TEM, LAM, LPG Taguchi L27 ANOVA Regresyon, YSA	Kuru işleme
2014	YKBDD 53HRC	CBN	Kesme hızı, ilerleme, sıcaklık	Takım ucu sıcaklığı ve kesme kuvvetleri	Dış çap tornalama TEM Taguchi L9	Kuru işleme
2015	YKBDD 53HRC	CBN	Kesme hızı ilerleme, sıcaklık	Kesme kuvvetleri yüzey pürüzlülüğü talaş hacmi	Dış çap tornalama Taguchi L27 ANOVA	Kuru işleme
2015	YKBDD 53HRC	pCBN bCBN	Kesme hızı C-Si oranı	Kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi, takım aşınması	Dış çap tornalama	Kuru işleme
2015	YKBDD (Düşük ve yüksek C-Si)	pCBN bCBN	Kesme hızı C-Si oranı	Takım aşınması takım ömrü, kesme kuvveti, yüzey kalitesi	Dış çap tornalama	Kuru işleme
2016	NiHARD-4 55 HRC	Kaplamasız KARBÜR	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği	Takım aşınması takım ömrü	Dış çap tornalama Taguchi L9 deney tasarımı, ANOVA	Kuru işleme
2016	YKBDD 53HRC	pCBN bCBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği	Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve mikro yapı	Alın tornalama (sürekli ve kesikli işleme)	Kuru işleme
2016	YKBDD (düşük ve yüksek C-Si) 40-58 HRC	pCBN bCBN	Kesme hızı ilerleme	Takım aşınması kesme kuvvetleri	Dış çap tornalama	Kuru işleme
2017	YKBDD (düşük ve yüksek C-Si) 40-58 HRC	pCBN bCBN	Kesme hızı ilerleme	Takım aşınması kesme kuvvetleri, titreşim	Dış çap tornalama	Kuru işleme

Çizelge 5.2 (devamı) Beyaz dökme demirin tornalanması ile ilgili literatür özeti

2018	YKBDD (düşük ve yüksek C-Si) HRC	pCBN	Kesme hızı	Takım aşınması, aşınma mekanizmaları	Dış çap tornalama Aşınma tahmin modeli	Kuru işleme
2018	YKBDD 52-55-57 HRC	CBN	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği, Cr oranı	Kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü	Dış çap tornalama Taguchi L27, GRA, ANOVA	Kuru işleme
2020	YKBDD	pCBN	Kesme hızı	Takım aşınması, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü	Alın tornalama	Kuru işleme
2021	YKBDD 53HRC	KARBÜR	Kesme hızı ilerleme kesme derinliği, sıcaklık	Kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü	Dış çap tornalama TEM, LPG Taguchi L27	Kuru işleme

5.3. Literatürün Değerlendirilmesi (Çalışmanın Yeri)

Sert malzemelerin delik içi tornalama işlemlerinde, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, takım ömrü, kesme kuvvetleri ve titreşim kriterleri işleme açısından incelenen kriterlerdir. Çalışmalarda kesme derinliği (Ap:mm) katerin boy çap oranı (L/D oranı), veya (mm cinsinden kater çıkıntı uzunluğu) kesme hızı (Vc:m/dak), ilerleme (f:mm/dev), devir sayısı (S:rpm) gibi kesme parametreleri kullanılmıştır. Çalışmalar incelendiğinde AISI52100, AISI4340 ve EN32 gibi malzemelerin çalışıldığı, çoğunlukla (%90 oranında) çelik katerlerin kullanıldığı görülmektedir. Titreşim sönümlenmeli katerlerin (%30 oranında) kullanıldığı çalışmalarda ise pasif sönümlenme teknikleri olarak, sönümlenme azaltan malzeme ve parçacık kullanımı çalışmaları mevcuttur. Kesici uç malzemesi olarak çoğunlukla (%80 oranında) CBN kesici uçlar ve az sayıdaki çalışmalarda (%20 oranında) karbür kesici uçların kullanıldığı anlaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü açısından; titreşim sönümlenmeli ve karbür katerlerin kullanımında daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Pasif sönümlenme yöntemleri ile de daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametreler L/D oranı ve ilerleme hızı olduğu belirtilmiştir. Titreşim azaltma açısından; kullanılan kater malzemesine göre L/D oranı en etkili parametredir. Etki oranı en fazla olarak sıralamaya göre, titreşim sönümlenmeli kater kullanımı, karbür kater kullanımı ve pasif sönümlenme tekniği titreşimi azaltan etkenlerdir. Çalışmalarda kesme parametrelerinin etki oranlarını görmek için ANOVA (varyans analizi) kullanılmıştır. Deney sayısını azaltarak aynı sonuçların elde edilebildiği daha ekonomik yöntem olarak kullanılan Taguchi deney tasarımı metodu da çalışmalarda mevcuttur. Delik içi tornalama çalışmalarında titreşim en önemli faktör olduğundan ivme ölçer yardımıyla ve modal analiz, stabilite lob diyagramları, ses ve frekans ölçme yöntemleriyle de titreşim ölçümleri yapılmıştır.

Beyaz dökme demir malzemelerin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, beyaz dökme demirlerin işlenebilirliği ile ilgili dış çap (silindirik) tornalama çalışmalarının olduğu, az sayıda da alın tornalama çalışmalarının olduğu görülmektedir. Çalışmalarda az sayıda (%20 oranında) Ni HARD-4 malzeme ve çoğunlukla (%80 oranında) YKBDD malzemeler kullanılmıştır. Sertliği 45 HRC üzerinde olan bu malzemelerin işlenebilirliği üzerine çeşitli çalışmaların yapıldığı ve sert malzemelerin işlenebilirliğinin talaşlı imalat açısından yüksek derecede önemli olduğu görülmektedir. Çalışmalarda kesici takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde, kesme parametrelerinin, sıcaklığın ve titreşimin etkileri incelenmiştir. Çalışmalarda az oranda seramik (%15 oranında), karbür (%15 oranında) ve de çoğunlukla CBN (%90 oranında) kesici uçlar kullanılmıştır. CBN kesici uçların da pCBN (çok kristalli kübik bor nitrür; çok fazlı CBN ve bağlayıcı oranı yüksek) ve bCBN (az bağlayıcılı kübik bor nitrür; tek fazlı CBN ve bağlayıcı oranı düşük ya da yok) şekilleri kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü takım aşınması ve kesme kuvvetleri üzerindeki etki derecelerini görmek için ANOVA (varyans analizi) çoğunlukla kullanılmıştır. Regresyon analizi ile istatistiksel modeller ve denklemler oluşturulmuştur. Taguchi deney tasarımları çalışmalarda mevcuttur. Kesme parametreleri olarak çoğunlukla kesme hızı (V_c : m/dak), ilerleme (f : mm/dev), kesme derinliği (A_p : mm) kullanılmıştır. Takım aşınmasında tanecik kopması yan kenar aşınması, partikül aşındırıcılığı ön plandadır. Kesme hızı arttıkça takım aşınmasının ve kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. pCBN uç, daha düşük bir aşınma oranı ve daha uzun bir takım ömrü sergilemekte, bCBN uç daha iyi bir yüzey kalitesi ve işleme kararlılığı göstermektedir.

Literatür incelendiğinde beyaz dökme demir malzemelerin sert malzemeler olduğu ve bu malzemelerle ilgili delik içi tornalama çalışmalarının olmadığı görülmektedir. Sert malzemelerin delik içi tornalama çalışmaları incelendiğinde özellikle yüzey pürüzlülüğünü iyileştirme ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen titreşimi azaltma üzerine yapılan çalışmalar aşikârdır. Sert malzemelerin delik içi tornalanmasında sadece bir adet delik içi geometrik sapmaların (yuvarlaklık, çap hatası) incelendiği çalışmaya rastlanmıştır. Ayrıca incelenen bu çalışmada sadece çelik kater kullanılmıştır. Delik içi tornalamada takım sarkma uzunluğundan dolayı meydana gelen titreşimlerden kesme kuvvetlerinin arttığı, takımın aşındığı dolayısı ile de yüzey pürüzlülüğü ve geometrik sapmaların oldukça yüksek olduğu, bu durumun da kalite ve maliyet açısından talaşlı imalatta üzerinde durulması gereken önemli bir unsur olduğu ortadadır. Delik işlemede geometrik doğrulukların elde edilmesi,

düşük yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin elde edilmesi için farklı kesici uçların farklı bağlama uzunlukları ve farklı kater malzemelerinin kullanımı ile yapılan bu çalışma, en uygun işleme kriterlerinin belirlenmesi ile maliyet, kalite ve sert bir yapıya sahip olan beyaz dökme demir malzemelerin kullanım alanlarının genişletilmesi ayrıca bilime de katkı sunulması açısından oldukça önemlidir.

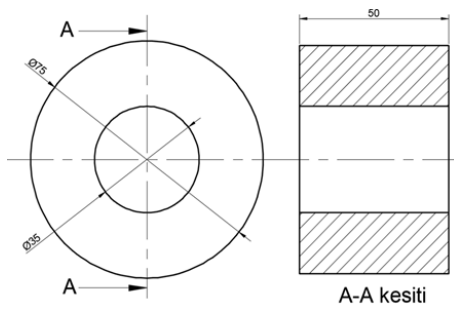
Bu çalışmada sert malzemeler (NiHARD-4, YKBDD) ve delik içi tornalama işlemi birleşmekte ve işleme açısından bilime ve literatüre faydalı bir çalışma ortaya koyulmaktadır. Planlanan çalışmada iki malzeme üzerinde, çelik, karbür, titreşim sönmülemeli katerlerin kullanılmış olması, kesici uç olarak, CBN ve KARBÜR uçların kullanılması ve farklı L/D oranları ve kesme parametrelerinin de sonuçlara etkileri ortaya koyulduğunda literatüre ve bilime geniş kapsamlı ve faydalı bir çalışma kazandırıldığı görülmektedir.



6.MATERYAL ve METOT

6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde yüksek sertlikteki martenzitik beyaz dökme demir (NiHARD-4) ve yüksek kromlu beyaz dökme demir (YKBDD) malzemeler kullanılmıştır Şekil (6.1).

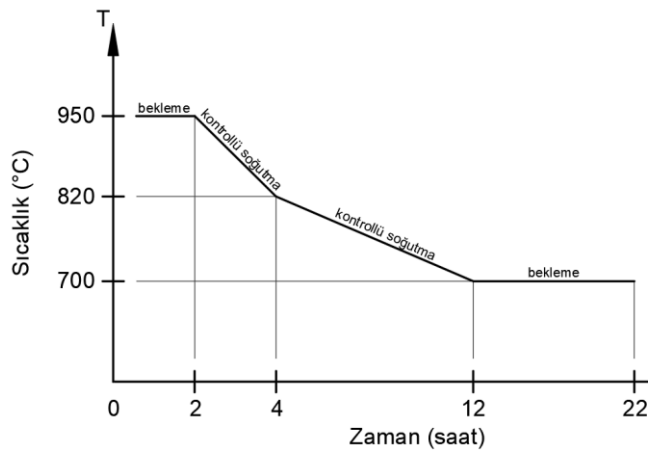


Şekil 6.1. Deney malzemelerinin ölçüleri

Malzemeler döküm yoluyla elde edilmiştir. Döküm sonrası malzemelerin sertliklerinin (58-62 HRC) ve iç yapılarının homojenleştirilmesi amacıyla sıcaklık kontrollü fırında ısıl işlem yapılmıştır (Resim 6.1.a). Isıl işlem için literatür dikkate alınmıştır [71]. Malzemeler ısıl işlem fırını içerisinde önce 950°C 'de 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra saatte 60°C soğuma hızı ile kontrollü soğutularak 820°C 'ye, sonrasında saatte 15°C ile kontrollü soğutularak 700°C 'ye getirilmiştir. Son olarak malzemeler 700°C 'de 10 saat bekletilerek tavlama işlemi tamamlanmıştır (Resim 6.1.b). Fırından alınan malzemeler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır



a



b

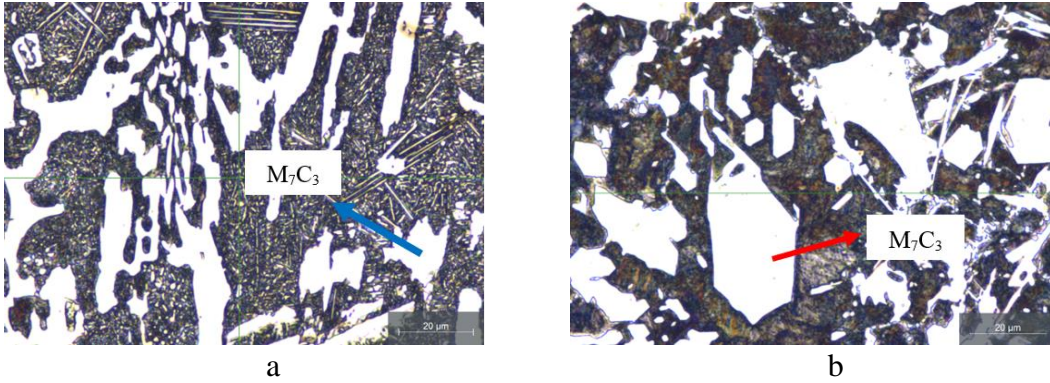
Resim 6.1. a) Isıl işlem fırını, b) Isıl işlem prosedürü

Isıl işlemden sonra malzemelerin sertlik ölçümleri alın yüzeyden 3 farklı noktadan ($360^\circ/3 = 120^\circ$ lik aralıklarla) yapılmış ve sertlik ölçümlerinin ortalamaları alınmıştır (Resim 6.2)



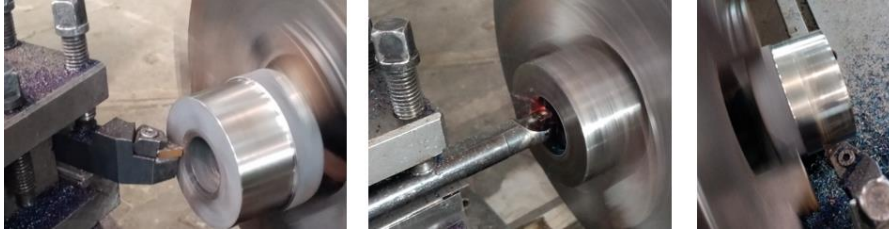
Resim 6.2. Malzemelerin sertlik ölçümleri

Isıl işlemden sonra malzemelerin mikro yapı görüntüleri optik mikroskop ile elde edilmiştir. Rasim (6.3)



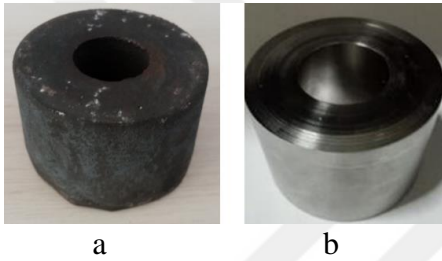
Resim 6.3. Malzemelerin mikro yapıları: a) NiHARD-4, b) YKBDD

Malzemelerin mikro yapıları incelendiğinde her iki malzemedeki de kararlı yapıda $(Fe, Cr)_7C_3$ sert karbürlerin olduğu görülmektedir. Malzemelerde krom miktarının %10'un üzerinde olması, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip M_7C_3 karbürlerini oluşturmaktadır. Karbürlerin sertliği 1200-1800 HV arasındadır [72,73]. Malzemelerin ortalama sertlik değerleri 50-52 HRC aralığındadır. Malzemelerin bütün yüzeyleri universal tornada temizlenerek deneylere hazır hale getirilmiştir (Resim 6.4).



Resim 6.4. NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin temizlenmesi

Döküm yöntemiyle elde edilmiş ve deneylere hazır hale getirilmiş olan malzemeler Resim 6.5.'te görülmektedir. NiHARD-4 malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 6.1.'de, YKBDD malzemenin kimyasal bileşimi ise Çizelge 6.2.'de verilmiştir.



Resim 6.5. a) Döküm halindeki malzeme, b) Temizlenmiş malzeme

Çizelge 6.1. NiHARD-4 malzemelerin Kimyasal Bileşimi

C	Si	Cr	Ni	Mo	Mn	P	S	Fe
(Karbon)	(Silisyum)	(Krom)	(Nikel)	(Molibden)	(Mangan)	(Fosfor)	(Kükürt)	(Demir)
%3,41	%1,82	%10,06	%4,60	%0,092	%0,660	%0,032	%0,012	%79,7

Çizelge 6.2. YKBDD malzemelerin Kimyasal Bileşimi

C	Si	Cr	Ni	Mo	Mn	P	S	Fe
(Karbon)	(Silisyum)	(Krom)	(Nikel)	(Molibden)	(Mangan)	(Fosfor)	(Kükürt)	(Demir)
%3,06	%0,88	%21,2	%0,37	%0,175	%0,512	%0,019	%0,0213	%73,5

6.2. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri

Deneyler iki aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ($R_a: \mu m$), dairesellikten sapma ($D_s: mm$), silindiriklikten sapma ($S_s: mm$) ve çaptan sapma ($\check{C}_s: mm$) sonuçlarının üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerde kesme parametreleri olarak kesme hızı ($V_c: m/dak$), ilerleme ($f: mm/dev$) kater malzemesi (çelik, karbür ve titreşim sönmülemeli (AVB: anti vibrasyon)) ve kater boy/çap (L/D) oranı kullanılmıştır. Kesme parametreleri değerleri literatür taraması sonucu elde edilen veriler ve

SANDVIK kesici takım kataloğunda tavsiye edilen değer aralıkları (Çizelge 6.3.) göz önüne alınarak CBN ve KARBÜR kesici uçlar için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Çizelge 6.3. Literatürde kullanılan ve kesici uç firmasının tavsiye ettiği aralıklar

	Kesme hızı (Vc) m/dak		İlerleme (f) mm/dev	
	CBN	KARBÜR	CBN	KARBÜR
LİTERATÜR DEĞER ARALIKLARI	32-200	40-200	0,05-1	0,05-0,25
FİRMA (SANDVIK) DEĞER ARALIKLARI	(250-175)	(195-170)	(0,05-0,2)	(0,06-0,19)

Kesme parametreleri belirlenirken, kesme hızı (Vc:m/dak) ve ilerleme (f:mm/dev) değerlerinin artış değeri yaklaşık olarak %50 olacak şekilde hesaplanmıştır. Deney sonuçları da buna göre yorumlanmıştır. Kesme derinliği değeri (Ap) sabit alınmıştır. CBN kesici uç için kesme parametreleri Çizelge 6.4.'te KARBÜR kesici uç için ise kesme parametreleri Çizelge 6.5' te verilmiştir.

Çizelge 6.4. CBN kesici uç için kullanılan kesme parametreleri

Kater Malzemesi	L/D Oranı	Vc (m/dak) Kesme Hızı	f (mm) İlerleme	Ap (mm) Kesme derinliği
ÇELİK	3	90	0,07	0,5
KARBÜR	4	135	0,10	
AVB	5	200	0,16	

Çizelge 6.5.KARBÜR kesici uç için kullanılan kesme parametreleri

Kater Malzemesi	L/D Oranı	Vc (m/dak) Kesme Hızı	f (mm/dev) İlerleme	Ap (mm) Kesme derinliği
ÇELİK	3	40	0,07	0,5
KARBÜR	4	60	0,10	
AVB	5	90	0,16	

İkinci aşamada ise kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kesme kuvvetleri deneyleri için dinamometre bağlantı konumundan dolayı, L/D oranı değiştirilememiş ve çelik kater kesilerek L/D=3 olacak şekilde kullanılmıştır. Kesme hızı, ilerleme değerleri ise ilk aşamadaki değerlerle aynıdır. Çizelge 6.6'da CBN kesici uç için, kesme kuvvetleri deney parametreleri Çizelge 6.7'de ise KARBÜR kesici uç için, kesme kuvvetleri deney parametreleri verilmiştir. Bütün deneyler kuru ve ıslak şartlarda ayrı ayrı yapılmıştır.

Çizelge 6.6. CBN kesici uç için kesme kuvvetleri için kesme parametreleri

Kater Malzemesi	L/D Oranı	Vc (m/dak) Kesme Hızı	f (mm/dev) İlerleme	Ap (mm) Kesme derinliği
ÇELİK	3	90	0,07	0,5
		135	0,10	
		200	0,16	

Çizelge 6.7. KARBÜR kesici uç için kesme kuvvetleri için kesme parametreleri

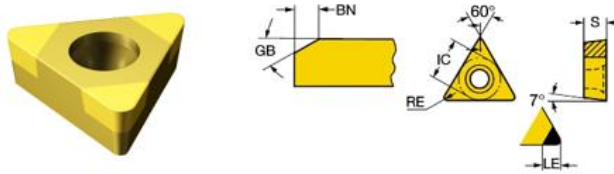
(Kater) Malzemesi	L/D Oranı	V(m/dak) KesmeHızı	f (mm) İlerleme	Ap (mm) Kesme derinliği
ÇELİK	3	40	0,07	0,5
		60	0,10	
		90	0,16	

6.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Uçlar ve Katerler

NiHARD-4 ve YKBDD malzemeler ile yapılan deneylerde CBN ve KARBÜR kesici uçlar kullanılmıştır.

6.3.1. Kübik bor nitrür (CBN) kesici uçlar

Deneylerde Kübik bor nitrür (CBN) kesici uçlar kullanılmıştır. Kesici uçlar SANDVIK firmasından temin edilmiştir. Deneylerde, %50 CBN içeren (düşük bir CBN içeriğine sahip) kesici uç kullanılmıştır. Orta ila yüksek kesme hızında sürekli ila hafif kesintili işlemede veya daha büyük talaş kaldırma oranlarında tercih edilen kesici ucun krater aşınma direnci yüksektir [61,74-75]. Beyaz dökme demir malzemelerin işlenmesinde literatüre bakıldığında en çok kullanılan ve kesici uç firmalarının tavsiye ettiği bir uçtur. Deneylerde kullanılan TCGW110304S01020F kodlu CBN kesici ucun özellikleri Çizelge 6.8’de verilmiştir (Şekil 6.2). [76].



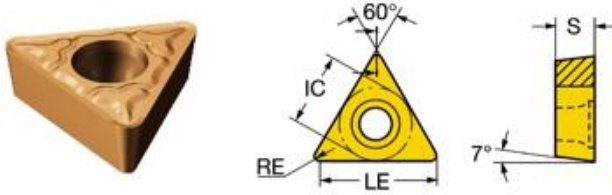
Şekil 6.2. CBN kesici uç [76]

Çizelge 6.8. CBN kesici ucun özellikleri

Kesici uç biçimi: Üçgen	İç teğet daire çapı (IC): 6,35 mm
Uç şekil kodu: T	Etkin kesme kenar uzunluğu (LE): 2,8 mm
Köşe radüsü (RE): 0,4 mm	Silici kenarı özelliği: Yok
Yüzey bölgesi genişliği (BN): 0,1 mm	Yüzey bölgesi açısı (GB): 20°
Takım hammaddesi :CBN	Kaplama: PVD (TiN)
Kesici uç kalınlığı (S): 3,175 mm	Sınıf : 7115

6.3.2. Karbür kesici uçlar

Yaklaşık %80 tungsten karbür (WC) ve %20 kobalt (Co) veya metal parçacıkların toz halinde üretilmesiyle elde edilen karbür kesici uçlar SANDVIK firmasından temin edilmiştir (Şekil 6.3). Kaplama malzemesi olarak titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) kaplama katmanları kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan TCMT 11 03 04-MM 1125 kodlu karbür kesici ucun özellikleri Çizelge 6.9’da verilmiştir [77].



Şekil 6.3. Karbür kesici uç [77]

Çizelge 6.9. Karbür kesici ucun özellikleri

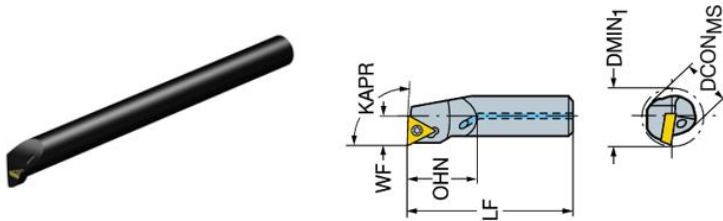
Kesici uç biçimi: Üçgen	İç teğet daire çapı (IC): 6,35 mm
Uç şekil kodu: T	Etkin kesme kenar uzunluğu (LE): 10,34 mm
Köşe radyüsü (RE): 0,4 mm	Silici kenarı özelliği: Yok
Takım hammaddesi: KARBÜR	Kaplama: PVD TiAlN+TiAlN
Kesici uç kalınlığı (S): 3,175 mm	Sınıf: 1125

6.4. Delik İşleme Katerleri

NiHARD-4 ve YKBDD malzemeler ile yapılan deneylerde ÇELİK, KARBÜR ve AVB (titreşim sömümlmeli – Anti Vibrasyon) gövdeli delik katerleri farklı bağlama boylarında kullanılmıştır.

6.4.1. Çelik gövdeli delik kateri

Ekonomik olarak uygun olan çelik gövdeli katerler literatüre bakıldığında en çok kullanılan katerlerdir. Temin etmek için görüşülen firmaların tavsiyesiyle titreşimi de azaltmak amacıyla, iş parçasının çapına uygun en büyük çapa sahip olan kater seçilmiştir. Çelik gövdeli kater SANDVIK firmasından temin edilmiştir (Şekil 6.4) [78]. Katerler takım çeliğinden imal edilmektedir. Kesici uçlar kater üzerine vidalı şekilde bağlanırlar. Kater boyu 300 mm'dir. Tavsiye edilen en büyük bağlama boyu ise $3D = 3 \times 25 = 75$ mm'dir. Deneylerde kullanılan A25T-STFCR 11-RB1 kodlu çelik gövdeli delik katerin özellikleri Çizelge 6.10'da verilmiştir.



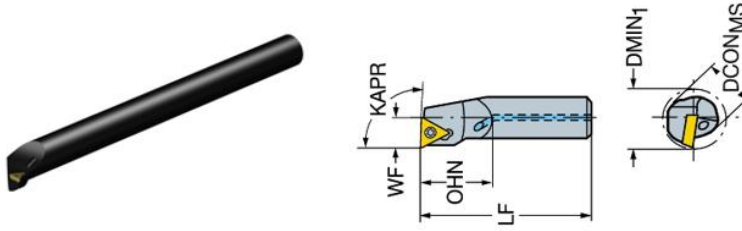
Şekil 6.4. Çelik kater [78]

Çizelge 6.10. Çelik katerin özellikleri

Takım kesme kenarı açısı (KAPR): 91°	Takım boşluk açısı: -1°
Bağlanabilen kesici uç tipi: Üçgen	İşlenebilen minimum delik çapı (DMN ₁): 32 mm
Minimum bağlama boyu (OHN): 37,5 mm	Maksimum bağlama boyu: 100 mm
Kesme sıvısı girişi tipi: Eksenel eş merkezli giriş	İşleme Yönü: Sağ
Kesme sıvısı çıkışı tipi: Eksenel eğimli çıkış	Takım tam boyu (LF): 300 mm
Kesme sıvısı basıncı: 10 bar	Gövde çapı: 25 mm
Soğutma kanalı çapı \geq 1mm	Bağlantı çapı (DCON _{MS}): 25 mm
Gövde malzemesi: ÇELİK	Fonksiyonel genişlik (WF): 17 mm

6.4.2. Karbür gövdeli delik kateri

Literatüre bakıldığında ve firmalardan alınan bilgilere göre de karbür katerler çelik katerlere göre daha maliyetli ama L/D oranı açısından da daha uzun bağlanabilme özelliğine sahip olan katerlerdir. Karbür katerin tamamı karbür malzemedan imal edilemez. Çünkü karbür kırılğan bir malzeme ve işlenmesi de oldukça maliyetlidir. Kesici ucun bağlandığı kısımdan yaklaşık 15-20 mm'lik kısmı çeliktir. Kesici uçları vidalı şekilde bağlarlar. Karbür kater SANDVIK firmasından temin edilmiştir (Şekil 6.5) [79]. Tavsiye edilen en büyük bağlama boyu $6D = 6 \times 25 = 150$ mm'dir. Deneylerde kullanılan E25T-STFCR 11-RB1 kodlu karbür gövdeli delik katerin özellikleri Çizelge 6.11'de verilmiştir.



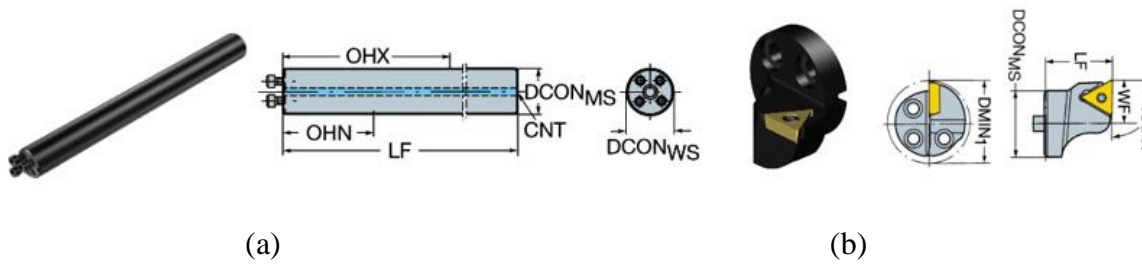
Şekil 6.5. Karbür kater [79]

Çizelge 6.11. Karbür katerin özellikleri

Takım kesme kenarı açısı (KAPR): 91°	Takım boşluk açısı: -1°
Bağlanabilen kesici uç tipi: Üçgen	İşlenebilen minimum delik çapı (DMN ₁): 32 mm
Minimum bağlama boyu (OHN): 41,5 mm	Maksimum bağlama boyu: 150 mm
Soğutma kanalı çapı ≥ 1mm	Kesme sıvısı basıncı: 10 bar
Kesme sıvısı giriş tipi: eksenel eş merkezli giriş	Takım tam boyu (LF): 270 mm
Kesme sıvısı çıkış tipi: eksenel eğimli çıkış	Gövde çapı: 25 mm
İşleme Yönü: Sağ	Bağlantı çapı (DCON _{MS}): 25 mm
Gövde malzemesi: KARBÜR	Fonksiyonel genişlik (WF): 17 mm

6.4.3. Titreşim sönümlmeli (Anti Vibrasyon AVB) delik kateri

Maliyetleri yüksek olan titreşim sönümlmeli delik katerleri özel yöntemlerle üretilirler. Katerler takım çeliğinden imal edilirler. Kartuş denilen kesici ucun bağlandığı kısım katere civata ile monte edilir. Kartuşa kesici uçlar vidalı şekilde bağlanırlar. Titreşim sönümlmeli katerde tavsiye edilen en büyük bağlama boyu $14D = 14 \times 25 = 350$ mm'dir. Deneylerde kullanılacak olan 570-STFCR-25-11-B1 kodlu titreşim sönümlmeli delik katerin özellikleri Çizelge 6.12'de kartuşun özellikleri Çizelge 6.13'te verilmiştir. Titreşim sönümlmeli delik kateri SANDVIK firmasından temin edilmiştir (Şekil 6.6) [80].



Şekil 6.6. Titreşim sönümlmeli delik kateri a) Kater, b) Kartuş [80]

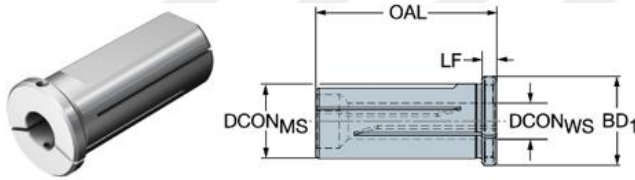
Çizelge 6.12. Titreşim sönümlmeli kater özellikleri

Maksimum bağlama boyu (OHX): 158 mm
Minimum bağlama boyu (OHN): 88 mm
Takım tam boyu (LF): 255 mm
Bağlantı çapı (DCONMS): 25 mm
İş parçası tarafı bağlantı çapı (DCONWS): 25 mm
Kesme sıvısı giriş diş ölçüsü (CNT): G 1/4-19

Çizelge 6.13.Kartuş özellikleri

Takım kesme kenarı açısı (KAPR): 91°	Takım boşluk açısı: -1°
Bağlanabilen kesici uç tipi: Üçgen	İşlenebilen minimum delik çapı (DMN ₁): 32 mm
Maksimum bağlama boyu: 20 mm	Kesme sıvısı çıkış tipi: eksenel eğimli çıkış
Soğutma kanalı çapı ≥ 1 mm	İşleme Yönü: Sağ.
Kesme sıvısı basıncı: 10 bar	Bağlantı çapı (DCON _{MS}): 25 mm
Takım tam boyu (LF): 20 mm	Gövde çapı: 25 mm
Gövde malzemesi: ÇELİK	Fonksiyonel genişlik (WF): 17 mm

Bütün delik katerlerini bağlamak için ihtiyaç duyulan EF-40-25 kodlu bağlama kovanı (Şekil 6.7) özellikleri Çizelge 6.14'te verilmiştir. Bağlama kovanı katerleri doğru konumlandırmak, merkezlemek ve titreşimlerini azaltmak amacıyla kullanılırlar.



Şekil 6.7. Bağlama kovanı

Çizelge 6.14. Bağlama kovanı özellikleri

Toplam takım boyu (OAL) : 75 mm	Takım tam boyu (LF) :5 mm
Bağlantı çapı (DCON _{MS}) :40 mm	İş parçası tarafı bağlantı çapı (DCON _{WS}): 25 mm
Kesme sıvısı basıncı: 150 bar	Gövde çapı (BD):44 mm
Sızdırmazlık özelliği: Var	Konum yardım özelliği: Var
Kesme sıvısı giriş tipi: eksenel eş merkezli giriş	
Bağlantı çapı: 25- 40 mm	

6.5. Deneylerde Kullanılan Analiz ve Optimizasyon Yöntemleri

Delik içi tornalama deneylerinde kullanılan analiz ve optimizasyon yöntemleri bu başlık altında anlatılmıştır.

6.5.1. Taguchi deney tasarımı

Deney tasarımının amacı, sonuca etki eden öncelikli değişkenleri, kaynakları ve zamanı ekonomik kullanarak istenilen konuya en uygun verileri belirlemektir. Taguchi, ürün kalitesinde belirlenen hedef değerlerden sapmalardaki değişimlerin kontrol altına alınarak en aza indirilmesini savunmaktadır. Taguchi, gürültü faktörlerini ürün çıktılarına etki eden fakat ekonomik olarak kontrol edilemeyen faktörler olarak tanımlamıştır. Taguchi deney tasarımlarında, deneylerin tasarım ve gerçekleştirilmesinde kullanılan özel olarak geliştirilmiş dikey dizimler (orthogonal arrays) kullanılmaktadır. Taguchi, deney tasarımı ile istenilen ürün kalitesine ulaşmak için sistem, parametre ve tolerans tasarımı olmak üzere üç aşamalı bir süreç tavsiye etmektedir. Bunlardan parametre tasarımı, üzerinde çalışılan ürün-süreç için en iyi performansı üretecek faktör seviyelerini araştırmaktadır. Bu aşamada, gürültü faktörlerinin etkilerinin en az olduğu en uygun şartın seçilmesi gerekmektedir. Gürültü faktörleri; hava şartları, makine aşınması, ısı değişimleri vb. kontrol edilemeyen ama çıktıları veya ürün kalitesini etkileyen faktörler olarak tanımlanabilmektedir [81-83]. Sinyal-gürültü (S/N) oranı, istenen sinyal değerinin, istenmeyen rastgele gürültü değerine oranı olarak tanımlanır ve deneysel verilerin kalite özelliklerini gösterir. Ayrıca eksik değerler sinyal-gürültü (S/N) oranına dönüştürülür. Taguchi analizinde kalite özelliklerini belirlemek için üç farklı hesaplama sistemi vardır; bunlar “Normal daha iyidir”, (6.1) “Daha büyük daha iyidir” (6.2) ve “Daha küçük daha iyidir” (6.3) şeklindedir [84,85].

$$S/N_N = -10 \log \left(\frac{Y^2}{s} \right) \quad (6.1)$$

$$S/N_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (6.2)$$

$$S/N_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (6.3)$$

Bu formüllerde Y: performans karakteristiklerinin değerlerinin ortalamasını, S:Y değerlerinin standart sapmasını, n ise Y değerlerinin sayısını belirtir. Taguchi deney tasarımındaki en önemli özellik tam faktöriyel deneylerin (bütün deneylerin) yapılması yerine daha ekonomik ve daha kısa zamanda aynı sonuçların elde edilebildiği dikey dizimlerin oluşturulmasıdır. Bu çalışmada NiHARD-4 ve YKBDD malzemeler üzerinde kesme parametrelerinin (kater, L/D, Vc, f, malzeme) yüzey pürüzlülüğü (Ra), dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss), çaptan sapma (Çs) ve kesme kuvvetleri (Fc, Fr, Ff)

üzerindeki etkilerinin araştırıldığı deneyler Taguchi deney tasarımı kullanılarak planlanmıştır. Normal deneyler yapılırsa (tam faktöriyel) Çizelge 6.15'te görüldüğü gibi toplamda 648 deney yapılması gerekmektedir. Maliyetlerin düşürülmesinde deneyler için Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 6.15. Ra, Ds, Ss, Çs için tam faktöriyel deney tasarımı

Deney Tasarımları	Faktörler					Deney Sayısı
	Kater	L/D oranı	Kesme Hızı (Vc: m/dak)	İlerleme (f:mm/dev)	Malzeme	
	(çelik-karbür-AVB)	(3-4-5)	CBN için 90-135-200 KARBÜR için 40-60-90	(0,07-0,10-0,16)	(NiHARD-4, YKBDD)	Toplam
CBN kuru işleme	3	3	3	3	2	162
CBN ıslak işleme	3	3	3	3	2	162
KARBÜR kuru işleme	3	3	3	3	2	162
KARBÜR ıslak işleme	3	3	3	3	2	162
TOPLAM						648

Deney tasarımları ve analizler Minitab istatistiksel programı kullanılarak planlanmıştır. CBN ve KARBÜR kesici uçlar için ayrı ayrı deney tasarımları uygulanmıştır. Deneylerde 5 faktör kullanılmıştır. Faktörlerden 4 tanesi 3 seviyeli 1 tanesi ise 2 seviyeli olduğundan, Taguchi karma (mixed) deney tasarımı tercih edilmiştir. Yapılan incelemelerde, Taguchi için en uygun karma deney tasarımının L18 ($2^1 \times 3^4$) olduğuna karar verilmiştir. Elde edilen Taguchi modeline göre CBN kesici uç için 18 kuru ve 18 ıslak, KARBÜR kesici uç için 18 kuru ve 18 ıslak işleme şartlarında olmak üzere toplamda 72 adet deney yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Böylelikle Taguchi deney tasarımı kullanılarak 648 deney yerine 72 deney yapılmasının yeterli olduğu belirlenmiştir. Deney faktörleri ve seviyeleri Çizelge 6.16.'da görülmektedir.

Çizelge 6.16. Deney faktörleri ve seviyeleri

CBN KURU İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	KARBÜR	AVB
L/D oranı	3	4	5
Kesme hızı (Vc:m/dak)	90	135	200
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

CBN ISLAK İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	KARBÜR	AVB
L/D oranı	3	4	5
Kesme hızı (Vc:m/dak)	90	135	200
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

KARBÜR KURU İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	KARBÜR	AVB
L/D oranı	3	4	5
Kesme hızı (Vc:m/dak)	40	60	90
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

KARBÜR ISLAK İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	KARBÜR	AVB
L/D oranı	3	4	5
Kesme hızı (Vc:m/dak)	40	60	90
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

Çizelge 6.16'daki deney faktörleri ve seviyelerine uygun Taguchi L18 ($2^1 \times 3^4$) (mixed type) karma tip deney tasarımı Çizelge 6.17.'de görülmektedir.

Çizelge 6.17. Taguchi L18 ($2^1 \times 3^4$) deney tasarımları

CBN KURU / ISLAK						KARBÜR KURU / ISLAK					
Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Deney No	Malzeme	Kater	L/D	V (m/dak)	f (mmdev)
1	NiHARD-4	çelik	3	90	0,07	1	NiHARD-4	çelik	3	40	0,07
2			4	135	0,10	2			4	60	0,10
3			5	200	0,16	3			5	90	0,16
4		karbür	3	90	0,10	4		karbür	3	40	0,10
5			4	135	0,16	5			4	60	0,16
6			5	200	0,07	6			5	90	0,07
7		avb	3	135	0,07	7		avb	3	60	0,07
8			4	200	0,10	8			4	90	0,10
9			5	90	0,16	9			5	40	0,16
10	YKBDD	çelik	3	200	0,16	10	YKBDD	çelik	3	90	0,16
11			4	90	0,07	11			4	40	0,07
12			5	135	0,10	12			5	60	0,10
13		karbür	3	135	0,16	13		karbür	3	60	0,16
14			4	200	0,07	14			4	90	0,07
15			5	90	0,10	15			5	40	0,10
16		avb	3	200	0,10	16		avb	3	90	0,10
17			4	90	0,16	17			4	40	0,16
18			5	135	0,07	18			5	60	0,07

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesine yönelik deneylerin yapılmasında, katerin dinamometreye bağlama boyu sınırlı olduğundan sadece çelik kater kullanılmıştır. Çelik kater L/D:3 oranını sağlayacak şekilde kesilerek dinamometreye bağlanmıştır. Deneylerde 3 faktör (Vc, f, malzeme) kullanılmıştır. Faktörlerden 2 tanesi 3 seviyeli 1 tanesi ise 2 seviyeli olduğundan, Taguchi için karma (mixed) bir modelin oluşturulması gerekli olmuştur. Yapılan incelemelerde, Taguchi için en uygun karma modeli L18 ($2^1 \times 3^2$) tercih edilmiştir. Elde edilen Taguchi modeline göre CBN kesici uç için 18 ıslak ve 18 kuru KARBÜR kesici uç için 18 ıslak ve 18 kuru işleme şartlarında olmak üzere toplamda 72 adet deney yapılmıştır. Belirlenen deney faktörleri ve seviyeleri Çizelge 6.18’de görülmektedir.

Çizelge 6.18. Kesme kuvvetleri deney faktörleri ve seviyeleri

CBN KURU İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	-----	-----
L/D oranı	3	-----	-----
Kesme hızı (Vc:m/dak)	90	135	200
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

CBN ISLAK İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	-----	-----
L/D oranı	3	-----	-----
Kesme hızı (Vc:m/dak)	90	135	200
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

KARBÜR KURU İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	-----	-----
L/D oranı	3	-----	-----
Kesme hızı (Vc:m/dak)	40	60	90
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

KARBÜR ISLAK İŞLEME			
Faktörler	Seviyeler		
	1	2	3
Delik kateri	ÇELİK	-----	-----
L/D oranı	3	-----	-----
Kesme hızı (Vc:m/dak)	40	60	90
İlerleme (f:mm/dev)	0,07	0,10	0,16
Malzeme	NiHARD-4	YKBDD	

Deney faktörleri ve seviyelerine uygun Taguchi L18 ($2^1 \times 3^2$) karma tip deney tasarımı Çizelge 6.19.’da görülmektedir.

Çizelge 6. 19. Kesme kuvvetleri Taguchi L18 ($2^1 \times 3^2$) deney tasarımları

CBN KURU / ISLAK				KARBÜR KURU / ISLAK			
Deney No	Malzeme	Vc (m/dak)	f (mmdev)	Deney No	Malzeme	Vc (m/dak)	f (mmdev)
1	NiHARD-4	90	0,07	1	NiHARD-4	90	0,07
2			0,10	2			0,10
3			0,16	3			0,16
4		135	0,07	4		135	0,07
5			0,10	5			0,10
6			0,16	6			0,16
7		200	0,07	7		200	0,07
8			0,10	8			0,10
9			0,16	9			0,16
10	YKBDD	90	0,07	10	YKBDD	90	0,07
11			0,10	11			0,10
12			0,16	12			0,16
13		135	0,07	13		135	0,07
14			0,10	14			0,10
15			0,16	15			0,16
16		200	0,07	16		200	0,07
17			0,10	17			0,10
18			0,16	18			0,16

Kesme kuvvetleri için yapılan Taguchi'nin önerdiği 72 adet deney aynı zamanda normal deney sayısı olan tam faktöriyel deney tasarımını da ifade etmektedir. Tam faktöriyel deney tasarımını sayısı Çizelge 6.20'de verilmiştir.

Çizelge 6.20. Kesme kuvvetleri (Fc,Fr,Ff) için tam faktöriyel deney tasarımı

Deney Tasarımları	Faktörler					Deney Sayısı
	Kater	L/D oranı	Kesme Hızı (Vc: m/dak)	İlerleme (f: mm/dev)	Malzeme	
	(Çelik)	(3)	CBN için 90-135-200 KARBÜR için 40-60-90	(0,07-0,10-0,16)	(NiHARD-4, YKBDD)	Toplam
CBN kuru işleme	1	1	3	3	2	18
CBN ıslak işleme	1	1	3	3	2	18
KARBÜR kuru işleme	1	1	3	3	2	18
KARBÜR ıslak işleme	1	1	3	3	2	18
TOPLAM						72

6.5.2. Varyans analizi (ANOVA)

Deneyle sonuçunda kesme parametrelerinin çıktılar üzerindeki etkilerinin göreceli katkıları varyansları karşılaştırılarak belirlenmektedir. Bu yöntem, varyans analizi (ANOVA) olarak bilinen istatistiksel bir yöntemidir. Varyans analizi (ANOVA), deney sonuçlarına her bir

faktörün yüzde olarak katkısını (etkisini) belirlemektedir. Bununla birlikte ANOVA analiz sonuçları ile deney sonuçlarına etkisi olan ve etkisi olmayan faktörler de belirlenebilmektedir. Varyans analizi; kareler ortalaması, kareler toplamı ve serbestlik derecesi gibi bilinen niceliklerle hesaplanmakta ve standart bir şekilde uygulanmaktadır [86]. Bu çalışmada kesme parametrelerinin çıktılar (Ra, Ds, Ss, Çs, Fc, Fr, Ff) üzerindeki etki oranları için ANOVA yapılmıştır.

6.5.3. Çoklu optimizasyon yöntemleri (GRA ve TOPSIS)

Genelde birden fazla çıktı üzerinde en uygun işleme parametrelerini elde etmek için çoklu optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Gri İlişkisel Analiz (GRA: Grey Relational Analysis) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), yaygın kullanılan çoklu optimizasyon ve aynı zamanda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerindedir. [87-89].

GRA yöntemi

GRA (GİA), çoklu hedefleri tek bir hedefe dönüştürmek için kullanılan çok yanıtlı bir optimizasyon yöntemidir. Gri ilişkisel analizde, elde edilen gri ilişkisel derece (GRG: Grey Relational Grade) kullanılır. Parametrelerin birbirleri arasındaki etkileşim oranı gri ilişkisel derece ile ifade edilir. En yüksek gri ilişkisel derece (GRG) en uygun çözümdür [90]. GRA için aşağıdaki adımlar kullanılmaktadır:

1. Adım: Verileri normalleştirme

GRA'da ilk adım farklı birimlerdeki parametrelerin birimlerini aynı birime dönüştürmektir. Aynı birime dönüştürme (birimsizleştirme) için normalleştirme (normalizasyon) yapılır. Normalizasyon değerlerini elde etmek için “daha büyük-daha iyi” (Eş 6.4) ve “daha küçük daha iyi” (Eş 6.5) ve “normal daha iyi” (Eş 6.6) eşitlikleri kullanılmaktadır.

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (6.4)$$

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (6.5)$$

$$x_i^*(k) = \frac{|x_i^0(k) - x_0|}{\max x_i^0(k) - x_0} \quad (6.6)$$

Eşitlik (6.1) incelendiğinde $i = 1, 2, 3, \dots, m$; $k = 1, 2, 3, \dots, n$. m deney sayısı ve n parametre sayısı, $x_i^0(k)$ orijinal veri, $x_i^*(k)$ normalleştirilmiş veri $\max x_i^0(k)$ en büyük $x_i^0(k)$, $\min x_i^0(k)$ minimum $x_i^0(k)$ değeri, diğer bir ifadeyle istenilen değeri vermektedir [91].

2. Adım: Korelasyon katsayılarının belirlenmesi,

Nomalizasyon işleminden sonra, i nolu deneydeki $\xi_i(k)$, k 'nci performans özelliklerine ilişkin gri korelasyon katsayısı elde edilir (Eş.6.7):

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad \Delta_{0i}(k) = |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \quad \Delta_{\min} = 0 \quad \Delta_{\max} = 1 \quad (6.7)$$

Burada $\Delta_{0i}(k)$ sapmayı, $x_0^*(k)$ referans değerini, $x_i^*(k)$ karşılaştırma sırasını belirtir.

3. Adım: Gri ilişkisel katsayıların belirlenmesi (GRC – Grey Relational Coefficient),

ξ değeri, $0 \leq \xi \leq 1$ aralığında tanımlanan diskriminant veya tanımlama katsayısıdır $0 \leq \xi \leq 1$. Genellikle 0.5 olarak kullanılır.

4. Adım: Gri ilişkisel derecenin (GRG) belirlenmesi (GRG – Grey Relational Grade).

GRC hesaplandıktan sonra gri ilişkisel katsayıların ortalama değeri, gri ilişkisel dereceyi (GRG) hesaplamak için kullanılır. Gri ilişkisel derece Eş. 6.8'deki denklemlerle tanımlanır

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (6.8)$$

Sonuç olarak, GRG değeri ne kadar büyük olursa, deneysel ve normalize edilmiş değer arasındaki en iyi korelasyon derecesi belirlenir. Diğer bir ifadeyle, daha büyük derece değeri en uygun parametrelere yaklaşmak anlamına gelir [92,93].

TOPSIS yöntemi

İdeal çözüme benzerliğe göre sıralama tercihi tekniği (TOPSIS), çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmek için etkili bir şekilde kullanılabilen çok kriterli karar verme (ÇKKV) metodlarından biridir. TOPSIS bir grup veri arasından uygun olan verileri en iyiden en kötüye doğru sıralayan bir yöntemdir. TOPSIS'te pozitif çözüme en kısa mesafe ve negatif çözüme en büyük mesafe hesaplanarak en yüksek bağıl yakınlık değeri (P_i) belirlenir [94]. TOPSIS yöntemi mevcut veriler arasından en iyi verinin seçilmesi için kullanılır ve uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

1. Adım: Deneysel veriler aşağıdaki eşitlik ile normalleştirilir:

TOPSIS'te ilk adım farklı birimlerdeki parametrelerin birimlerini aynı birime dönüştürmektir. Aynı birime dönüştürme (birimsizleştirme) için Eş. 6.9. kullanılarak normalleştirme (normalizasyon) yapılır.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m a_{ij}^2}} \quad (6.9)$$

$$i = 1 \dots m \text{ ve } j = 1 \dots n.$$

j 'inci deneysel çalışmanın i 'inci değerinin normalleştirilmiş değerini temsil eder [95].

2. Adım: Her yanıtın ağırlığı hesaplanır.

Ağırlıklandırılmış normalleştirilmiş matris, normalleştirilmiş matris değerinin ve her bir ölçümün ağırlıklarının çarpımı ile formüle edilir (Eş. 6.10).

$$V = W_{ij} = W_j \cdot R_{ij} \quad (6.10)$$

W_j Her ölçümün ağırlığıdır, $j=1, \dots, n$. (0,5 olarak alınabilir)

3. Adım: Pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenir:

(i) Pozitif ideal çözüm

$$A^+ = \{V_1^+, \dots, V_n^+\}; V_j^+ = \{\max(V_{ij}) \text{ if } j \in J; \min(V_{ij}) \text{ if } j \in J'\}$$

(ii) Negatif ideal çözüm

$$A^- = \{V_1^-, \dots, V_n^-\}; V_j^- = \{\min(V_{ij}) \text{ if } j \in J; \max(V_{ij}) \text{ if } j \in J'\}$$

4. Adım: Uzaklık dağılımları, ideal alternatif ve negatif alternatif için sırasıyla aşağıdaki denklemler kullanılarak pozitif ideal ve negatif ideal çözümden hesaplanır:

Öklit mesafe teorisi yardımıyla pozitif ideal ve negatif ideal çözümler kullanılarak hesaplanan ideal uzaklık denklemleri Eş. 6.11 ve Eş. 6.12'de görülmektedir.

$$S_i^+ = \left[\sum (V_j^+ - V_{ij})^2 \right]^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m \quad (6.11)$$

$$S_i^- = \left[\sum (V_j^- - V_{ij})^2 \right]^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m \quad (6.12)$$

5. Adım: Belirli bir alternatifte bağıl yakınlık değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$p_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)}, \quad 0 < P_i < 1 \quad (6.13)$$

Sonuçta, bağıl yakınlık değeri (pi) ne kadar büyükse, deneysel değer ile normalleştirilmiş değer arasındaki korelasyon derecesi daha büyük olacaktır. Diğer bir ifadeyle pi değerinin büyük olması en uygun parametrelere yaklaşmak anlamına gelmektedir (Eş 6.13) [96].

6.6. Deneilerin Yapılışı

Deneiler iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra), dairesellikten sapma (Ds), Silindiriklikten sapma (Ss), ve çaptan sapma (Çs) üzerindeki etkilerinin araştırıldığı deneyler yapılmıştır. İkinci aşamada ise kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri (Fc: Esas kesme kuvveti, Fr: Radyal kuvvet, Ff: İlerleme kuvveti) üzerindeki etkilerinin araştırıldığı deneyler yapılmıştır.

6.6.1. Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve geometrik sapma (Ds, Ss, Çs) deneylerinin yapılışı

Deneyle JOHNFORO TC35 sanayi tipi CNC torna tezgâhında yapılmıştır (Resim 6.6). CNC torna tezgâhının özellikleri Çizelge 6.21’de verilmiştir.



Resim 6.6. JOHNFORO TC35 CNC Torna tezgâhı

Çizelge 6.21. CNC torna tezgâhı özellikleri

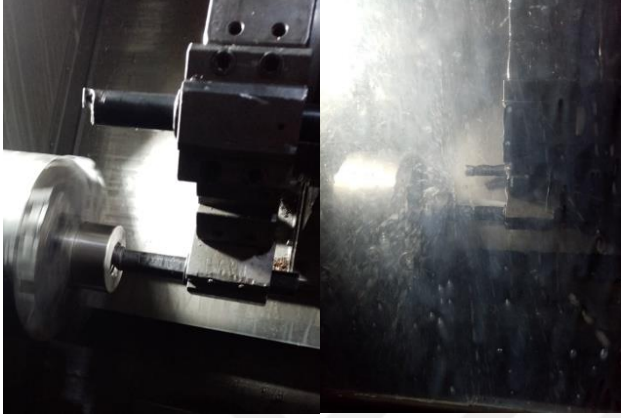
X eksenı	(mm)	250
Z eksenı	(mm)	600
Tezgâh Gücü	(kW)	10
Devir Sayısı	(rpm)	4000
Hidrolik ayna çapı	(mm)	250
Hassasiyet	(mm)	0,001
Taret, Takım bağlama kapasitesi		12

Deneylede iki adet kater kullanılmıştır. Birinci kater deney malzemesinin delik içini temizlemek için ikinci kater (çelik-karbür-AVB) ise (CBN ve KARBÜR kesici uçlarla) delik içi tornalama deneyleri için kullanılmıştır (Resim 6.7).



Resim 6.7. Delik içi temizleme ve deneyde kullanılan katerler

Delik içi temizlemede kullanılan kater 75 mm boyunda (L/D oranı olarak 3D) bağlanmıştır. CNC torna tezgâhında deney malzemesi gerektiği kadar talaş kaldırarak temizlenmiş, daha sonra 0,5 mm talaş derinliği kullanılarak kuru ve ıslak şartlarda deneyler yapılmıştır (Resim 6.8). Islak şartlarda soğutma sıvısı olarak bor yağı (yaklaşık %5) ve su (yaklaşık %95) karışımı kullanılmıştır.



Resim 6.8. Deneylerin kuru ve ıslak şartlarda yapılışı

Taguchi L18 ($2^1 \times 3^4$) deney tasarımına göre L/D oranları ve katerler değiştirilerek CBN ve KARBÜR kesici uçlarla ıslak ve kuru şartlarda deneyler tamamlanmıştır.

6.6.2. Kesme kuvveti deneylerinin yapılışı

Talaş kaldırma sırasında kesici uca üç yönde (F_x , F_y , F_z) etki eden yükler ve kesici ucu kendi eksenini etrafında döndürmeye (burmaya) çalışan döndürme momenti (M_z) oluşur. Bu yükler talaşlı imalatta kesme kuvvetleri ve döndürme momenti olarak tanımlanır. Delik işleme sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi için CNC torna tezgâhına bağlanabilen, üç farklı yükü (F_x , F_y , F_z) ve döndürme momentini (M_z) ölçme kapasitesine sahip KISTLER 9272 modelinde dinamometre kullanılmıştır. Amplifikatör (yükseltici) olarak ise Kistler 5070A modeli kullanılmıştır. Ölçüm verilerini grafik olarak gösteren ve ölçümlerin alındığı ara yüz programı olarak DynoWare kullanılmıştır (Resim 6.9).



Resim 6.9. Kuvvet ölçüm ekipmanları

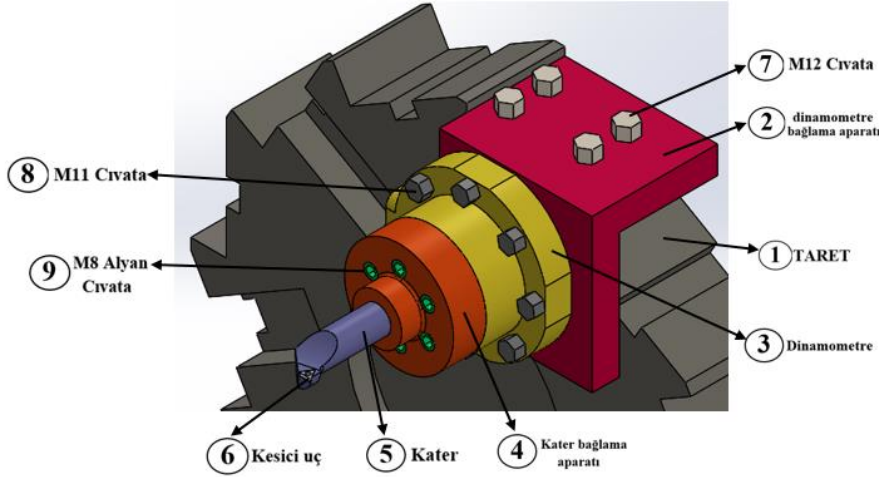
DynoWare programında açılan sinyallerin en stabil aralıkları tespit edilerek ortalama F_x , F_y ve F_z değerleri alınmıştır. Dinamometrenin ölçüm aralığı Çizelge 6.22’de görülmektedir.

Çizelge 6.22. Dinamometre ölçüm aralığı

Ölçüm aralığı		
F_x, F_y	kN	-5.....5
F_z	kN	-5.....20
M_z	Nm	-200.....200

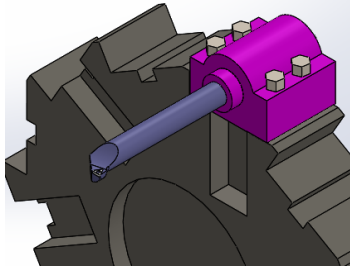
Dinamometre bağlama aparatı tasarımı

Dinamometrenin CNC torna tezgâhına bağlanması için SOLIDWORKS programında deney seti tasarlanmıştır (Şekil 6.8). Taret ölçüleri alınıp tasarlanarak (1 nolu tasarım) üzerine dinamometre bağlama aparatı (2 nolu tasarım), tasarlanmış ve M12 civartalarla (7 nolu tasarım) tarete monte edilmiştir. Delik kateri de ölçülerinde tasarlanarak (5 nolu tasarım) dinamometreye (3 nolu tasarım) M11 civatalarla (8 nolu tasarım) bağlanmış ve kater bağlama aparatı da (4 nolu tasarım) M8 alyan civatalarla (9 nolu tasarım) tasarlanarak deney seti oluşturulmuştur.



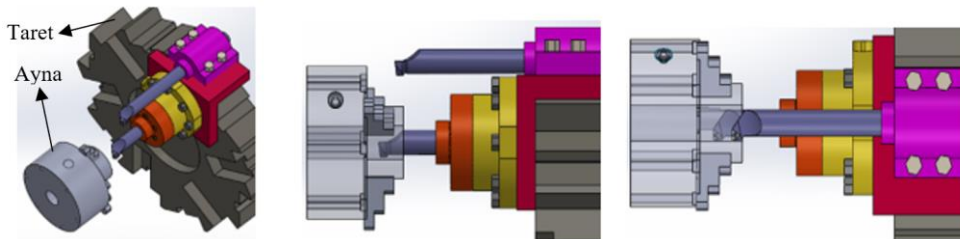
Şekil 6.8. Deney seti

Dinamometre ile bağlandığında katerleri doğru konumlandırmak amacıyla, matkap ve kateri normal bağlama aparatı da SOLIDWOKRS programında tasarlanmıştır (Şekil 6.9).



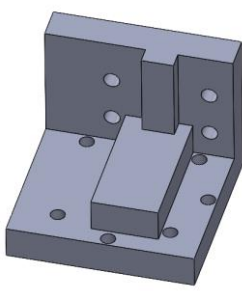
Şekil 6.9. Kateri normal bağlama aparatı

Kesme kuvvetleri deneylerinin hatasız yapılabilmesi için dinamometre ile birlikte bağlanacak katerin doğru şekilde konumlandırılması ve bağlanması gerekmektedir. Dolayısıyla tasarlanan deney seti ile yine tasarlanan, CNC tezgâhına ait olan matkap ve normal delik kateri bağlama aparatı, tasarım ortamında birleştirilerek konumlandırma yapılmıştır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Deney setinin farklı açılardan görünümü

Dinamometre bağlama aparatı ve kater bağlama aparatı döküm yoluyla imal edilmiştir. Bağlama aparatlarının imalatında maliyeti uygun ve titreşim sönümlene özelliğine sahip olan küresel grafitli dökme demir tercih edilmiştir. SOLIDWORKS programında tasarımı yapılan (Resim 6.10.a) ve döküm yoluyla elde edilen dinamometre bağlama aparatı (Resim 6.10.b) üniversal freze tezgâhında işlenerek (Resim 6.10.c) matkap tezgâhında delik delme ve havşa açma işlemleri yapılarak CNC tezgâhına montaj için istenilen ölçülere getirilmiştir.



a. Tasarımı



b. Döküm yoluyla imalatı



c. Freze tezgahında istenilen ölçülere getirilmesi

Resim 6.10. Dinamometre bağlama aparatı

Dinamometre bağlama aparatı teknik resmi eklerde gösterilmiştir (bkz. Ek-1). Talaşlı imalat yöntemleriyle istenilen ölçülere getirilen dinamometre bağlama aparatı CNC torna tezgâhına monte edilmiştir (Resim 6.11).



Resim 6.11. Dinamometre bağlama aparatının CNC tezgâhına montajı

SOLIDWORKS programında tasarımı yapılan ve döküm yoluyla elde edilen delik kateri bağlama aparatı (Resim 6.12.a) üniversal torna tezgâhında işlenerek matkap tezgâhında delik delme işlemleri yapılarak CNC tezgâhına montaj için istenilen ölçülere getirilmiştir (Resim 6.12.b). Delik katerini dinamometreye bağlama aparatının teknik resmi eklerde gösterilmiştir (bkz. Ek-2)

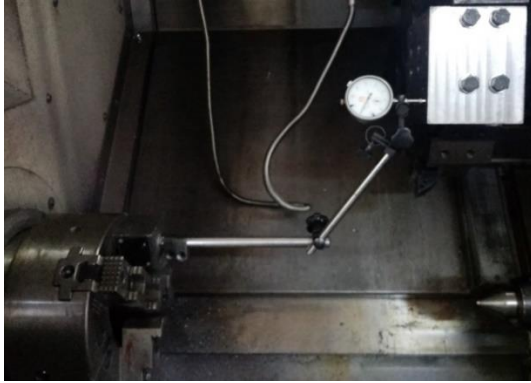


a. Tasarımı ve döküm hali

b. işlenmiş ve montaja hazır hali

Resim 6.12. Delik katerini dinamometreye bağlama aparatı

Kesme kuvvetleri deneyleri için de JOHNFORD TC35 CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Dinamometre bağlama aparatı CNC tezgâhına komparatör yardımı ile konumlandırılmıştır (Resim 6.13).



Resim 6.13. Komparatör ile dinamometre bağlama aparatının konumlandırılması

Dinamometre bağlama aparatı ve kater bağlama aparatı bağlandıktan sonra kuru ve ıslak şartlarda kesme kuvvetleri deneyleri yapılmıştır (Resim 6.14).



Resim 6.14. Kesme kuvvetleri deneylerinin yapılışı

Taguchi L18 ($2^1 \times 3^2$) deney tasarımına göre sabit L/D oranı ve çelik katerle ilerleme ve kesme hızı değerleri değiştirilerek CBN ve KARBÜR kesici uçlarla ıslak ve kuru şartlarda deneyler tamamlanmıştır.

6.7. Ölçme Yöntemleri

Deneyle yapıldıktan sonra malzemelerin yüzey pürüzlülüğü (Ra), dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss) çaptan sapma (Çs) ve kesme kuvvetleri (Fc,Fr,Ff) çıktıları analiz edilmiştir. Bu çıktıların her birinin elde edilebilmesi için kullanılan ölçüm yöntemleri, kullanılan cihazlar ve ekipmanlar bu başlık altında anlatılmıştır.

6.7.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

Deneyle sonucunda malzemelerin delik içi yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür. Ölçümlerde Mitutoyo SJ 210 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Resim 6.15). Ölçümler delik katerinin giriş yönünden 2 adet ve çıkış yönünden 2 adet olmak üzere toplam 4 adet ölçülerek ortalama Ra değerleri elde edilmiştir. Ölçüm ayarları Çizelge 6.23'te verilmiştir.



Resim 6.15. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yüzey pürüzlülüğü ölçümü

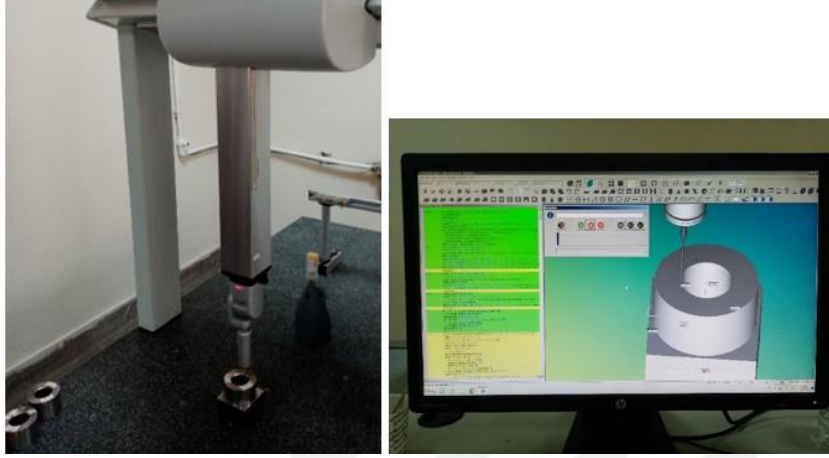
Çizelge 6.23. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm ayarları

Ölçme yöntemi	İzleyici uç
Tarama hızı (mm/s)	0,5
Tarama uzunluğu (Cut-off length), mm	0,8

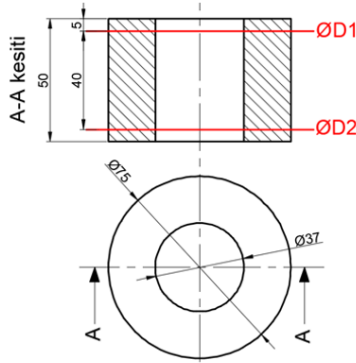
6.7.2. Geometrik ve boyutsal ölçümler

Delik içi tornalanan malzemelerin Hexagon marka bilgisayarlı ölçüm makinesi (CMM) kullanılarak, delik çapları, dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss) ve çaptan

sapma (ζ) değerleri ölçülmüştür (Resim 6.16). Ölçümler alınırken iş parçasını bağlamak için bağlama aparatı kullanılmıştır. Ölçümler kater girişinden 5 mm (D1) ve 40 mm (D2) (kater çıkışından, -5 mm) derinliğinde oluşturulan iki düzlemden deliğin tüm çevresi 360° taranarak ölçülmüştür (Şekil 6.11). CMM tezgâhı kullanılarak iş parçasının düzlemlerinden alınan ölçümler vasıtasıyla deliklerin geometrik doğrulukları belirlenmeye çalışılmıştır.



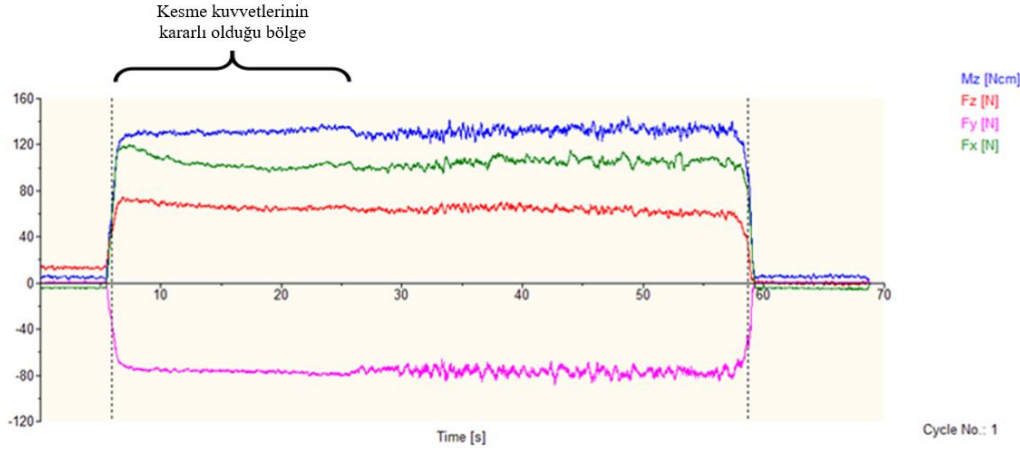
Resim 6.16. CMM tezgâhı ve ölçümü



Şekil 6.11. CMM Ölçüm düzlemleri

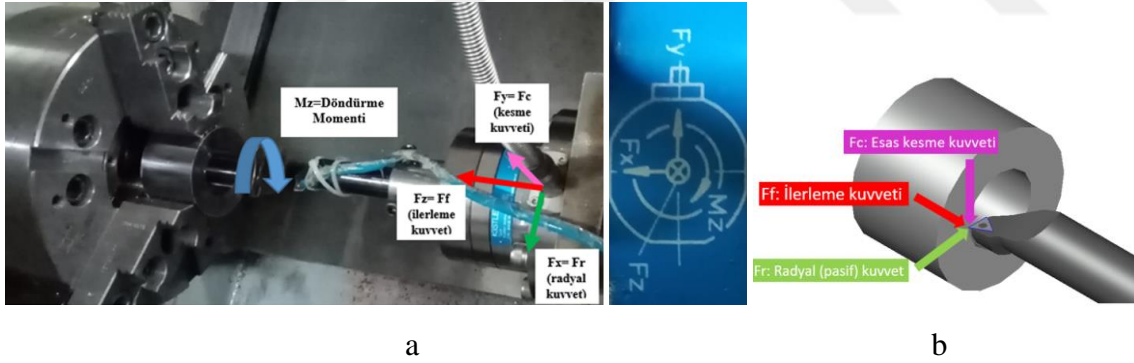
6.7.3. Kesme kuvvetleri ölçümleri

Delik işleme sırasında meydana gelen kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi için CNC torna tezgâhına bağlanabilen, üç farklı yükü (F_x , F_y , F_z) ve döndürme momentini (M_z) ölçme kapasitesine sahip “KISTLER 9272 model dinamometre” kullanılmıştır. Ölçüm verilerini grafik olarak gösteren ve ölçümlerin alındığı ara yüz programı olarak “DynoWare” kullanılmıştır. DynoWare programından elde edilen sinyaller üzerinden kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölge dikkate alınarak kuvvet ölçümleri yapılmıştır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. Kesme kuvvetlerinin ölçümü

Kuvvetlerin yönleri dinamometrenin üzerinde gösterilen yönler dikkate alınarak bağlama şekline göre belirlenmiş ve döndürme momenti (M_z) de dahil, DynoWare yazılımındaki kesme kuvvetlerinin ölçümlerini göstere renklerle aynı olacak şekilde gösterilmiştir. Dinamometre kuvvet bileşenlerinde F_x , F_r 'ye, F_y , F_c 'ye ve F_z 'Ff'ye karşılık gelmektedir (Şekil 6.13a). Şekil 6.13b'de ise delik içi tornalamada kesme kuvvetleri yönleri verilmiştir.



Şekil 6.13. Kesme kuvvetleri yönleri a) Dinamometre üzerinde, b) Delik içi tornalamada



7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

NiHARD-4 ve YKBDD malzemeler ile belirtilen kesme parametreleri kullanılarak delik içi tornalama deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra), dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss), çaptan sapma (Çs) ve kesme kuvvetleri (Fc,Fr,Ff) çıktıları Minitab istatistiksel programı içerisinde bulunan Taguchi analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Taguchi analiz yöntemi ile çıktılar üzerinde kesme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca Varyans analizi (ANOVA) ile de kesme parametrelerinin çıktılar üzerindeki etki oranları ortaya koyulmuştur. Deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak iki ve üç boyutlu grafikler oluşturulmuş, sonuçlar yorumlanarak değerlendirilmiştir.

7.1. Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

7.1.1. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları (Ra)

Deneyler sonucunda malzemelerin delik içi yüzey pürüzlülük değerleri (Ra), delik katernin iş parçasına giriş yönünden 2 adet ve iş parçasından çıkış yönünden 2 adet olmak üzere toplam 4 adet ölçülerek ortalama Ra değerleri elde edilmiştir. CBN kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri Çizelge 7.1'de, CBN ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri Çizelge 7.2'de, KARBÜR kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri Çizelge 7.3'te ve KARBÜR ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.1. CBN kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Ra (μm)
1	NiHARD-4	çelik	3	90	0,07	0,79
2			4	135	0,1	0,93
3			5	200	0,16	2,09
4		karbür	3	90	0,1	0,85
5			4	135	0,16	2,1
6			5	200	0,07	0,72
7		avb	3	135	0,07	0,37
8			4	200	0,1	0,96
9			5	90	0,16	1,99
10	YKBDD	çelik	3	200	0,16	2,21
11			4	90	0,07	1,76
12			5	135	0,1	1,06
13		karbür	3	135	0,16	2,09
14			4	200	0,07	1,92
15			5	90	0,1	1,12
16		avb	3	200	0,1	0,9
17			4	90	0,16	2,38
18			5	135	0,07	0,64

Çizelge 7.2. CBN ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Ra (μm)
1	NiHARD-4	çelik	3	90	0,07	0,63
2			4	135	0,1	0,8
3			5	200	0,16	1,5
4		karbür	3	90	0,1	0,7
5			4	135	0,16	1,2
6			5	200	0,07	0,65
7		avb	3	135	0,07	0,3
8			4	200	0,1	0,73
9			5	90	0,16	1,4
10	YKBDD	çelik	3	200	0,16	1,45
11			4	90	0,07	1,32
12			5	135	0,1	0,79
13		karbür	3	135	0,16	1,32
14			4	200	0,07	1,2
15			5	90	0,1	0,89
16		avb	3	200	0,1	0,75
17			4	90	0,16	1,64
18			5	135	0,07	0,48

Çizelge 7.3. KARBÜR kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Ra (μm)
1	NiHARD-4	çelik	3	40	0,07	0,85
2			4	60	0,1	0,97
3			5	90	0,16	1,75
4		karbür	3	40	0,1	1,62
5			4	60	0,16	1,83
6			5	90	0,07	0,96
7		avb	3	60	0,07	0,68
8			4	90	0,1	0,94
9			5	40	0,16	1,84
10	YKBDD	çelik	3	90	0,16	1,52
11			4	40	0,07	0,87
12			5	60	0,1	1,17
13		karbür	3	60	0,16	1,84
14			4	90	0,07	0,77
15			5	40	0,1	1,79
16		avb	3	90	0,1	0,88
17			4	40	0,16	1,68
18			5	60	0,07	1,20

Çizelge 7.4.KARBÜR ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen Ra değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Ra (μm)
1	NiHARD-4	çelik	3	40	0,07	0,53
2			4	60	0,1	1,20
3			5	90	0,16	2,62
4		karbür	3	40	0,1	0,89
5			4	60	0,16	2,53
6			5	90	0,07	2,12
7		avb	3	60	0,07	0,56
8			4	90	0,1	1,12
9			5	40	0,16	2,45
10	YKBDD	çelik	3	90	0,16	1,94
11			4	40	0,07	0,65
12			5	60	0,1	1,51
13		karbür	3	60	0,16	2,23
14			4	90	0,07	1,37
15			5	40	0,1	1,18
16		avb	3	90	0,1	0,75
17			4	40	0,16	2,02
18			5	60	0,07	0,77

7.1.2. Dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss) ve çaptan sapma (Çs) sonuçları

Deneylemler sonucunda malzemelerin delik içi geometrik ve boyutsal hataları CMM ile ölçülmüştür. Ölçümler kater girişinden 5 mm kater çıkışından, -5 mm mesafede olacak şekilde iki düzlemden yapılmıştır. Ölçümler sonucunda, dairesellikten sapma (Ds), silindiriklikten sapma (Ss) ve çaptan sapma (Çs) değerleri elde edilmiştir. Ölçümler her iki düzlemdede deliğin tüm çevresi 360° taranarak yapılmıştır. CMM tezgâhı kullanılarak iş parçasının düzlemlerinden alınan ölçümler vasıtasıyla deliklerin geometrik kaliteleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçülen değerler CBN kuru işleme için Çizelge 7.5'te CBN ıslak işleme için Çizelge 7.6.'da KARBÜR kuru işleme için Çizelge 7.7'de KARBÜR ıslak işleme Çizelge 7.8.'de verilmiştir.

Çizelge 7.5.CBN kuru işleme sonucunda elde edilen Ds-Ss ve Çs değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	F (mm/dev)	Ds (mm)	Ss (mm)	Çs (mm)
1	NiHARD-4	çelik	3	90	0,07	0,009	0,01	0,018
2			4	135	0,1	0,012	0,014	0,022
3			5	200	0,16	0,016	0,02	0,037
4		karbür	3	90	0,1	0,009	0,007	0,02
5			4	135	0,16	0,012	0,014	0,028
6			5	200	0,07	0,013	0,013	0,03
7		avb	3	135	0,07	0,008	0,011	0,012
8			4	200	0,1	0,011	0,013	0,014
9			5	90	0,16	0,013	0,016	0,022
10	YKBDD	çelik	3	200	0,16	0,012	0,012	0,024
11			4	90	0,07	0,011	0,009	0,019
12			5	135	0,1	0,012	0,015	0,023
13		karbür	3	135	0,16	0,01	0,012	0,026
14			4	200	0,07	0,012	0,012	0,027
15			5	90	0,1	0,013	0,013	0,03
16		avb	3	200	0,1	0,008	0,009	0,019
17			4	90	0,16	0,01	0,011	0,021
18			5	135	0,07	0,01	0,013	0,02

Çizelge 7.6.CBN ıslak işleme sonucunda elde edilen Ds-Ss ve Çs değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Ds (mm)	Ss (mm)	Çs (mm)
1	NiHARD-4	çelik	3	90	0,07	0,004	0,019	0,002
2			4	135	0,1	0,007	0,028	0,003
3			5	200	0,16	0,014	0,032	0,01
4		karbür	3	90	0,1	0,001	0,021	0,001
5			4	135	0,16	0,004	0,029	0,0023
6			5	200	0,07	0,007	0,03	0,0029
7		avb	3	135	0,07	0,002	0,023	0,002
8			4	200	0,1	0,006	0,025	0,03
9			5	90	0,16	0,007	0,027	0,002
10	YKBDD	çelik	3	200	0,16	0,01	0,028	0,007
11			4	90	0,07	0,007	0,025	0,0015
12			5	135	0,1	0,011	0,03	0,0024
13		karbür	3	135	0,16	0,005	0,029	0,0018
14			4	200	0,07	0,007	0,028	0,007
15			5	90	0,1	0,009	0,03	0,0013
16		avb	3	200	0,1	0,003	0,026	0,014
17			4	90	0,16	0,006	0,027	0,014
18			5	135	0,07	0,006	0,028	0,0036

Çizelge 7.7.KARBÜR kuru işleme sonucunda elde edilen Ds-Ss ve Çs değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Ds (mm)	Ss (mm)	Çs (mm)
1	NiHARD-4	çelik	3	40	0,07	0,011	0,015	0,014
2			4	60	0,1	0,013	0,018	0,016
3			5	90	0,16	0,016	0,025	0,02
4		karbür	3	40	0,1	0,012	0,017	0,015
5			4	60	0,16	0,014	0,021	0,017
6			5	90	0,07	0,014	0,024	0,018
7		avb	3	60	0,07	0,011	0,014	0,013
8			4	90	0,1	0,013	0,017	0,014
9			5	40	0,16	0,014	0,02	0,015
10	YKBDD	çelik	3	90	0,16	0,013	0,019	0,016
11			4	40	0,07	0,013	0,018	0,014
12			5	60	0,1	0,015	0,021	0,017
13		karbür	3	60	0,16	0,013	0,02	0,015
14			4	90	0,07	0,012	0,018	0,016
15			5	40	0,1	0,013	0,019	0,015
16		avb	3	90	0,1	0,012	0,015	0,012
17			4	40	0,16	0,013	0,017	0,013
18			5	60	0,07	0,013	0,018	0,014

Çizelge 7.8.KARBÜR ıslak işleme sonucunda elde edilen D_s-S_s ve Ç_s değerleri

Deney No	Malzeme	Kater	L/D	V _c (m/dak)	f (mm/dev)	D _s (mm)	S _s (mm)	Ç _s (mm)
1	NiHARD-4	çelik	3	40	0,07	0,016	0,012	0,006
2			4	60	0,1	0,017	0,014	0,008
3			5	90	0,16	0,022	0,018	0,008
4		karbür	3	40	0,1	0,015	0,012	0,007
5			4	60	0,16	0,017	0,015	0,009
6			5	90	0,07	0,021	0,014	0,008
7		avb	3	60	0,07	0,014	0,011	0,006
8			4	90	0,1	0,018	0,012	0,007
9			5	40	0,16	0,022	0,014	0,009
10	YKBDD	çelik	3	90	0,16	0,020	0,016	0,006
11			4	40	0,07	0,014	0,013	0,007
12			5	60	0,1	0,018	0,016	0,009
13		karbür	3	60	0,16	0,015	0,014	0,007
14			4	90	0,07	0,017	0,011	0,006
15			5	40	0,1	0,021	0,015	0,009
16		avb	3	90	0,1	0,017	0,011	0,006
17			4	40	0,16	0,017	0,013	0,007
18			5	60	0,07	0,016	0,014	0,008

7.1.3. Kesme kuvvetleri (F_c-F_r-F_f) sonuçları

Deneyle sonuçunda kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini görmek için kesme kuvvetleri dinamometre yardımıyla ölçülmüş ve sonuçlar Dynoware programı ile elde edilmiştir. CBN kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri değerleri Çizelge 7.9'da, CBN ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri değerleri Çizelge 7.10'da, KARBÜR kuru işleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri değerleri Çizelge 7.11'de, KARBÜR ıslak işleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri değerleri Çizelge 7.12'de verilmiştir.

Çizelge 7.9. CBN kuru işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri

Deney No	Malzeme	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Fc (N)	Fr (N)	Ff (N)
1	NiHARD-4	90	0,07	97,63	109,70	75,02
2			0,1	107,90	100,90	80,03
3			0,16	143,10	125,60	88,12
4		135	0,1	58,12	87,43	45,80
5			0,16	87,64	93,76	53,69
6			0,07	102,50	98,41	60,09
7		200	0,07	65,71	84,31	55,68
8			0,1	84,73	98,60	62,80
9			0,16	110,40	112,32	71,23
10	YKBDD	90	0,16	76,37	76,57	55,89
11			0,07	77,42	78,76	65,13
12			0,1	99,91	91,88	70,18
13		135	0,16	59,92	64,02	42,96
14			0,07	79,66	77,90	46,14
15			0,1	98,19	86,87	50,08
16		200	0,1	53,66	62,91	40,21
17			0,16	66,32	69,74	42,10
18			0,07	93,04	93,08	47,25

Çizelge 7.10.CBN ıslak işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri

Deney No	Malzeme	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Fc (N)	Fr (N)	Ff (N)
1	NiHARD-4	90	0,07	76,76	103,77	64,97
2			0,1	102,05	116,89	69,99
3			0,16	110,64	124,02	75,66
4		135	0,1	71,85	103,03	57,03
5			0,16	88,60	106,37	61,49
6			0,07	99,62	133,00	71,15
7		200	0,07	67,91	113,42	64,05
8			0,1	84,90	136,42	77,54
9			0,16	98,78	145,21	78,16
10	YKBDD	90	0,16	65,53	65,14	45,15
11			0,07	85,99	84,51	52,69
12			0,1	106,35	103,58	57,27
13		135	0,16	68,42	68,38	49,59
14			0,07	85,01	91,01	56,06
15			0,1	89,37	96,54	63,97
16		200	0,1	63,68	97,95	56,35
17			0,16	81,87	117,57	68,30
18			0,07	92,27	120,56	70,66

Çizelge 7.11.KARBÜR kuru işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri

Deney No	Malzeme	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Fc (N)	Fr (N)	Ff (N)
1	NiHARD-4	40	0,07	85,15	91,42	71,87
2			0,1	100,75	92,51	68,48
3			0,16	131,67	120,45	78,80
4		60	0,1	90,31	104,94	82,77
5			0,16	85,19	121,06	78,04
6			0,07	108,48	165,12	95,16
7		90	0,07	72,80	182,36	88,30
8			0,1	78,19	190,62	87,25
9			0,16	92,23	210,34	106,94
10	YKBDD	40	0,16	92,72	86,95	67,51
11			0,07	116,37	94,20	70,18
12			0,1	144,63	123,23	77,23
13		60	0,16	88,83	98,47	68,15
14			0,07	109,62	118,78	80,28
15			0,1	132,93	135,71	80,19
16		90	0,1	84,91	142,36	87,85
17			0,16	100,48	164,52	93,76
18			0,07	117,99	180,34	101,82

Çizelge 7.12.KARBÜR ıslak işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff) değerleri

Deney No	Malzeme	Vc (m/dak)	f (mm/dev)	Fc (N)	Fr (N)	Ff (N)
1	NiHARD-4	40	0,07	80,58	92,60	63,60
2			0,1	99,85	95,67	69,27
3			0,16	132,12	120,69	82,01
4		60	0,1	78,37	100,34	67,00
5			0,16	98,57	114,71	68,60
6			0,07	133,16	126,81	80,36
7		90	0,07	55,35	97,31	53,97
8			0,1	63,20	102,39	54,02
9			0,16	98,67	122,20	59,32
10	YKBDD	40	0,16	83,55	89,23	65,98
11			0,07	107,45	92,15	66,42
12			0,1	144,41	110,27	73,21
13		60	0,16	81,37	81,23	63,11
14			0,07	95,63	97,71	62,91
15			0,1	141,68	120,69	74,47
16		90	0,1	59,10	74,59	45,31
17			0,16	77,66	95,53	53,20
18			0,07	100,10	112,28	60,04

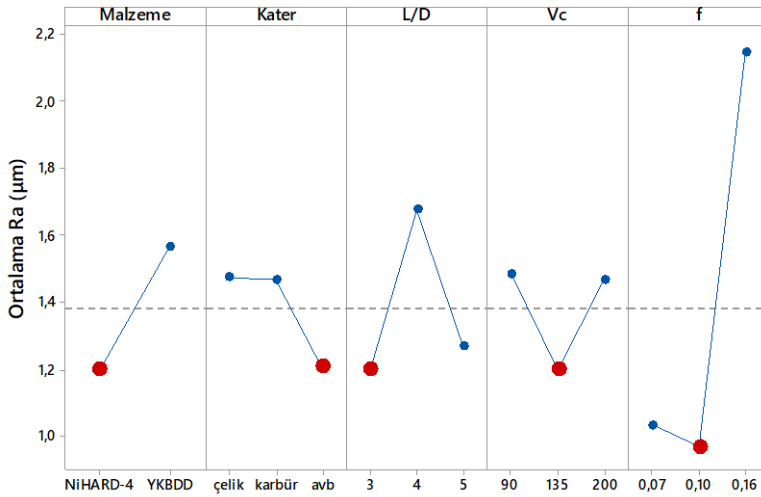
7.2. CBN Kesici Uçlarla Yapılan Deneysel Sonuçlarının Taguchi ve ANOVA Analizi ile Değerlendirilmesi

7.2.1. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi

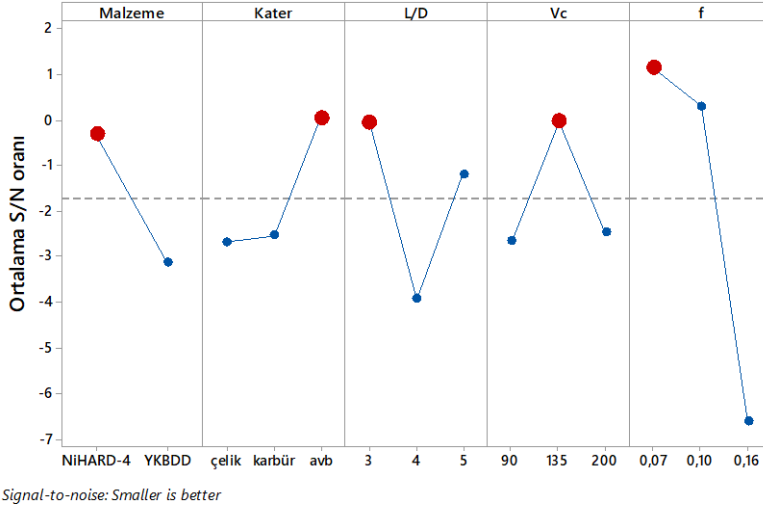
Deneysel sonuçlarından elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Yüzey pürüzlülüğüne (Ra) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans analizi sonuçları, CBN kuru işleme ve CBN ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

CBN kuru işlemede Ra için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.1’de faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.2’de ise faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.1. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.2. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ra üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ra üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.1) ve Ra üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.2) çizelgeler haline getirilmiştir. (Çizelge 7.13. ve Çizelge 7.14.).

Çizelge 7.13. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	LD	Vc	f
1	1,2	1,4733	1,2017	1,4817	1,0333
2	1,5644	1,4667	1,675	1,1983	0,97
3		1,2067	1,27	1,4667	2,1433
Değişim	0,3644	0,2667	0,4733	0,2833	1,1733
Sıralama	3	5	2	4	1

Çizelge 7.14. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	LD	Vc	f
1	-0,32123	-2,67156	-0,04676	-2,65736	1,13948
2	-3,12195	-2,53879	-3,92788	-0,03512	0,30353
3		0,04558	-1,19012	-2,47229	-6,60778
Değişim	2,80072	2,71714	3,88112	2,62224	7,74726
Sıralama	3	4	2	5	1

Çizelge 7.13'te faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.14'te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri değerleri için (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, malzeme faktörü kesme hızı (Vc) faktörü ve kater faktörü şeklinde sıralanmaktadır. S/N oranları değerleri sıralama ise (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, malzeme faktörü kater faktörü ve kesme hızı

(Vc) faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. (Çizelge 7.15.)

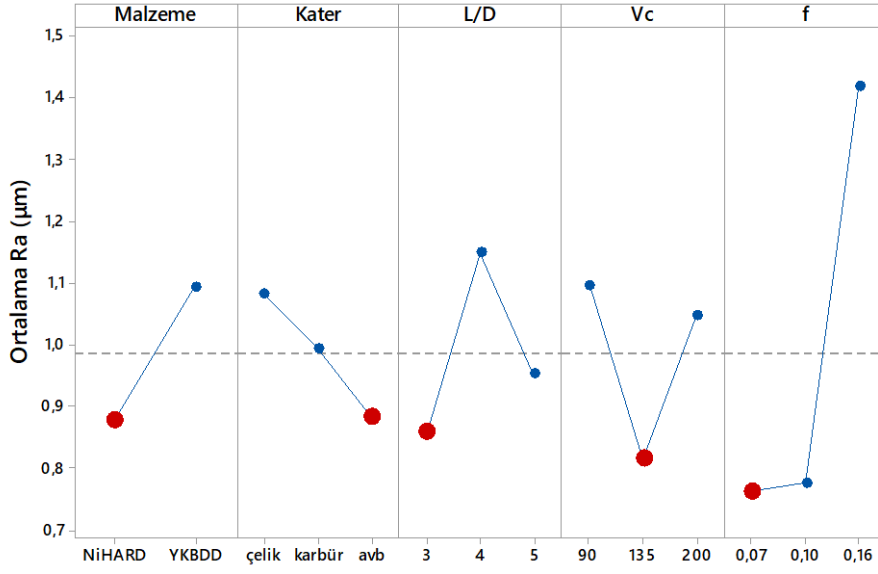
Çizelge 7.15.CBN kuru işleme şartları Ra için Varyans analizi

Faktörler	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,5977	%8,04	0,5977	0,59769	19,61	0,002
Kater	2	0,2775	%3,73	0,2775	0,13876	4,55	0,048
LD	2	0,7855	%10,56	0,7855	0,39274	12,89	0,003
Vc	2	0,305	%4,10	0,305	0,15251	5	0,039
f	2	5,2256	%70,28	5,2256	2,61282	85,74	0
Hata	8	0,2438	%3,28	0,2438	0,03047		
Toplam	17	7,4351	%100,00				

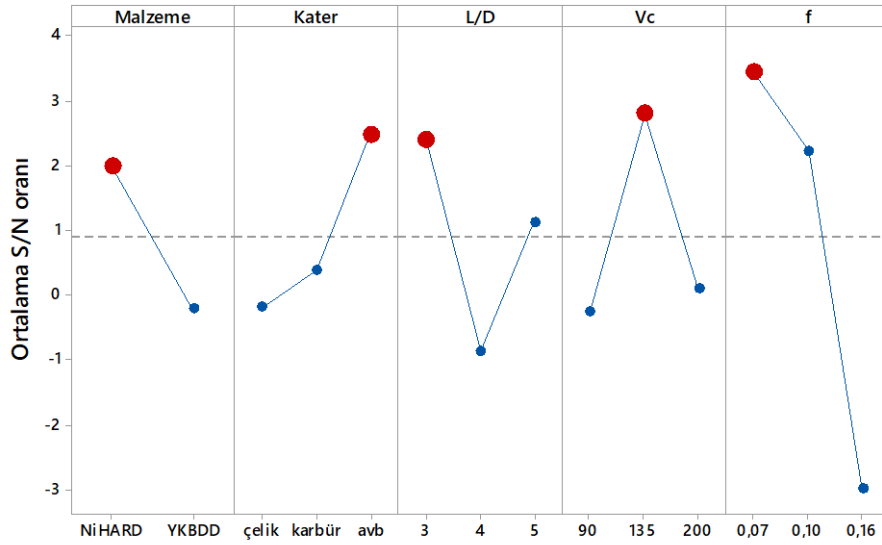
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %70,28 ile ilerleme faktörü (f), ikinci sırada %10,56 ile L/D oranı faktörü, üçüncü sırada %8,04 ile malzeme faktörü, dördüncü sırada %4,10 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %3,73 ile kater faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin Ra üzerinde R^2 =%96,72 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN ıslak işlemede Ra için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.3'te faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.4'te ise faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.3. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.4. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ra üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ra üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.3) ve Ra üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.4) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.16. ve Çizelge 7.17).

Çizelge 7.16. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,8789	1,0817	0,8583	1,0967	0,7633
2	1,0933	0,9933	1,1483	0,815	0,7767
3		0,8833	0,9517	1,0467	1,4183
Değişim	0,2144	0,1983	0,29	0,2817	0,655
Sıralama	4	5	2	3	1

Çizelge 7.17. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	1,9949	-0,1936	2,4048	-0,2512	3,4321
2	-0,2219	0,3789	-0,8673	2,8039	2,2214
3		2,4743	1,122	0,1069	-2,994
Değişim	2,2168	2,6679	3,2721	3,0551	6,426
Sıralama	5	4	2	3	1

Çizelge 7.16'da faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.17'de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri değerleri için (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü, malzeme faktörü ve kater faktörü şeklinde sıralanmaktadır. S/N oranları değerleri sıralama ise (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü, kater faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.18).

Çizelge 7.18. CBN ıslak işleme şartları Ra için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,2069	%7,82	0,2069	0,20694	15,99	0,004
Kater	2	0,1185	%4,48	0,1185	0,05924	4,58	0,047
L/D	2	0,263	%9,94	0,263	0,13149	10,16	0,006
Vc	2	0,271	%10,25	0,271	0,13551	10,47	0,006
f	2	1,6819	%63,59	1,6819	0,84094	64,97	0
Hata	8	0,1035	%3,91	0,1035	0,01294		
Toplam	17	2,6448	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %63,59 ile ilerleme faktörü (f), ikinci sırada %10,25 ile kesme hızı (Vc) faktörü üçüncü sırada %9,94 ile L/D oranı faktörü, dördüncü sırada %7,82 ile malzeme faktörü, dördüncü sırada ve en az etkili parametre ise son sırada %4,48 ile kater faktörü olduğu ortaya

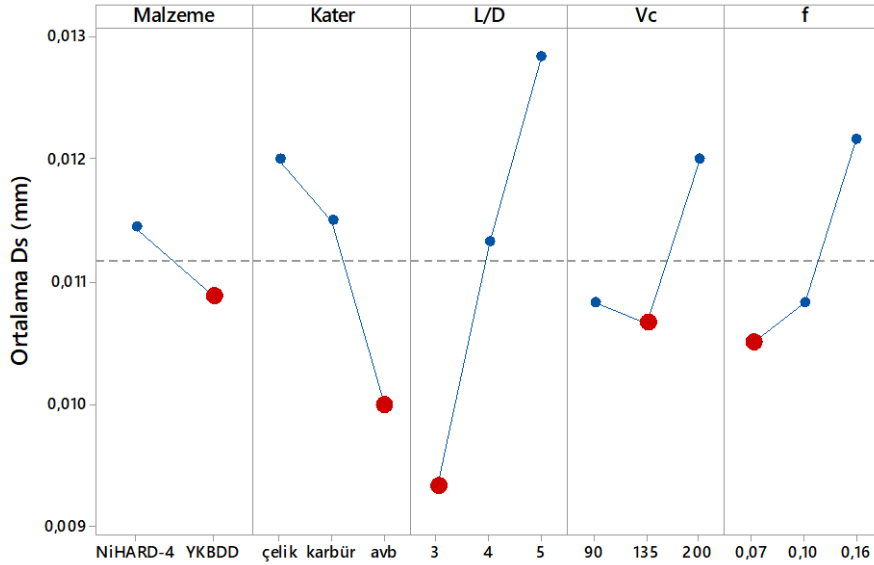
koyulmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin Ra üzerinde $R^2=96,09$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

7.2.2. Kesme parametrelerinin dairesellikten sapmaya (Ds) etkisi

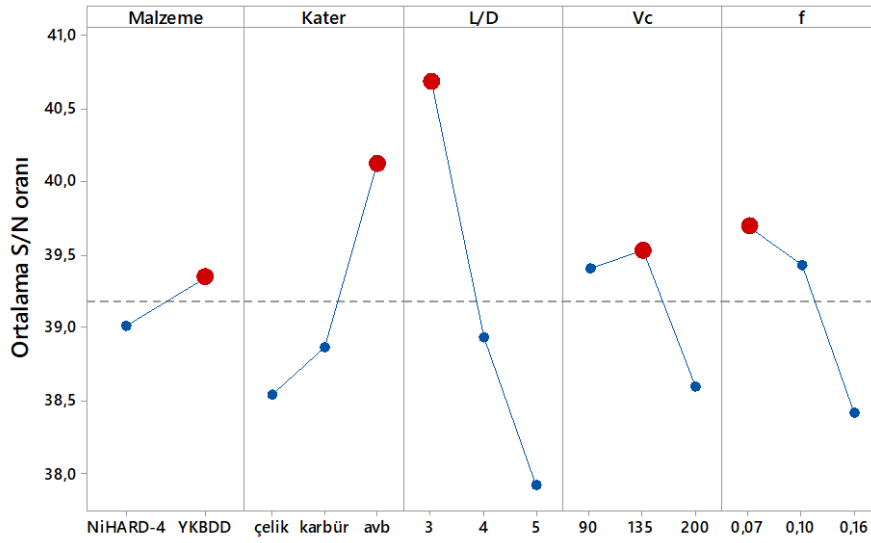
Deney sonuçlarından elde edilen dairesellikten sapma (Ds) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Dairesellikten sapma değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Dairesellikten sapmaya (Ds) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, CBN kuru işleme ve CBN ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

CBN kuru işlemede Ds için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.5'te faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.6'da ise faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.5. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.6. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ds üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ds üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.5) ve Ds üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.6) çizelgeler haline getirilmiştir. (Çizelge 7.19. ve Çizelge 7.20.).

Çizelge 7.19. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,011444	0,012	0,009333	0,010833	0,0105
2	0,010889	0,0115	0,011333	0,010667	0,010833
3		0,01	0,012833	0,012	0,012167
Değişim	0,000556	0,002	0,0035	0,001333	0,001667
Sıralama	5	2	1	4	3

Çizelge 7.20. CBN kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	39,01	38,54	40,69	39,41	39,69
2	39,34	38,87	38,93	39,53	39,43
3		40,13	37,92	38,6	38,41
Değişim	0,33	1,59	2,77	0,93	1,28
Sıralama	5	2	1	4	3

Çizelge 7.19'da faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.20'de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktörü olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), kater faktörü, ilerleme (f) faktörü kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde

sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.21).

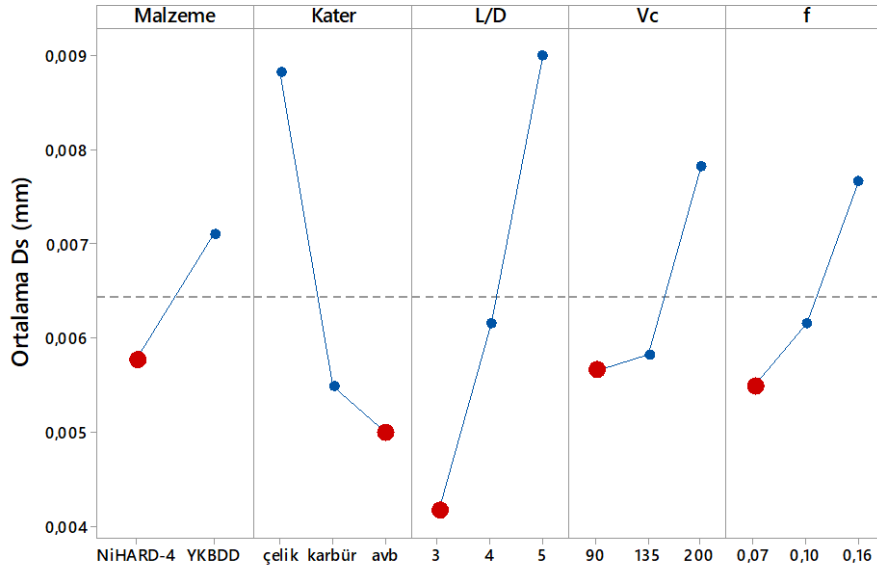
Çizelge 7.21. CBN kuru işleme şartları Ds için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000001	%1,97	0,000001	0,000001	3,23	0,11
Kater	2	0,000013	%18,44	0,000013	0,000007	15,1	0,002
L/D	2	0,000037	%52,48	0,000037	0,000019	42,97	0
Vc	2	0,000006	%8,98	0,000006	0,000003	7,35	0,015
f	2	0,000009	%13,24	0,000009	0,000005	10,84	0,005
Hata	8	0,000003	%4,89	0,000003	0		
Toplam	17	0,000071	%100,00				

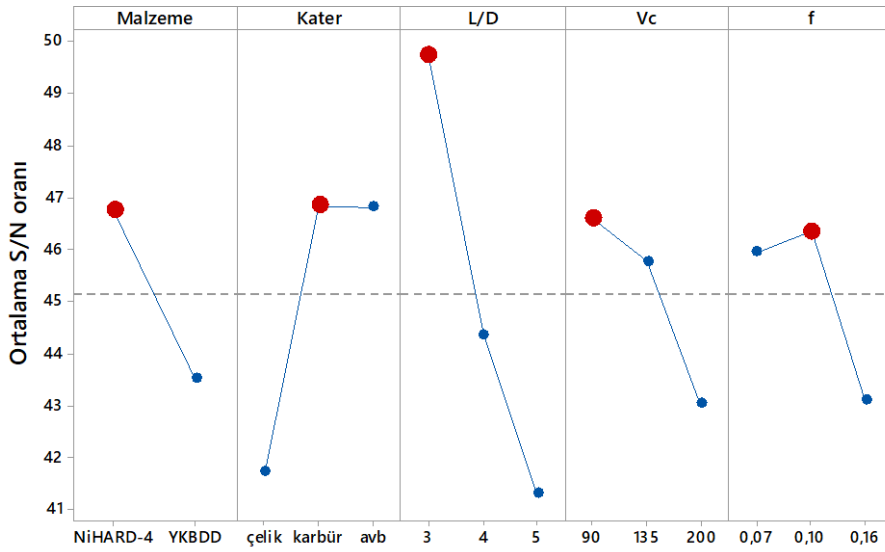
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %52,48 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %18,44 ile kater faktörü, üçüncü sırada %13,24 ile ilerleme (f) faktörü, dördüncü sırada %8,98 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %1,97 ile kater faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater, f,Vc) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin Ds üzerinde R^2 =%95,11 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN ıslak işlemede Ds için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.7'de faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.8'de ise faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.7. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.8. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ds üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ds üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.7) ve Ds üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.8) çizelgeler haline getirilmiştir. (Çizelge 7.22. ve Çizelge 7.23.).

Çizelge 7.22. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,005778	0,008833	0,004167	0,005667	0,0055
2	0,007111	0,0055	0,006167	0,005833	0,006167
3		0,005	0,009	0,007833	0,007667
Değişim	0,001333	0,003833	0,004833	0,002167	0,002167
Sıralama	5	2	1	3	4

Çizelge 7.23. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	LD	Vc	f
1	46,75	41,73	49,74	46,58	45,94
2	43,52	46,85	44,35	45,78	46,35
3		46,81	41,3	43,03	43,1
Değişim	3,23	5,11	8,44	3,56	3,25
Sıralama	5	2	1	3	4

Çizelge 7.22’de faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.23’te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), kater faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü, ilerleme (f) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.24).

Çizelge 7.24. CBN ıslak işleme şartları Ds için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000008	%4,59	0,000008	0,000008	5,65	0,045
Kater	2	0,000052	%29,87	0,000052	0,000026	18,39	0,001
L/D	2	0,000071	%40,57	0,000071	0,000035	24,98	0,000
Vc	2	0,000017	%10,00	0,000017	0,000009	6,16	0,024
f	2	0,000015	%8,47	0,000015	0,000007	5,22	0,035
Hata	8	0,000011	%6,50	0,000011	0,000001		
Toplam	17	0,000174	%100,00				

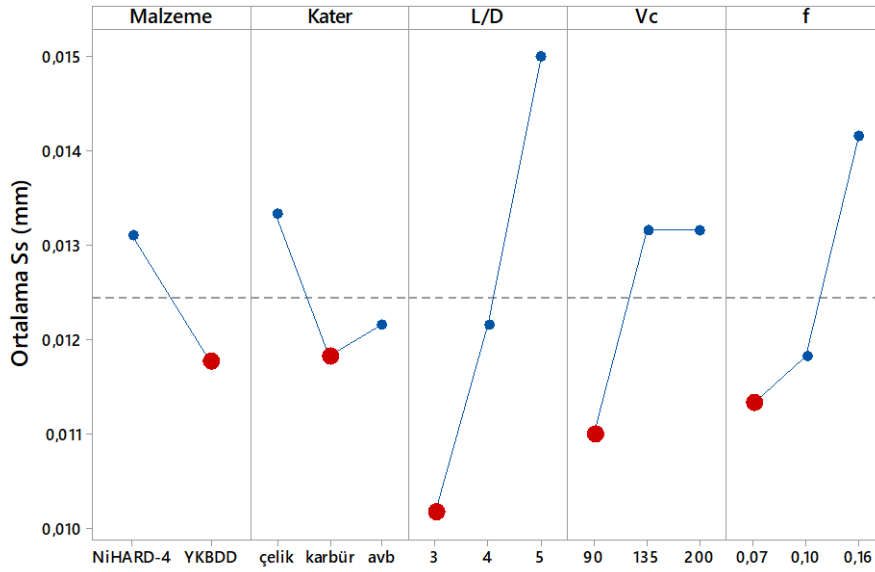
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %40,57 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %29,87 ile kater faktörü, üçüncü sırada %10,00 ile kesme hızı (Vc) faktörü, dördüncü sırada %8,47 ile ilerleme (f) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %4,59 ile malzeme faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05’ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin Ds üzerinde R^2 =%93,50 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

7.2.3. Kesme parametrelerinin silindiriklikten sapmaya (Ss) etkisi

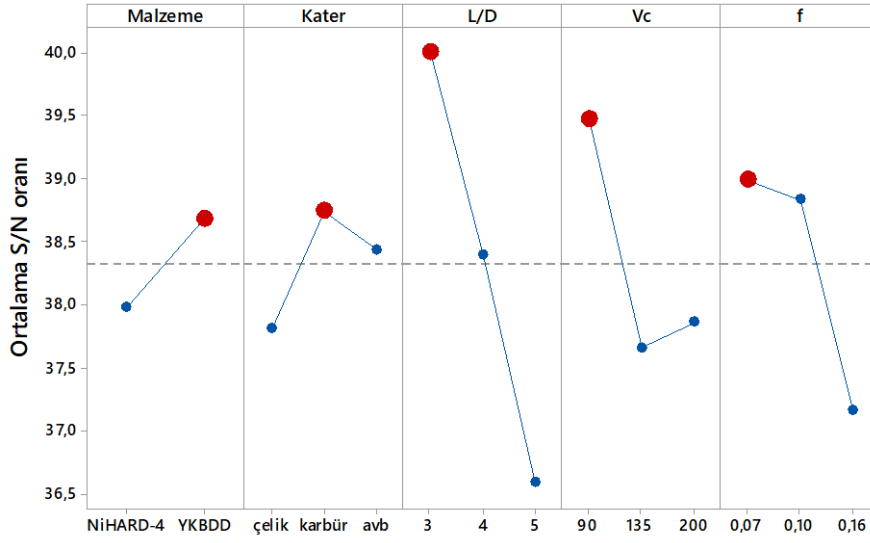
Deney sonuçlarından elde edilen silindiriklikten sapma (Ss) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Silindiriklikten sapma değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Silindiriklikten sapmaya (Ss) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, CBN kuru işleme ve CBN ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

CBN kuru işlemede Ss için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.9’da faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.10’da ise faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.9. CBN kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.10. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ss üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ss üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.9) ve Ss üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.10) çizelgeler haline getirilmiştir. (Çizelge 7.25. ve Çizelge 7.26.).

Çizelge 7.25. CBN kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,01311	0,01333	0,01017	0,011	0,01133
2	0,01178	0,01183	0,01217	0,01317	0,01183
3		0,01217	0,015	0,01317	0,01417
Değişim	0,00133	0,0015	0,00483	0,00217	0,00283
Sıralama	5	4	1	3	2

Çizelge 7.26. CBN kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	37,97	37,81	40	39,47	38,99
2	38,69	38,74	38,4	37,66	38,84
3		38,44	36,59	37,86	37,16
Değişim	0,71	0,93	3,41	1,81	1,83
Sıralama	5	4	1	3	2

Çizelge 7.25'te faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.26'da S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme (f), kesme hızı (Vc) faktörü, kater faktörü ve malzeme faktörü şeklinde

sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. (Çizelge 7.27.)

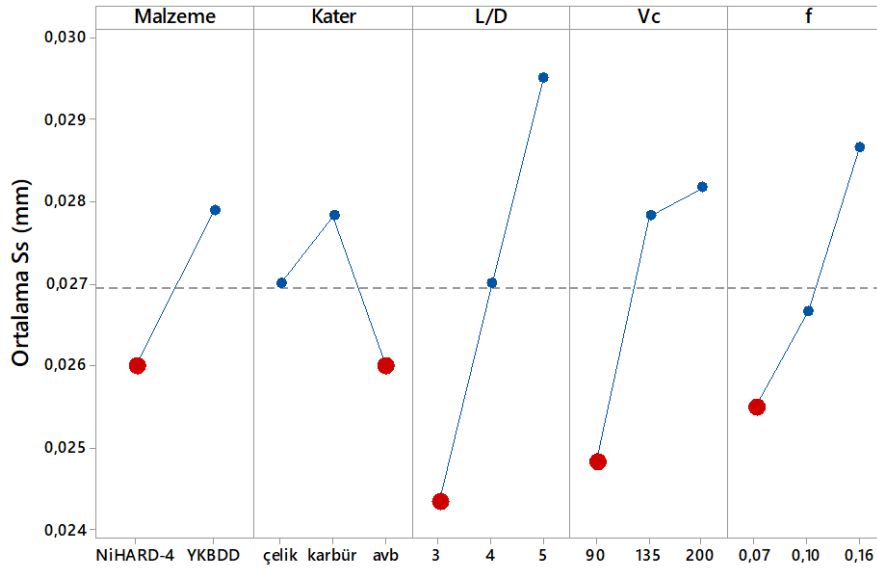
Çizelge 7.27. CBN kuru işleme şartları Ss için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000008	%5,46	0,000008	0,000008	4,57	0,065
Kater	2	0,000007	%5,08	0,000007	0,000004	2,13	0,182
L/D	2	0,000071	%48,33	0,000071	0,000035	20,22	0,001
Vc	2	0,000019	%12,82	0,000019	0,000009	5,37	0,033
f	2	0,000027	%18,74	0,000027	0,000014	7,84	0,013
Hata	8	0,000014	%9,56	0,000014	0,000002		
Toplam	17	0,000146	%100,00				

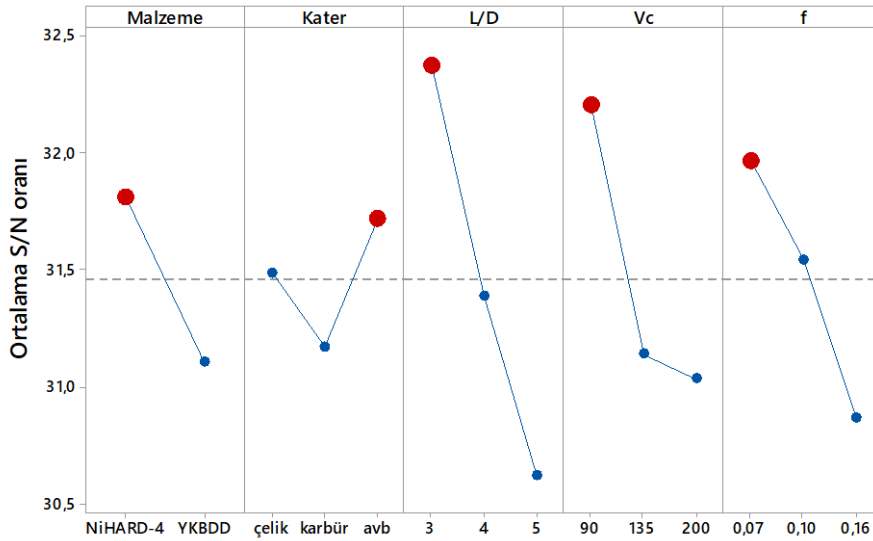
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %48,33 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %18,74 ile ilerleme (f) faktörü, üçüncü sırada %12,82 ile kesme hızı (Vc) faktörü, dördüncü sırada %5,46 ile malzeme faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %5,08 ile kater faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D,f,Vc) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin Ss üzerinde R^2 =%90,44 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN ıslak işlemede Ss için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.11'de faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.12'de ise faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.11. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.12. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ss üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ss üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.11) ve Ra üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.12) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.28. ve Çizelge 7.29).

Çizelge 7.28. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,026	0,027	0,02433	0,02483	0,0255
2	0,02789	0,02783	0,027	0,02783	0,02667
3		0,026	0,0295	0,02817	0,02867
Değişim	0,00189	0,00183	0,00517	0,00333	0,00317
Sıralama	4	5	1	2	3

Çizelge 7.29. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	31,81	31,49	32,38	32,2	31,97
2	31,11	31,17	31,39	31,14	31,54
3		31,72	30,62	31,03	30,87
Değişim	0,71	0,55	1,76	1,17	1,1
Sıralama	4	5	1	2	3

Çizelge 7.28’de faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.29’da S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), kesme hızı (Vc) faktörü, ilerleme (f) faktörü, malzeme faktörü ve kater faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. (Çizelge 7.30.)

Çizelge 7.30. CBN ıslak işleme şartları Ss için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000016	%8,50	0,000016	0,000016	11,22	0,01
kater	2	0,00001	%5,35	0,00001	0,000005	3,53	0,079
L/D	2	0,00008	%42,40	0,00008	0,00004	28	0,000
Vc	2	0,00004	%21,41	0,00004	0,00002	14,14	0,002
f	2	0,000031	%16,29	0,000031	0,000015	10,76	0,005
Hata	8	0,000011	%6,06	0,000011	0,000001		
Toplam	17	0,000189	%100,00				

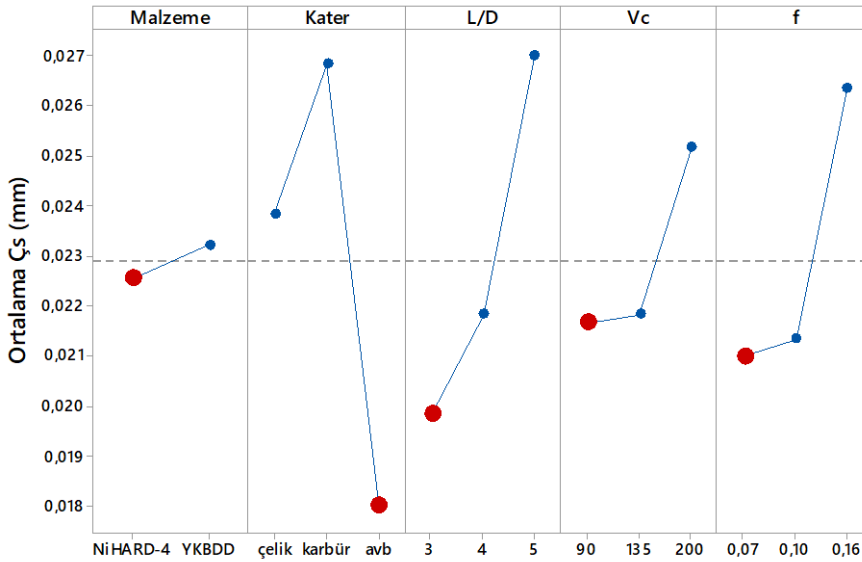
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %42,40 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %21,41 ile kesme hızı (Vc) faktörü, üçüncü sırada %16,29 ile ilerleme (f) faktörü, dördüncü sırada %8,50 ile malzeme faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %5,35 ile kater faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. P-Değeri 0,05’ten küçük olan faktörler (L/D, malzeme, f,Vc) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin Ss üzerinde $R^2=93,94$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

7.2.4. Kesme parametrelerinin çaptan sapmaya (Çs) etkisi

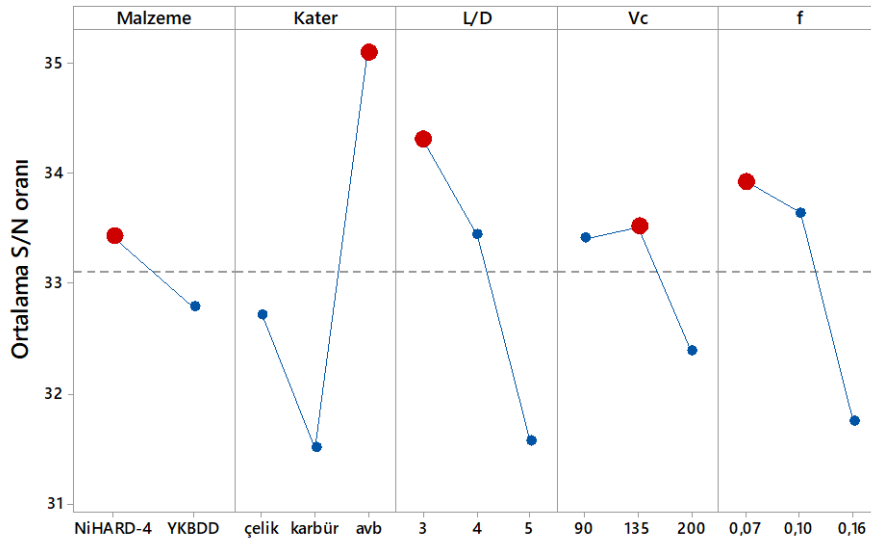
Deney sonuçlarından elde edilen çaptan sapma (Çs) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Çaptan sapma değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Çaptan sapmaya (Çs) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, CBN kuru işleme ve CBN ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

CBN kuru işlemede Çs için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.13'te faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.14'te ise faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.13. CBN kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.14. CBN kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Çs üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Çs üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.13) ve Çs üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.14) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.31. ve Çizelge 7.32).

Çizelge 7.31. CBN kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,02256	0,02383	0,01983	0,02167	0,021
2	0,02322	0,02683	0,02183	0,02183	0,02133
3		0,018	0,027	0,02517	0,02633
Değişim	0,00067	0,00883	0,00717	0,0035	0,00533
Sıralama	5	1	2	4	3

Çizelge 7.32. CBN kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	33,42	32,71	34,3	33,41	33,92
2	32,79	31,5	33,44	33,51	33,64
3		35,1	31,57	32,39	31,75
Değişim	0,64	3,6	2,73	1,12	2,17
Sıralama	5	1	2	4	3

Çizelge 7.31’de faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.32’de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin kater faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, ilerleme (f) faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde

sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.33).

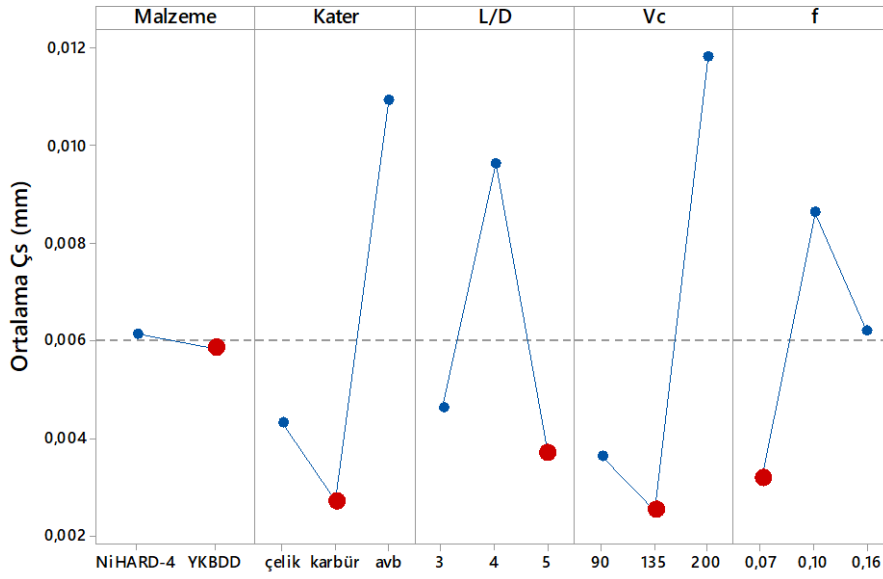
Çizelge 7.33. CBN kuru işleme şartları Çs için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000002	%0,32	0,000002	0,000002	0,24	0,635
Kater	2	0,000242	%38,57	0,000242	0,000121	14,75	0,002
L/D	2	0,000164	%26,14	0,000164	0,000082	10	0,007
Vc	2	0,000047	%7,45	0,000047	0,000023	2,85	0,116
f	2	0,000107	%17,06	0,000107	0,000054	6,52	0,021
Hata	8	0,000066	%10,46	0,000066	0,000008		
Toplam	17	0,000628	%100,00				

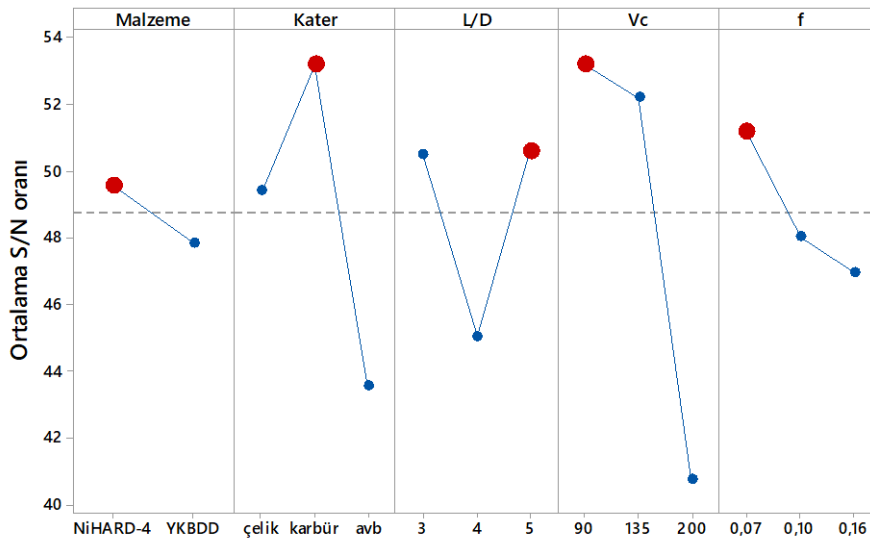
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %38,57 ile kater, ikinci sırada %26,14 ile L/D oranı faktörü, üçüncü sırada %17,06 ile ilerleme (f) faktörü, dördüncü sırada %7,45 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %0,32 ile malzeme faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin Çs üzerinde $R^2=89,54$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN ıslak işlemede Çs için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.15'te faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.16'da ise faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.15. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.16. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Çs üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Çs üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.15) ve Çs üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.16) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.34. ve Çizelge 7.35).

Çizelge 7.34. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,006133	0,004317	0,004633	0,003633	0,003167
2	0,005844	0,002717	0,009633	0,002517	0,008617
3		0,010933	0,003700	0,011817	0,006183
Değişim	0,000289	0,008217	0,005933	0,009300	0,005450
Sıralama	5	2	3	1	4

Çizelge 7.35. CBN ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	49,60	49,40	50,50	53,21	51,19
2	47,86	53,21	45,06	52,23	48,02
3		43,57	50,62	40,75	46,97
Değişim	1,74	9,63	5,56	12,46	4,22
Sıralama	5	2	3	1	4

Çizelge 7.34'te faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.35'te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin kesme hızı (Vc) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), kater faktörü, L/D oranı faktörü, ilerleme (f) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. (Çizelge 7.36.)

Çizelge 7.36. CBN ıslak işleme şartları Çs için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000000	%0,04	0,000000	0,000000	0,02	0,893
kater	2	0,000228	%25,13	0,000228	0,000114	5,80	0,028
L/D	2	0,000122	%13,48	0,000122	0,000061	3,11	0,100
Vc	2	0,000309	%34,15	0,000309	0,000155	7,89	0,013
f	2	0,000089	%9,87	0,000089	0,000045	2,28	0,165
Hata	8	0,000157	%17,32	0,000157	0,000020		
Toplam	17	0,000906	%100,00				

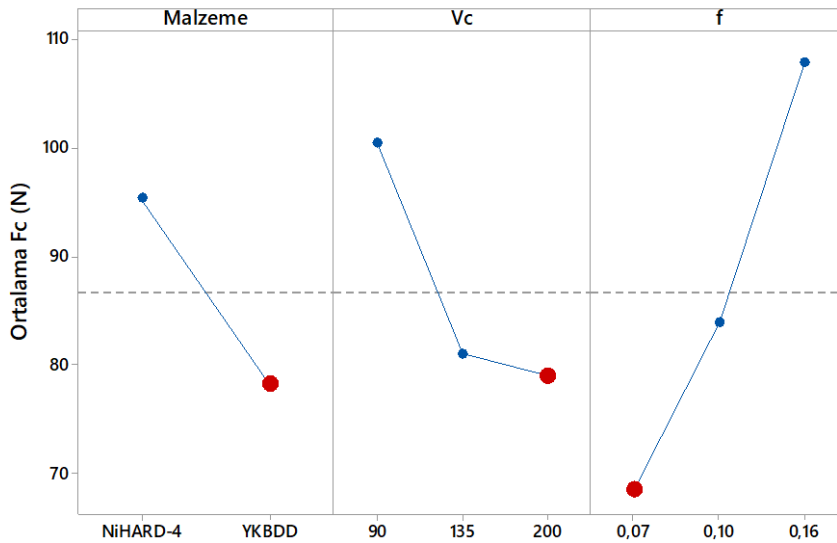
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %34,15 ile kesme hızı (Vc) faktörü, ikinci sırada %25,13 ile kater faktörü, üçüncü sırada %13,48 ile L/D oranı faktörü, dördüncü sırada %9,87 ile ilerleme (f) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %0,04 ile malzeme faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (kater, Vc) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin Çs üzerinde $R^2=82,68$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

7.2.5. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine (Fc,Fr,Ff) etkisi

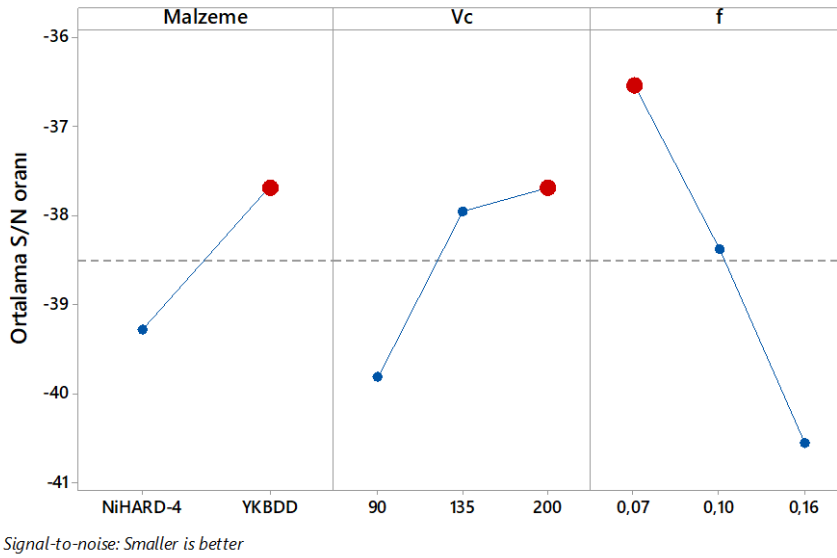
Deney sonuçlarından elde edilen kesme kuvvetleri (Fc:Esas kesme kuvveti, Fr:Radyal kuvvet, Ff: ilerleme kuvveti) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Kesme kuvvetlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Kesme kuvvetlerine (Fc, Fr, Ff) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, CBN kuru işleme ve CBN ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

CBN kuru işlemede Fc için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.17’de faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.18’de ise faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.17. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.18. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fc üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fc üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.17) ve Fc üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.18) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.37 ve Çizelge 7.38).

Çizelge 7. 37. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	95,30	100,39	68,57
2	78,28	81,01	83,95
3		78,98	107,86
Değişim	17,03	21,41	39,29
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7. 38. CBN kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-39,3	-39,83	-36,54
2	-37,69	-37,96	-38,38
3		-37,7	-40,57
Değişim	1,61	2,14	4,03
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7.37’de faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.38’te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde

etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.39).

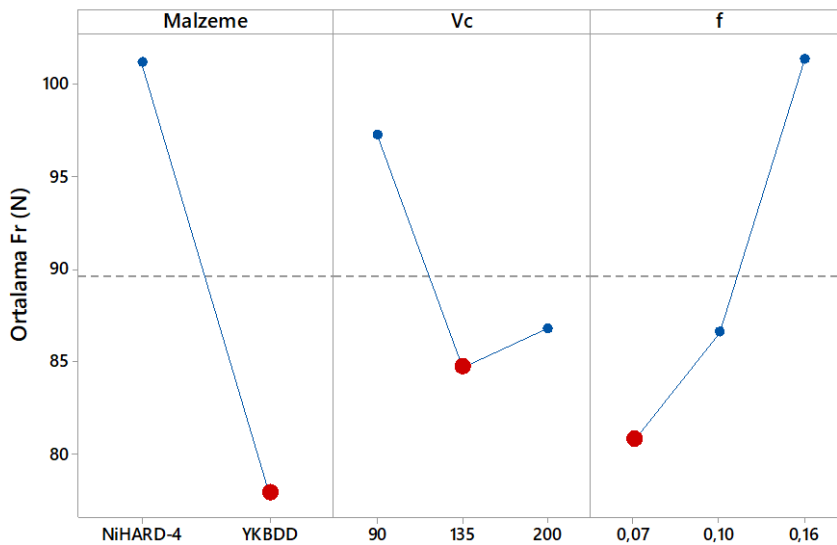
Çizelge 7. 39. CBN kuru işleme şartları Fc için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	1304,6	%15,11	1304,6	1304,58	16,45	0,002
Vc	2	1676,6	%19,41	1676,6	838,29	10,57	0,002
f	2	4703,6	%54,46	4703,6	2351,78	29,65	0,000
Hata	12	951,7	%11,02	951,7	79,31		
Toplam	17	8636,5	%100,00				

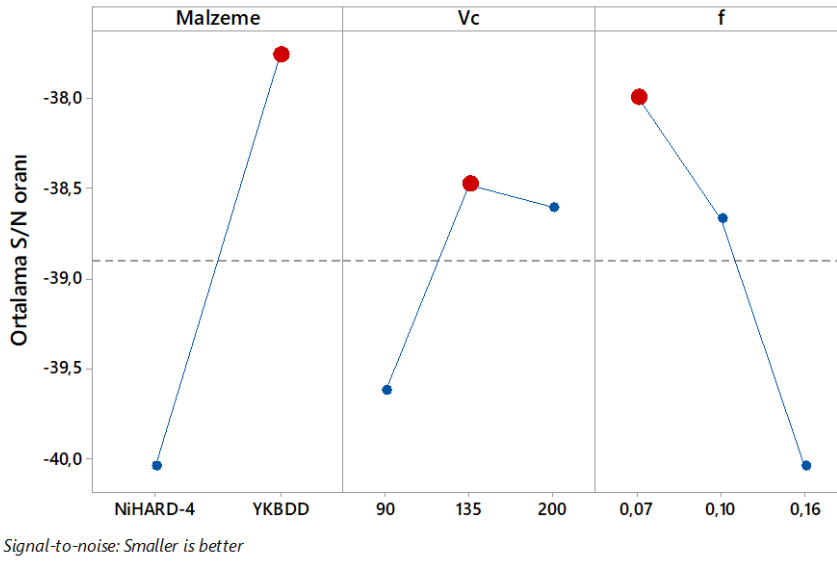
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %57,46 ile ilerleme faktörü (f), ikinci sırada %19,41 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az etkili parametre ise %15,11 ile malzeme faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin Fc için R^2 =%88,98 olarak oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN kuru işlemede Fr için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.19'da faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.20'de ise faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.19. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.20. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fr üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fr üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.19) ve Fr üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.20) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.40. ve Çizelge 7.41).

Çizelge 7. 40. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	101,23	97,24	80,82
2	77,97	84,73	86,61
3		86,83	101,36
Değişim	23,26	12,50	20,54
Sıralama	1	3	2

Çizelge 7. 41. CBN kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-40,04	-39,62	-37,99
2	-37,76	-38,48	-38,67
3		-38,60	-40,04
Değişim	2,29	1,14	2,06
Sıralama	1	3	2

Çizelge 7.40'ta faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.41'de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin malzeme faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme (f) faktörü ve kesme hızı (Vc) şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde

etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.42).

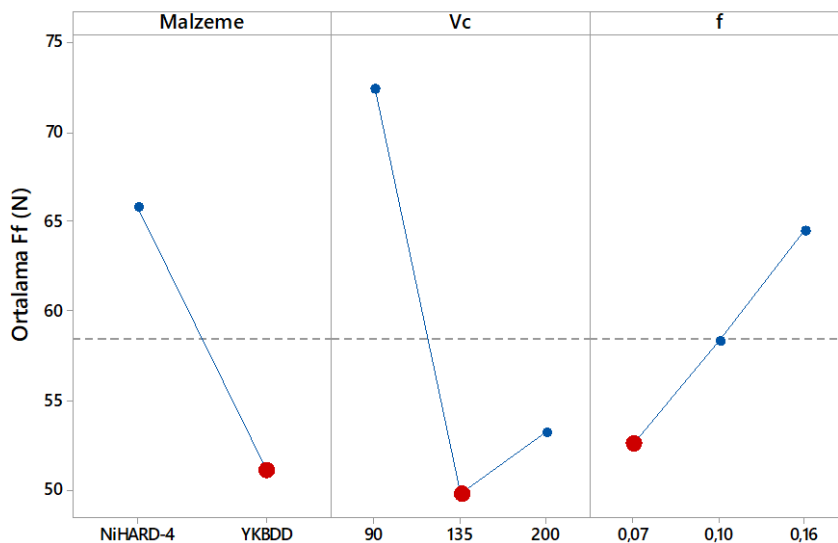
Çizelge 7.42. CBN kuru işleme şartları Fr için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	2433,7	%51,10	2433,7	2433,69	65,61	0,000
Vc	2	538,1	%11,30	538,1	269,06	7,25	0,009
f	2	1345,6	%28,25	1345,6	672,80	18,14	0,000
Hata	12	445,2	%9,35	445,2	37,10		
Toplam	17	4762,6	%100,00				

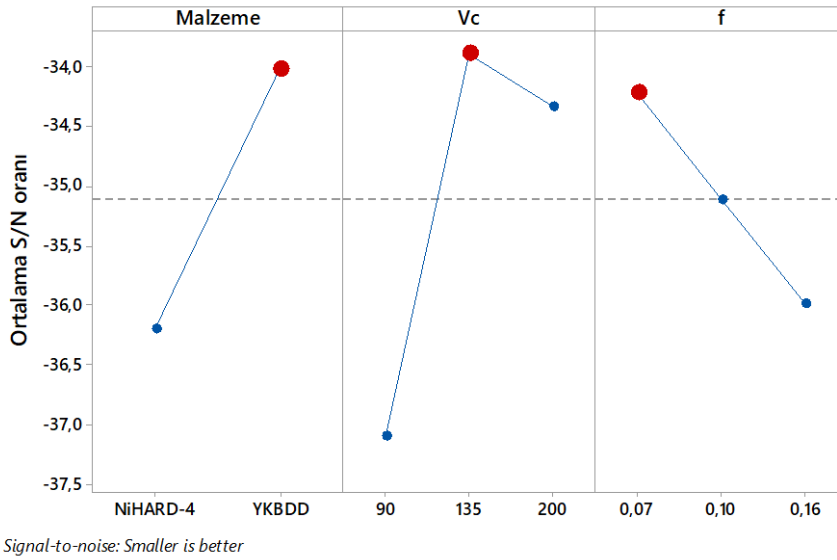
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %51,10 ile malzeme faktörü, ikinci sırada %28,25 ile ilerleme (f) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %11,30 ile kesme hızı (Vc) faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin Fr için R^2 =%90,65 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN kuru işlemede Ff için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.21'de faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.22'de ise faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.21. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.22. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ff üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ff üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.21) ve Ff üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.22) çizelgeler haline getirilmiştir. (Çizelge 7.43. ve Çizelge 7.44.).

Çizelge 7.43. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	65,83	72,39	52,59
2	51,10	49,79	58,31
3		53,21	64,49
Değişim	14,72	22,60	11,90
Sıralama	2	1	3

Çizelge 7. 44. CBN kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-36,20	-37,10	-34,22
2	-34,02	-33,89	-35,11
3		-34,33	-35,99
Değişim	2,18	3,21	1,77
Sıralama	2	1	3

Çizelge 7.43'te faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.44'te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin kesme hızı (Vc) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru) malzeme faktörü ve ilerleme (f) faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki

oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.45).

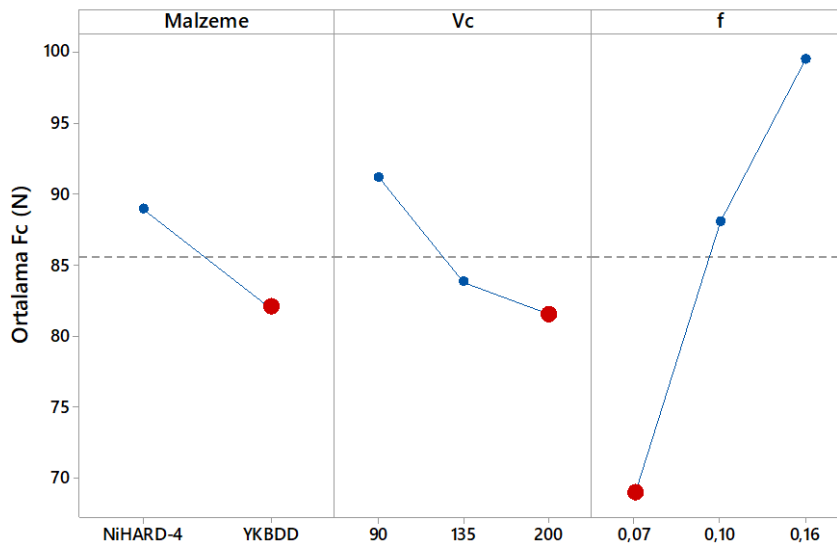
Çizelge 7.45. CBN kuru işleme şartları Ff için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	975,6	%28,94	975,6	975,64	61,61	0,000
Vc	2	1781,0	%52,82	1781,0	890,52	56,24	0,000
f	2	424,9	%12,60	424,9	212,46	13,42	0,001
Hata	12	190,0	%5,64	190,0	15,83		
Toplam	17	3371,6	%100,00				

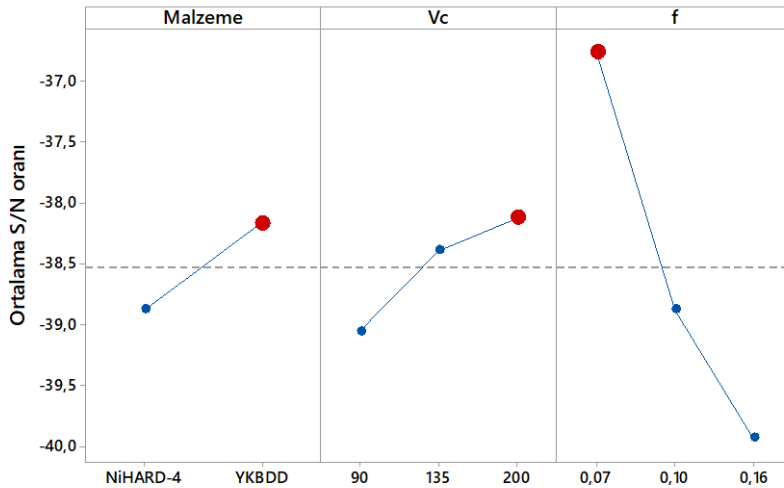
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %52,82 ile kesme hızı (Vc) faktörü, ikinci sırada %28,94 ile malzeme faktörü, üçüncü sırada ve en az etkili parametre ise %12,60 ile ilerleme (f) faktörü olmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin Ff için R^2 =%94,36 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN ıslak işlemede Fc için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.23'te faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.24'de ise faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.23. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.24. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fc üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fc üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.23) ve Fc üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.24) çizelgeler haline getirilmiştir. (Çizelge 7.46. ve Çizelge 7.47.).

Çizelge 7.46. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	89,01	91,22	69,03
2	82,05	83,81	88,07
3		81,57	99,50
Değişim	6,96	9,65	30,48
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7.47. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-38,88	-39,05	-36,76
2	-38,17	-38,39	-38,87
3		-38,13	-39,93
Değişim	0,71	0,93	3,17
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7.46'te faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.47'te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), kesme hızı (Vc) ve malzeme faktörü şeklindedir. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.48).

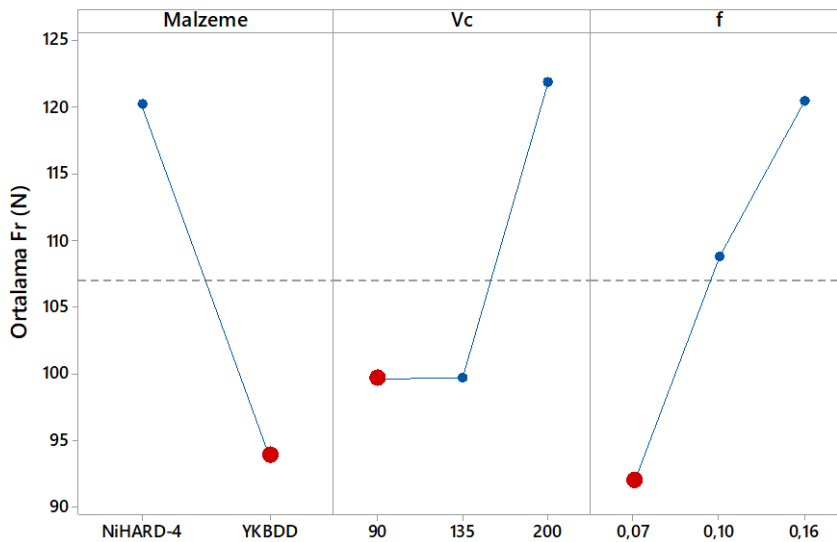
Çizelge 7.48. CBN ıslak işleme şartları Fc için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	217,8	%6,15	217,8	217,85	15,33	0,002
Vc	2	306,1	%8,65	306,1	153,07	10,77	0,002
f	2	2845,0	%80,38	2845,0	1422,50	100,08	0,000
Hata	12	170,6	%4,8	170,6	14,21		
Toplam	17	3539,6	%100,00				

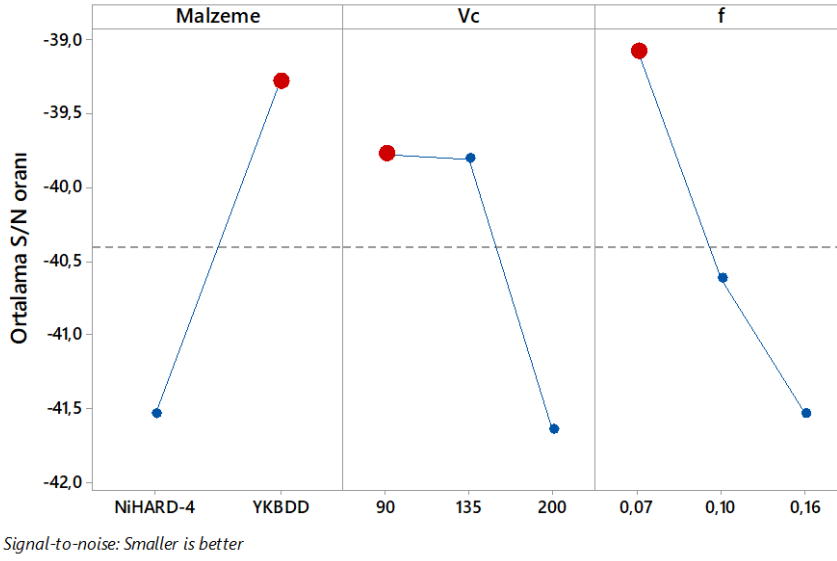
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %80,38 ile ilerleme faktörü (f), ikinci sırada %8,65 ile kesme hızı (Vc) faktörü, üçüncü sırada ve en az etkili parametre ise %6,15 ile malzeme faktörü şeklindedir. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin Fc üzerinde $R^2=95,20$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN ıslak işlemede Fr için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.25'te faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.26'da ise faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.25. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.26. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fr üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fr üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.25) ve Fr üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.26) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.49 ve Çizelge 7.50).

Çizelge 7.49. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	120,24	99,65	91,95
2	93,92	99,72	108,80
3		121,85	120,49
Değişim	26,32	22,20	28,54
Sıralama	2	3	1

Çizelge 7.50. CBN ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-41,54	-39,78	-39,08
2	-39,28	-39,81	-40,62
3		-41,65	-41,54
Değişim	2,26	1,87	2,46
Sıralama	2	3	1

Çizelge 7.49'da faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.50'de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), malzeme faktörü ve kesme hızı (Vc) faktörü şeklindedir. Doğru sıralamayı elde etmek ve

faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.51).

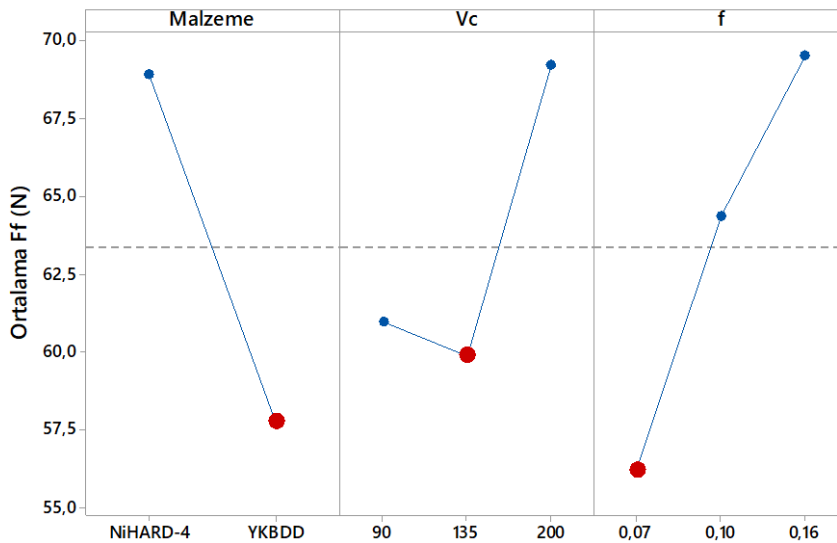
Çizelge 7.51. CBN ıslak işleme şartları Fr için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	3117,6	39,16%	3117,6	3117,60	91,78	0,000
Vc	2	1965,8	24,69%	1965,8	982,88	28,94	0,000
f	2	2469,6	31,02%	2469,6	1234,81	36,35	0,000
Hata	12	407,6	5,12%	407,6	33,97		
Toplam	17	7960,6	100,00%				

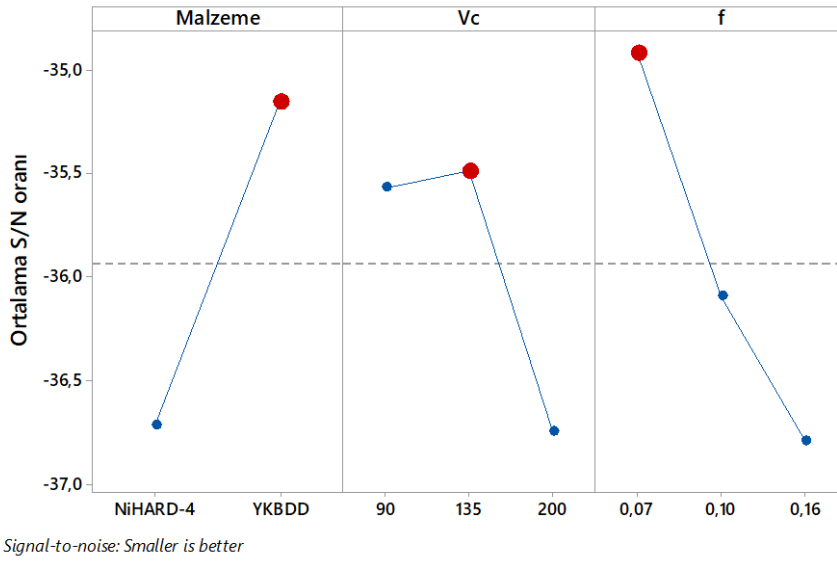
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %39,16 ile malzeme faktörü, ikinci sırada %31,02 ile ilerleme (f) faktörü ve üçüncü sırada en az etkili parametre ise %24,69 ile kesme hızı (Vc) faktörü şeklinde olduğu görülmektedir. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak kesme parametrelerinin Fr için R^2 =%94,88 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

CBN ıslak işlemede Ff için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.27'de faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.28'de ise faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.27. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7. 28. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ff üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ff üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.27) ve Ff üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.28) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.52 ve Çizelge 7.53).

Çizelge 7.52. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	68,89	60,95	56,19
2	57,78	59,88	64,34
3		69,18	69,48
Değişim	11,11	9,29	13,29
Sıralama	2	3	1

Çizelge 7. 53. CBN ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-36,72	-35,57	-34,92
2	-35,15	-35,49	-36,09
3		-36,75	-36,79
Değişim	1,56	1,25	1,87
Sıralama	2	3	1

Çizelge 7.52’de faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.53’te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve

faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.54).

Çizelge 7.54. CBN ıslak işleme şartları Ff için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	555,6	35,27%	555,6	555,56	39,08	0,000
Vc	2	310,3	19,70%	310,3	155,14	10,91	0,002
f	2	538,9	34,21%	538,9	269,43	18,95	0,000
Hata	12	170,6	10,83%	170,6	14,22		
Toplam	17	1575,3	100,00%				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %35,27 ile malzeme faktörü, ikinci sırada ilerleme (f) faktörü, üçüncü sırada ve en az etkili parametre ise %19,70 kesme hızı (Vc) faktörü olarak elde edilmiştir. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin Ff üzerinde $R^2=90,65$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

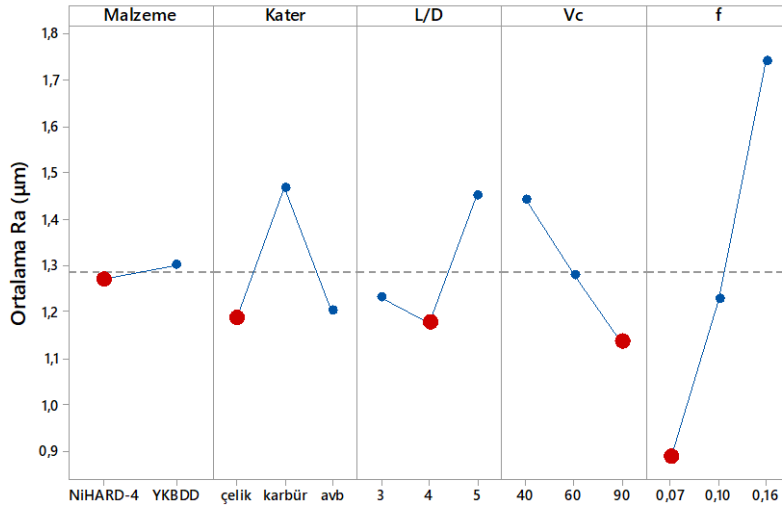
7.3. KARBÜR Kesici Uçlarla Yapılan Deney Sonuçlarının Taguchi ve Anova Analizi ile Değerlendirilmesi

7.3.1. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne (Ra) etkisi

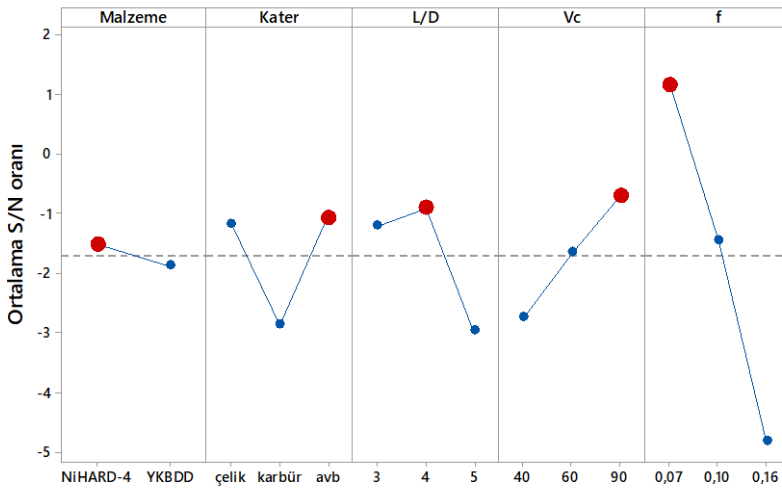
Deney sonuçlarından elde edilen yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Yüzey pürüzlülüğüne (Ra) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans analizi sonuçları, KARBÜR kuru işleme ve KARBÜR ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

KARBÜR kuru işlemede Ra için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.29'da faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.30'da ise faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.29. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.30. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ra üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ra üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.29) ve Ra üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.30) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.55 ve Çizelge 7.56).

Çizelge 7.55. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	1,2711	1,1883	1,2317	1,4417	0,8883
2	1,3022	1,4683	1,1767	1,2817	1,2283
3		1,2033	1,4517	1,1367	1,7433
Değişim	0,0311	0,28	0,275	0,305	0,855
Sıralama	5	3	4	2	1

Çizelge 7.56. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	-1,5198	-1,1626	-1,2086	-2,7381	1,1687
2	-1,8726	-2,8613	-0,9122	-1,6464	-1,4498
3		-1,0648	-2,9678	-0,7042	-4,8076
Değişim	0,3528	1,7966	2,0556	2,0339	5,9763
Sıralama	5	4	2	3	1

Çizelge 7.55’te faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.56’da S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü, kater faktörü ve ilerleme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.57).

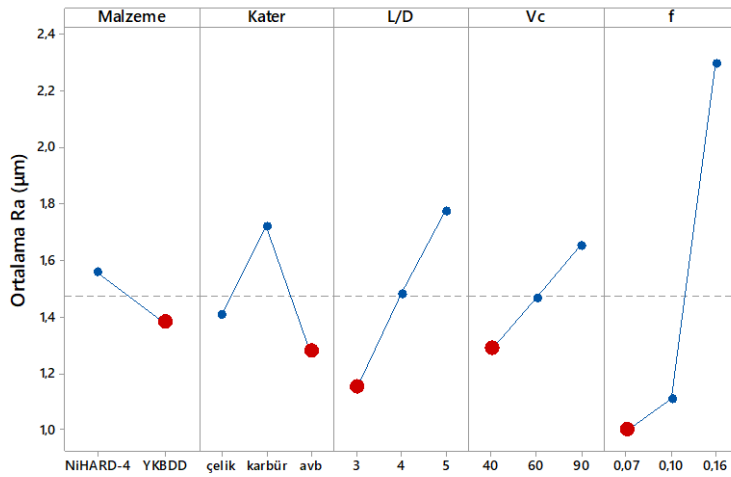
Çizelge 7.57. KARBÜR kuru işleme şartları Ra için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,00436	%0,14	0,00436	0,00436	0,23	0,642
Kater	2	0,2977	%9,28	0,2977	0,14885	7,96	0,013
L/D	2	0,2541	%7,92	0,2541	0,12705	6,79	0,019
Vc	2	0,2793	%8,70	0,2793	0,13965	7,47	0,015
f	2	2,2237	%69,30	2,2237	1,11185	59,44	0
Hata	8	0,14964	%4,66	0,14964	0,01871		
Toplam	17	3,2088	%100,00				

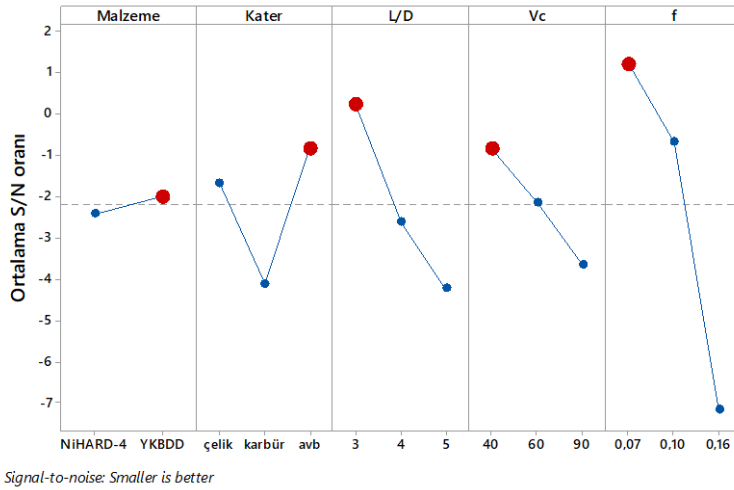
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre % 69,30 ile ilerleme faktörü (f), ikinci sırada %9,28 ile kater faktörü, üçüncü sırada %8,70 ile kesme hızı (Vc) faktörü, dördüncü sırada %7,92 ile L/D oranı faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %0,14 ile malzeme faktörü olarak sıralanmıştır. P-Değeri 0,05’ten küçük olan faktörler (L/D, kater, Vc, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin Ra için R^2 =%95,34 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede Ra için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.31’de faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.32’de ise faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.31. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.32. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ra üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ra üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.31) ve Ra üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.32) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.58 ve Çizelge 7.59).

Çizelge 7.58. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	1,558	1,408	1,15	1,287	1
2	1,38	1,72	1,482	1,467	1,108
3		1,278	1,775	1,653	2,298
Değişim	0,178	0,442	0,625	0,367	1,298
Sıralama	5	3	2	4	1

Çizelge 7.59. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ra üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	-2,4159	-1,6715	0,2233	-0,8433	1,2169
2	-2,0078	-4,1192	-2,6217	-2,1475	-0,679
3		-0,8449	-4,2372	-3,6448	-7,1735
Değişim	0,4082	3,2743	4,4604	2,8015	8,3904
Sıralama	5	3	2	4	1

Çizelge 7.58’de faktörlerin Ra üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.59’ d S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü, kater faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.60).

Çizelge 7.60. KARBÜR ıslak işleme şartları Ra için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,1422	%1,59	0,1422	0,14222	2,95	0,124
Kater	2	0,6182	%6,91	0,6182	0,30911	6,41	0,022
L/D	2	1,1733	%13,11	1,1733	0,58667	12,16	0,004
Vc	2	0,4034	%4,51	0,4034	0,20169	4,18	0,057
f	2	6,227	%69,58	6,227	3,11351	64,56	0
Hata	8	0,3858	%4,31	0,3858	0,04823		
Toplam	17	8,95	%100,00%				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %69,58 ile ilerleme (f) faktörü, ikinci sırada %13,11 ile L/D oranı faktörü üçüncü sırada %6,91 ile kater faktörü, dördüncü sırada %4,51 ile kesme hızı (Vc) faktörü, dördüncü sırada ve en az etkili parametre ise %1,59 ile malzeme faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. P-Değeri 0,05’ten küçük olan faktörler (L/D, kater, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin Ra için $R^2 = 95,69$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

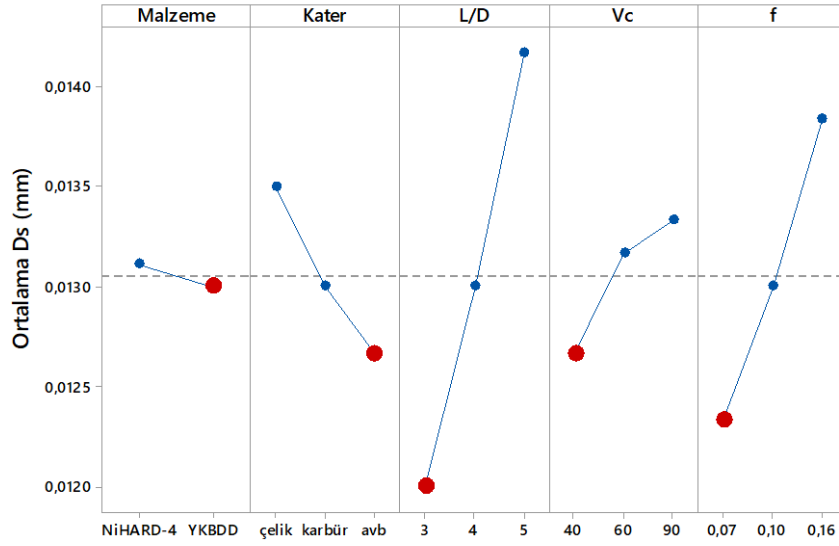
7.3.2. Kesme parametrelerinin dairesellikten sapmaya (Ds) etkisi

Deney sonuçlarından elde edilen dairesellikten sapma (Ds) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Dairesellikten sapma değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi”

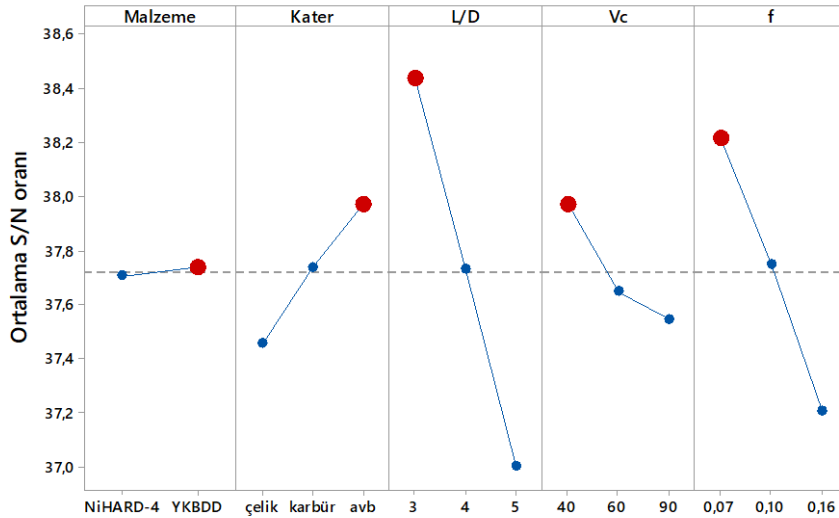
yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Dairesellikten sapmaya (D_s) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, KARBÜR kuru işleme ve KARBÜR ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

KARBÜR kuru işlemede D_s için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.33'te faktörlerin D_s üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.34'te ise faktörlerin D_s üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.33. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin D_s üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.34. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin D_s üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ds üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ds üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.33) ve Ds üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.34) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.61. ve Çizelge 7.62).

Çizelge 7.61. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,01311	0,0135	0,012	0,01267	0,01233
2	0,013	0,013	0,013	0,01317	0,013
3		0,01267	0,01417	0,01333	0,01383
Değişim	0,00011	0,00083	0,00217	0,00067	0,0015
Sıralama	5	3	1	4	2

Çizelge 7.62. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	37,71	37,46	38,44	37,97	38,21
2	37,74	37,74	37,73	37,65	37,75
3		37,97	37	37,55	37,21
Değişim	0,03	0,52	1,44	0,43	1,01
Sıralama	5	3	1	4	2

Çizelge 7.61’de faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.62’de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme (f) faktörü, kater faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.63).

Çizelge 7. 63. KARBÜR kuru işleme şartları Ds için Varyans analizi

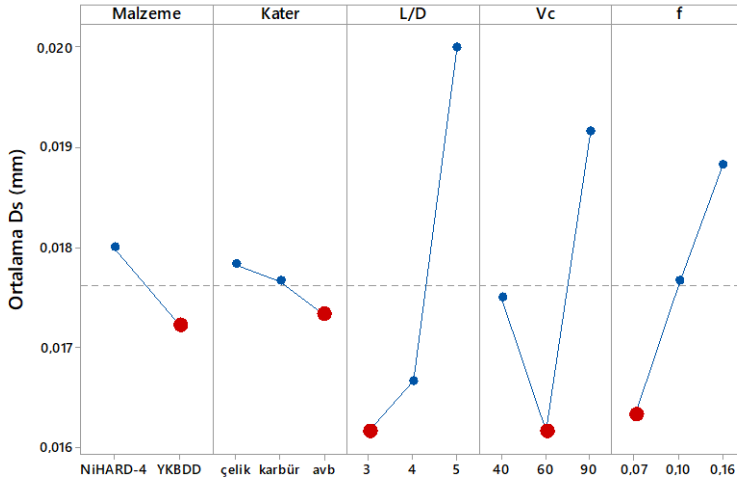
Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0	%0,21	0	0	0,18	0,681
Kater	2	0,000002	%7,84	0,000002	0,000001	3,45	0,083
L/D	2	0,000014	%52,37	0,000014	0,000007	23,09	0,000
Vc	2	0,000001	%5,36	0,000001	0,000001	2,36	0,156
f	2	0,000007	%25,15	0,000007	0,000003	11,09	0,005
Hata	8	0,000002	%9,07	0,000002	0		
Toplam	17	0,000027	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %52,37 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %25,15 ile ilerleme (f) faktörü, üçüncü sırada %7,84 ile kater faktörü, dördüncü sırada %5,36 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az

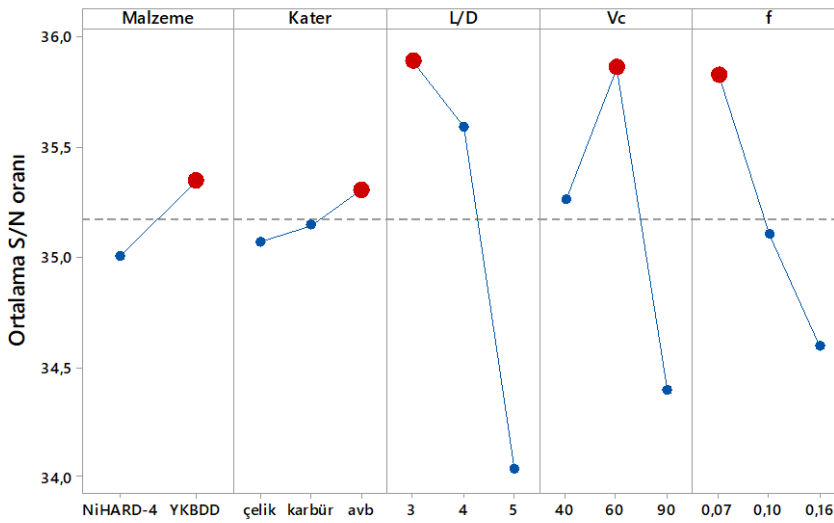
etkili parametre ise son sırada %0,21 ile malzeme faktörü olduğu görülmektedir. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin Ds üzerinde $R^2=\%90,93$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede Ds için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.35'te faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.36'da ise faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.35. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.36. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ds üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ds üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.35) ve Ds üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.36) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.64. ve Çizelge 7.65).

Çizelge 7.64. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,018	0,01783	0,01617	0,0175	0,01633
2	0,01722	0,01767	0,01667	0,01617	0,01767
3		0,01733	0,02	0,01917	0,01883
Değişim	0,00078	0,0005	0,00383	0,003	0,0025
Sıralama	4	5	1	2	3

Çizelge 7.65. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ds üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	35	35,07	35,89	35,26	35,82
2	35,34	35,14	35,59	35,86	35,1
3		35,3	34,04	34,39	34,59
Değişim	0,34	0,24	1,85	1,46	1,23
Sıralama	4	5	1	2	3

Çizelge 7.64'te faktörlerin Ds üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.65'te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), kesme hızı (Vc) faktörü, ilerleme (f) faktörü, malzeme faktörü ve kater faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.24).

Çizelge 7.66. KARBÜR ıslak işleme şartları Ds için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000003	%2,38	0,000003	0,000003	1,7	0,228
Kater	2	0,000001	%0,68	0,000001	0	0,24	0,789
L/D	2	0,000052	%45,60	0,000052	0,000026	16,31	0,002
Vc	2	0,000027	%23,72	0,000027	0,000014	8,49	0,011
f	2	0,000019	%16,43	0,000019	0,000009	5,88	0,027
Hata	8	0,000013	%11,18	0,000013	0,000002		
Toplam	17	0,000114	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %45,60 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %23,72 ile kesme hızı (Vc) faktörü, üçüncü sırada %16,43 ile ilerleme (f) faktörü, dördüncü sırada %2,38 ile malzeme faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %0,68 ile kater faktörü olduğu ortaya koyulmuştur.

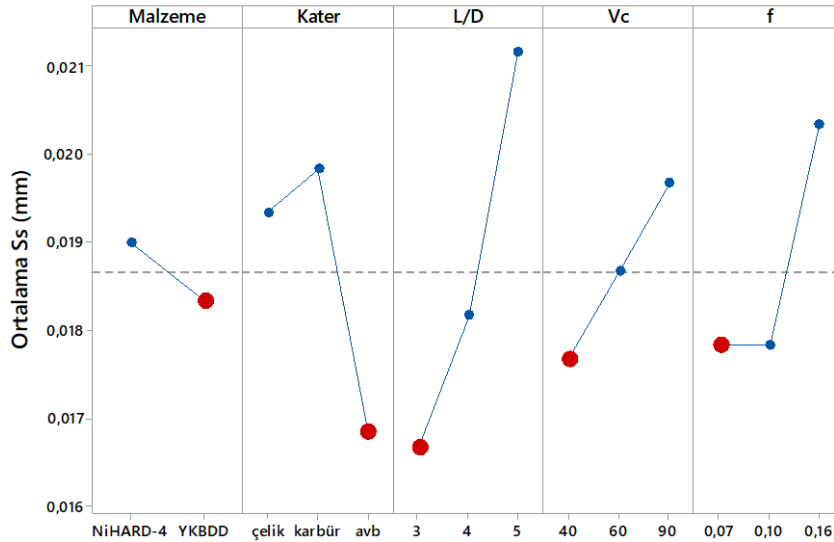
P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, Vc, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin Ds için $R^2= \% 88,82$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

7.3.3. Kesme parametrelerinin silindiriklikten sapmaya (Ss) etkisi

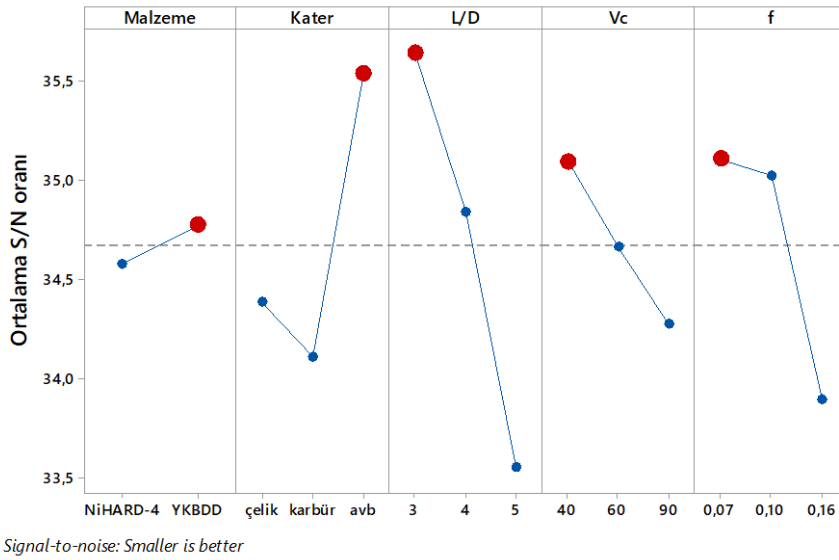
Deney sonuçlarından elde edilen silindiriklikten sapma (Ss) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Silindiriklikten sapma değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Silindiriklikten sapmaya (Ss) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, KARBÜR kuru işleme ve KARBÜR ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

KARBÜR kuru işlemede Ss için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.37'de faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.38'de ise faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.37. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.38. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ss üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ss üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.37) ve Ss üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.38) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.67. ve Çizelge 7.68).

Çizelge 7.67. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,019	0,01933	0,01667	0,01767	0,01783
2	0,01833	0,01983	0,01817	0,01867	0,01783
3		0,01683	0,02117	0,01967	0,02033
Değişim	0,00067	0,003	0,0045	0,002	0,0025
Sıralama	5	2	1	4	3

Çizelge 7.68. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	34,58	34,38	35,64	35,09	35,11
2	34,77	34,11	34,84	34,66	35,02
3		35,54	33,55	34,27	33,9
Değişim	0,19	1,43	2,09	0,82	1,21
Sıralama	5	2	1	4	3

Çizelge 7.67’de faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.68’de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), kater faktörü, ilerleme (f) faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde

sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır. (Çizelge 7.69).

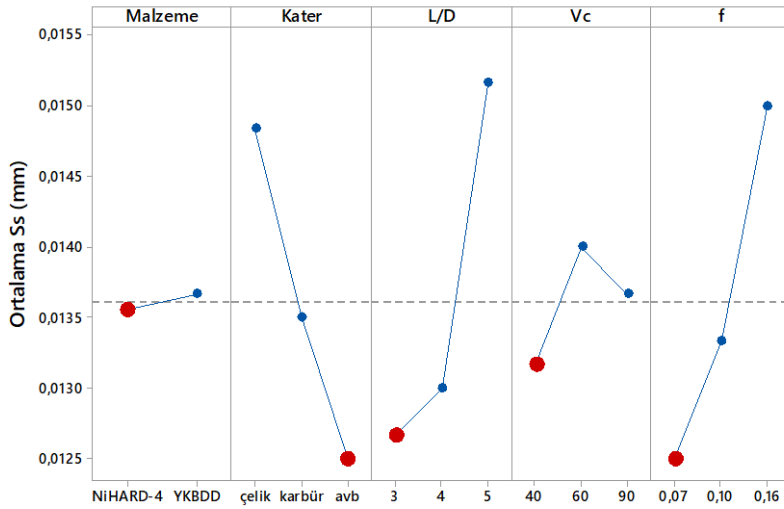
Çizelge 7.69.KARBÜR kuru işleme şartları Ss için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000002	%1,41	0,000002	0,000002	1,78	0,219
Kater	2	0,000031	%21,83	0,000031	0,000016	13,78	0,003
L/D	2	0,000063	%44,37	0,000063	0,000032	28	0
Vc	2	0,000012	%8,45	0,000012	0,000006	5,33	0,034
f	2	0,000025	%17,61	0,000025	0,000013	11,11	0,005
Hata	8	0,000009	%6,34	0,000009	0,000001		
Toplam	17	0,000142	%100,00				

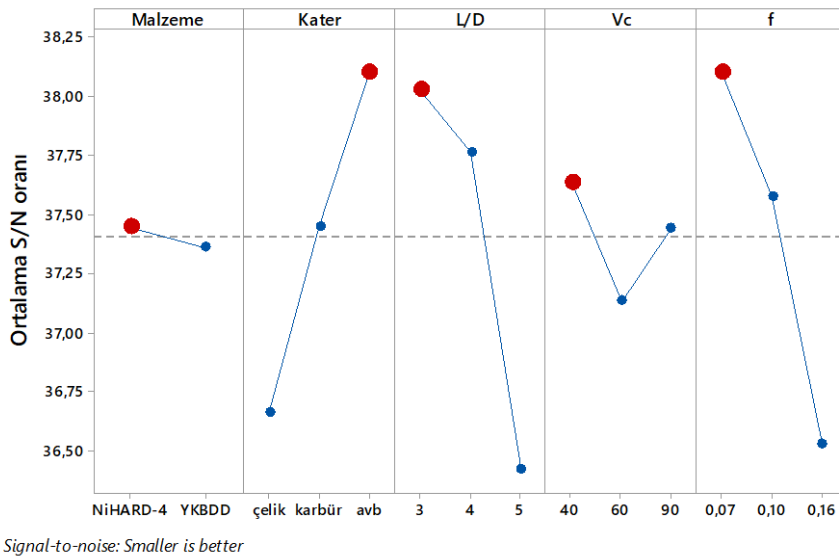
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %44,37 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %21,83 ile kater faktörü, üçüncü sırada %17,61 ile ilerleme (f) faktörü, dördüncü sırada %8,45 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %1,41 ile malzeme faktörü olarak görülmektedir. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater, Vc, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin Ss için R^2 =%93,66 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede Ss için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.39'da faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.40'ta ise faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.39. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.40. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ss üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ss üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.39) ve Ra üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.40) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.70 ve Çizelge 7.71).

Çizelge 7.70. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,01356	0,01483	0,01267	0,01317	0,0125
2	0,01367	0,0135	0,013	0,014	0,01333
3		0,0125	0,01517	0,01367	0,015
Değişim	0,00011	0,00233	0,0025	0,00083	0,0025
Sıralama	4	2	1	3	1

Çizelge 7.71. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ss üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	37,45	36,66	38,03	37,64	38,11
2	37,36	37,45	37,76	37,13	37,58
3		38,11	36,42	37,44	36,53
Değişim	0,09	1,45	1,61	0,51	1,58
Sıralama	5	3	1	4	2

Çizelge 7.70’te faktörlerin Ss üzerindeki ortalama etkileri incelendiğinde en fazla değişimin L/D oranı ve ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, (büyükten-küçüğü doğru), kater faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Çizelge 7.71’de S/N oranları değerleri incelendiğinde en fazla değişimin L/D oranında olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, (büyükten

küçüğe doğru) ilerleme (f) faktörü, kater faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.72).

Çizelge 7.72. KARBÜR ıslak işleme şartları Ss için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0	0,09%	0	0	0,11	0,751
Kater	2	0,000016	25,58%	0,000016	0,000008	16	0,002
L/D	2	0,000022	34,40%	0,000022	0,000011	21,51	0,001
Vc	2	0,000002	3,28%	0,000002	0,000001	2,05	0,191
f	2	0,000019	30,25%	0,000019	0,00001	18,92	0,001
Hata	8	0,000004	6,40%	0,000004	0,000001		
Toplam	17	0,000064	100,00%				

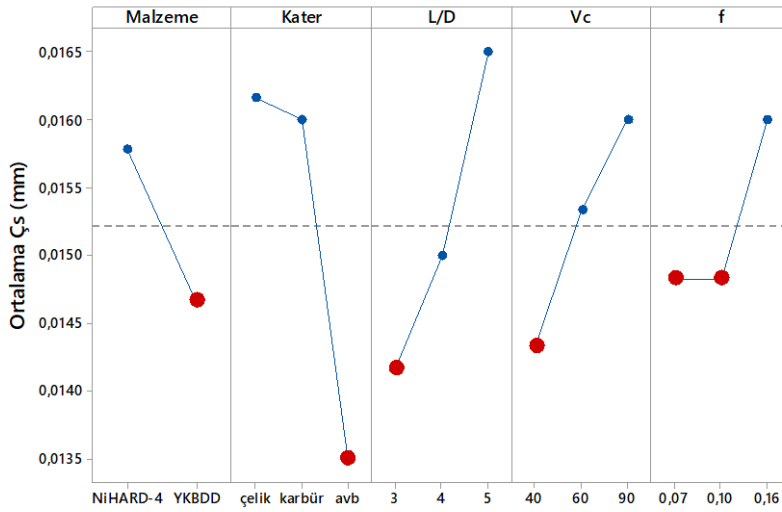
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %34,40 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %30,25 ile ilerleme (f) faktörü, üçüncü sırada %25,58 ile kater faktörü, dördüncü sırada %3,28 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %0,09 ile malzeme faktörü şeklinde görülmektedir. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin Ss için R^2 =%93,60 olarak oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

7.3.4. Kesme parametrelerinin çaptan sapmaya (Çs) etkisi

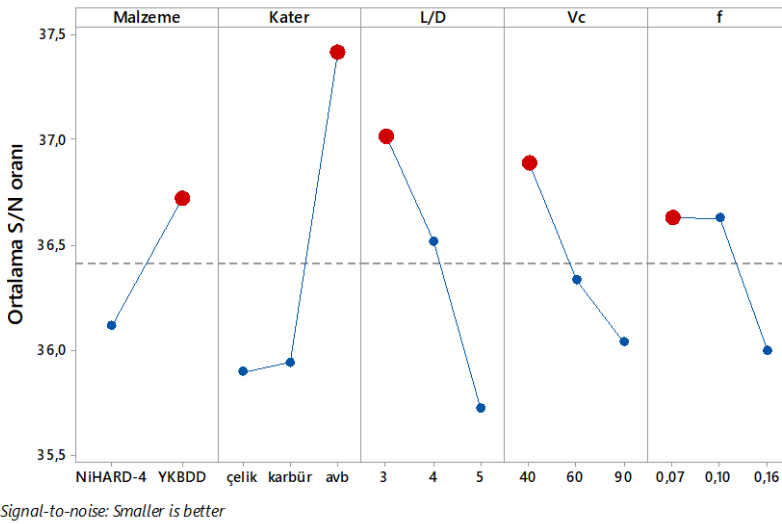
Deney sonuçlarından elde edilen çaptan sapma (Çs) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Çaptan sapma değerlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Çaptan sapmaya (Çs) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, KARBÜR kuru işleme ve KARBÜR ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

KARBÜR kuru işlemede Çs için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.41'de faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.42'de ise faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.41. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.42. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Çs üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Çs üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.41) ve Çs üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.42) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.73. ve Çizelge 7.74).

Çizelge 7.73. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,01578	0,01617	0,01417	0,01433	0,01483
2	0,01467	0,016	0,015	0,01533	0,01483
3		0,0135	0,0165	0,016	0,016
Değişim	0,00111	0,00267	0,00233	0,00167	0,00117
Sıralama	5	1	2	3	4

Çizelge 7. 74.KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	36,11	35,89	37,01	36,89	36,63
2	36,72	35,94	36,52	36,33	36,63
3		37,42	35,72	36,03	35,99
Değişim	0,61	1,52	1,3	0,85	0,63
Sıralama	5	1	2	3	4

Çizelge 7.73'te faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.74'te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin kater faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı faktörü, kesme hızı (Vc) faktörü, ilerleme (f) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.75).

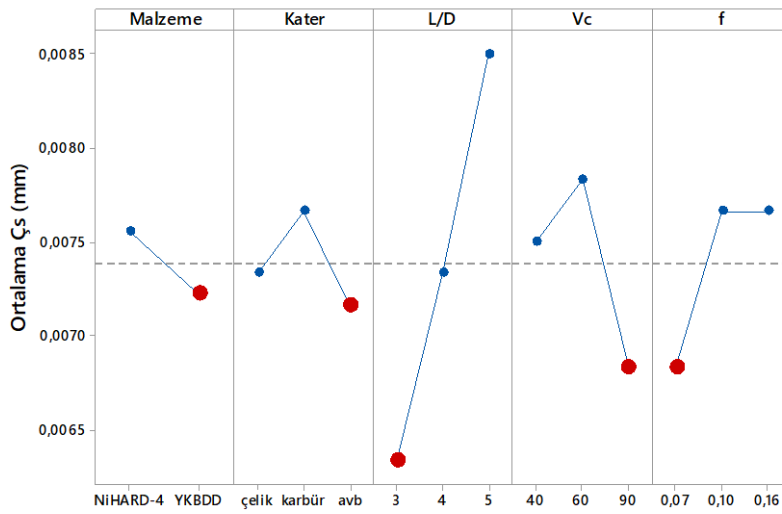
Çizelge 7.75. KARBÜR kuru işleme şartları Çs için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000006	%8,53	0,000006	0,000006	21,05	0,002
Kater	2	0,000027	%41,13	0,000027	0,000013	50,74	0
L/D	2	0,000017	%25,77	0,000017	0,000008	31,79	0
Vc	2	0,000008	%12,97	0,000008	0,000004	16	0,002
f	2	0,000005	%8,36	0,000005	0,000003	10,32	0,006
Hata	8	0,000002	%3,24	0,000002	0		
Toplam	17	0,000065	%100,00				

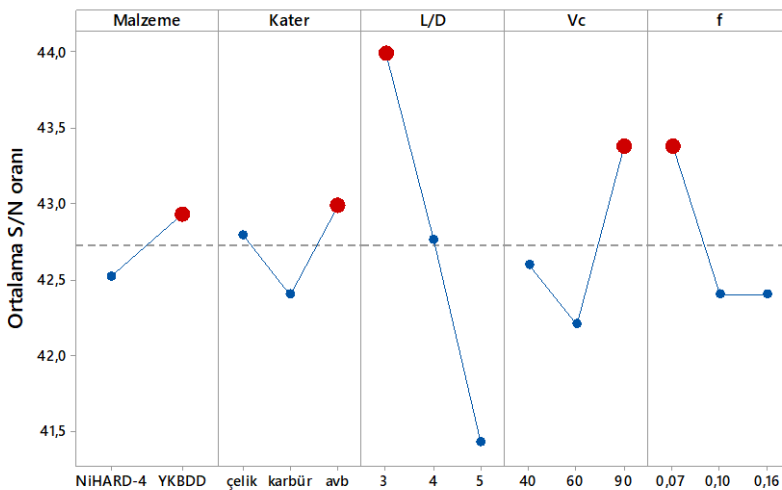
Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %41,13 ile kater, ikinci sırada %25,77 ile L/D oranı faktörü, üçüncü sırada %12,97 ile kesme hızı (Vc) faktörü, dördüncü sırada %8,53 ile malzeme faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %8,36 ile ilerleme (f) faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin Çs için R^2 =%96,76 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede Çs için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.43'te faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.44'te ise faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.43. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.44. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Çs üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Çs üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.43) ve Çs üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.44) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.76. ve Çizelge 7.77).

Çizelge 7.76. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	0,007556	0,007333	0,006333	0,0075	0,006833
2	0,007222	0,007667	0,007333	0,007833	0,007667
3		0,007167	0,0085	0,006833	0,007667
Değişim	0,000333	0,0005	0,002167	0,001	0,000833
Sıralama	5	4	1	2	3

Çizelge 7.77. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Çs üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	42,52	42,79	43,99	42,59	43,38
2	42,93	42,4	42,76	42,21	42,4
3		42,99	41,43	43,38	42,4
Değişim	0,41	0,59	2,56	1,17	0,98
Sıralama	5	4	1	2	3

Çizelge 7.76’da faktörlerin Çs üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.77’de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin L/D oranı faktörü faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisinde de (büyükten-küçüğü doğru), kesme hızı (Vc) faktörü, ilerleme (f) faktörü, kater faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.78).

Çizelge 7.78. KARBÜR ıslak işleme şartları Çs için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000001	%2,24	0	0	4	0,081
Kater	2	0,000001	%3,49	0,000001	0	3,11	0,1
L/D	2	0,000014	%63,34	0,000014	0,000007	56,44	0
Vc	2	0,000003	%13,97	0,000003	0,000002	12,44	0,004
f	2	0,000003	%12,47	0,000003	0,000001	11,11	0,005
Hata	8	0,000001	%4,49	0,000001	0		
Toplam	17	0,000022	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %63,34 ile L/D oranı faktörü, ikinci sırada %13,97 ile kesme hızı (Vc) faktörü, üçüncü sırada %12,47 ile ilerleme (f) faktörü, dördüncü sırada %3,49 ile kater faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %2,24 ile malzeme faktörü olduğu ortaya koyulmuştur. P-Değeri 0,05’ten küçük olan faktörler (L/D, Vc, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin Çs üzerinde R^2 =%95,51 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

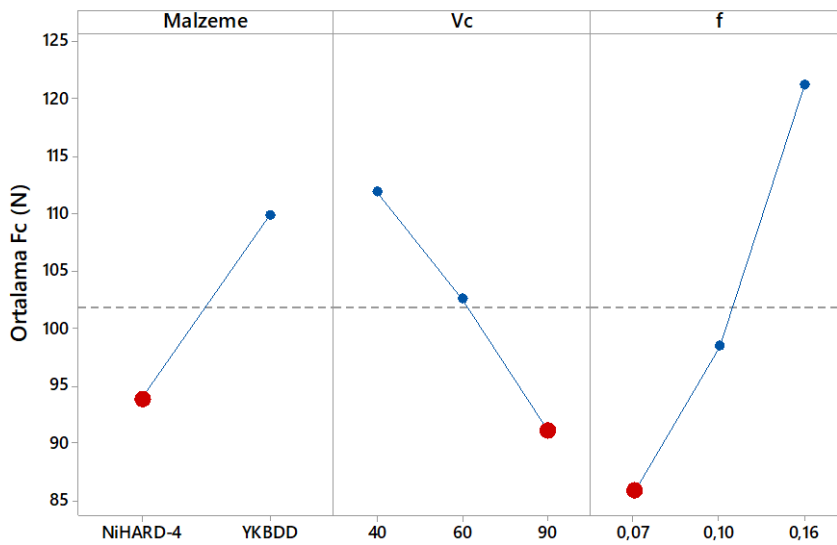
7.3.5. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine (Fc,Fr,Ff) etkisi

Deney sonuçlarından elde edilen kesme kuvvetleri (Fc:Esas kesme kuvveti, Fr:Radyal kuvvet, Ff: ilerleme kuvveti) değerleri üzerinde kesme parametrelerinin etkileri Taguchi analizi ile incelenmiştir. Kesme kuvvetlerinin düşük olması ideal olduğu için Taguchi analiz

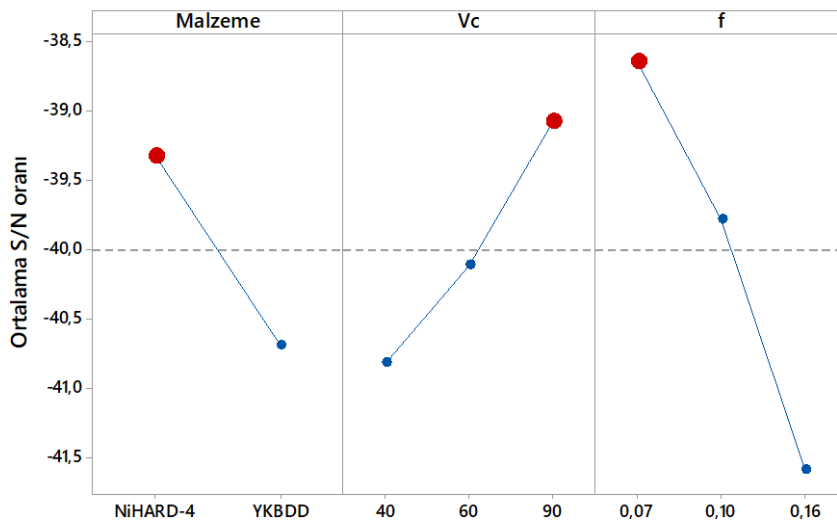
yöntemlerinden “küçük olan daha iyi” yöntemi kullanılmıştır (bkz Eş. 6.3). Kesme kuvvetlerine (Fc,Fr,Ff) yönelik yapılan Taguchi analizi ve varyans sonuçları, KARBÜR kuru işleme ve KARBÜR ıslak işleme için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

KARBÜR ıslak işlemede Fc için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.45'te faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.46'da ise faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.45. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.46. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fc üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fc üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.45) ve Fc üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.46) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.79 ve Çizelge 7.80).

Çizelge 7.79. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	93,86	111,88	85,79
2	109,83	102,56	98,43
3		91,10	121,32
Değişim	15,97	20,78	35,53
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7.80. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-39,32	-40,82	-38,64
2	-40,68	-40,11	-39,78
3		-39,08	-41,58
Değişim	1,36	1,74	2,94
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7.79’da faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.80’de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.81).

Çizelge 7.81. KARBÜR kuru işleme şartları Fc için Varyans analizi

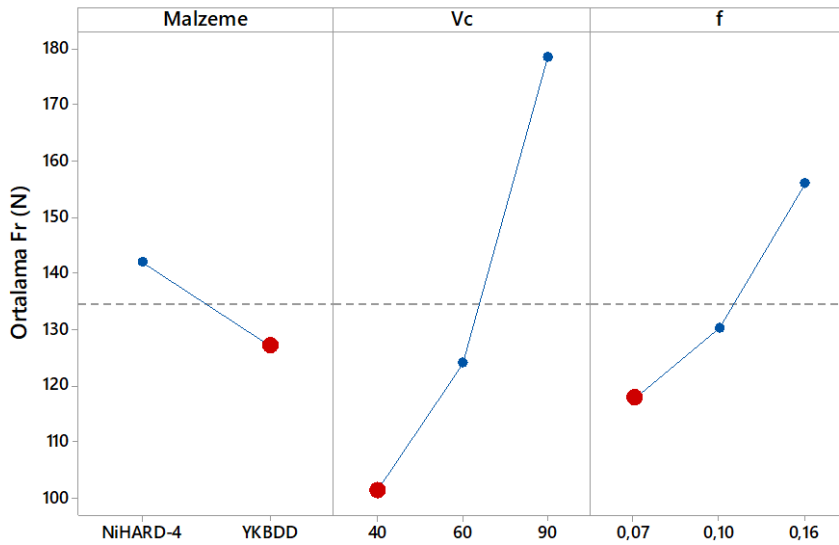
Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	1147,4	%16,41	1147,4	1147,36	21,21	0,001
Vc	2	1300,2	%18,60	1300,2	650,1	12,02	0,001
f	2	3893,1	%55,70	3893,1	1946,55	35,99	0,000
Hata	12	649,1	%9,29	649,1	54,09		
Toplam	17	6989,8	100,00%				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %55,70 ile ilerleme faktörü (f), ikinci sırada %18,60 ile kesme hızı (Vc) faktörü ve en az etkili parametre ise %16,41 ile malzeme faktörü olduğu görülmektedir. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05’ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans

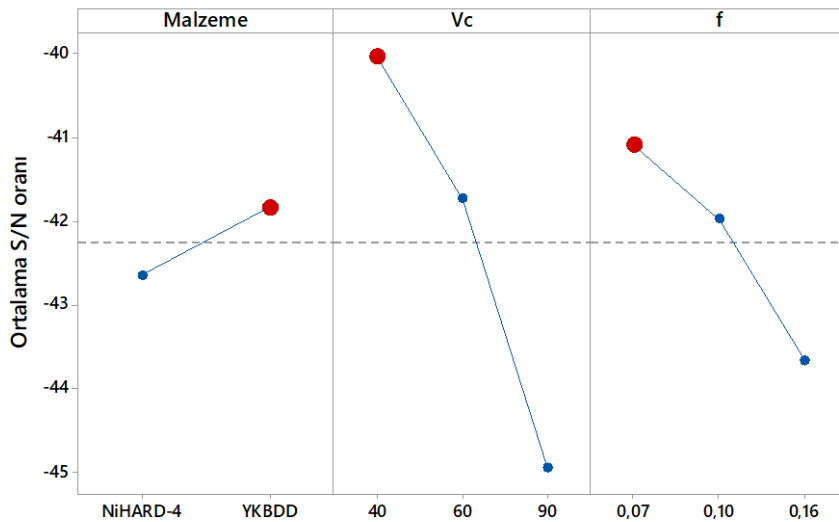
analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin F_c için $R^2=\%90,71$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR kuru işlemede F_r için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.47’de faktörlerin F_r üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.48’de ise faktörlerin F_r üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.47. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin F_r üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.48. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin F_r üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fr üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fr üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.47) ve Fr üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.48) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.82. ve Çizelge 7.83).

Çizelge 7.82.KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	142,1	101,5	117,8
2	127,2	124,0	130,3
3		178,4	155,9
Değişim	14,9	77,0	38,1
Sıralama	3	1	2

Çizelge 7.83. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-42,65	-40,04	-41,1
2	-41,85	-41,74	-41,98
3		-44,97	-43,67
Değişim	0,81	4,93	2,57
Sıralama	3	1	2

Çizelge 7.82’de faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.83’te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin kesme hızı (Vc) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme (f) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.84).

Çizelge 7.84. KARBÜR kuru işleme şartları Fr için Varyans analizi

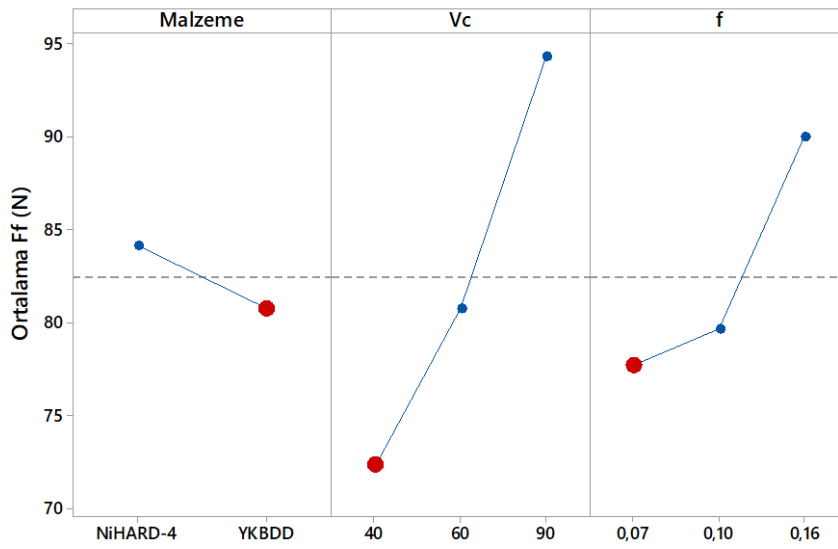
Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	1001	%3,91	1001	1001,4	9,19	0,010
Vc	2	18785	%73,31	18785	9392,5	86,16	0,000
f	2	4529	%17,67	4529	2264,3	20,77	0,000
Hata	12	1308	%5,11	1308	109		
Toplam	17	25623	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %73,91 ile kesme hızı (Vc) faktörü, ikinci sırada %17,67 ile ilerleme (f) faktörü ve en az etkili parametre ise son sırada %3,91 ile malzeme faktörü olduğu ortaya

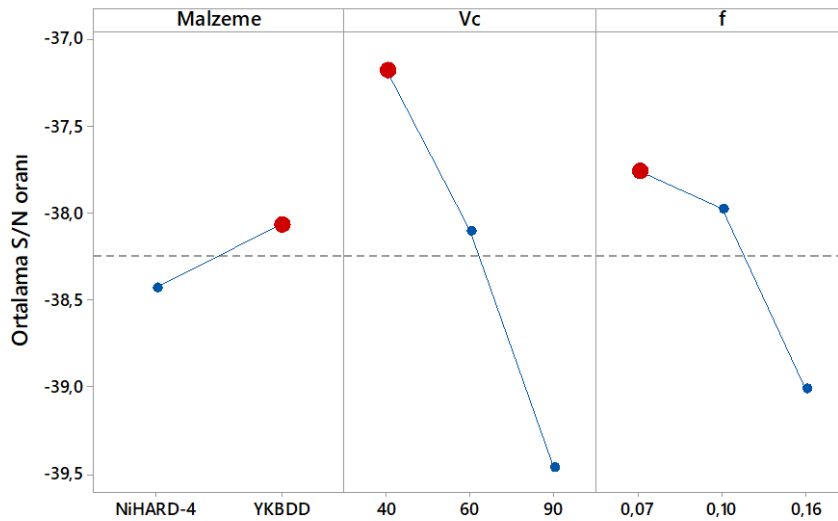
koyulmuştur. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin Fr için $R^2=94,89$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR kuru işlemede Ff için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.49'da faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.50'de ise faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.49. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri.



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.50. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ff üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ff üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.49) ve Ff üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.50) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.85. ve Çizelge 7.86).

Çizelge 7.85. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	84,18	72,35	77,74
2	80,77	80,77	79,67
3		94,32	90,02
Değişim	3,40	21,97	12,28
Sıralama	3	1	2

Çizelge 7.86. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-38,43	-37,17	-37,76
2	-38,06	-38,1	-37,97
3		-39,46	-39,01
Değişim	0,36	2,29	1,26
Sıralama	3	1	2

Çizelge 7.85'te faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.86'da S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin kesme hızı (Vc) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru) ilerleme (f) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.87).

Çizelge 7.87. KARBÜR kuru işleme şartları Ff için Varyans analizi

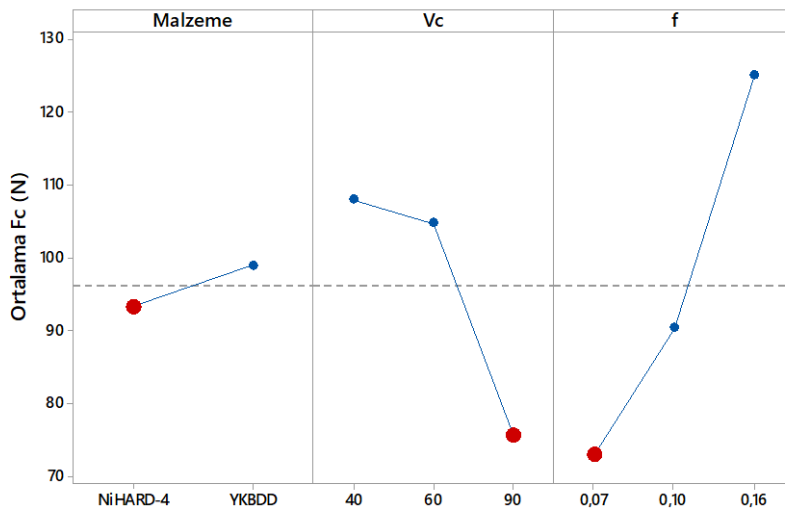
Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	52,16	%2,26	52,16	52,16	2,45	0,143
Vc	2	1475,07	%63,96	1475,07	737,54	34,68	0
f	2	523,67	%22,71	523,67	261,83	12,31	0,001
Hata	12	255,22	%11,07	255,22	21,27		
Toplam	17	2306,11	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %63,96 ile kesme hızı (Vc) faktörü, ikinci sırada %22,77 ile ilerleme (f) faktörü, üçüncü sırada ve en az etkili parametre ise %2,26 ile malzeme faktörü olmuştur. P-Değeri

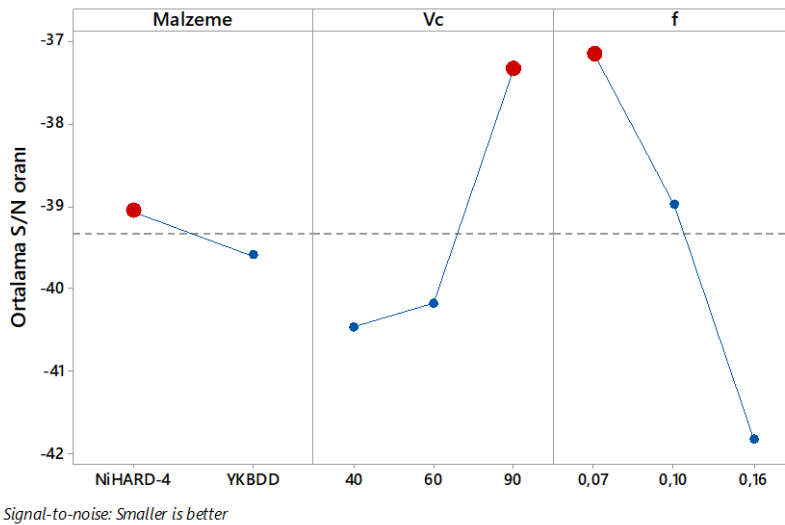
0,05'ten küçük olan faktörler (Vc, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin Ff üzerinde $R^2=88,93$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede Fc için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.51'de faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.52'de ise faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.51. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri



Şekil 7.52. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fc üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fc üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.51) ve Fc üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.52) çizelgeler haline getirilmiştir. (Çizelge 7.88. ve Çizelge 7.89).

Çizelge 7.88. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	93,32	107,99	73,05
2	98,99	104,80	90,39
3		75,68	125,02
Değişim	5,68	32,31	51,97
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7.89. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fc üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-39,06	-40,46	-37,16
2	-39,59	-40,18	-38,99
3		-37,33	-41,84
Değişim	0,53	3,13	4,68
Sıralama	3	2	1

Çizelge 7.51’de faktörlerin Fc üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.52’de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), kesme hızı (Vc) faktörü ve malzeme faktörü şeklindedir. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.90).

Çizelge 7.90. KARBÜR ıslak işleme şartları Fc için Varyans analizi

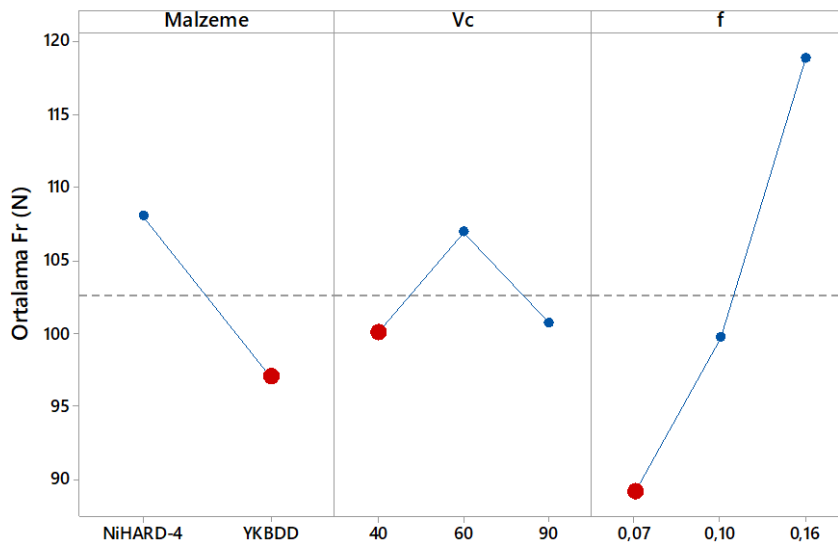
Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	145	%1,15	145	144,95	6,11	0,029
Vc	2	3804,3	%30,11	3804,3	1902,15	80,12	0,000
f	2	8401,6	%66,49	8401,6	4200,79	176,94	0,000
Hata	12	284,9	%2,25	284,9	23,74		
Toplam	17	12635,7	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %66,49 ile ilerleme faktörü (f), ikinci sırada %30,11 ile kesme hızı (Vc) faktörü, üçüncü sırada ve en az etkili parametre ise %1,15 ile malzeme faktörü şeklindedir. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05’ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans

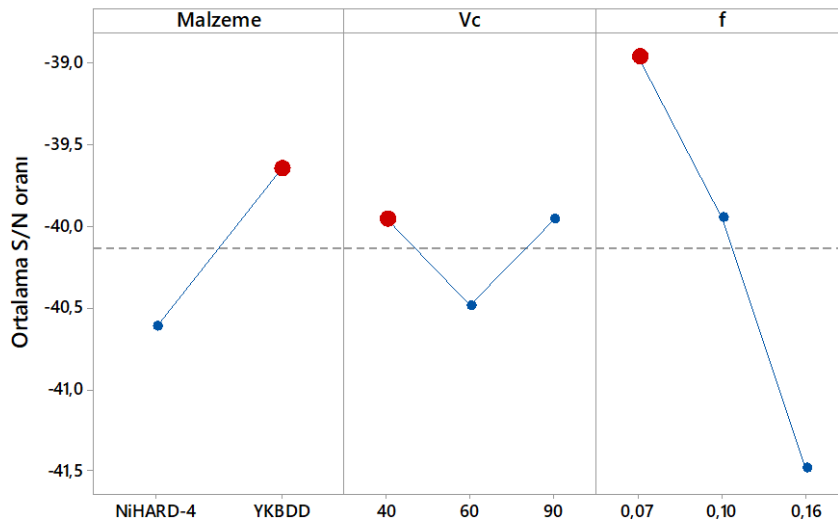
analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin F_c için $R^2=\%90,71$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede F_r için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.53'te faktörlerin F_r üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.54'te ise faktörlerin F_r üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.53. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin F_r üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.54. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin F_r üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Fr üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Fr üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.53) ve Fr üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.54) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.91 ve Çizelge 7.92).

Çizelge 7.91. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	108,08	100,10	89,22
2	97,08	106,92	99,69
3		100,72	118,82
Değişim	11,00	6,81	29,61
Sıralama	2	3	1

Çizelge 7.92. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Fr üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-40,62	-39,96	-38,96
2	-39,65	-40,49	-39,95
3		-39,96	-41,49
Değişim	0,97	0,53	2,52
Sıralama	2	3	1

Çizelge 7.91’de faktörlerin Fr üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.92’de S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin ilerleme (f) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), malzeme faktörü ve kesme hızı (Vc) faktörü şeklindedir. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.93).

Çizelge 7.93. KARBÜR ıslak işleme şartları Fr için Varyans analizi

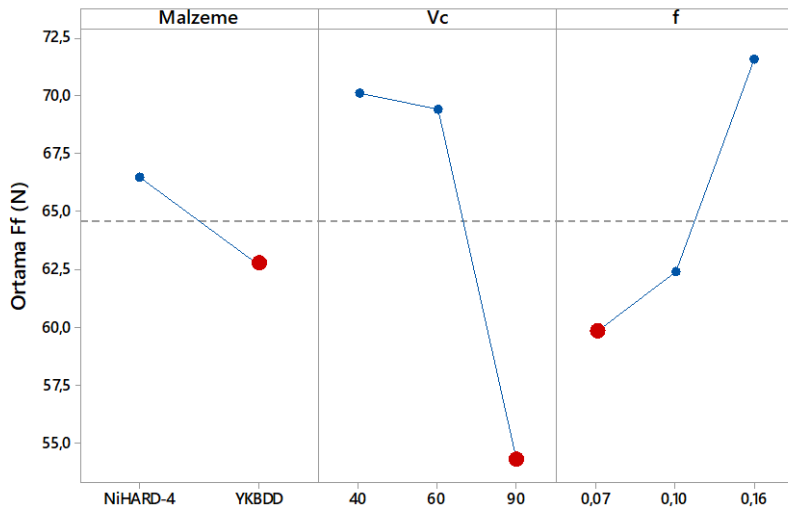
Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	544,9	% 14,70	544,9	544,94	22,68	0,000
Vc	2	170,4	% 4,60	170,4	85,22	3,55	0,062
f	2	2704,5	% 72,93	2704,5	1352,27	56,29	0,000
Hata	12	288,3	% 7,77	288,3	24,02		
Toplam	17	3708,2	% 100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %72,93 ile ilerleme (f) faktörü, ikinci sırada %14,70 ile malzeme faktörü ve üçüncü sırada en az etkili parametre ise %4,60 ile kesme hızı (Vc) faktörü şeklinde olduğu görülmektedir. P-Değeri 0,05’ten küçük olan faktörler (malzeme, f) istatistiksel olarak

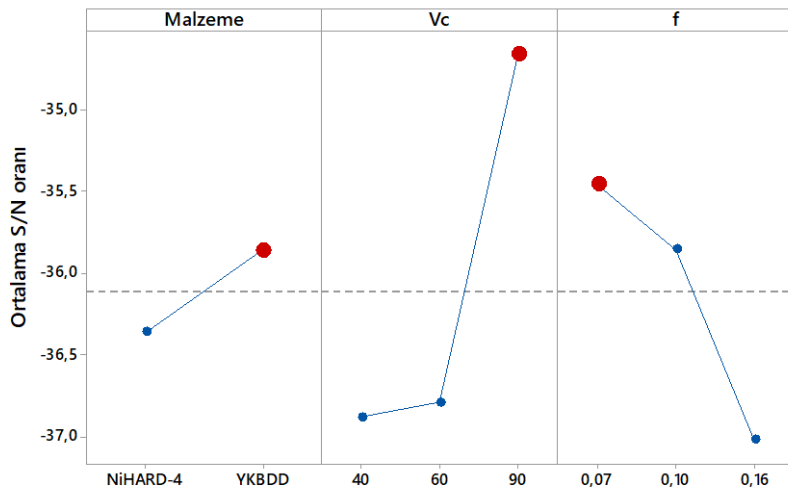
anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin Fr için $R^2=92,23$ oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede Ff için Taguchi ve Varyans analizi

Şekil 7.55'te faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri, Şekil 7.56'da ise faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları verilmiştir.



Şekil 7.55. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri



Signal-to-noise: Smaller is better

Şekil 7.56. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin Ff üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, Ff üzerindeki ortalama etkiler (Şekil 7.55) ve Ff üzerindeki S/N oranları değerleri (Şekil 7.56) çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 7.94 ve Çizelge 7.95).

Çizelge 7.94. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri

Level	Malzeme	Vc	f
1	66,46	70,08	59,83
2	62,74	69,41	62,40
3		54,31	71,57
Değişim	3,72	15,77	11,74
Sıralama	3	1	2

Çizelge 7.95. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin Ff üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Vc	f
1	-36,36	-36,88	-35,46
2	-35,86	-36,79	-35,85
3		-34,66	-37,02
Değişim	0,5	2,22	1,57
Sıralama	3	1	2

Çizelge 7.94'te faktörlerin Ff üzerindeki ortalama etkileri ve Çizelge 7.95'te S/N oranları değerleri incelendiğinde her ikisinde de en fazla değişimin kesme hızı (Vc) faktöründe olduğu görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler ise, her ikisi için de (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme (f) faktörü ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Doğru sıralamayı elde etmek ve faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.96).

Çizelge 7.96. KARBÜR ıslak işleme şartları Ff için Varyans analizi

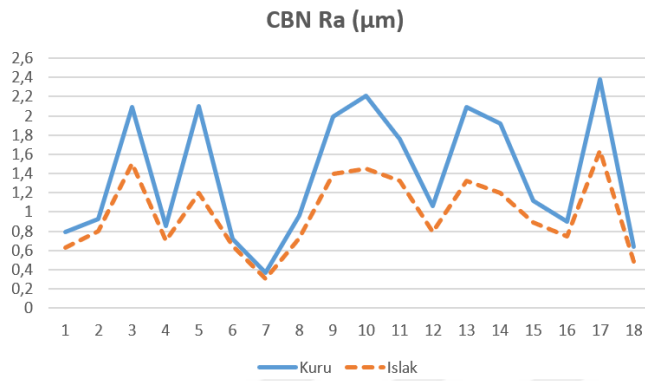
Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	62,35	%4,01	62,35	62,347	9,35	0,010
Vc	2	954,32	%61,43	954,32	477,159	71,58	0,000
f	2	456,91	%29,41	456,91	228,455	34,27	0,000
Hata	12	79,99	%5,15	79,99	6,666		
Toplam	17	1553,57	%100,00				

Yapılan varyans analizi sonuçları incelendiğinde, etki oranı değerlerine göre en etkili parametre %61,43 kesme hızı (Vc) faktörü, ikinci sırada %29,41 ile ilerleme (f) faktörü, üçüncü sırada ve en az etkili parametre ise %4,01 ile malzeme faktörü olarak elde edilmiştir. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme kuvvetlerinin Ff için R^2 =%94,85 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır.

7.4. Deney Sonuçlarının İki Boyutlu Grafiklerle Değerlendirilmesi

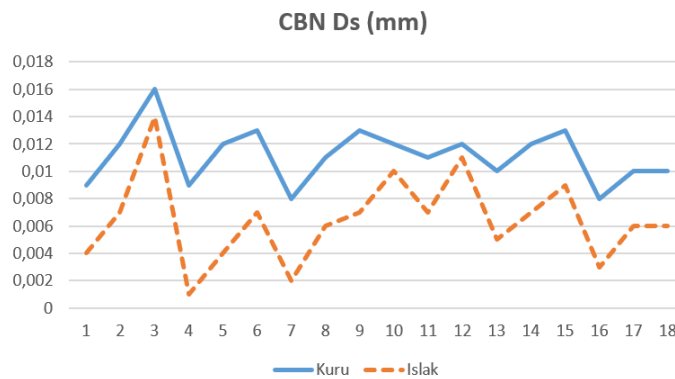
CBN ve KARBÜR kesici uçlarla kuru ve ıslak işleme şartlarında yapılan deney sonuçları iki boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir. Oluşturulan iki boyutlu grafiklerde, deney sonuçlarının kuru ve ıslak işlemedeki farklılıkları ortaya koyulmuştur.

7.4.1.CBN kesici uçlarla yapılan deney sonuçları



Şekil 7.57. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ra'nın göre değişimi

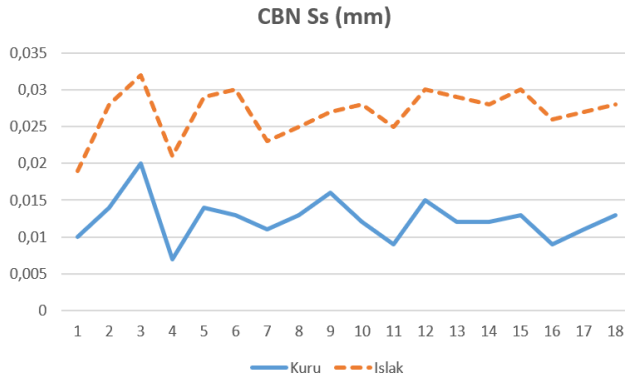
CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ra'nın (yüzey pürüzlülüğü) değişimi Şekil 7.57'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Ra değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede Ra değerlerinin daha düşük olması soğutma sıvısının yağlayıcı özelliği ile işlemeyi kolaylaştırdığına atfedilebilir [41].



Şekil 7.58. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ds'nin değişimi

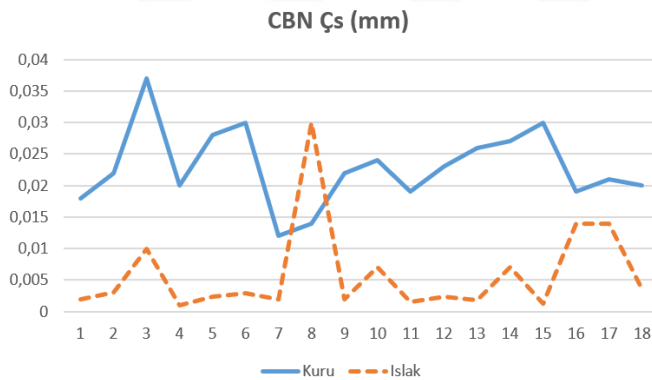
CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ds'nin (dairesellikten sapma) değişimi Şekil 7.58'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Ds değerlerinin

daha düşük olduğu görülmektedir. Soğutma sıvısının yağlayıcı özelliği malzemeyi işlemeyi kolaylaştırmış olabilir [41].



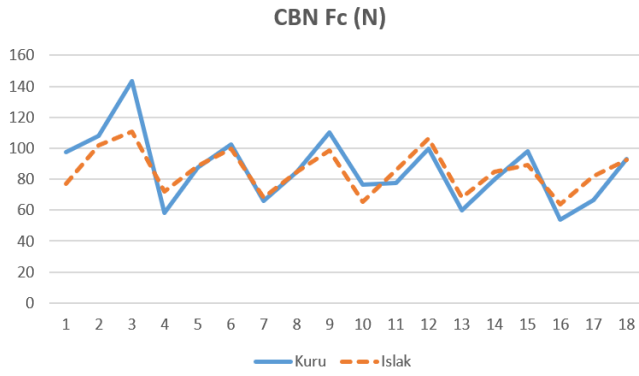
Şekil 7.59. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ss'nin değişimi

CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ss'nin (silindiriklikten sapma) değişimi Şekil 7.59'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde kuru işleme şartlarında elde edilen Ss değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Kuru işlemede yüksek sıcaklığın malzemeyi yumuşatarak işlemeyi kolaylaştırdığı söylenebilir [106].



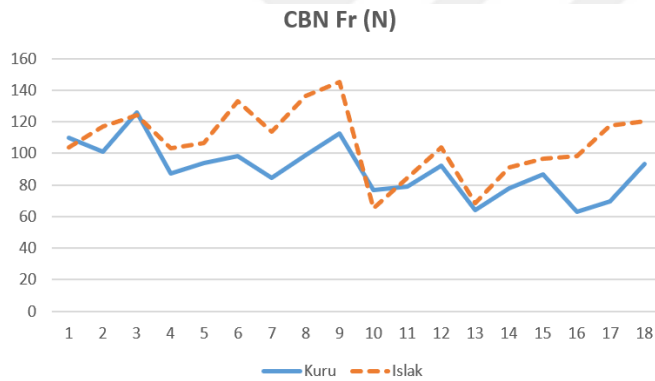
Şekil 7.60. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Çs'nin değişimi

CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Çs'nin (çaptan sapma) değişimi Şekil 7.60'ta verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Çs değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. 8 nolu deneyde Çs'nin ani artışı malzeme içindeki sert karbürlerden meydana gelmiş olabilir [72,73].



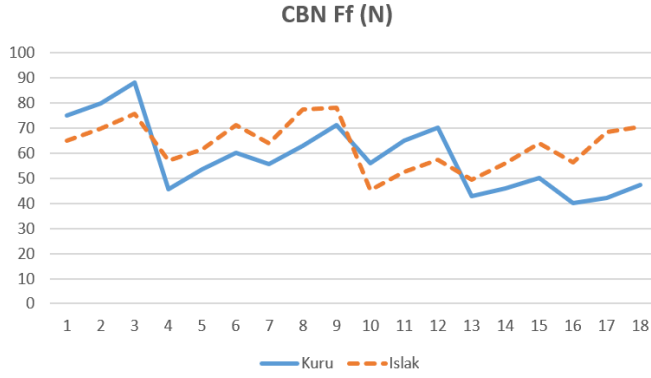
Şekil 7.61. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fc'nin değişimi

CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fc'nin (kesme kuvveti) değişimi Şekil 7.61'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kuru işleme şartlarında elde edilen Fc değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Kuru işlemede yüksek sıcaklıklardan dolayı malzemenin yumuşamasıyla işleme kolaylaşmış ve düşük kesme kuvvetleri meydana gelmiştir [96,104].



Şekil 7.62. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fr'nin değişimi

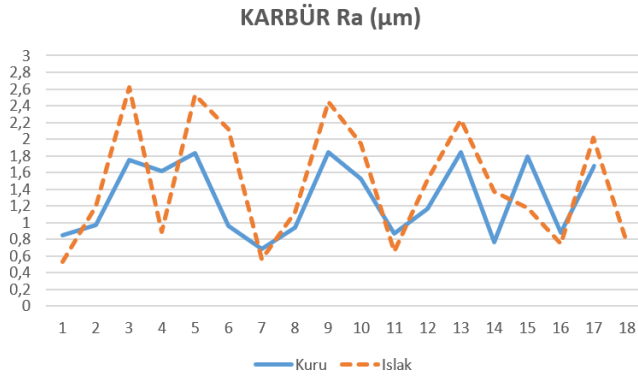
CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fr'nin (radyal kuvvet) değişimi Şekil 7.62'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde kuru işleme şartlarında elde edilen Fr değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede malzemenin soğuması talaş kaldırmayı zorlaştırmış Fr kuvvetlerinin artışına sebep olmuştur [103].



Şekil 7.63. CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ff'nin değişimi

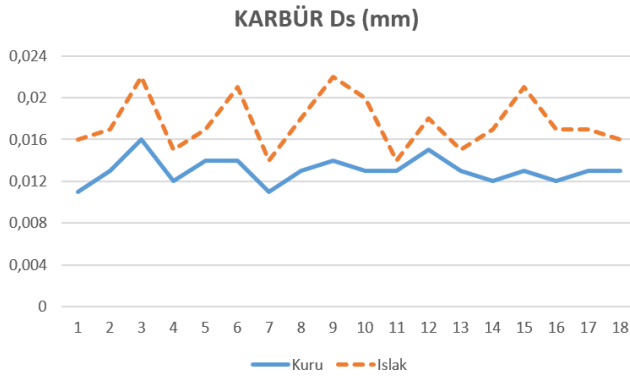
CBN kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ff'nin (ilerleme kuvveti) değişimi Şekil 7.63'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde kuru işleme şartlarında elde edilen Ff değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede malzemenin soğuması işlemeyi zorlaştırmış ve Ff kuvveti artmıştır [103].

7.4.2. KARBÜR kesici uçlarla yapılan deney sonuçları



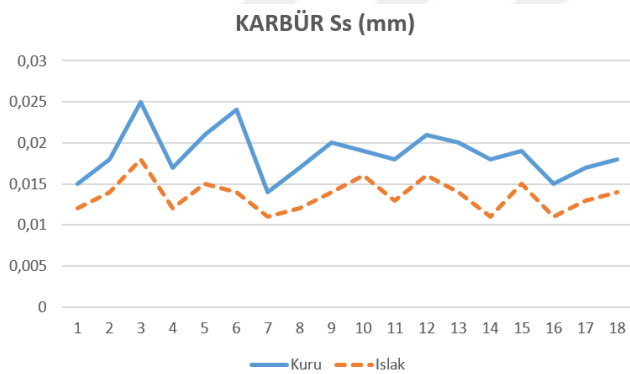
Şekil 7.64. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ra'nın göre değişimi

KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ra'nın (yüzey pürüzlülüğü) değişimi Şekil 7.64'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde kuru işleme şartlarında elde edilen Ra değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede malzemenin soğumasıyla talaş kaldırma işlemi zorlaşmış ve Ra değerleri artmış olabilir [103].



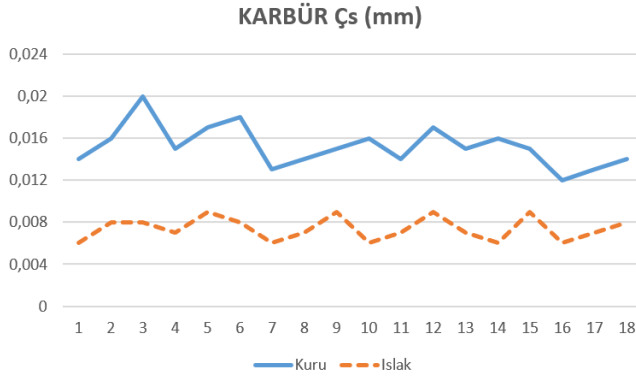
Şekil 7.65. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ds'nin değişimi

KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ds'nin (dairesellikten sapma) değişimi Şekil 7.65'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde kuru işleme şartlarında elde edilen Ds değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Kuru işlemede deformasyon bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklık malzemenin yumuşamasına sebep olarak talaş kaldırmayı kolaylaştırmıştır [104].



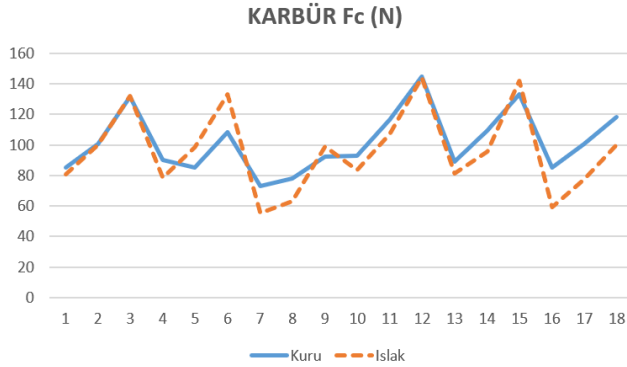
Şekil 7.66. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ss'nin değişimi

KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ss'nin (silindiriklikten sapma) değişimi Şekil 7.66'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Ss değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede soğutucunun yağlayıcı görevi malzemenin daha kolay işlenmesine sebep olmuştur [41].



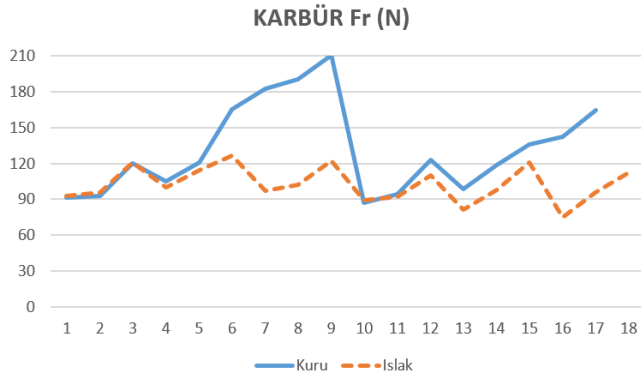
Şekil 7.67. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Çs'nin değişimi

KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Çs'nin (çaptan sapma) değişimi Şekil 7.67'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Çs değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede soğutucunun yağlayıcı etkisi malzemenin daha kolay işlenmesine ve daha düşük Çs değerlerinin elde edilmesine sebep olmuştur [41].



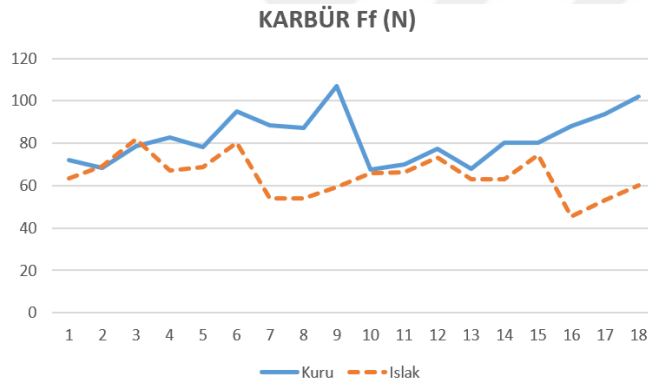
Şekil 7.68. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fc'nin değişimi

KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fc'nin (kesme kuvveti) değişimi Şekil 7.68'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Fc değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede soğutma sıvısının yağlayıcı etkisi ile talaş kaldırma işlemi kolaylaşmış ve Fc azalmıştır [41].



Şekil 7.69. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fr'nin değişimi

KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Fr'nin değişimi Şekil 7.69'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Fr değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede soğutma sıvısının yağlayıcı etkisi ile kesme işlemi kolaylaşmış ve Fr azalmıştır [41].



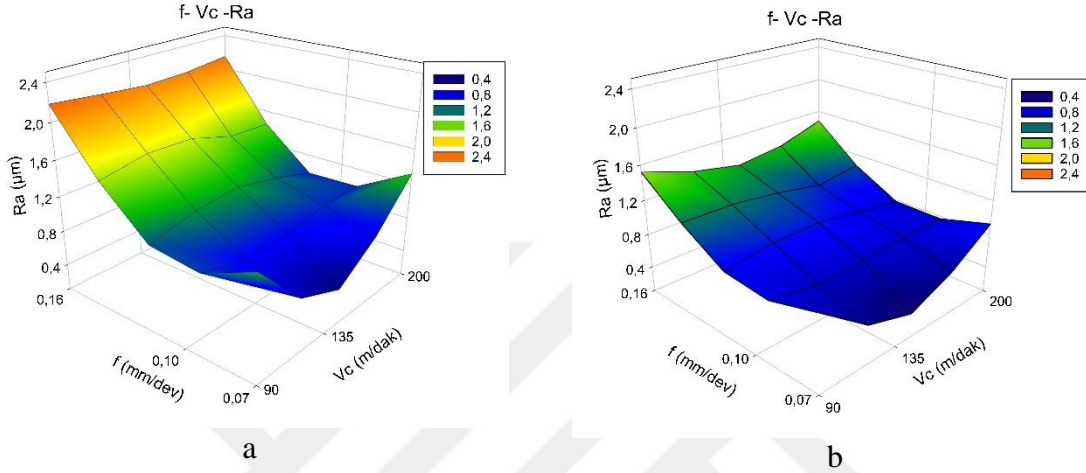
Şekil 7.70. KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ff'nin değişimi

KARBÜR kesici ile kuru ve ıslak işlemeye göre Ff'nin (ilerleme kuvveti) değişimi Şekil 7.70'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde ıslak işleme şartlarında elde edilen Ff değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Islak işlemede soğutma sıvısının yağlayıcı etkisi Ff kuvvetinde azalmaya neden olmuştur [41].

7.5. Deney Sonuçlarının Üç Boyutlu Grafiklerle Değerlendirilmesi

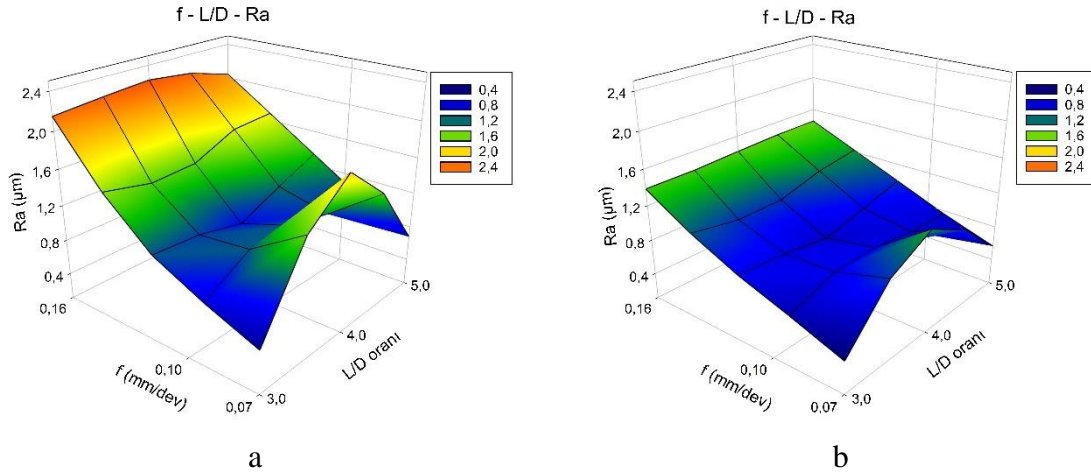
CBN ve KARBÜR kesici uçlarla yapılan kuru ve ıslak işleme deneylerinden elde edilen sonuçlar üç boyutlu grafiklerle değerlendirilmiştir.

7.5.1. CBN kuru / ıslak işleme yüzey pürüzlülüğü (Ra)



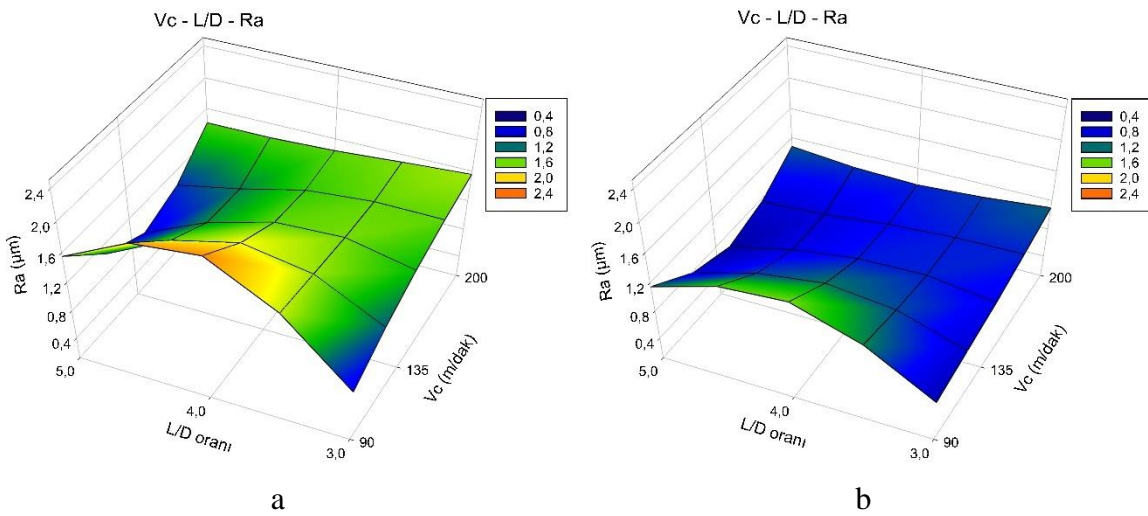
Şekil 7.71. CBN’le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ra’nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN’le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ra’nın değişimi Şekil 7.71’de verilmiştir. Genel itibariyle ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru işlemeye göre ortalama %28 oranında daha düşük elde edilmiştir. Islak işlemede Ra’nın düşük olması soğutma sıvısının yağlayıcı etkisi ile açıklanabilir [41]. Bütün kesme hızlarında ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Dolayısı ile artan ilerleme ile takım talaş temas uzunluğu ve kaldırılan talaş hacmi arttığından yüzey pürüzlülüğü artmaktadır [97]. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri $V_c=135$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev’de elde edilmiştir.



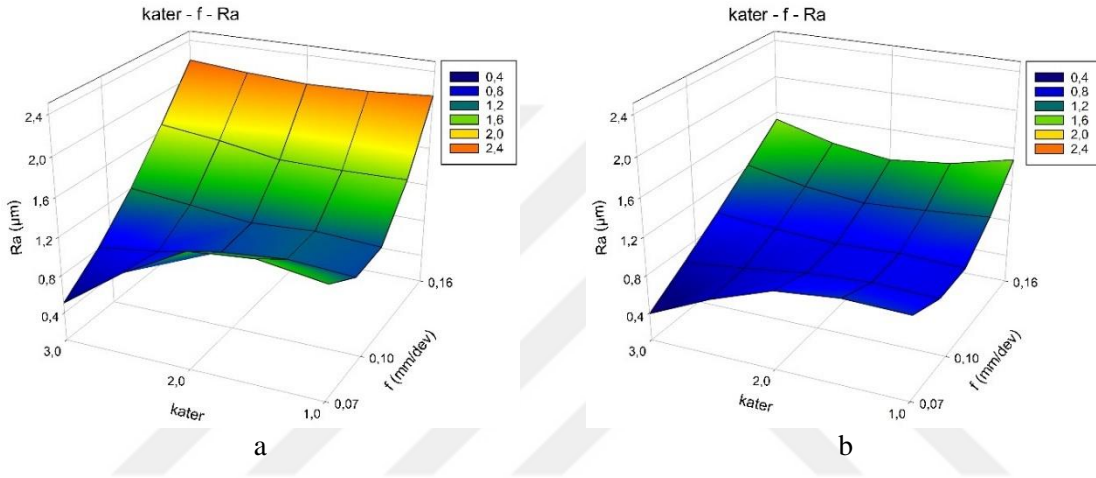
Şekil 7.72. CBN’le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ra’nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN’le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ra’nın değişimi Şekil 7.72’de görülmektedir. Genel itibariyle ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru işlemeye göre ortalama %28 oranında daha düşük elde edilmiştir. Her iki işlemede de en düşük yüzey pürüzlülüğü $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. Her iki işlemede de $L/D=4$ ve $L/D=5$ oranında yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Takım bağlama uzunluğunun artışı ile titreşimin arttığı buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün de arttığı literatürle bağdaşmaktadır [98,99].



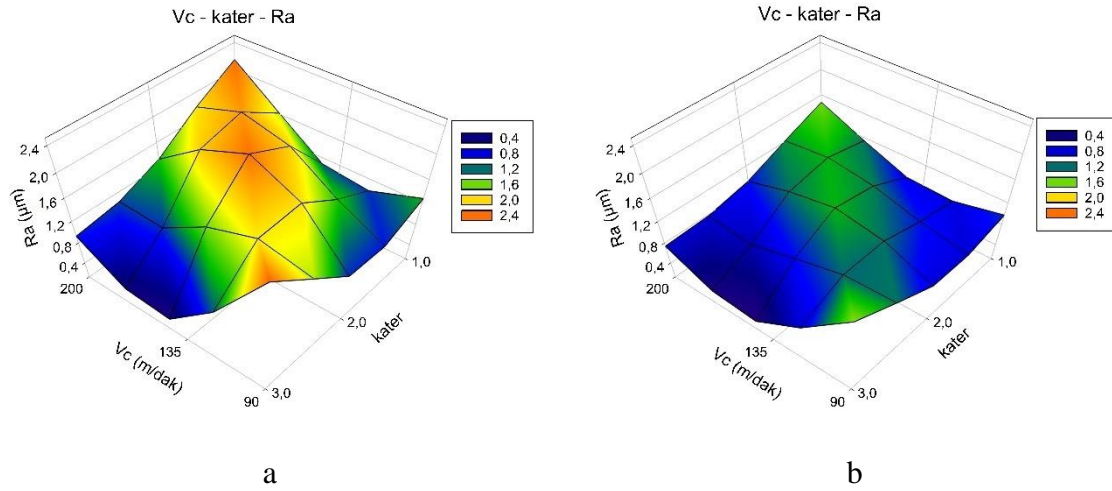
Şekil 7.73. CBN’le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ra’nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre R_a 'nın değişimi Şekil 7.73'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru işlemeye göre ortalama %28 oranında daha düşük elde edilmiştir. Her iki işlemede de L/D oranı arttığında, meydana gelen titreşimin yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı düşünülmektedir. Bu durum literatürle paralellik göstermektedir [98,99]. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru ve ıslak işlemede $V_c=90$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde iken, en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri $V_c=90$ m/dak ve $L/D=3$ değerlerinde elde edilmiştir.



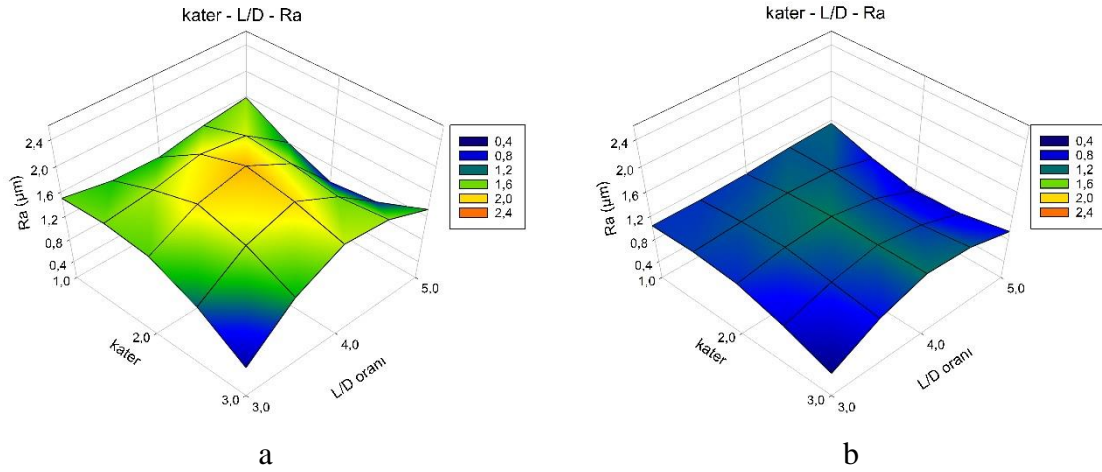
Şekil 7.74. CBN'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre R_a 'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre R_a 'nın değişimi Şekil 7.74'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru işlemeye göre ortalama %28 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve ilerleme $f=0,07$ mm/dev de elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise çelik katerde ve ilerleme $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. AVB katerin titreşim sönümlenme etkisinden dolayı yüzey pürüzlülüğü azalmıştır [42].



Şekil 7.75. CBN'le işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre R_a 'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

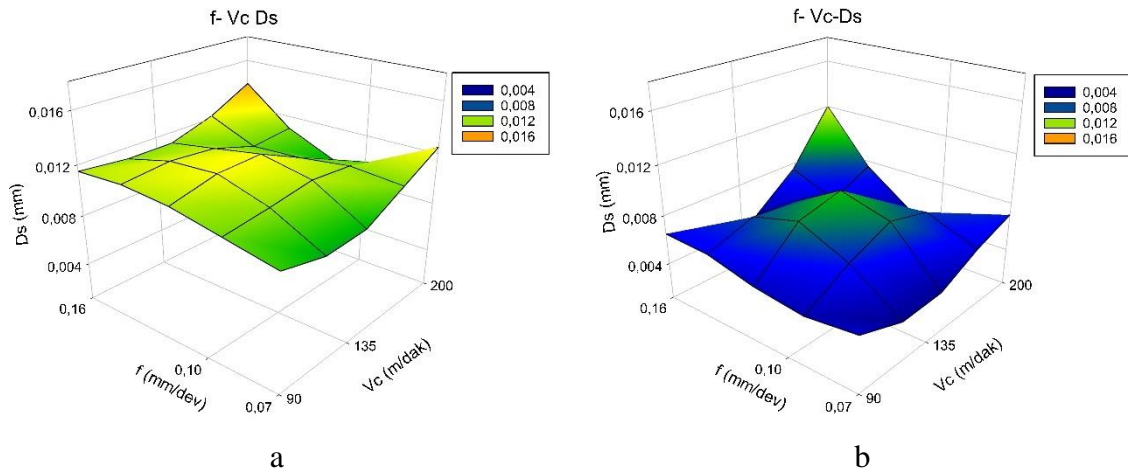
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre R_a 'nın değişimi Şekil 7.75'te görülmektedir. Genel itibariyle ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru işlemeye göre ortalama %28 oranında daha düşük elde edilmiştir. Literatürde ise kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı bu sayede kesme bölgesinde malzemenin elastik deformasyonunun ve kesme kuvvetlerinin azaldığı bu durumun da talaş kaldırmayı daha kolay hale getirdiği ifade edilmektedir [60]. Buna karşı grafikte görüldüğü gibi kuru işleme şartlarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkması meydana gelen takım aşınmasına bağlanabilir [45]. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katede ve $V_c=135$ m/dak'da elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise çelik katede ve $V_c=135$ m/dak'da elde edilmiştir.



Şekil 7.76. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

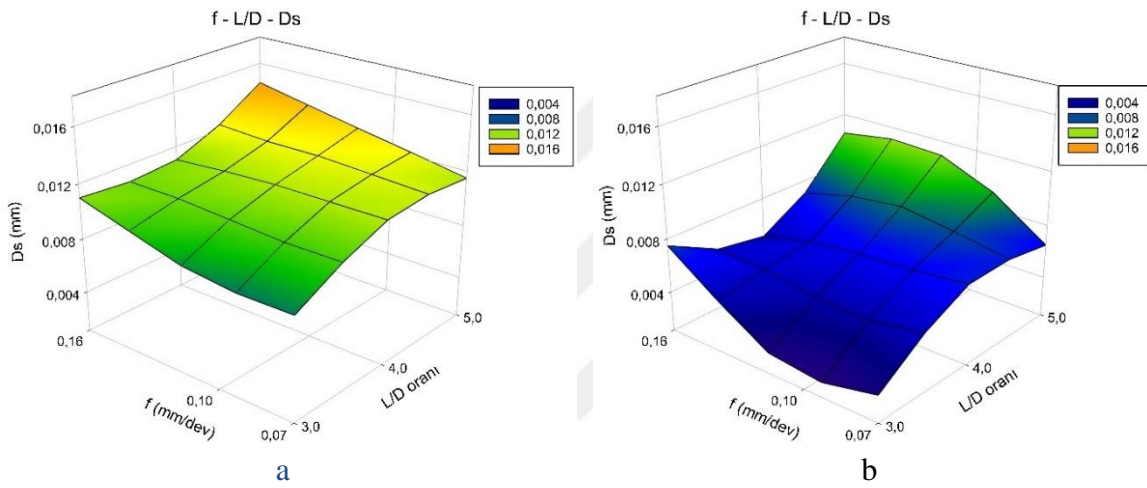
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi Şekil 7.76'da görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru işlemeye göre ortalama %28 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve L/D=3 değerinde elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise kuru işlemede karbür kater ve L/D=4 değerinde, ıslak işlemede çelik katerde ve L/D=5 değerinde elde edilmiştir. AVB katerin titreşim sönümlenme etkisinden dolayı ve katerin kısa bağlama boyunda titreşim azaldığından yüzey pürüzlülüğü azalmıştır [42].

7.5.2. CBN kuru / ıslak işleme dairesellikten sapma (Ds)



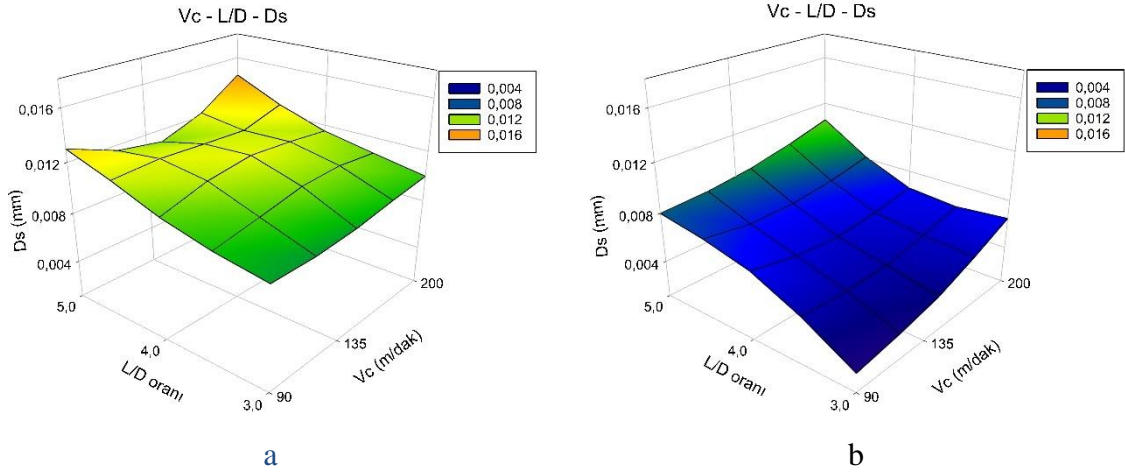
Şekil 7.77. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (V_c) göre D_s 'nin değişimi Şekil 7.77'de görülmektedir. Genel itibariyle ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %20 oranında daha düşük elde edilmiştir. Kuru işlemede en düşük dairesellikten sapma değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. Islak işlemede en düşük dairesellikten sapma değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemede en yüksek dairesellikten sapma değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. Islak işlemede en yüksek dairesellik değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri arasında benzerlik görülmektedir.



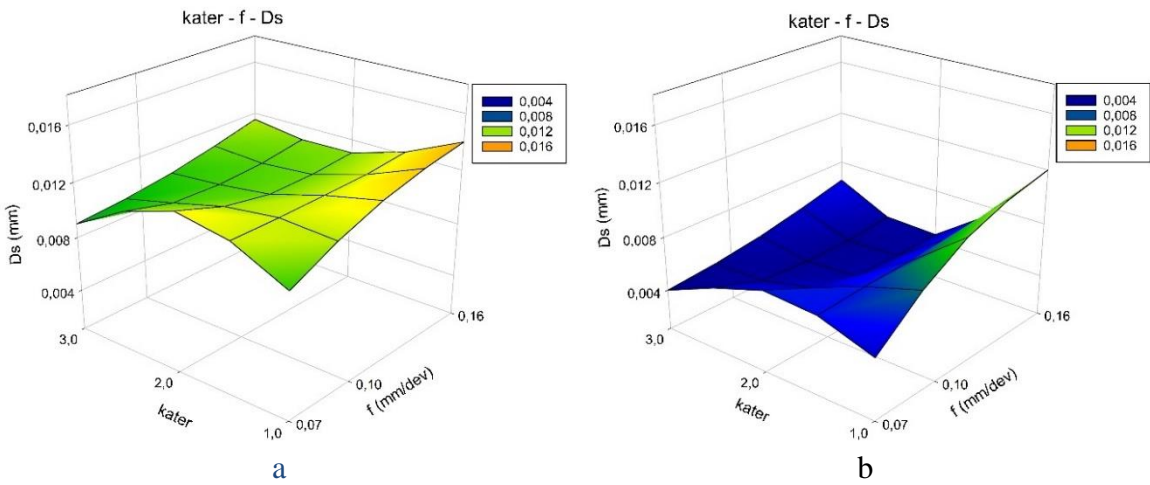
Şekil 7.78. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre D_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre D_s 'nin değişimi Şekil 7.78'de görülmektedir. Genel itibariyle ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %20 oranında daha düşük elde edilmiştir. CBN kesici uçlarla kuru işlemede en düşük dairesellik değeri $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. CBN kesici uçlarla ıslak işlemede en düşük dairesellik değeri $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede en yüksek dairesellik değeri $f=0,16$ mm/dev ve $L/D=5$ değerlerinde edilmiştir. Genel olarak L/D oranı arttığında katerin rijitliğinin bozulduğu ve kuvvetlere karşı stabil kalamadığı ortaya çıkmıştır. İlerlemenin artışıyla takım talaş temas uzunluğu artacağından, kuvvetlerin artması ile dairesellikten sapmanın da arttığı gözlemlenmiştir.[97] Islak işlemede daha düşük dairesellikten sapmanın elde edilmesi kullanılan soğutma sıvısının yağlayıcı özelliği etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



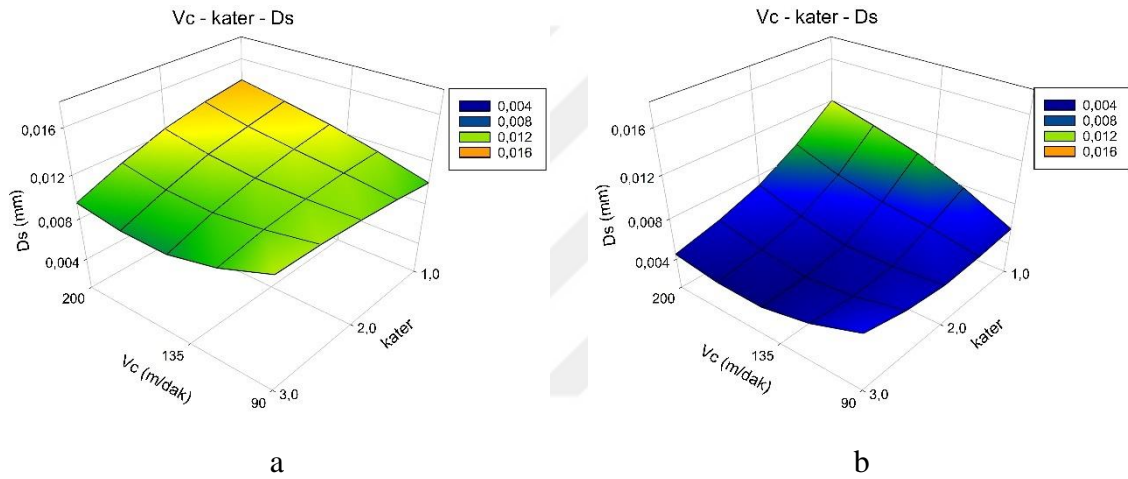
Şekil 7.79. CBN’le işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre D_s ’nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN’le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre D_s ’nin değişimi Şekil 7.79’da görülmektedir. Genel itibariyle ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %20 oranında daha düşük elde edilmiştir. En yüksek dairesellikten sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede $V_c=200$ m/dak ve L/D=5 değerlerinde elde edilmiştir. En düşük dairesellikten sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede $V_c=90$ m/dak ve L/D=3 değerlerinde elde edilmiştir. Her iki durumda da L/D oranının artışı dairesellikten sapmayı arttırmıştır.



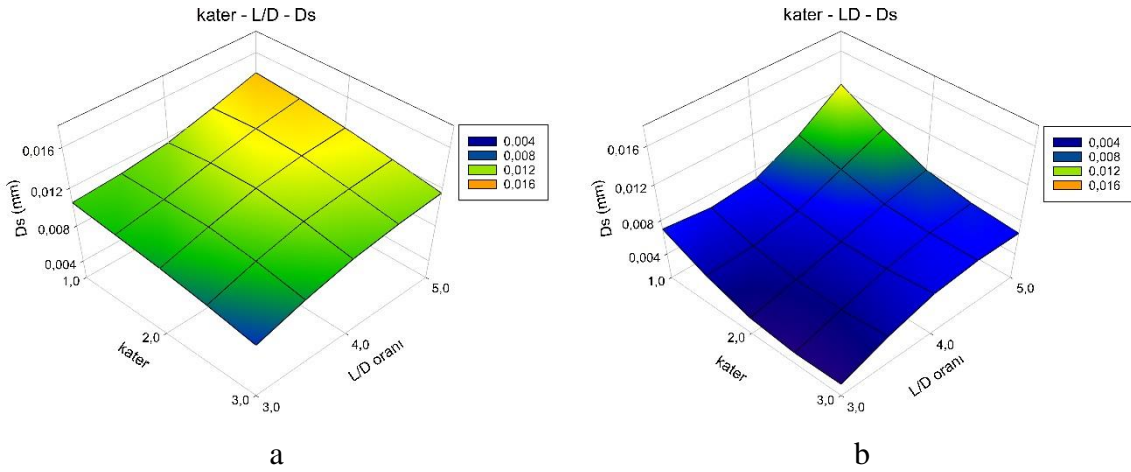
Şekil 7.80. CBN’le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre D_s ’nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre D_s'nin değişimi Şekil 7.80'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %20 oranında daha düşük elde edilmiştir. Genel itibariyle ilerlemenin artması dairesellikten sapmayı arttırmıştır. En düşük dairesellikten sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ilerleme f=0,07 mm/dev de elde edilmiştir. En yüksek değerler kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve ilerleme f=0,16 mm/dev'de elde edilmiştir. Her iki işlemede de AVB katerin sönümleyici özelliğinin etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 7.81. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre D_s'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

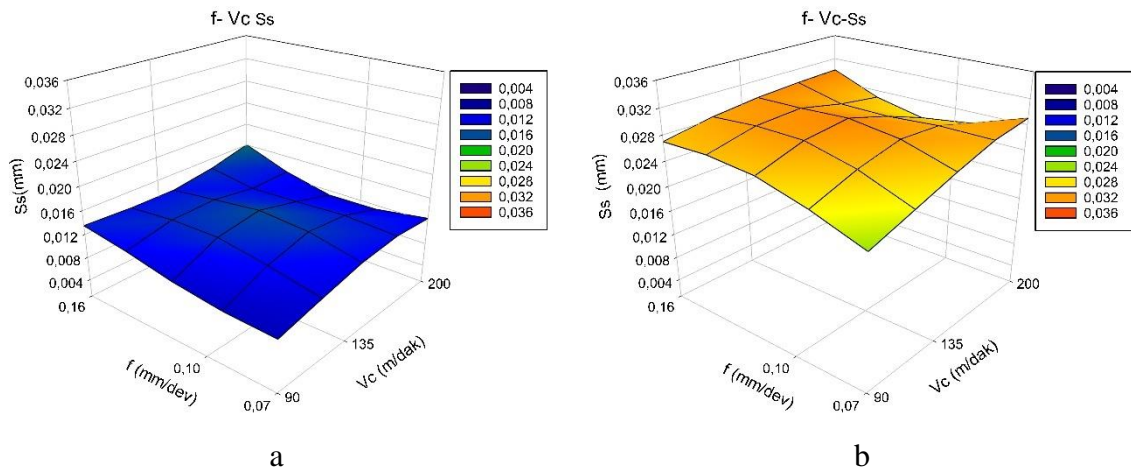
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre D_s'nin değişimi Şekil 7.81'de görülmektedir. Genel itibariyle ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %20 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük dairesellikten sapma değerleri AVB katerde elde edilmiştir. Kuru işlemede dairesellikten sapmanın daha fazla olması meydana gelen takım aşınmasına bağlanabilir [45].



Şekil 7. 82. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

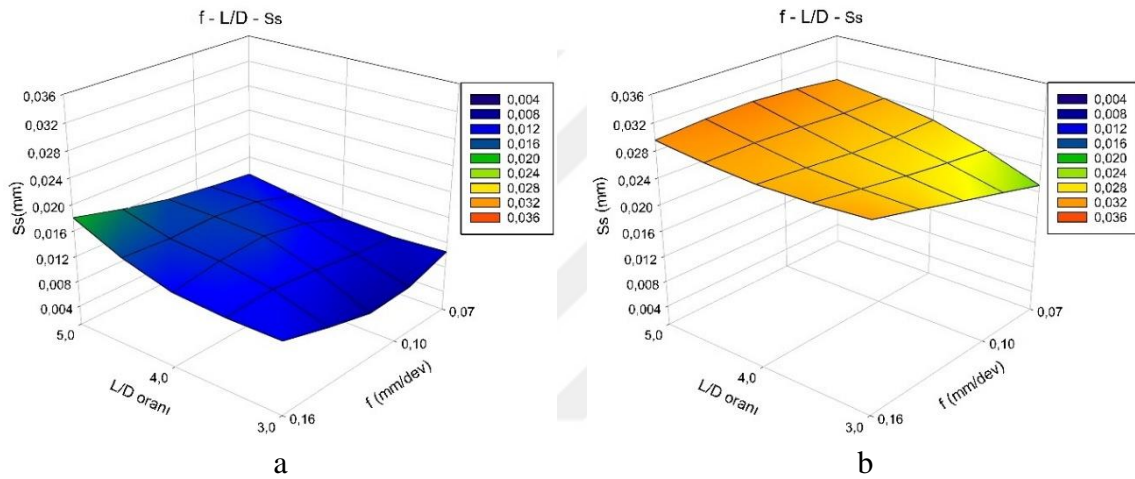
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi Şekil 7.82'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %20 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük Ds değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve L/D=3 değerinde elde edilmiştir. En yüksek Ds değerleri ise kuru ve ıslak işlemede çelik kater ve L/D=5 değerinde elde edilmiştir. AVB katerin titreşim sönümlenme etkisinden dolayı ve katerin kısa bağlama boyunda titreşim azaldığından Ds azalmıştır [42].

7.5.3. CBN kuru / ıslak işleme silindiriklikten sapma (Ss)



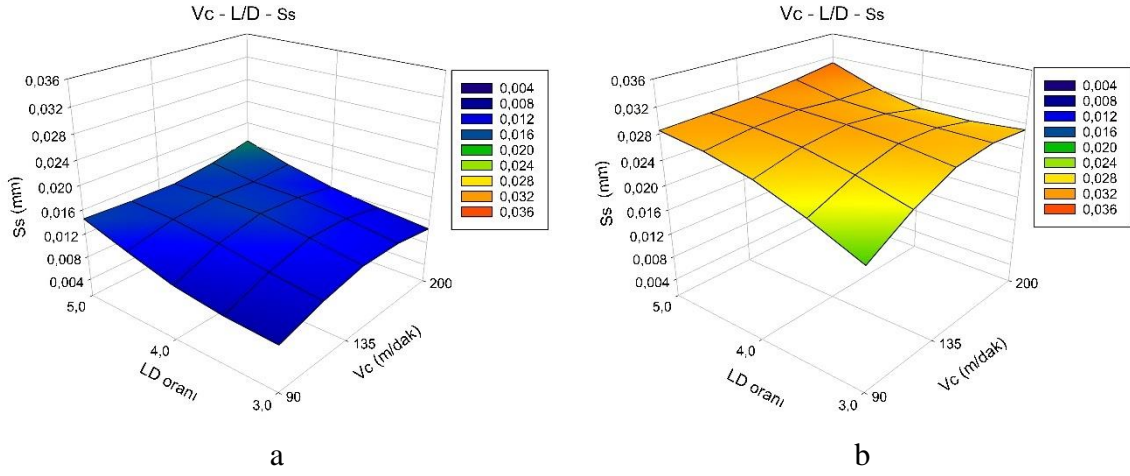
Şekil 7.83. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (V_c) göre S_s 'nin değişimi Şekil 7.83'te verilmiştir. Genel itibariyle kuru işleme şartlarında elde edilen silindiriklikten sapma değerlerinin ıslak işlemeye göre ortalama %30 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük silindiriklikten sapma değeri $V=90$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. En yüksek silindiriklikten sapma değeri $V=200$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. Her iki işlemede de yüksek kesme hızlarının silindiriklikten sapmayı arttırdığı görülmektedir. Islak işlemede silindiriklikten sapma değerlerinin yüksek olması, soğutma sıvısının kesme bölgesinde meydana getirdiği sertlik artışından dolayı kaynaklanmış olabilir [103].



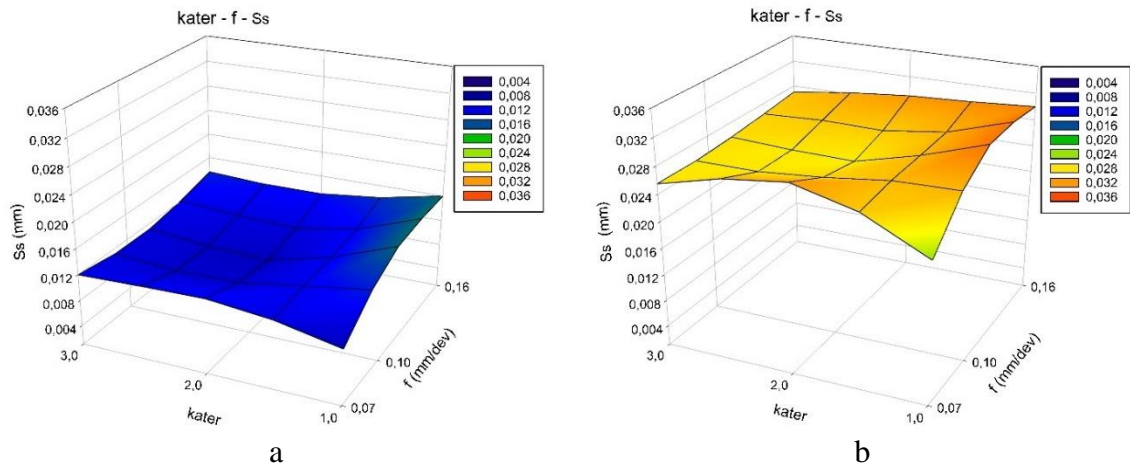
Şekil 7.84. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre S_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre S_s 'nin değişimi Şekil 7.84'te verilmiştir. Genel itibariyle kuru işleme şartlarında elde edilen silindiriklikten sapma değerlerinin ıslak işlemeye göre ortalama %30 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük silindiriklikten sapma değeri $f=0,10$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. En yüksek sapma değeri $f=0,16$ mm/dev ve $L/D=5$ değerlerinde elde edilmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi kater bağlama uzunluğunun artışı (yüksek L/D oranı) katerin meydana gelen kesme kuvvetlerine karşı stabilitesini azaltarak geometrik sapmaların artışına neden olmaktadır [100].



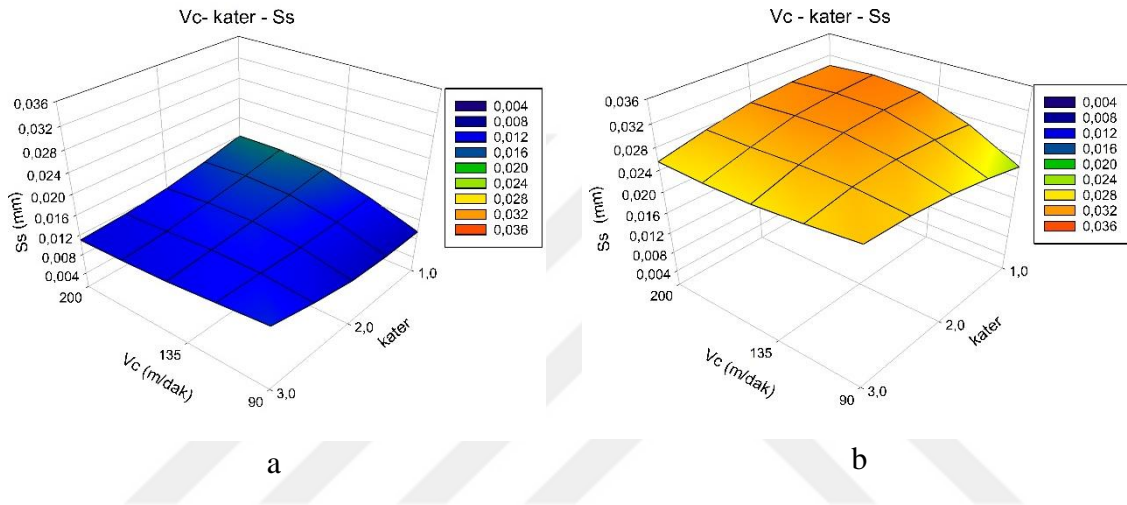
Şekil 7.85. CBN'le işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre S_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre S_s 'nin değişimi Şekil 7.85'te verildiği gibidir. Genel itibariyle kuru işleme şartlarında elde edilen silindiriklikten sapma değerlerinin ıslak işlemeye göre ortalama %30 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. En yüksek silindiriklikten sapma değerleri CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede $V_c=200$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde elde edilmiştir. En düşük sapma değerleri $V_c=90$ m/dak ve $L/D=3$ değerlerinde elde edilmiştir. L/D oranının artışı geometrik sapmalara neden olmaktadır [100].



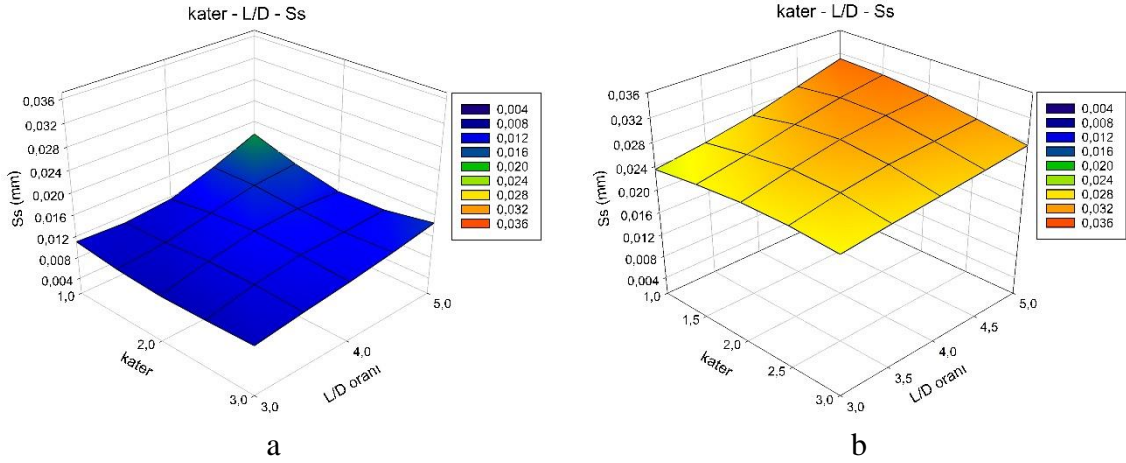
Şekil 7.86. CBN'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre S_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre Ss'nin değişimi Şekil 7.86'da verilmiştir. Genel itibariyle kuru işleme şartlarında elde edilen silindiriklikten sapma değerlerinin ıslak işlemeye göre ortalama %30 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük silindiriklikten sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,07$ mm/dev de elde edilmiştir. En yüksek sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,16$ mm/dev'de, elde edilmiştir. Artan ilerlemeye karşı kater tipinin silindiriklikten sapma üzerinde etkisinin az olduğu söylenebilir.



Şekil 7.87. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

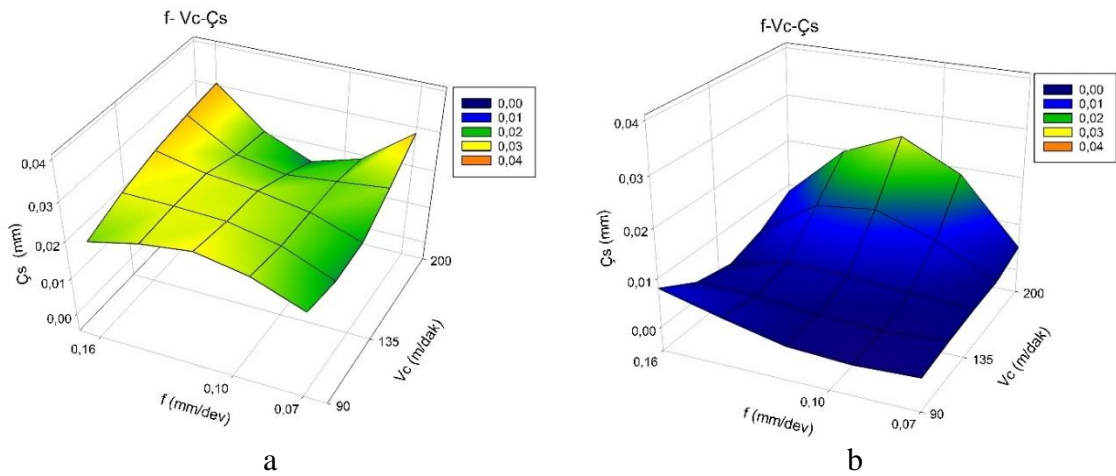
CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Ss'nin değişimi Şekil 7.87'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde kuru işleme şartlarında elde edilen silindiriklikten sapma değerlerinin ıslak işlemeye göre ortalama %30 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük silindiriklik değeri kuru ve ıslak işlemede çelik katerde $Vc=90$ m/dak'da elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek değer çelik katerde $Vc=200$ m/dak'da elde edilmiştir.



Şekil 7.88. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ss'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

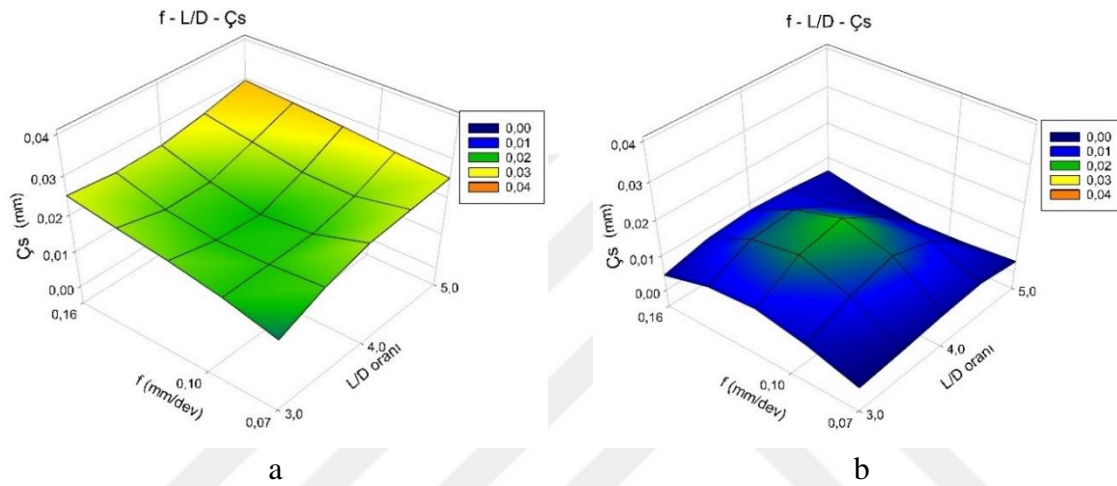
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre Ss'nın değişimi Şekil 7.88'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede silindiriklikten sapma değerleri ıslak işlemeye göre ortalama %30 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük Ss değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve L/D=3 değerinde elde edilmiştir. En yüksek Ss değerleri ise kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve L/D=5 değerinde elde edilmiştir. AVB katerin titreşim sönümlenme etkisinden dolayı ve katerin kısa bağlama boyunda titreşim azaldığından Ss azalmıştır [42].

7.5.4. CBN kuru / ıslak işleme çaptan sapma (Çs)



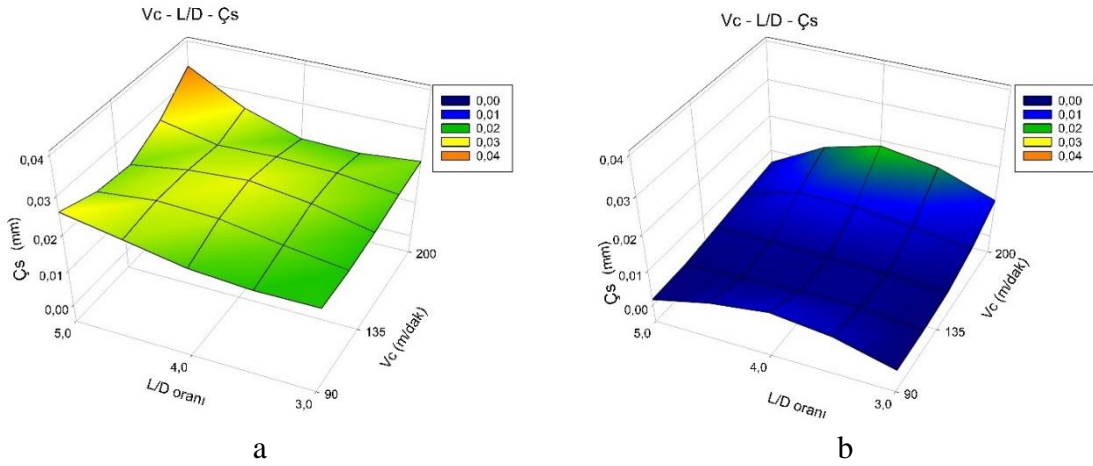
Şekil 7.89. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Çs'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (V_c) göre ζ_s 'nin değişimi Şekil 7.89'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %15 oranında daha düşük elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en düşük çaptan sapma değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemede en yüksek çaptan sapma değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. Islak işlemede en yüksek çaptan sapma değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir.



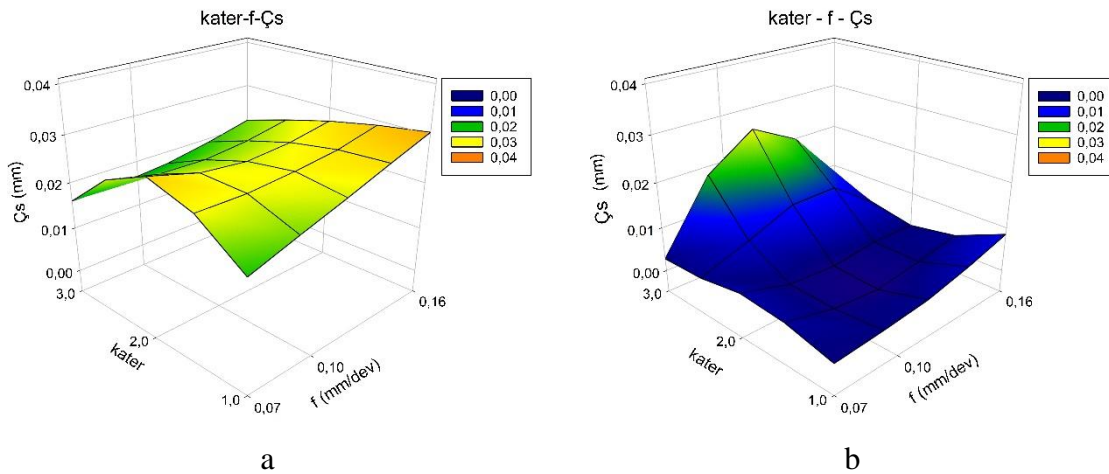
Şekil 7.90. CBN'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre ζ_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre ζ_s 'nin değişimi Şekil 7.90'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %15 oranında daha düşük elde edilmiştir. Her iki işlemede de L/D oranının etkisinin az olduğu söylenebilir. Kuru ve ıslak işlemede en düşük çaptan sapma değeri $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. Kuru işlemede en yüksek çaptan sapma değeri $f=0,16$ mm/dev ve $L/D=5$ değerlerinde edilmiştir. Islak işlemede en yüksek çaptan sapma değeri $f=0,10$ mm/dev ve $L/D=4$ değerlerinde edilmiştir.



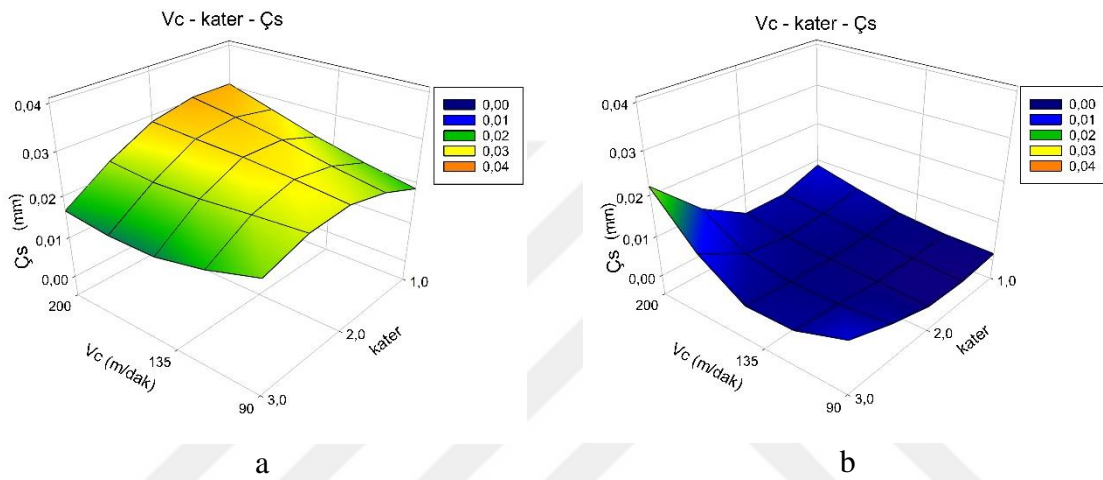
Şekil 7.91. CBN'le işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre \dot{C}_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre \dot{C}_s 'nin değişimi Şekil 7.91'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %15 oranında daha düşük elde edilmiştir. Her iki işlemede de L/D oranının etkisinin az olduğu söylenebilir. En yüksek çaptan sapma değerleri kuru işlemede $V_c=200$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde, ıslak işlemede $V_c=200$ m/dak ve $L/D=4$ değerlerinde elde edilmiştir. En düşük çaptan sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede $V_c=90$ m/dak ve $L/D=3$ değerlerinde elde edilmiştir. Kuru işlemede L/D oranının artışıyla titreşimin arttığı ve çaptan sapmanın da buna bağlı olarak arttığı görülmektedir.



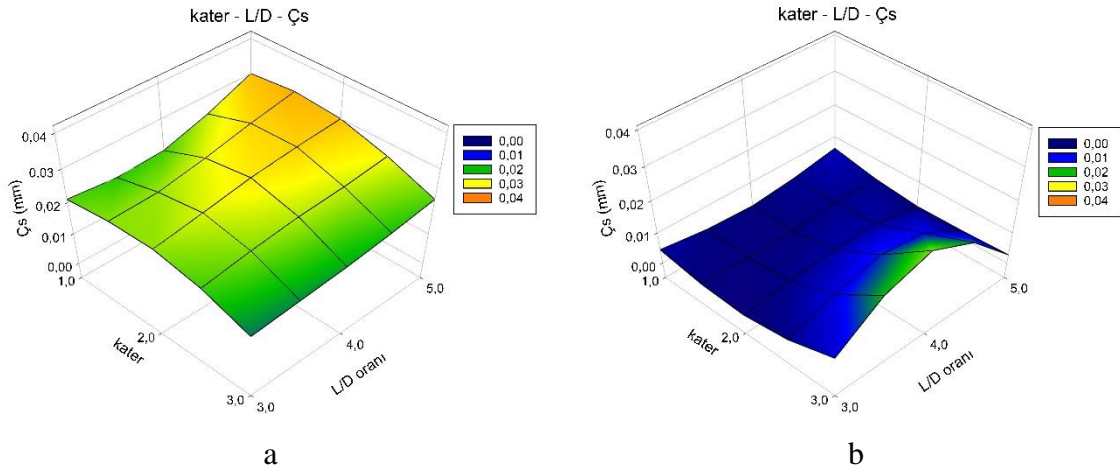
Şekil 7.92. CBN'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre \dot{C}_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre $\dot{C}s$ 'nin değişimi Şekil 7.92'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %15 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük çaptan sapma değerleri kuru işlemede AVB katerde ve ilerleme $f=0,07$ mm/dev de elde edilmiştir. Islak işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,07$ mm/dev de elde edilmiştir. En yüksek çaptan sapma değerleri kuru işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,16$ mm/dev'de, ıslak işlemede AVB katerde ve ilerleme $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir.



Şekil 7.93. CBN'le işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre $\dot{C}s$ 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

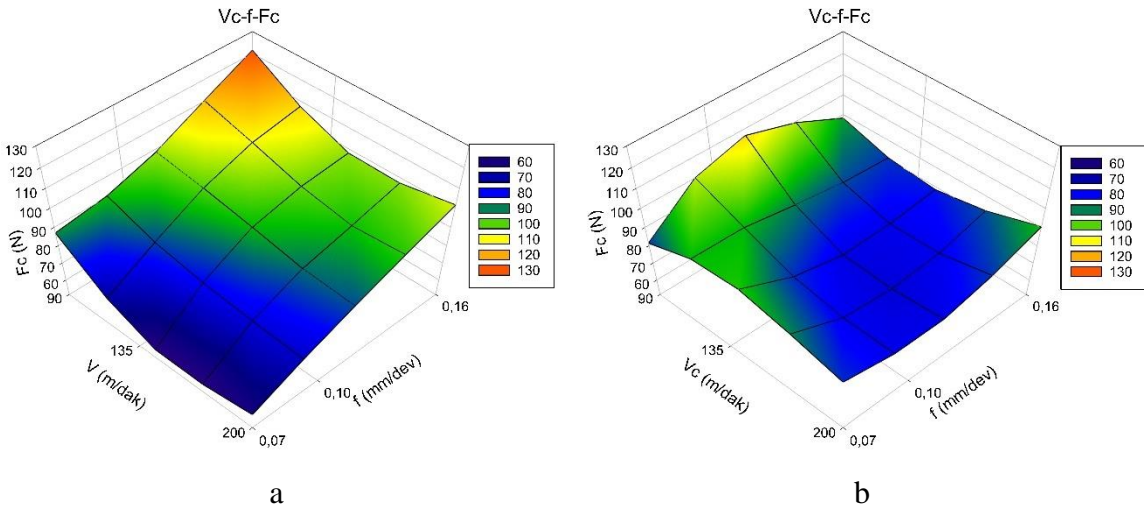
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre $\dot{C}s$ 'nin değişimi Şekil 7.93'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %15 oranında daha düşük elde edilmiştir. Kuru işlemede en düşük çaptan sapma değeri $V_c=135$ m/dak ve AVB kater ile elde edilirken en yüksek çaptan sapma değeri $V_c=200$ m/dak'da ve çelik kater ile elde edilmiştir. Islak işlemede en düşük sapma değeri $V_c=90$ m/dak ve karbür kater ile elde edilirken en yüksek çaptan sapma değeri $V_c=200$ m/dak'da ve AVB kater ile elde edilmiştir.



Şekil 7.94. CBN'le işlemede kater ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

CBN'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre Çs'nin değişimi Şekil 7.94'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işlemeğe göre ortalama %15 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük Çs değerleri kuru işlemede AVB katerde ve L/D=3 oranında, ıslak işlemede karbür katerde ve L/D=3 oranında elde edilmiştir. En yüksek Çs değerleri ise kuru işlemede çelik katerde ve L/D=3 oranında, ıslak işlemede AVB katerde ve L/D=4 oranında elde edilmiştir.

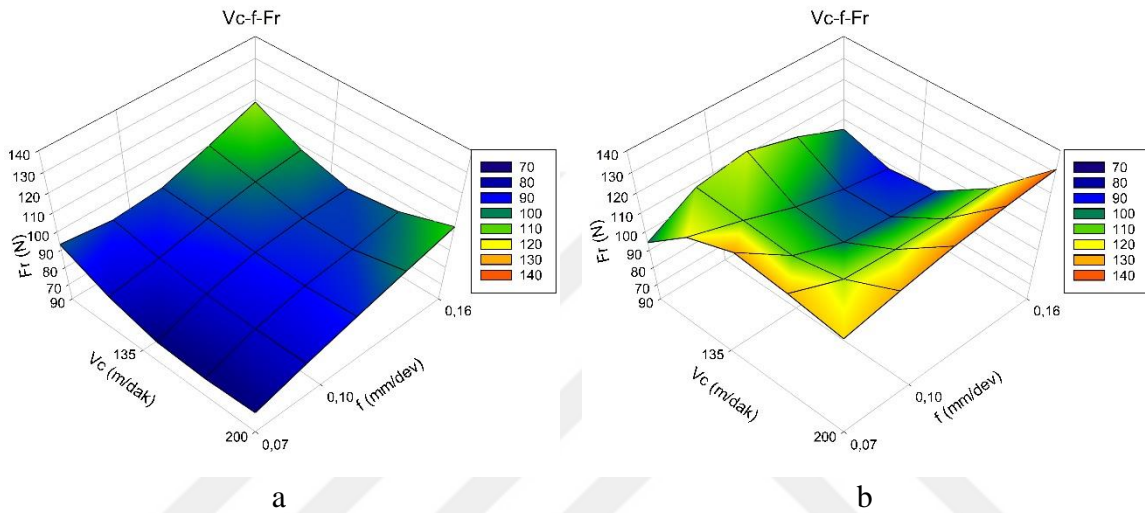
7.5.5. CBN kuru / ıslak işleme kesme kuvvetleri (Fc-Fr-Ff)



Şekil 7.95. CBN'le işlemede kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) göre Fc'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

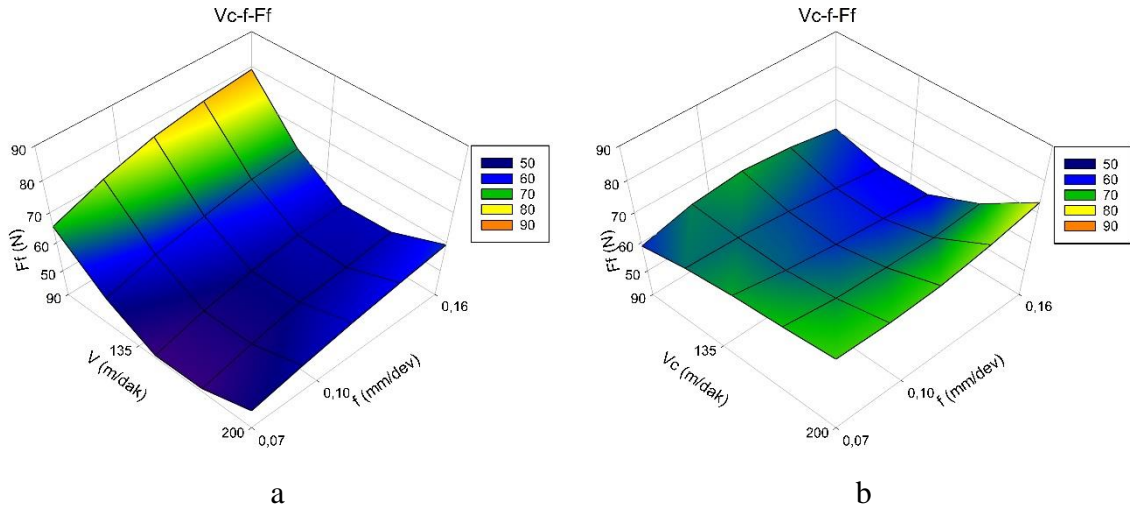
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (Vc) ve ilerlemeye (f) göre Fc'nin değişimi Şekil 7.95'te verilmiştir. Genel itibariyle her iki işlemede de düşük ilerlemede kesme hızı arttıkça

F_c 'nin azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte ıslak işlemede F_c kuvveti kuru işlemeye göre ortalama %16 oranında daha düşük meydana gelmiştir. Islak işlemede en düşük F_c değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de, en yüksek F_c değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemede en düşük F_c değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de, en yüksek F_c değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemede düşük kesme hızında yüksek ilerlemede F_c kuvveti artmıştır. F_c kuvvetindeki artış, literatürde de ifade edilen, birim zamanda kaldırılan talaş hacmi ile açıklanabilir [101].



Şekil 7.96. CBN'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_r 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

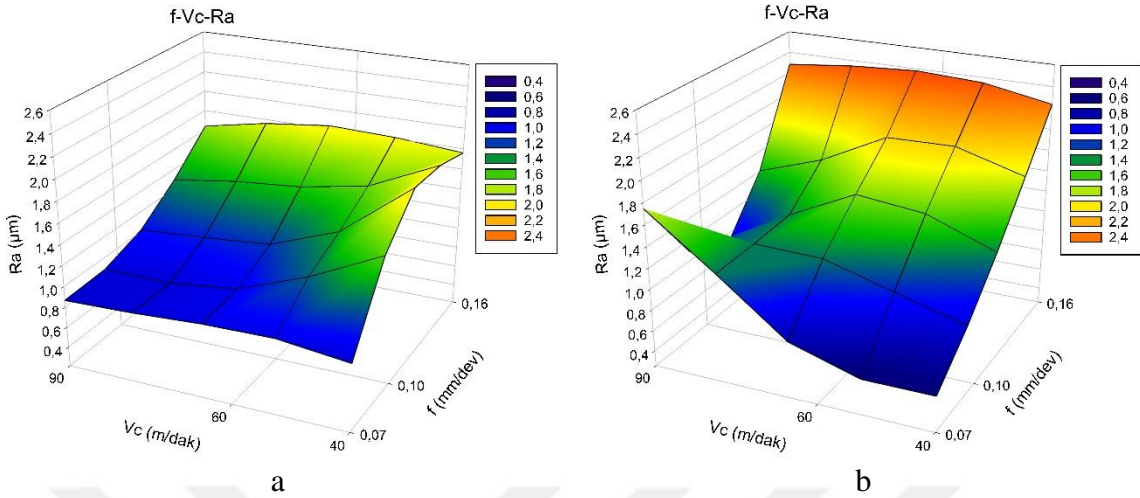
CBN'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_r 'nin değişimi Şekil 7.96'da görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede F_r kuru işlemeye göre ortalama %20 daha yüksektir. Islak işlemede artan kesme hızına rağmen soğutucunun kesme bölgesini sertleştirilmesi ve artan ilerleme hızı ile de talaş kesitinin artması, kuru işlemeye kıyasla radyal kuvvetin daha büyük artışına sebep olmuştur [102,103]. Kuru işlemede kesme hızının artışı, kesme bölgesindeki sıcaklığın artarak malzemenin yumuşamasına ve F_r 'nin azalmasına sebep olmuştur. Kuru işlemede ilerlemenin artışı radyal kuvveti artırmıştır. Bu durum kaldırılan talaş kesiti artışına bağlanabilir. Kuru işlemede en düşük F_r değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de, ıslak işlemede $V_c=135$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemede en yüksek F_r değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de, ıslak işlemede $V_c=200$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir.



Şekil 7.97. CBN’le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_f ‘nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

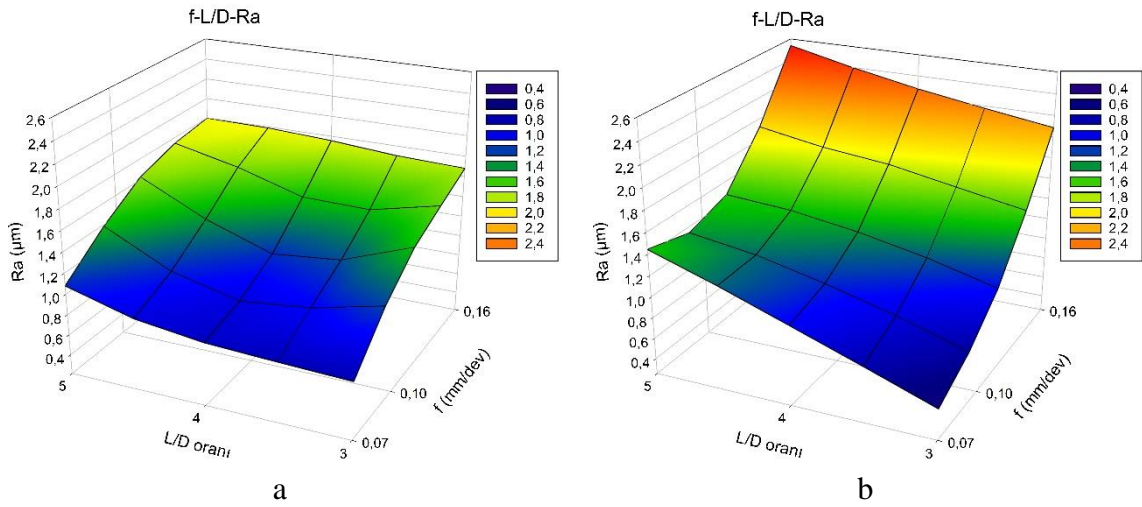
CBN’le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_f ‘nin değişimi Şekil 7.97’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede kesme hızının artışı ile ilerleme kuvvetinin azalması, kesme bölgesindeki sıcaklığın artışı ile malzemenin yumuşamasına, ilerlemenin artışı ile kesme kuvvetinin artması da talaş kesitinin artışı ile ilişkilidir [96,104]. Islak işlemede kesme hızının artışı ile F_f ‘nin artması, soğutma sıvısının kesme bölgesini soğutması ile ilişkilidir. İlerleme ve kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvvetinin artması, kesme bölgesindeki soğutucunun etkisiyle ifade edilebilir. Kuru işlemede en düşük F_f değeri $V_c=200$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev’de, ıslak işlemede $V_c=135$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev’de elde edilmiştir. Kuru işlemede en yüksek F_f değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev’de, ıslak işlemede $V_c=200$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev’de elde edilmiştir. Her iki işlemede de F_f değerleri birbirine yakındır.

7.5.6. KARBÜR kuru / ıslak işleme yüzey pürüzlülüğü (Ra)



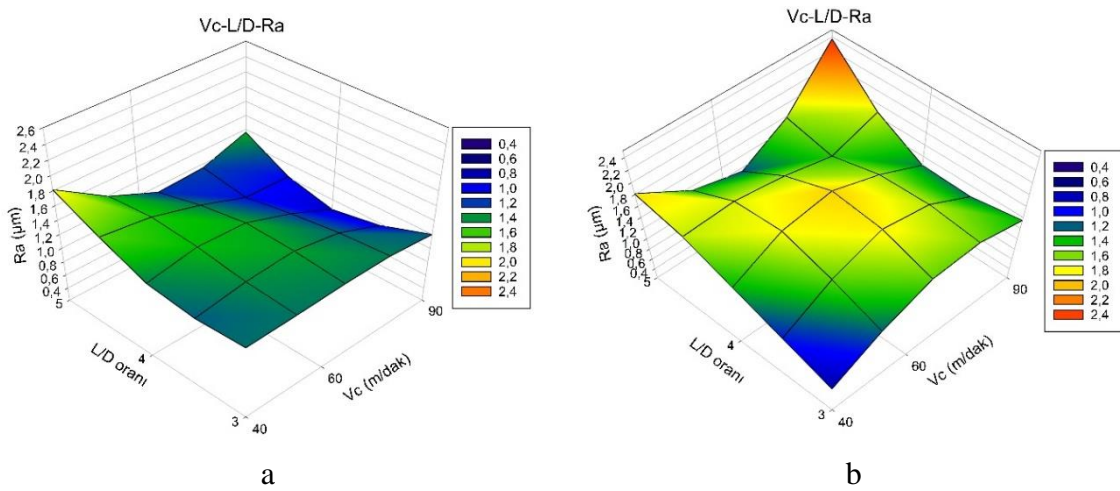
Şekil 7.98. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ra'nın değişimi
a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ra'nın değişimi Şekil 7.98'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri ıslak işlemeye göre ortalama %25 oranında daha düşüktür. Her iki işlemede de bütün kesme hızlarında ilerlemenin artışı ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmektedir. Bu durum ilerlemenin artışı ile temas uzunluğunun artmış olması dolayısı ile de pürüzlülükte artışın meydana geldiği ile ifade edilebilir [97]. Islak işlemede kesme hızının yüksek değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün artışı, soğutucunun malzemeyi sertleştirilmesi ile meydana gelen takım aşınmasına bağlanabilir [106]. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri kuru ve ıslak işlemede $V_c=40$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir.



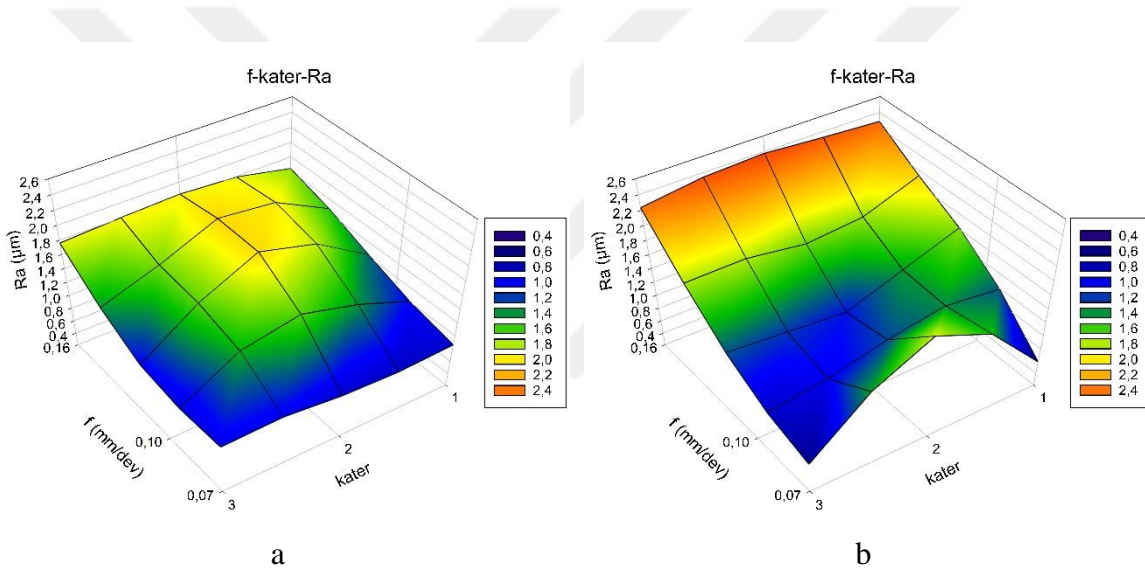
Şekil 7.99. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi Şekil 7.99'da görülmektedir. Genel itibariyle kuru işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri ıslak işleme göre ortalama %25 oranında daha düşüktür. Her iki işlemede de katerin daha kısa bağlanması ile pürüzlülük değerleri azalıştır. Düşük L/D oranlarında titreşimin daha az olduğu görülmektedir [42]. L/D oranı arttıkça titreşim artmış ve yüzeyde bozulmalar artmıştır [98,99]. Her iki işlemede ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Her iki işlemede en düşük yüzey pürüzlülüğü $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde, en yüksek yüzey pürüzlülüğü $f=0,16$ mm/dev ve $L/D=5$ değerlerinde elde edilmiştir.



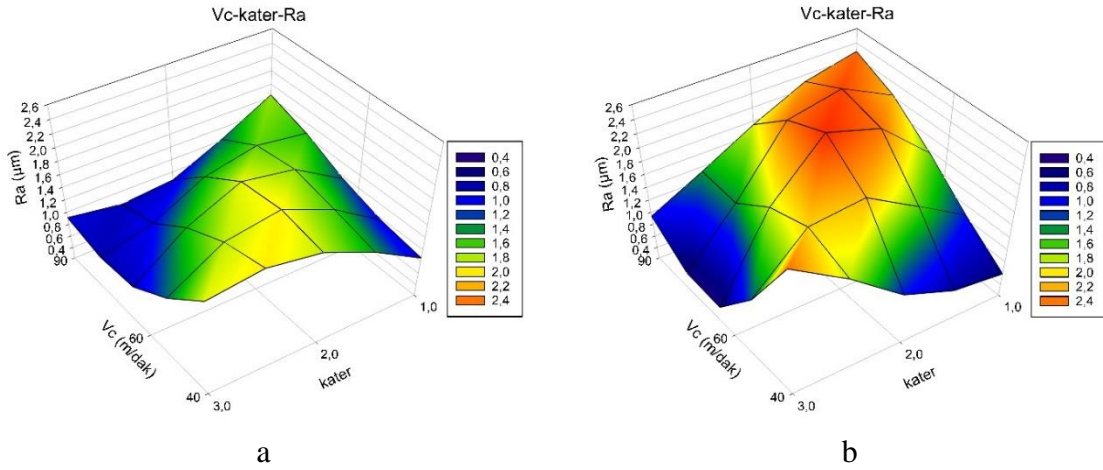
Şekil 7.100. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre Ra'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre R_a 'nın değişimi Şekil 7.100'de görülmektedir. Genel itibariyle kuru işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri ıslak işlemeye göre ortalama %25 oranında daha düşüktür. Kuru işlemede kesme hızının etkisinin az olduğu söylenebilir. Islak işlemede L/D oranının artışı yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Islak işlemede malzemenin soğumasından dolayı sertleşmesi sebebiyle yüzey pürüzlülüğünün arttığı söylenebilir [103]. Kuru işlemede en yüksek yüzey pürüzlülüğü $V_c=40$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü $V_c=90$ m/dak ve $L/D=4$ değerlerinde elde edilmiştir. Islak işlemede ise en yüksek yüzey pürüzlülüğü $V_c=90$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü $V_c=40$ m/dak ve $L/D=3$ değerlerinde elde edilmiştir.



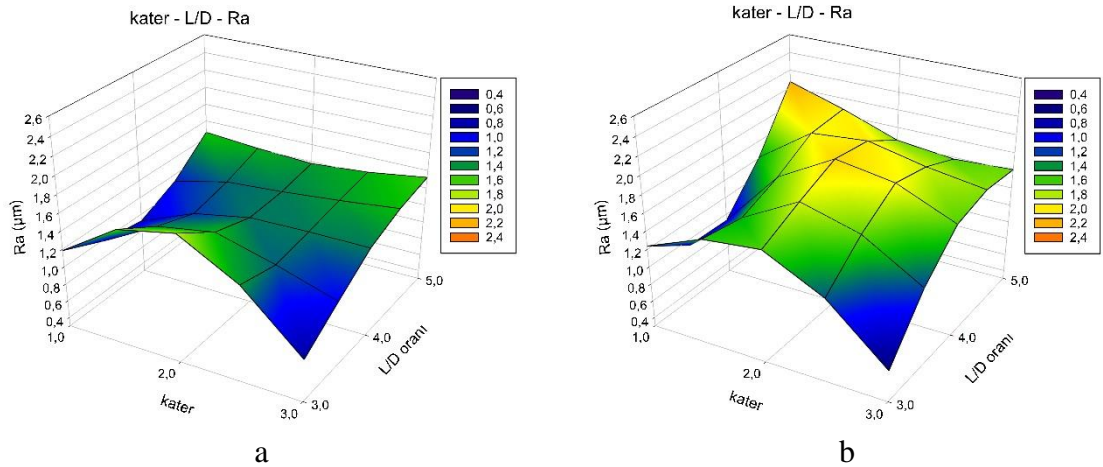
Şekil 7.101. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre R_a 'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve göre R_a 'nın değişimi Şekil 7.101'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri ıslak işlemeye göre ortalama %25 oranında daha düşüktür. Her iki işlemede ilerlemenin artışı yüzey pürüzlülüğünü artırmış, AVB kater ile yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve $f=0,07$ mm/dev de elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise kuru işlemede karbür katerde $f=0,16$ mm/dev'de ıslak işlemede karbür katerde $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir.



Şekil 7.102. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre R_a 'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre R_a 'nın değişimi Şekil 7.102'de görülmektedir. Genel itibariyle kuru işlemede yüzey pürüzlülüğü değerleri ıslak işlemeye göre ortalama %25 oranında daha düşüktür. Her iki işlemede orta kesme hızlarında AVB katerle daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB kater ve $V_c=60$ m/dak'da elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise kuru işlemede karbür kater $V_c=40$ m/dak'da ıslak işlemede karbür kater $V_c=60$ m/dak'da elde edilmiştir.

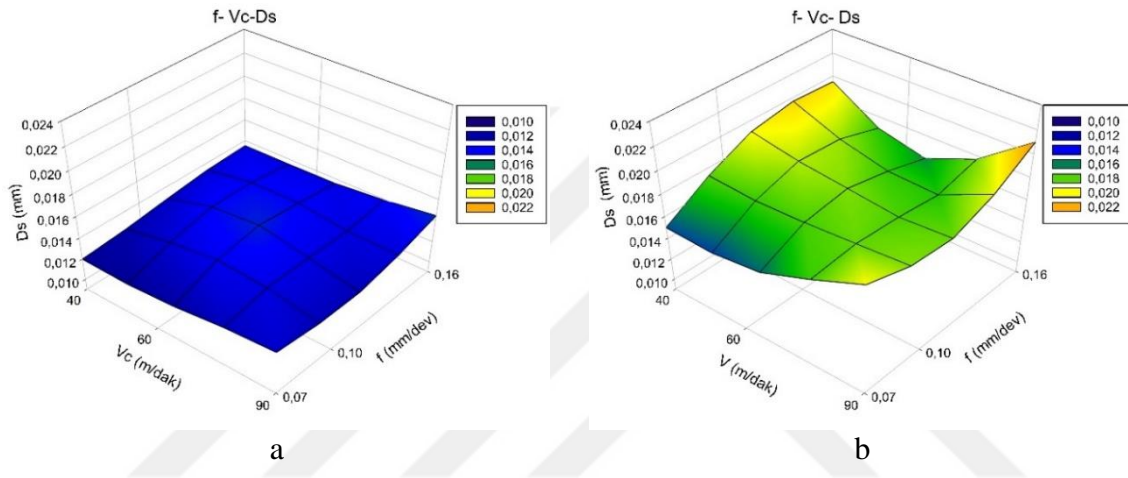


Şekil 7.103. KARBÜR'le işlemede kater ve L/D oranına göre R_a 'nın değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre R_a 'nın değişimi Şekil 7.103'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede yüzey

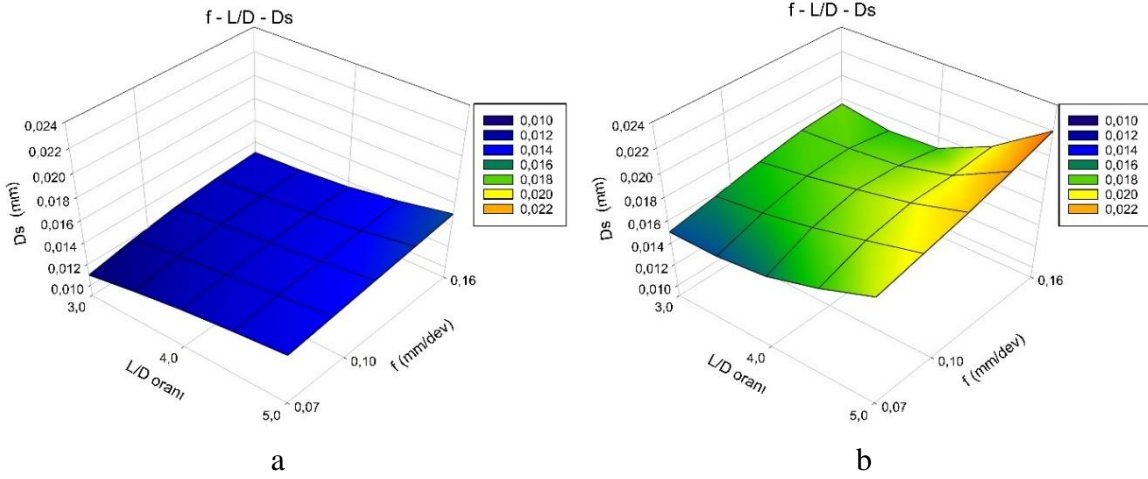
pürüzlülüğü değerleri ıslak işleme göre ortalama %25 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve $L/D=3$ oranında elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri ise kuru işlemede karbür kater ve $L/D=3$ oranında, ıslak işlemede çelik katerde ve $L/D=5$ oranında elde edilmiştir. AVB katerin titreşim sönümlenme etkisinden dolayı ve katerin kısa bağlama boyunda titreşim azaldığından yüzey pürüzlülüğü azalmıştır [42].

7.5.7. KARBÜR kuru / ıslak işleme dairesellikten sapma (D_s)



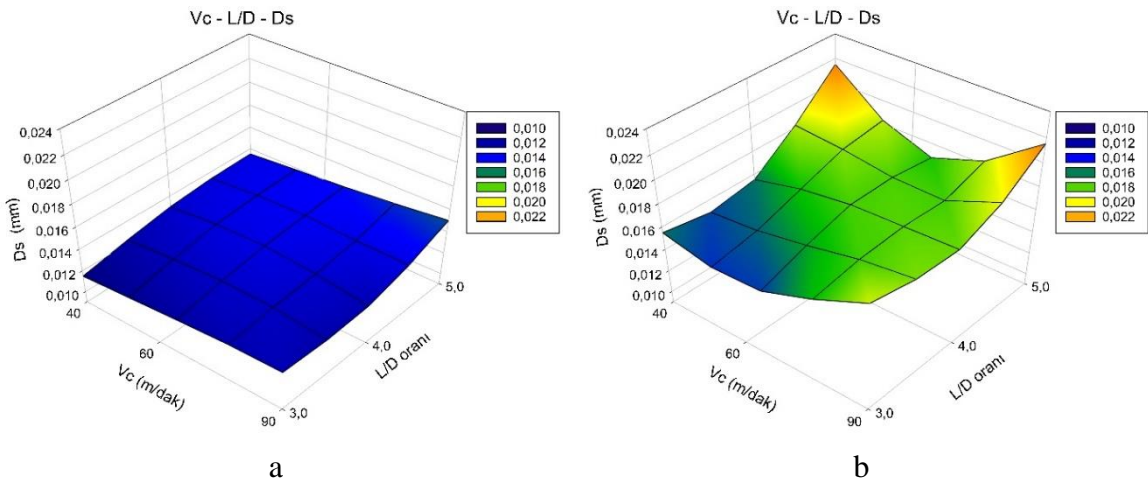
Şekil 7.104. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (V_c) göre D_s 'nin değişimi
a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (V_c) göre D_s 'nin değişimi Şekil 7.104'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %55 oranında daha yüksektir. Bu durum soğutma sıvısının malzemeyi serleştirmesi ve işlemeyi zorlaştırması ile açıklanabilir [103]. Kesme hızı ve ilerleme arttıkça dairesellikten sapma artması artan talaş hacmi ile ifade edilebilir. Kuru ve ıslak işlemede en düşük dairesellikten sapma değeri $V_c=40$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek dairesellikten sapma değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir.



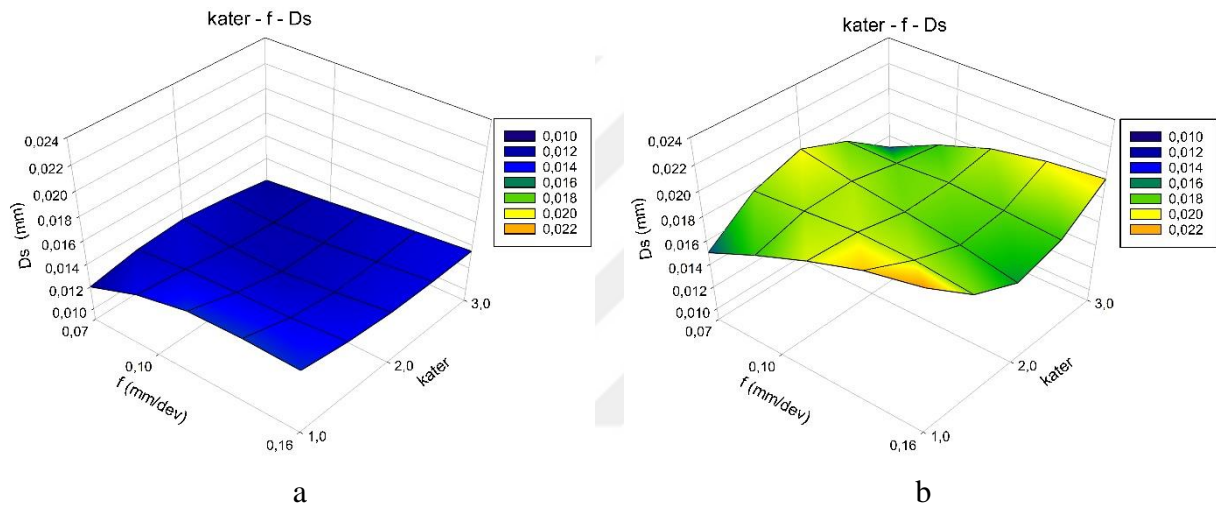
Şekil 7.105. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi Şekil 7.105'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede dairesellikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %55 oranında daha yüksektir. Islak işlemede soğutma sıvısı ile kesme bölgesinin yumuşayamadığı ve işlemenin zorlaştığı söylenebilir [106]. Her iki işlemede de katerin kısa bağlanmasında ve düşük ilerlemelerde daha düşük sapmalar elde edilmiştir. İlerlemenin artışıyla talaş temas uzunluğunun arttığı ve L/D oranının artışıyla da titreşimin arttığı, dolayısı ile dairesellikten sapmanın da arttığı söylenebilir [100]. Kuru ve ıslak işlemede en düşük dairesellik değeri $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek dairesellik değeri $f=0,16$ mm/dev ve $L/D=5$ değerlerinde edilmiştir.



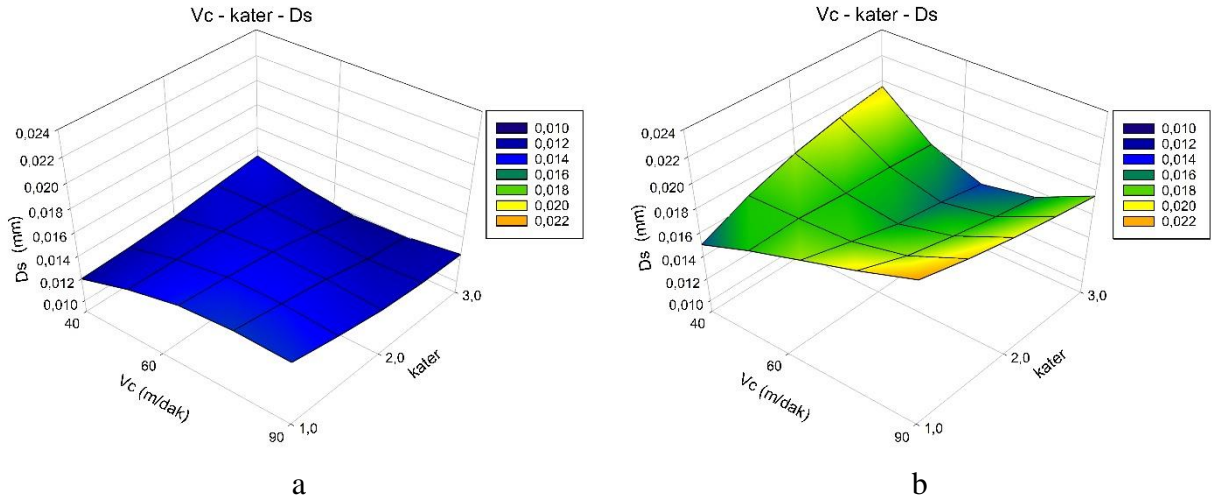
Şekil 7.106. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ds'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre D_s 'nin değişimi Şekil 7.106'da görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede dairesellikten sapma değerleri ıslak işleme göre ortalama %55 oranında daha düşüktür. Kuru işlemede kesme hızının etkisi oldukça azdır ve düşük L/D oranında daha düşük sapmalar olmuştur. Islak işlemede kesme hızı ve kater bağlama boyu arttıkça arttıkça dairesellikten sapmalar artmıştır. Kesme hızı artmasına rağmen soğutucunun etkisiyle kesme bölgesinin sertleştiği, L/D oranı artışı ile de titreşimin arttığı söylenebilir. En yüksek dairesellikten sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede $V_c=90$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde elde edilmiştir. En düşük dairesellikten sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede $V_c=40$ m/dak ve $L/D=3$ değerlerinde, edilmiştir.



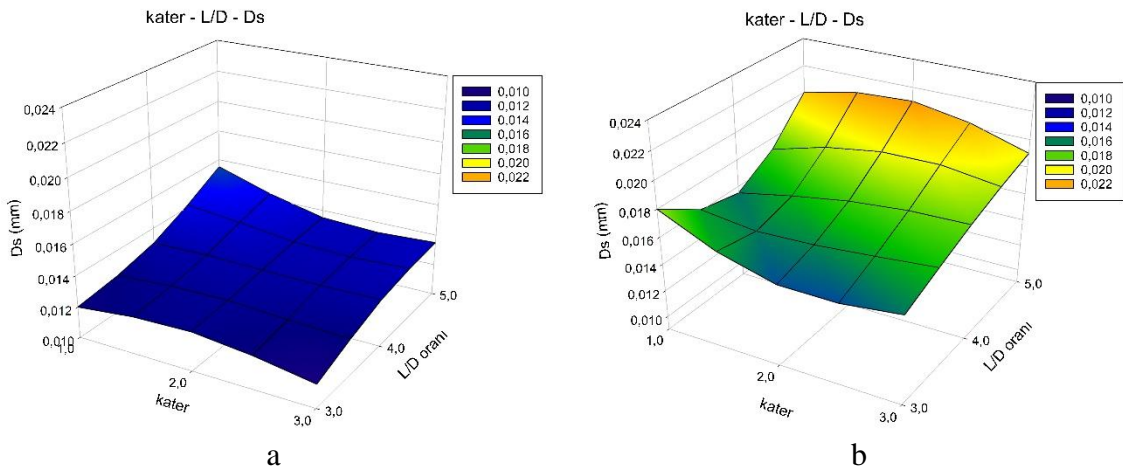
Şekil 7.107. KARBÜR'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre D_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre D_s 'nin değişimi Şekil 7.107'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede dairesellikten sapma değerleri ıslak işleme göre ortalama %55 oranında daha düşüktür. Her iki işlemede artan ilerleme ile talaş kesitinin arttığı ve dairesellikten sapmanın da buna bağlı olarak arttığı söylenebilir. En düşük dairesellik değerleri kuru ve ıslak işlemede çelik katerde $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. En yüksek dairesellik değerleri kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,16$ mm/dev'de, elde edilmiştir.



Şekil 7.108. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre D_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

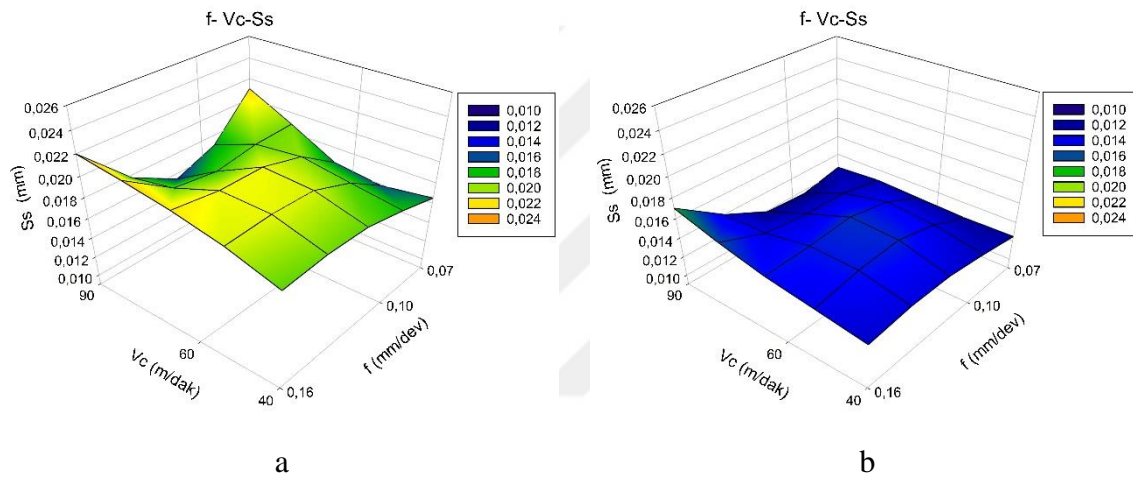
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre D_s 'nin değişimi Şekil 7.108'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede dairesellikten sapma değerleri ıslak işlemeye göre ortalama %55 oranında daha düşüktür. ıslak işlemede dairesellikten sapmanın yüksek olması soğutucunun etkisine bağlanabilir. Kuru işlemede en düşük dairesellik değerleri AVB katede $V_c=90$ m/dak'da ıslak işlemede AVB katede $V_c=60$ m/dak'da elde edilmiştir. En yüksek dairesellik değerleri ise kuru ve ıslak işlemede çelik katede $V_c=90$ m/dak'da elde edilmiştir.



Şekil 7.109. KARBÜR'le işlemede kateer ve L/D oranına göre D_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

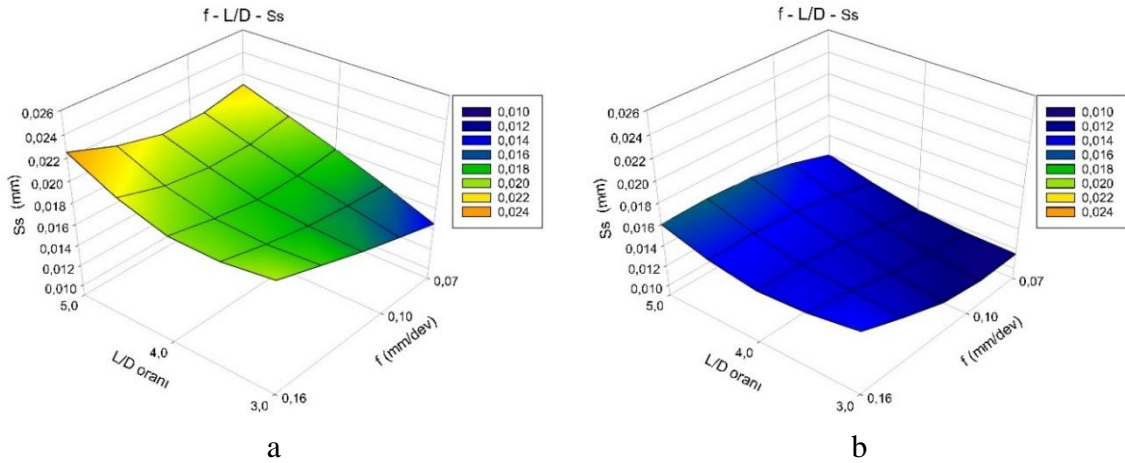
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre Ds'nın değişimi Şekil 7.109'da görülmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru işlemede dairesellikten sapma değerleri ıslak işlemeye göre ortalama %45 oranında daha düşüktür. En düşük Ds değerleri kuru işlemede AVB katerde ve L/D=3 oranında, ıslak işlemede karbür kater ve L/D=3 oranında elde edilmiştir. En yüksek Ds değerleri ise kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve L/D=5 oranında elde edilmiştir. AVB katerin titreşim sönümlenme etkisinden ve katerin kısa bağlama boyunda titreşim azaldığından Ds azalmıştır [42].

7.5.8. KARBÜR kuru / ıslak işleme silindiriklikten sapma (Ss)



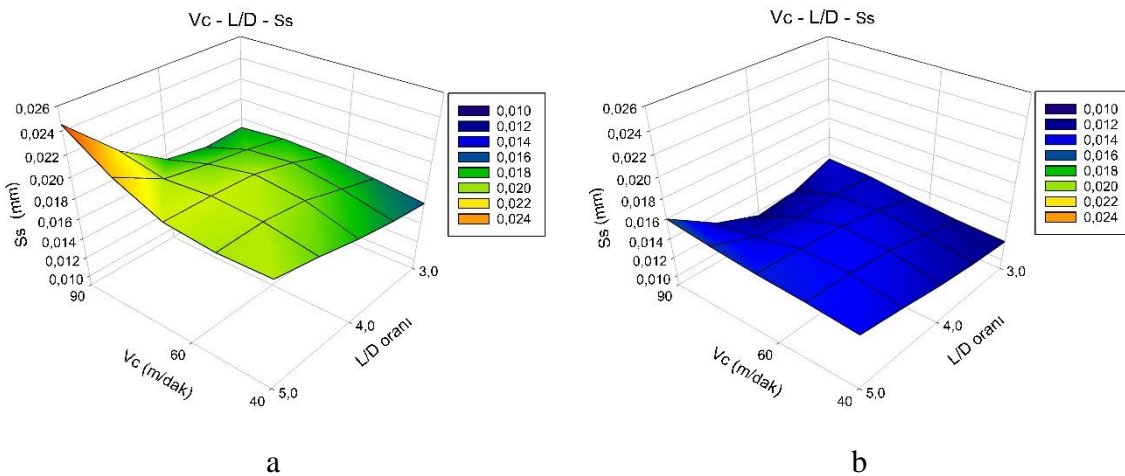
Şekil 7.110. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ss'nin değişimi
a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre Ss'nin değişimi Şekil 7.110'da görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede silindiriklikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %35 oranında daha düşük elde edilmiştir. Bu durum soğutma sıvısının yağlayıcı etkisi ile açıklanabilir [41]. Her iki işlemede de kesme hızının artışı ile dairesellikten sapmanın arttığı görülmektedir. Bu durum takım aşınmasına bağlanabilir [45]. Kuru ve ıslak işlemede en düşük silindiriklikten sapma değeri Vc=40 m/dak ve f=0,07 mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek silindiriklikten sapma değeri Vc=90 m/dak ve f=0,16 mm/dev'de elde edilmiştir.



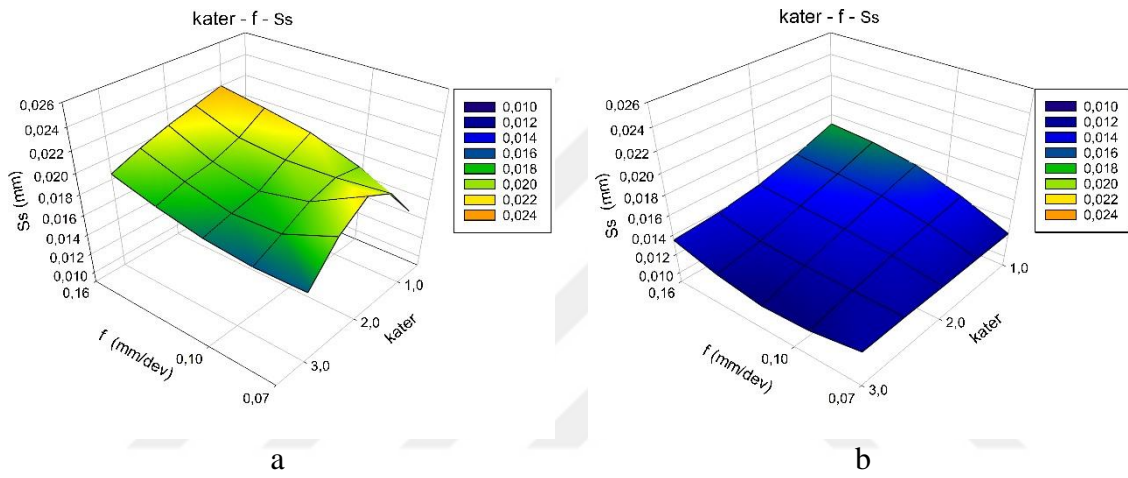
Şekil 7.111. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi Şekil 7.111'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede silindiriklikten sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %35 oranında daha düşük elde edilmiştir. Bu durum soğutma sıvısının yağlayıcı etkisi ile açıklanabilir [41]. Her iki işlemede de ilerlemenin artışı ile silindiriklikten sapma artmıştır. Bu durum takım talaş temas uzunluğu ve talaş kesitinin artmasına dolayısı ile Ss'nin artışına sebep olmuştur [97]. Her iki işlemede L/D oranının artışı ile Ss değerleri artmıştır. L/D oranının artışı titreşimin artışına sebep olarak silindiriklikten sapmayı arttırmıştır [100]. Kuru ve ıslak işlemede en düşük silindiriklik değeri $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek silindiriklik değeri $f=0,16$ mm/dev ve $L/D=5$ değerlerinde, elde edilmiştir.



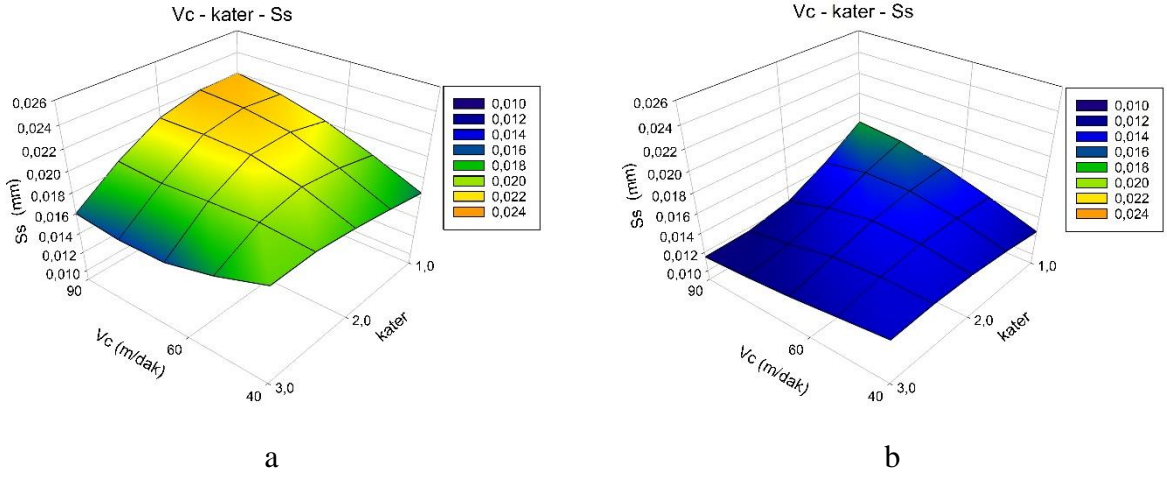
Şekil 7.112. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre S_s 'nin değişimi Şekil 7.112'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede silindiriklikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %35 oranında daha düşüktür. Bu durum soğutucunun yağlayıcı etkisi ile ifade edilebilir. Her iki işlemede kesme hızının artışı ile silindiriklikten sapmanın arttığı görülmektedir. Kesme hızının artışı takım aşınmasına sebep olmuş olabilir [45]. En yüksek S_s değerleri kuru ve ıslak işlemede $V_c=90$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en düşük S_s değeri $V_c=40$ m/dak ve $L/D=3$ değerlerinde elde edilmiştir. Her iki işlemede de düşük kesme hızları ve L/D oranları idealdir.



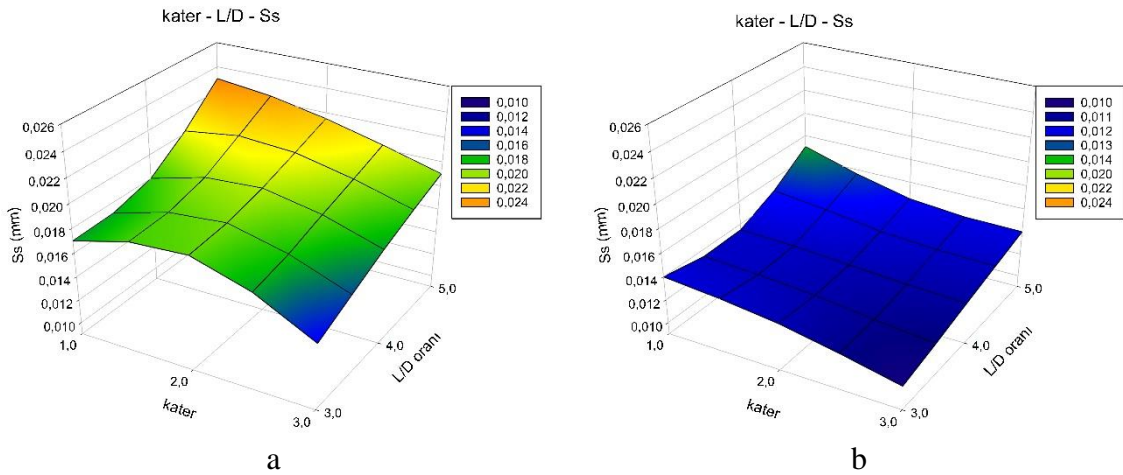
Şekil 7.113. KARBÜR'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre S_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre S_s 'nin değişimi Şekil 7.113'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede silindiriklikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %35 oranında daha düşük elde edilmiştir. Her iki işlemede AVB katerde silindiriklikten sapma daha düşüktür. Bu durum katerin sömümleyici etkisi ile ifade edilebilir [42]. En düşük S_s değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve ilerleme $f=0,07$ mm/dev de elde edilmiştir. En yüksek S_s değerleri kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,16$ mm/dev de elde edilmiştir.



Şekil 7.114. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre S_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

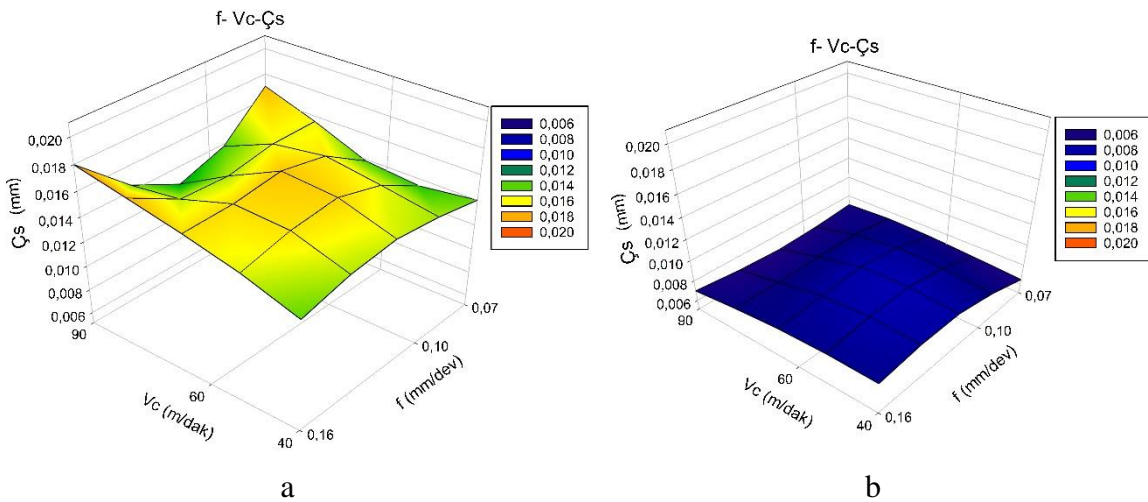
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre S_s 'nin değişimi Şekil 7.114'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede silindiriklikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %35 oranında daha düşük elde edilmiştir. Bu durum soğutucunun yağlama etkisi ile açıklanabilir. Her iki işlemede yüksek kesme hızlarında düşük sapmalar elde edilmiştir. Bu durum kesme hızının artışı ile kesme bölgesinin yumuşamasına bağlanabilir. Her iki işlemede düşük L/D oranları silindiriklikten sapmayı azaltmıştır. Bu azalma katerin kısa bağlanmasıyla titreşimin daha düşük olması ile ilgilidir. Kuru ve ıslak işlemede en düşük silindiriklikten sapma değerleri AVB katerde $V_c=90$ m/dak'da elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek silindiriklikten sapma değerleri çelik katerde $V_c=90$ m/dak'da elde edilmiştir.



Şekil 7.115. KARBÜR'le işlemede kater ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

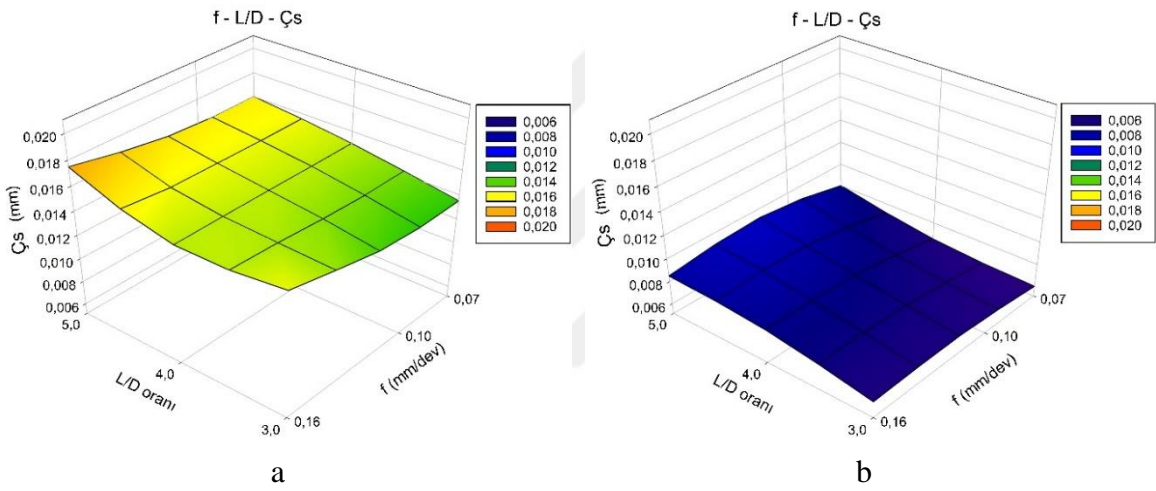
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre Ss'nin değişimi Şekil 7.115'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede silindiriklikten sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %35 oranında daha düşük elde edilmiştir. Her iki işlemede AVB katerde ve L/D=3 oranında silindiriklikten sapma daha düşüktür. Bu durum katerin sömümleyici etkisi ile ifade edilebilir [42]. En düşük Ss değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve ilerleme L/D=3 oranında elde edilmiştir. En yüksek Ss değerleri kuru ve ıslak işlemede çelik katerde ve L/D=5 oranında elde edilmiştir.

7.5.9. KARBÜR kuru / ıslak işleme çaptan sapma (ζ_s)



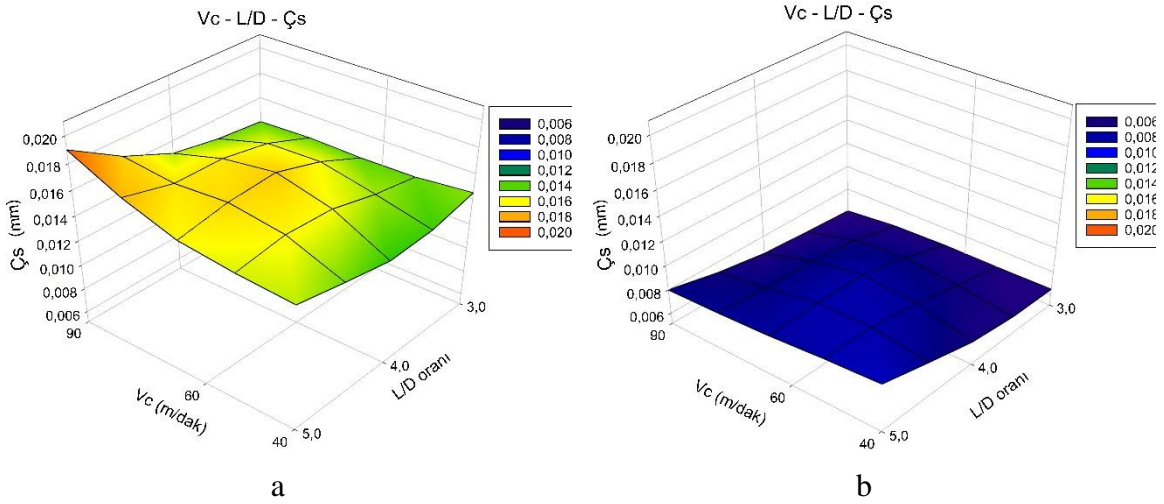
Şekil 7.116. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (Vc) göre ζ_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve kesme hızına (V_c) göre ζ_s 'nin değişimi Şekil 7.116'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %60 oranında daha düşüktür. Bu durum soğutma sıvısı ile açıklanabilir. Soğutma sıvısının yağlayıcı özelliği ile daha düşük sapmalar elde edilmiştir. Kuru işlemede kesme hızının artışı ile çaptan sapmanın artması takım aşınmasına bağlanabilir [45]. Kuru işlemede en düşük çaptan sapma değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir. Islak işlemede en düşük çaptan sapma değeri $V_c=40$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemede en yüksek çaptan sapma değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir. Islak işlemede en yüksek çaptan sapma değeri $V_c=60$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir.



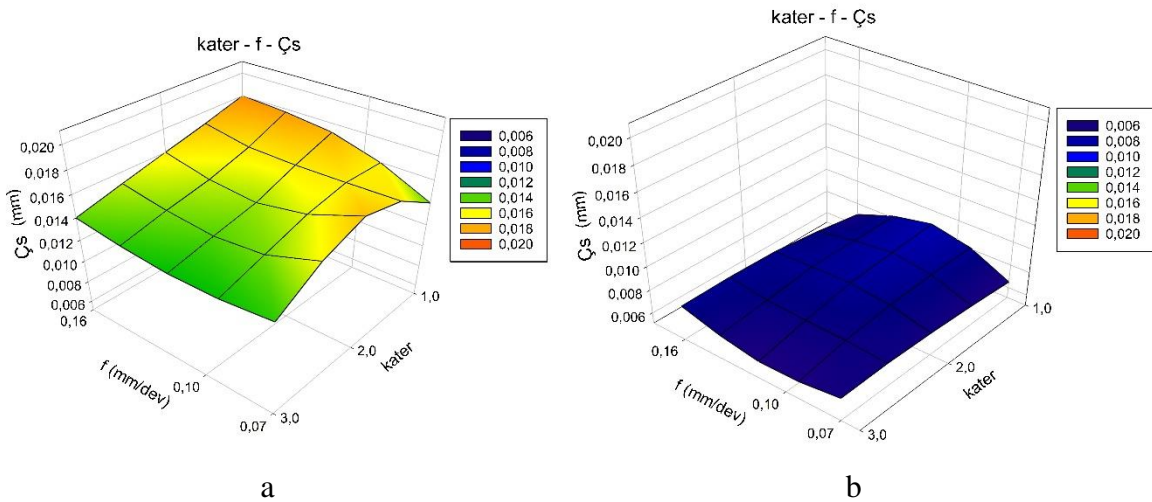
Şekil 7.117. KARBÜR'le işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre ζ_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede ilerleme (f) ve L/D oranına göre ζ_s 'nin değişimi Şekil 7.117'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %60 oranında daha düşüktür. Her iki işlemede düşük L/D oranında çaptan sapma azalmıştır. L/D 'nin artışı titreşimin artmasını sağlamaktadır [97]. Kuru ve ıslak işlemede en düşük çaptan sapma değeri $f=0,07$ mm/dev ve $L/D=3$ değerlerinde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek çaptan sapma değeri $f=0,16$ mm/dev ve $L/D=5$ değerlerinde edilmiştir.



Şekil 7.118. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre \dot{C}_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

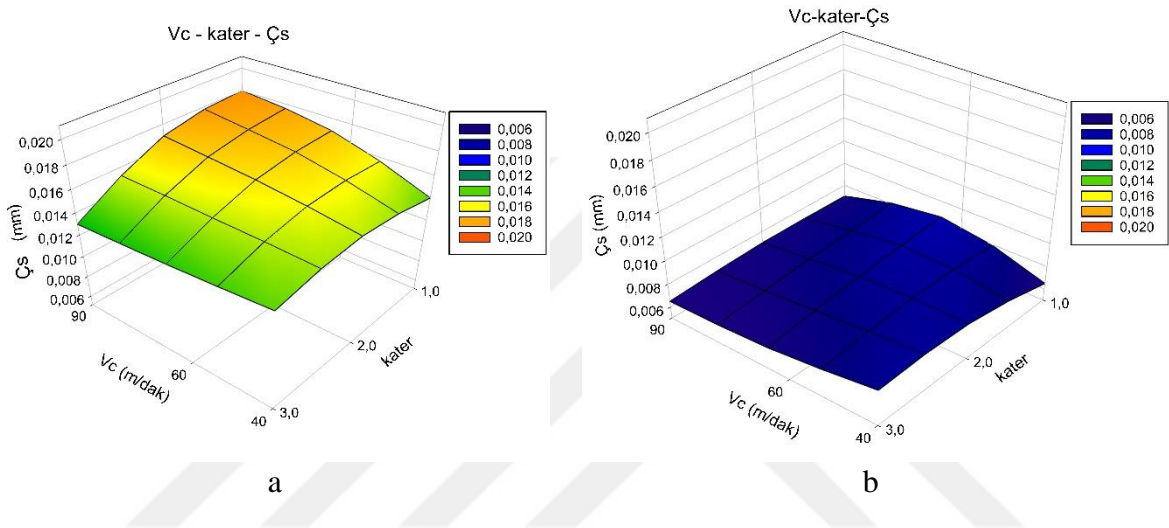
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve L/D oranına göre \dot{C}_s 'nin değişimi Şekil 7.118'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %60 oranında daha düşüktür. Her iki işlemede L/D oranının artışı çaptan sapmayı artırmıştır. En yüksek çaptan sapma değerleri kuru işlemede $V_c=90$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde, ıslak işlemede $V_c=40$ m/dak ve $L/D=5$ değerlerinde elde edilmiştir. En düşük çaptan sapma değerleri her iki işlemede de $V_c=40$ m/dak ve $L/D=3$ değerlerinde elde edilmiştir.



Şekil 7.119. KARBÜR'le işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre \dot{C}_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

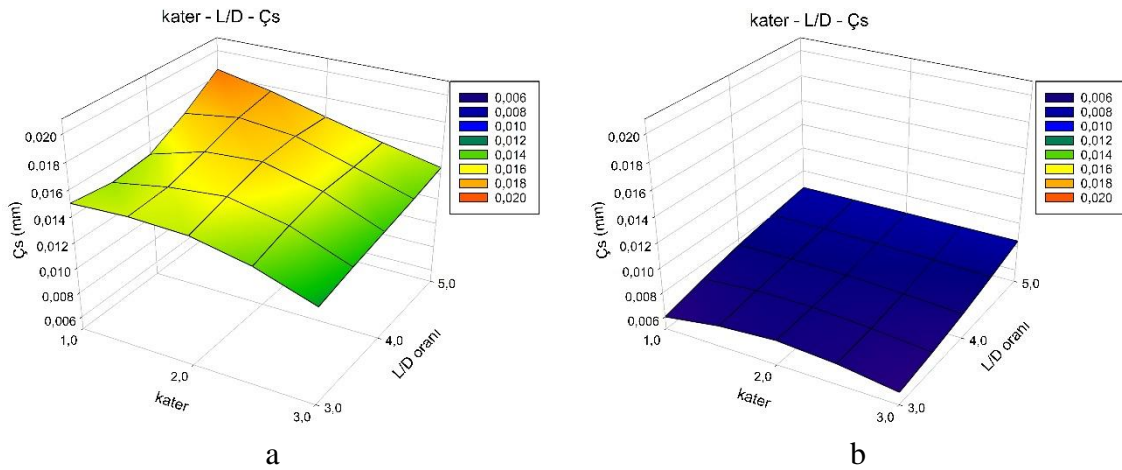
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve ilerlemeye (f) göre \dot{C}_s 'nin değişimi Şekil 7.119'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan

sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %60 oranında daha düşüktür. Islak işlemede ilerleme ve katerin etkisinin azdır. AVB katerde daha düşük çaptan sapma değerleri elde edilmiştir. Bu durum katerin sönümleyici etkisi ile ifade edilebilir [44,49]. En düşük çaptan sapma değerleri kuru ve ıslak işlemede AVB katerde ve ilerleme $f=0,07$ mm/dev'de ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. En yüksek çaptan sapma değerleri kuru işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,16$ mm/dev'de, ıslak işlemede çelik katerde ve ilerleme $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir.



Şekil 7.120. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Çs'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

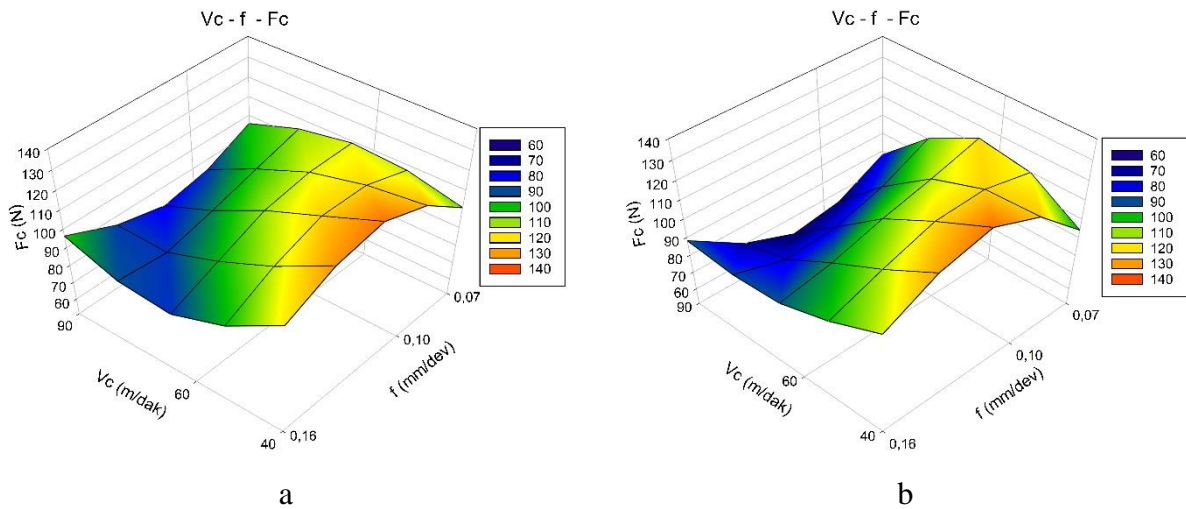
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (Vc) ve katere (1-çelik 2-karbür 3-AVB) göre Çs'nin değişimi Şekil 7.120'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işleme göre ortalama %60 oranında daha düşüktür. Islak işlemede AVB katerle daha düşük çaptan sapma elde edilmiştir. Bu durum katerin sönümleyici etkisi ile ifade edilebilir [44,49]. Kuru işlemede en düşük çaptan sapma değeri $Vc=40$ m/dak ve AVB kater ile elde edilirken en yüksek çaptan sapma değeri $Vc=90$ m/dak'da ve çelik kater ile elde edilmiştir. Islak işlemede en düşük sapma değeri $Vc=90$ m/dak ve AVB kater ile elde edilirken en yüksek çaptan sapma değeri $Vc=60$ m/dak'da ve çelik kater ile elde edilmiştir.



Şekil 7.121. KARBÜR'le işlemede kater ve L/D oranına göre \dot{C}_s 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

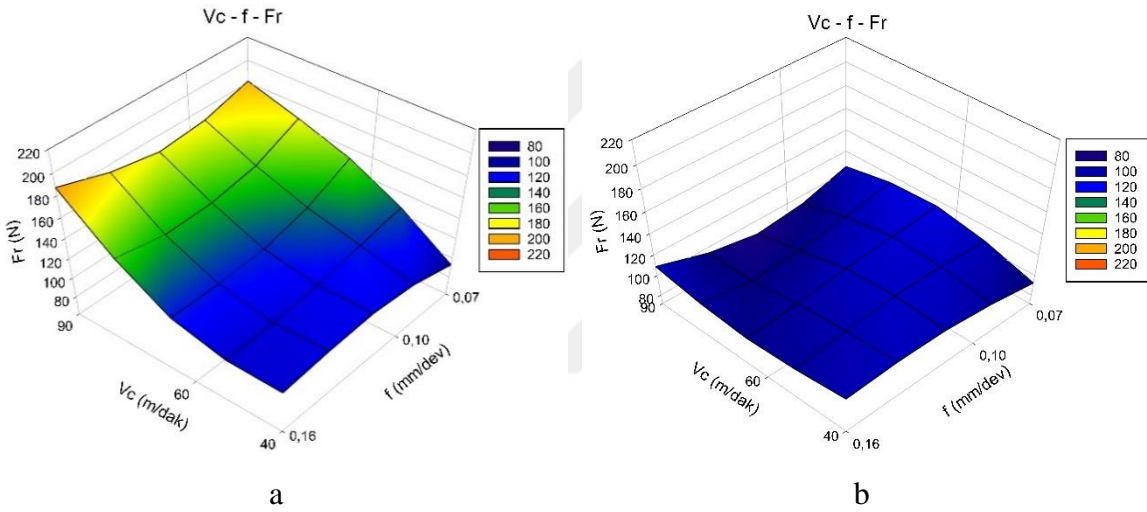
KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kater (1-çelik 2-karbür 3-AVB) ve L/D oranına göre \dot{C}_s 'nin değişimi Şekil 7.121'de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede çaptan sapma değerleri kuru işlemeye göre ortalama %60 oranında daha düşük elde edilmiştir. En düşük \dot{C}_s değerleri her iki işlemede de AVB katerde ve L/D=3 oranında, elde edilmiştir. En yüksek \dot{C}_s değerleri ise her iki işlemede çelik katerde ve L/D=5 oranında elde edilmiştir. Kısa bağlama boyları ve AVB katerin sönümleyici etkisi titreşimi azaltarak sapma değerlerinin azalmasına sebep olmuştur [42].

7.5.10. KARBÜR kuru / ıslak işleme kesme kuvvetleri (F_c - F_r - F_f)



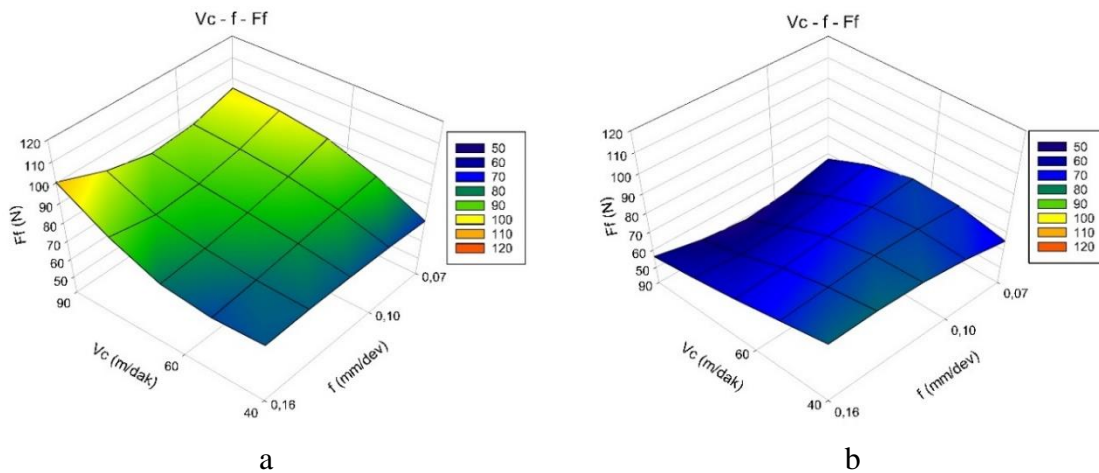
Şekil 7.122. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_c 'nin değişimi a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_c 'nin değişimi Şekil 7.122'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde her iki işlemede de kesme hızı ve ilerleme arttıkça F_c kuvvetinin azaldığı görülmektedir. Bu durum yüksek kesme hızı değerlerinde sıcaklığın artması ile malzeme deformasyonu kolaylaştırmasına bağlanabilir [60]. Düşük kesme hızı ve artan ilerleme ile F_c artış göstermiştir. Dolayısı ile ilerlemenin artışı ile talaş kesitinin artması kesme kuvvetini arttırmıştır [97]. Kuru ve ıslak işlemede en düşük F_c değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek F_c değeri $V_c=40$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir. Her iki işlemede de kesme kuvveti değerleri birbirine yakındır.



Şekil 7.123. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_r 'nin değişimi
a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_r 'nin değişimi Şekil 7.123'te görülmektedir. Grafikler incelendiğinde F_r 'de ıslak işlemede kuru işleme göre ortalama %30 oranında azalma vardır. Bu azalma soğutma sıvısının yağlayıcı etkisi ile malzemeyi işlemeyi kolaylaştırmasına atfedilebilir [41]. Islak işlemede en düşük F_r değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemede kesme hızının artışının radyal kuvvetleri arttırmıştır. Bu durum takım aşınmasına atfedilebilir [45]. Kuru işlemede en düşük F_r değeri $V_c=40$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru ve ıslak işlemede en yüksek F_r değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir.



Şekil 7.124. KARBÜR'le işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_f 'nin değişimi
a) kuru işleme, b) ıslak işleme

KARBÜR'le kuru ve ıslak işlemede kesme hızı (V_c) ve ilerlemeye (f) göre F_f 'nin değişimi Şekil 7.124'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ıslak işlemede kuru işlemeye göre ortalama %30 oranında daha düşük F_f değerleri elde edilmiştir. Islak işlemede daha düşük F_f değerlerinin elde edilmesi soğutucunun malzemeyi yağlayıcı özelliği ile ifade edilebilir [41]. Islak işlemede yüksek kesme hızında daha düşük F_f değerleri ortaya çıkmıştır. Kesme hızının artışı ile kesme bölgesinin sıcaklığının arttığı ve işlemenin kolaylaştığı söylenebilir. Kuru işlemede yüksek kesme hızlarında F_f değerlerinin arttığı görülmektedir. Yüksek kesme hızı takım aşınmasına sebep olmuş olabilir [45]. Kuru işlemede en düşük F_f değeri $V_c=40$ m/dak ve $f=0,07$ mm/dev'de, ıslak işlemde en düşük F_f değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,10$ mm/dev'de elde edilmiştir. Kuru işlemde en yüksek F_f değeri $V_c=90$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de, ıslak işlemde en yüksek F_f değeri $V_c=40$ m/dak ve $f=0,16$ mm/dev'de elde edilmiştir.

7.6. Deney Sonuçlarının Çoklu Optimizasyon Yöntemleri ile Değerlendirilmesi

Bu bölümde CBN ve KARBÜR kesici uçlar kullanılarak NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin delik içi tormalanması sonucunda elde edilen, yüzey pürüzlülüğü (R_a), dairesellikten sapma (D_s), silindiriklikten sapma (S_s) ve çaptan sapma ($\Ç_s$) değerleri için çok kriterli karar verme yöntemleri (GRA-TOPSIS) kullanılarak en uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Çizelge 7.97'de CBN kuru işleme parametreleri ve deney sonuçları, Çizelge 7.98'de CBN ıslak işleme parametreleri ve deney sonuçları, Çizelge 7.99'da KARBÜR kuru işleme parametreleri ve deney sonuçları ve Çizelge 7.100'de

KARBÜR ıslak işleme parametreleri ve deney sonuçları ile birlikte verilmiştir. Çizelgelerde Ra: yüzey pürüzlülüğünü, Ds: dairesellikten sapmayı, Ss: silindiklikten sapmayı, Çs: çaptan sapmayı, A: malzeme parametresini (1: NiHARD-4, 2: YKBDD), B: kater parametresini (1: ÇELİK, 2: KARBÜR, 3: AVB), C: L/D parametresini (1: 3-2: 4-3: 5), D: kesme hızı parametresini (Vc: CBN için 1: 90, 2: 135, 3: 200 – KARBÜR için 1: 40 - 2: 60 - 3: 90) ve E: ilerleme parametresini (1: 0,07-2: 0,10-3: 0,16) ifade etmektedir.

Çizelge 7.97. CBN kuru işleme parametreleri ve deney sonuçları

Deney No	A	B	C	D	E	Ra (μm)	Ds (mm)	Ss (mm)	Çs (mm)
1	1	1	1	1	1	0,7900	0,0090	0,0100	0,0180
2	1	1	2	2	2	0,9300	0,0120	0,0140	0,0220
3	1	1	3	3	3	2,0900	0,0160	0,0200	0,0370
4	1	2	1	1	2	0,8500	0,0090	0,0070	0,0200
5	1	2	2	2	3	2,1000	0,0120	0,0140	0,0280
6	1	2	3	3	1	0,7200	0,0130	0,0130	0,0300
7	1	3	1	2	1	0,3700	0,0080	0,0110	0,0120
8	1	3	2	3	2	0,9600	0,0110	0,0130	0,0140
9	1	3	3	1	3	1,9900	0,0130	0,0160	0,0220
10	2	1	1	3	3	2,2100	0,0120	0,0120	0,0240
11	2	1	2	1	1	1,7600	0,0110	0,0090	0,0190
12	2	1	3	2	2	1,0600	0,0120	0,0150	0,0230
13	2	2	1	2	3	2,0900	0,0100	0,0120	0,0260
14	2	2	2	3	1	1,9200	0,0120	0,0120	0,0270
15	2	2	3	1	2	1,1200	0,0130	0,0130	0,0300
16	2	3	1	3	2	0,9000	0,0080	0,0090	0,0190
17	2	3	2	1	3	2,3800	0,0100	0,0110	0,0210
18	2	3	3	2	1	0,6400	0,0100	0,0130	0,0200

Çizelge 7.98. CBN ıslak işleme parametreleri ve deney sonuçları

Deney No	A	B	C	D	E	Ra (μm)	Ds (mm)	Ss (mm)	Çs (mm)
1	1	1	1	1	1	0,6300	0,0040	0,0190	0,0020
2	1	1	2	2	2	0,8000	0,0070	0,0280	0,0030
3	1	1	3	3	3	1,5000	0,0140	0,0320	0,0100
4	1	2	1	1	2	0,7000	0,0010	0,0210	0,0010
5	1	2	2	2	3	1,2000	0,0040	0,0290	0,0023
6	1	2	3	3	1	0,6500	0,0070	0,0300	0,0029
7	1	3	1	2	1	0,3000	0,0020	0,0230	0,0020
8	1	3	2	3	2	0,7300	0,0060	0,0250	0,0300
9	1	3	3	1	3	1,4000	0,0070	0,0270	0,0020
10	2	1	1	3	3	1,4500	0,0100	0,0280	0,0070
11	2	1	2	1	1	1,3200	0,0070	0,0250	0,0015
12	2	1	3	2	2	0,7900	0,0110	0,0300	0,0024
13	2	2	1	2	3	1,3200	0,0050	0,0290	0,0018
14	2	2	2	3	1	1,2000	0,0070	0,0280	0,0070
15	2	2	3	1	2	0,8900	0,0090	0,0300	0,0013
16	2	3	1	3	2	0,7500	0,0030	0,0260	0,0140
17	2	3	2	1	3	1,6400	0,0060	0,0270	0,0140
18	2	3	3	2	1	0,4800	0,0060	0,0280	0,0036

Çizelge 7.99. KARBÜR kuru işleme parametreleri ve deney sonuçları

Deney No	A	B	C	D	E	Ra (μm)	Ds (mm)	Ss (mm)	Çs (mm)
1	1	1	1	1	1	0,8500	0,0110	0,0150	0,0140
2	1	1	2	2	2	0,9700	0,0130	0,0180	0,0160
3	1	1	3	3	3	1,7500	0,0160	0,0250	0,0200
4	1	2	1	1	2	1,6200	0,0120	0,0170	0,0150
5	1	2	2	2	3	1,8300	0,0140	0,0210	0,0170
6	1	2	3	3	1	0,9600	0,0140	0,0240	0,0180
7	1	3	1	2	1	0,6800	0,0110	0,0140	0,0130
8	1	3	2	3	2	0,9400	0,0130	0,0170	0,0140
9	1	3	3	1	3	1,8400	0,0140	0,0200	0,0150
10	2	1	1	3	3	1,5200	0,0130	0,0190	0,0160
11	2	1	2	1	1	0,8700	0,0130	0,0180	0,0140
12	2	1	3	2	2	1,1700	0,0150	0,0210	0,0170
13	2	2	1	2	3	1,8400	0,0130	0,0200	0,0150
14	2	2	2	3	1	0,7700	0,0120	0,0180	0,0160
15	2	2	3	1	2	1,7900	0,0130	0,0190	0,0150
16	2	3	1	3	2	0,8800	0,0120	0,0150	0,0120
17	2	3	2	1	3	1,6800	0,0130	0,0170	0,0130
18	2	3	3	2	1	1,2000	0,0130	0,0180	0,0140

Çizelge 7.100. KARBÜR ıslak işleme parametreleri ve deney sonuçları

Deney No	A	B	C	D	E	Ra (μm)	Ds (mm)	Ss (mm)	Çs (mm)
1	1	1	1	1	1	0,5300	0,0160	0,0120	0,0060
2	1	1	2	2	2	1,2000	0,0170	0,0140	0,0080
3	1	1	3	3	3	2,6200	0,0220	0,0180	0,0080
4	1	2	1	1	2	0,8900	0,0150	0,0120	0,0070
5	1	2	2	2	3	2,5300	0,0170	0,0150	0,0090
6	1	2	3	3	1	2,1200	0,0210	0,0140	0,0080
7	1	3	1	2	1	0,5600	0,0140	0,0110	0,0060
8	1	3	2	3	2	1,1200	0,0180	0,0120	0,0070
9	1	3	3	1	3	2,4500	0,0220	0,0140	0,0090
10	2	1	1	3	3	1,9400	0,0200	0,0160	0,0060
11	2	1	2	1	1	0,6500	0,0140	0,0130	0,0070
12	2	1	3	2	2	1,5100	0,0180	0,0160	0,0090
13	2	2	1	2	3	2,2300	0,0150	0,0140	0,0070
14	2	2	2	3	1	1,3700	0,0170	0,0110	0,0060
15	2	2	3	1	2	1,1800	0,0210	0,0150	0,0090
16	2	3	1	3	2	0,7500	0,0170	0,0110	0,0060
17	2	3	2	1	3	2,0200	0,0170	0,0130	0,0070
18	2	3	3	2	1	0,7700	0,0160	0,0140	0,0080

7.6.1. Gri ilişkisel analiz (GRA) yöntemi ile optimizasyon

GRA yönteminde ilk olarak normalizasyon işlemi yapılır. Yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma deneylerinden elde edilen sonuçların en düşük değerleri idealdir. Dolayısı ile gri ilişkisel analiz (GRA) yönteminde sonuçlar

üzerinde normalizasyon değerleri “daha küçük daha iyi” (bkz. Eş 6.5) yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (bkz Eş. 6.7). Gri ilişkisel katsayıları (GRC) elde edildikten sonra gri ilişkisel dereceler (GRG) hesaplanmıştır (bkz Eş. 6.8). Elde edilen en büyük GRG, değeri faktörlerin en uygun değerler olduğunu ifade etmektedir. CBN kuru işleme, CBN ıslak işleme, KARBÜR kuru işleme, KARBÜR ıslak işleme ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara (GRA) yöntemi uygulanmıştır. En büyük değer en uygun değer olduğundan GRA sonuçlarına Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) uygulanarak kesme parametrelerinin çoklu çıktılar üzerinde etkileri incelenmiştir. Varyans analizi ile de kesme parametrelerinin çıktılar üzerindeki etki oranları ortaya koyulmuştur.

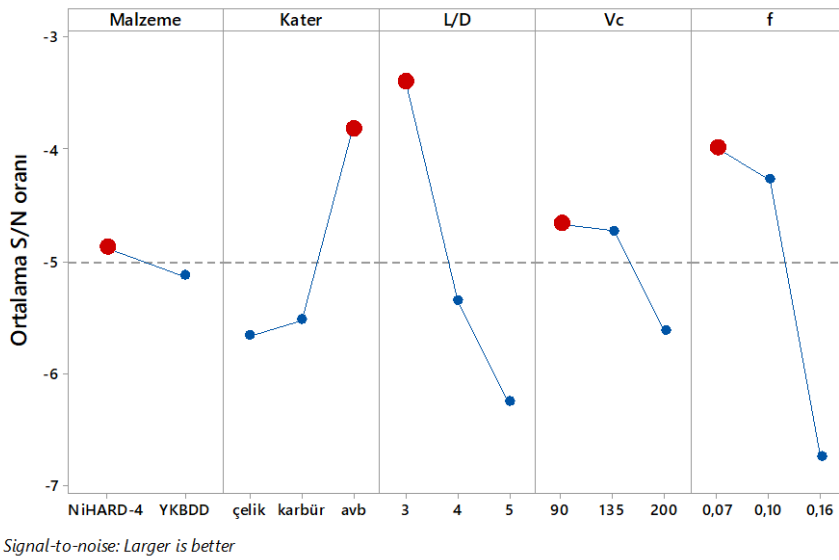
CBN kuru işleme için gri ilişkisel analiz (GRA)

Deney sonuçlarına GRA yöntemi uygulanarak, elde edilen gri ilişkisel dereceler (GRG) sıralanmıştır. Sıralamada 7 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek gri ilişkisel dereceye sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 7 nolu deneyde (Çizelge 7.97) kullanılan ideal kesme parametrelerinin (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.101).

Çizelge 7.101. CBN kuru işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA)

	Normalizasyon değerleri				Uzaklık matrisi				GRG	Sıralama
	Ra	Ds	Ss	Cs	Ra	Ds	Ss	Cs		
1	0,7910	0,8750	0,7692	0,7600	0,7053	0,8000	0,6842	0,6757	0,7163	4
2	0,7214	0,5000	0,4615	0,6000	0,6422	0,5000	0,4815	0,5556	0,5448	9
3	0,1443	0,0000	0,0000	0,0000	0,3688	0,3333	0,3333	0,3333	0,3422	18
4	0,7612	0,8750	1,0000	0,6800	0,6768	0,8000	1,0000	0,6098	0,7716	2
5	0,1393	0,5000	0,4615	0,3600	0,3675	0,5000	0,4815	0,4386	0,4469	17
6	0,8259	0,3750	0,5385	0,2800	0,7417	0,4444	0,5200	0,4098	0,5290	10
7	1,0000	1,0000	0,6923	1,0000	1,0000	1,0000	0,6190	1,0000	0,9048	1
8	0,7065	0,6250	0,5385	0,9200	0,6301	0,5714	0,5200	0,8621	0,6459	6
9	0,1940	0,3750	0,3077	0,6000	0,3829	0,4444	0,4194	0,5556	0,4506	16
10	0,0846	0,5000	0,6154	0,5200	0,3533	0,5000	0,5652	0,5102	0,4822	14
11	0,3085	0,6250	0,8462	0,7200	0,4196	0,5714	0,7647	0,6410	0,5992	7
12	0,6567	0,5000	0,3846	0,5600	0,5929	0,5000	0,4483	0,5319	0,5183	11
13	0,1443	0,7500	0,6154	0,4400	0,3688	0,6667	0,5652	0,4717	0,5181	12
14	0,2289	0,5000	0,6154	0,4000	0,3933	0,5000	0,5652	0,4545	0,4783	15
15	0,6269	0,3750	0,5385	0,2800	0,5726	0,4444	0,5200	0,4098	0,4867	13
16	0,7363	1,0000	0,8462	0,7200	0,6547	1,0000	0,7647	0,6410	0,7651	3
17	0,0000	0,7500	0,6923	0,6400	0,3333	0,6667	0,6190	0,5814	0,5501	8
18	0,8657	0,7500	0,5385	0,6800	0,7882	0,6667	0,5200	0,6098	0,6462	5

Faktörlerin gri ilişkisel derece (GRG) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.125).



Şekil 7.125. CBN kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin GRG üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.102).

Çizelge 7.102. CBN kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	-4,873	-5,664	-3,399	-4,661	-3,991
2	-5,131	-5,525	-5,352	-4,726	-4,269
3		-3,817	-6,254	-5,618	-6,746
Değişim	0,258	1,847	2,856	0,957	2,755
Sıralama	5	3	1	4	2

Çizelge 7.102’de S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişimin L/D oranı faktöründe meydana geldiği görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme, kater, kesme hızı ve malzeme şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.103).

Çizelge 7.103. CBN kuru işleme şartları GRG için Varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,005266	%1,57	0,005266	0,005266	3,07	0,118
Kater	2	0,06187	%18,41	0,06187	0,030935	18,02	0,001
L/D	2	0,127067	%37,81	0,127067	0,063534	37,01	0
Vc	2	0,012404	%3,69	0,012404	0,006202	3,61	0,076
f	2	0,115693	%34,43	0,115693	0,057846	33,7	0
Hata	8	0,013733	%4,09	0,013733	0,001717		
Toplam	17	0,336033	%100,00				

ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma üzerindeki etkileri sıralaması %37,81 ile L/D oranı, %34,43 ile ilerleme %18,41 ile kater, %3,69 ile kesme hızı ve %1,57 ile malzeme faktörü şeklinde ortaya çıkmıştır. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin GRG için R^2 =%95,91 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 7.117 ve Çizelge 7.102 incelendiğinde GRA en ideal kesme parametrelerini A1B3C1D1E1 olarak önermektedir. Önerilen parametreler kullanılarak Taguchi yöntemi ile GRG tahmini ve parametre değerleri ile de doğrulama deneyleri yapılmıştır. Literatür incelendiğinde başlangıç faktörleri için iki yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Birinci yöntemde başlangıç faktörleri için ilk deney parametreleri kullanılırken [91], ikinci yöntemde ise elde edilen GRG değerlerinin ortalaması alınıp ortalamaya en yakın deney parametreleri kullanılmıştır [68]. Bu çalışmada başlangıç faktörleri olarak ilk deney parametreleri kullanılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda GRA'daki iyileşme 0,1703 olarak elde edilmiştir (Çizelge 7.104).

Çizelge 7.104. CBN kuru işlemede GRG için doğrulama deney sonuçları

Çıktılar	Başlangıç faktörleri	Optimum faktörler	
	A1B1C1D1E1	Tahmin	Deney
Ra	0,79		0,36
Ds	0,009		0,007
Ss	0,01		0,01
Çs	0,018		0,014
GRA	0,7163	0.8792	0.8866

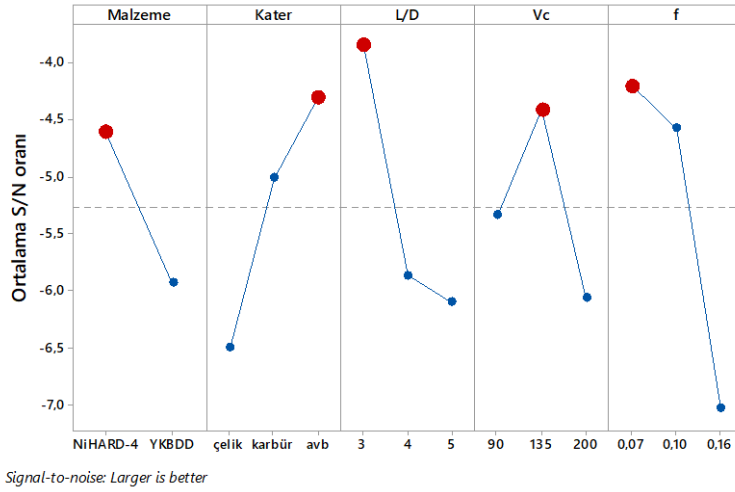
CBN ıslak işleme için gri ilişkisel analiz (GRA)

Deney sonuçlarına GRA yöntemi uygulanarak, elde edilen gri ilişkisel dereceler (GRG) sıralanmıştır. Sıralamada 7 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek gri ilişkisel dereceye sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 7 nolu deneyde (Çizelge 7.98) kullanılan ideal kesme parametrelerinin (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.105).

Çizelge 7.105. CBN ıslak işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA)

	Normalizasyon değerleri				Uzaklık matrisi				GRG	Sıralama
	Ra	Ds	Ss	Cs	Ra	Ds	Ss	Cs		
1	0,7537	0,7692	1,0000	0,9655	0,6700	0,6842	1,0000	0,9355	0,6771	4
2	0,6269	0,5385	0,3077	0,9310	0,5726	0,5200	0,4194	0,8788	0,5463	9
3	0,1045	0,0000	0,0000	0,6897	0,3583	0,3333	0,3333	0,6170	0,3458	18
4	0,7015	1,0000	0,8462	1,0000	0,6262	1,0000	0,7647	1,0000	0,8131	2
5	0,3284	0,7692	0,2308	0,9552	0,4268	0,6842	0,3939	0,9177	0,5555	8
6	0,7388	0,5385	0,1538	0,9345	0,6569	0,5200	0,3714	0,8841	0,5884	6
7	1,0000	0,9231	0,6923	0,9655	1,0000	0,8667	0,6190	0,9355	0,9333	1
8	0,6791	0,6154	0,5385	0,0000	0,6091	0,5652	0,5200	0,3333	0,5872	7
9	0,1791	0,5385	0,3846	0,9655	0,3785	0,5200	0,4483	0,9355	0,4493	16
10	0,1418	0,3077	0,3077	0,7931	0,3681	0,4194	0,4194	0,7073	0,3937	17
11	0,2388	0,5385	0,5385	0,9828	0,3964	0,5200	0,5200	0,9667	0,4582	14
12	0,6343	0,2308	0,1538	0,9517	0,5776	0,3939	0,3714	0,9119	0,4858	12
13	0,2388	0,6923	0,2308	0,9724	0,3964	0,6190	0,3939	0,9477	0,5077	10
14	0,3284	0,5385	0,3077	0,7931	0,4268	0,5200	0,4194	0,7073	0,4734	13
15	0,5597	0,3846	0,1538	0,9897	0,5317	0,4483	0,3714	0,9797	0,4900	11
16	0,6642	0,8462	0,4615	0,5517	0,5982	0,7647	0,4815	0,5273	0,6815	3
17	0,0000	0,6154	0,3846	0,5517	0,3333	0,5652	0,4483	0,5273	0,4493	15
18	0,8657	0,6154	0,3077	0,9103	0,7882	0,5652	0,4194	0,8480	0,6767	5

Faktörlerin gri ilişkisel derece (GRG) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.126).



Şekil 7.126. CBN ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin GRG üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.106).

Çizelge 7.106. CBN ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	-4,616	-6,501	-3,85	-5,343	-4,21
2	-5,933	-5,015	-5,868	-4,418	-4,578
3		-4,308	-6,106	-6,063	-7,035
Değişim	1,317	2,194	2,257	1,645	2,826
Sıralama	5	3	2	4	1

Çizelge 7.106’da S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişim ilerleme faktöründe meydana gelmiştir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı, kater, kesme hızı ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 7.107).

Çizelge 7.107. CBN ıslak işleme şartları GRG için Varyans analizi (ANOVA)

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,04299	% 11,43	0,04299	0,042993	18,3	0,003
Kater	2	0,06395	% 17,00	0,06395	0,031977	13,61	0,003
L/D	2	0,1011	% 26,87	0,1011	0,050552	21,52	0,001
Vc	2	0,03392	% 9,01	0,03392	0,016959	7,22	0,016
f	2	0,11549	% 30,69	0,11549	0,057744	24,58	0
Hata	8	0,0188	% 5,00	0,0188	0,002349		
Toplam	17	0,37625	% 100,0				

ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma üzerindeki etkileri sırasıyla %30,69 ile ilerleme, %26,87 ile L/D oranı, %17,00 ile kater, %11,43 ile malzeme ve %9,01 ile kesme hızı olduğu görülmektedir. Bütün faktörlerin P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan istatistiksel olarak bütün faktörler anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin GRG için R^2 =%95,00 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 7.118 ve Çizelge 7.107 incelendiğinde GRA en ideal kesme parametrelerini A1B3C1D2E1 olarak önermektedir. Önerilen parametreler 7 nolu deney parametreleri ile aynı olduğundan doğrulama deneylerine gerek duyulmamıştır.

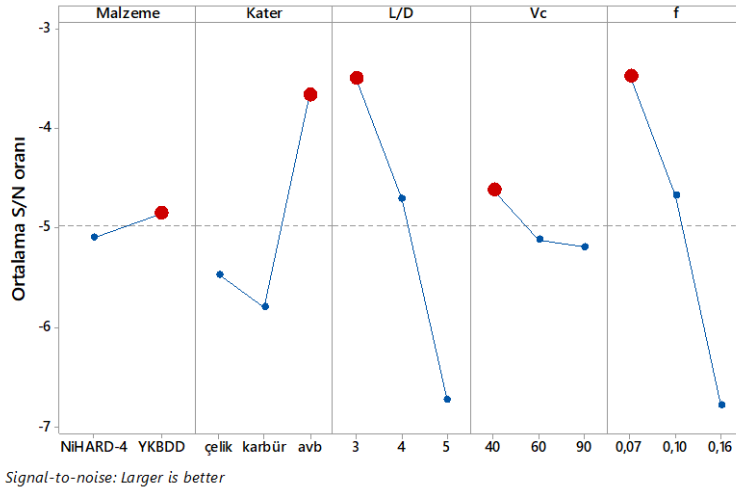
KARBÜR kuru işleme için GRA

Deney sonuçlarına GRA yöntemi uygulanarak, elde edilen gri ilişkisel dereceler (GRG) sıralanmıştır. Sıralamada 7 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek gri ilişkisel dereceye sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 7 nolu deneyde (Çizelge 7.99) kullanılan ideal kesme parametrelerinin (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.108).

Çizelge 7.108. KARBÜR kuru işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA)

	Normalizasyon değerleri				Uzaklık matrisi				GRG	Sıralama	
	Ra	Ds	Ss	Cs	Ra	Ds	Ss	Cs			
1	0,8534	1,0000	0,9091	0,7500	0,7733	1,0000	0,8462	0,6667	0,7733	0,8215	3
2	0,7500	0,6000	0,6364	0,5000	0,6667	0,5556	0,5789	0,5000	0,6667	0,5753	10
3	0,0776	0,0000	0,0000	0,0000	0,3515	0,3333	0,3333	0,3333	0,3515	0,3379	18
4	0,1897	0,8000	0,7273	0,6250	0,3816	0,7143	0,6471	0,5714	0,3816	0,5786	9
5	0,0086	0,4000	0,3636	0,3750	0,3353	0,4545	0,4400	0,4444	0,3353	0,4186	17
6	0,7586	0,4000	0,0909	0,2500	0,6744	0,4545	0,3548	0,4000	0,6744	0,4710	14
7	1,0000	1,0000	1,0000	0,8750	1,0000	1,0000	1,0000	0,8000	1,0000	0,9500	1
8	0,7759	0,6000	0,7273	0,7500	0,6905	0,5556	0,6471	0,6667	0,6905	0,6399	5
9	0,0000	0,4000	0,4545	0,6250	0,3333	0,4545	0,4783	0,5714	0,3333	0,4594	15
10	0,2759	0,6000	0,5455	0,5000	0,4085	0,5556	0,5238	0,5000	0,4085	0,4970	12
11	0,8362	0,6000	0,6364	0,7500	0,7532	0,5556	0,5789	0,6667	0,7532	0,6386	6
12	0,5776	0,2000	0,3636	0,3750	0,5421	0,3846	0,4400	0,4444	0,5421	0,4528	16
13	0,0000	0,6000	0,4545	0,6250	0,3333	0,5556	0,4783	0,5714	0,3333	0,4846	13
14	0,9224	0,8000	0,6364	0,5000	0,8657	0,7143	0,5789	0,5000	0,8657	0,6647	4
15	0,0431	0,6000	0,5455	0,6250	0,3432	0,5556	0,5238	0,5714	0,3432	0,4985	11
16	0,8276	0,8000	0,9091	1,0000	0,7436	0,7143	0,8462	1,0000	0,7436	0,8260	2
17	0,1379	0,6000	0,7273	0,8750	0,3671	0,5556	0,6471	0,8000	0,3671	0,5924	7
18	0,5517	0,6000	0,6364	0,7500	0,5273	0,5556	0,5789	0,6667	0,5273	0,5821	8

Faktörlerin gri ilişkisel derece (GRG) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.127).



Şekil 7.127. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin GRG üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.109).

Çizelge 7.109. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Level	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	-5,097	-5,464	-3,489	-4,618	-3,473
2	-4,849	-5,79	-4,706	-5,114	-4,67
3		-3,665	-6,725	-5,187	-6,776
Değişim	0,247	2,126	3,236	0,569	3,304
Sıralama	5	3	2	4	1

Çizelge 7.109'da S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişim ilerleme faktöründe meydana gelmiştir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), L/D oranı, kater, kesme hızı ve malzeme şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.110).

Çizelge 7.110. KARBÜR kuru işleme şartları GRG için Varyans analizi (ANOVA)

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,000013	%0,00	0,000013	0,000013	0	0,956
Kater	2	0,080165	%19,09	0,080165	0,040082	9,6	0,007
L/D	2	0,153504	%36,56	0,153504	0,076752	18,38	0,001
Vc	2	0,002209	%0,53	0,002209	0,001104	0,26	0,774
f	2	0,150586	%35,86	0,150586	0,075293	18,03	0,001
Hata	8	0,033408	%7,96	0,033408	0,004176		
Toplam	17	0,419884	%100,00				

ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma üzerindeki etkileri %36,56 ile L/D oranı, %35,86 ile ilerleme, %19,09 ile kater, %0,53 ile kesme hızı olduğu görülmektedir. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede istatistiksel belirlilik kat sayısı değeri GRG için $R^2=92,04$ olarak elde edilmiştir. Şekil 7.119 ve Çizelge 7.110 incelendiğinde gir ilişkisel analizde en ideal kesme parametreleri A2B3C1D1E1 olarak önerilmiştir. Önerilen parametreler kullanılarak Taguchi yöntemi ile GRG tahmini ve parametre değerleri ile doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda GRA'daki iyileşme 0,0114 olarak elde edilmiştir (Çizelge 7.111).

Çizelge 7.111. KARBÜR kuru işlemede GRG için doğrulama deney sonuçları

	Başlangıç faktörleri	Optimum faktörler	
		Tahmin	Deney
Çıktılar	A1B1C1D1E1	A2B3C1D1E1	A2B3C1D1E1
Ra	0,85		0,77
Ds	0,011		0,01
Ss	0,015		0,014
Çs	0,014		0,013
GRA	0,8215	0,9050	0,9164

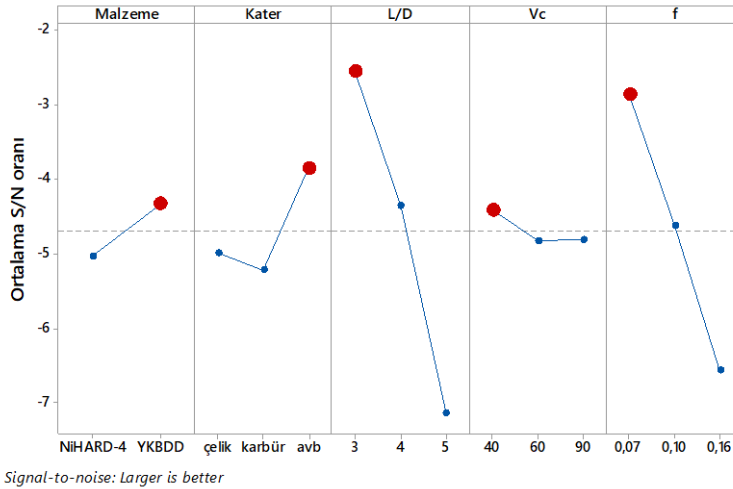
KARBÜR ıslak işleme için GRA

Deney sonuçlarına GRA yöntemi uygulanarak, elde edilen gri ilişkisel dereceler (GRG) sıralanmıştır. Sıralamada 7 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek gri ilişkisel dereceye sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 7 nolu deneyde kullanılan (Çizelge 7.100) ideal kesme parametrelerinin (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.112).

Çizelge 7.112. KARBÜR ıslak işleme için Gri İlişkisel Analiz (GRA)

	Normalizasyon değerleri				Uzaklık matrisi				GRG	Sıralama
	Ra	Ds	Ss	Cs	Ra	Ds	Ss	Cs		
1	1,0000	0,7500	0,8571	1,0000	1,0000	0,6667	0,7778	1,0000	0,8611	2
2	0,6794	0,6250	0,5714	0,3333	0,6093	0,5714	0,5385	0,4286	0,5369	12
3	0,0000	0,0000	0,0000	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,4286	0,3571	18
4	0,8278	0,8750	0,8571	0,6667	0,7438	0,8000	0,7778	0,6000	0,7304	6
5	0,0431	0,6250	0,4286	0,0000	0,3432	0,5714	0,4667	0,3333	0,4287	16
6	0,2392	0,1250	0,5714	0,3333	0,3966	0,3636	0,5385	0,4286	0,4318	15
7	0,9856	1,0000	1,0000	1,0000	0,9721	1,0000	1,0000	1,0000	0,9930	1
8	0,7177	0,5000	0,8571	0,6667	0,6391	0,5000	0,7778	0,6000	0,6292	7
9	0,0813	0,0000	0,5714	0,0000	0,3524	0,3333	0,5385	0,3333	0,3894	17
10	0,3254	0,2500	0,2857	1,0000	0,4257	0,4000	0,4118	1,0000	0,5594	10
11	0,9426	1,0000	0,7143	0,6667	0,8970	1,0000	0,6364	0,6000	0,7833	4
12	0,5311	0,5000	0,2857	0,0000	0,5160	0,5000	0,4118	0,3333	0,4403	14
13	0,1866	0,8750	0,5714	0,6667	0,3807	0,8000	0,5385	0,6000	0,5798	9
14	0,5981	0,6250	1,0000	1,0000	0,5544	0,5714	1,0000	1,0000	0,7815	5
15	0,6890	0,1250	0,4286	0,0000	0,6165	0,3636	0,4667	0,3333	0,4450	13
16	0,8947	0,6250	1,0000	1,0000	0,8261	0,5714	1,0000	1,0000	0,8494	3
17	0,2871	0,6250	0,7143	0,6667	0,4122	0,5714	0,6364	0,6000	0,5550	11
18	0,8852	0,7500	0,5714	0,3333	0,8132	0,6667	0,5385	0,4286	0,6117	8

Faktörlerin gri ilişkisel derece (GRG) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.127).



Şekil 7.128. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin GRG üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.113).

Çizelge 7.113. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin GRG üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	LD	Vc	f
1	-5,033	-4,989	-2,548	-4,415	-2,864
2	-4,334	-5,215	-4,36	-4,825	-4,622
3		-3,846	-7,143	-4,811	-6,565
Değişim	0,7	1,369	4,595	0,41	3,7
Sıralama	4	3	1	5	2

Çizelge 7.113'te S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişim L/D oranı faktöründe meydana gelmiştir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme, kater, kesme hızı ve malzeme şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.114)

Çizelge 7.114. KARBÜR ıslak işleme şartları GRG için Varyans analizi (ANOVA)

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,003408	%0,58	0,003408	0,003408	0,88	0,375
Kater	2	0,036515	%6,23	0,036515	0,018258	4,73	0,044
L/D	2	0,300994	%51,32	0,300994	0,150497	39,03	0
Vc	2	0,003047	%0,52	0,003047	0,001524	0,4	0,686
f	2	0,211639	%36,09	0,211639	0,105819	27,44	0
Hata	8	0,030849	%5,26	0,030849	0,003856		
Toplam	17	0,586452	%100,00				

ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma üzerindeki etkileri, %51,32 ile L/D oranı, %36,09 ile ilerleme, %6,23 ile kater, %0,58 ile malzeme ve %0,52 ile kesme hızı olduğu görülmektedir. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater, f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin GRG üzerinde R^2 =%94,74 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 7.120 ve Çizelge 7.114 incelendiğinde GRA en ideal kesme parametrelerini A1B3C1D1E1 olarak önermektedir. Önerilen parametreler kullanılarak Taguchi yöntemi ile GRG tahmini ve parametre değerleri ile de doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda GRA'daki iyileşme 0,007 olarak elde edilmiştir (Çizelge 7.115).

Çizelge 7.115. KARBÜR ıslak işlemede GRG için doğrulama deney sonuçları

Çıktılar	Başlangıç faktörleri	Optimum faktörler	
	A1B1C1D1E1	Tahmin A2B3C1D1E1	Deney A2B3C1D1E1
Ra	0,53		0,49
Ds	0,016		0,015
Ss	0,012		0,01
Çs	0,06		0,06
GRA	0,8611	0,991	0,998

7.6.2. TOPSIS yöntemi ile optimizasyon

TOPSIS yönteminde ilk olarak normalizasyon yapılır. Deneylelerden elde edilen sonuçlar üzerinde normalizasyon değerleri Eş. 6.9. kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra ağırlık hesaplamaları yapılmıştır (bkz. Eş. 6.10). Pozitif ve negatif ideal çözümler kullanılarak uzaklık dağılımları, (bkz. Eş. 6.11, Eş. 6.12) ve son olarak ta bağlı yakınlık değerleri (π_i) elde edilmiştir (bkz. Eş. 6.13). π_i 'nin daha büyük değeri, deneysel değer ile ideal normalize edilmiş değer arasındaki korelasyonun daha güçlü derecesi olarak kabul edilmekte ve kullanılan faktörlerin en uygun değerler olduğunu ifade etmektedir. CBN kuru işleme, CBN ıslak işleme, KARBÜR kuru işleme ve KARBÜR ıslak işleme deneylerinin sonuçlarına TOPSIS uygulanmıştır. En büyük değer en uygun değer olduğundan TOPSIS sonuçlarına Taguchi analizi (bkz. Eş. 6.2) uygulanarak kesme parametrelerinin çoklu yanıtlar üzerinde etkileri ve ANOVA ile de etki oranları ortaya koyulmuştur.

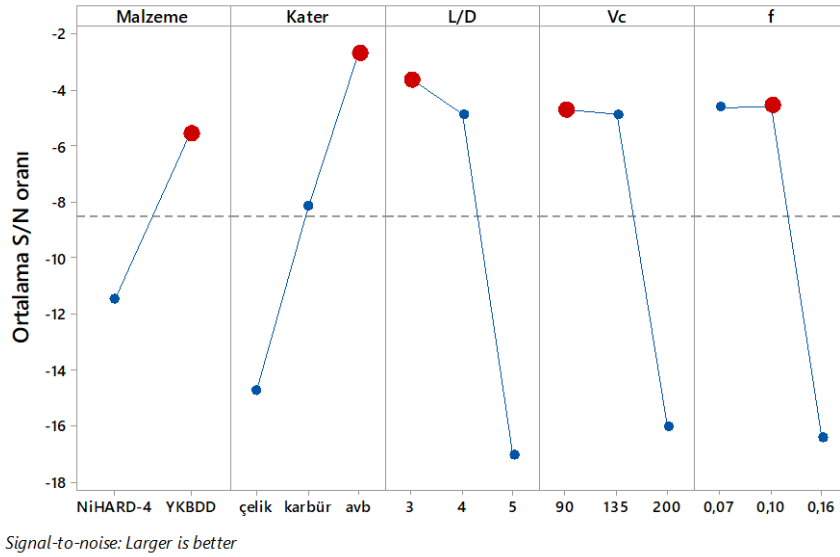
CBN kuru işleme için TOPSIS

Deney sonuçlarına TOPSIS yöntemi uygulanarak, elde edilen yakınlık (π_i) değerleri sıralanmıştır. Sıralamada 7 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 7 nolu deneyde (bkz. Çizelge 7.97) kullanılan ideal kesme parametrelerinin (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.116).

Çizelge 7.116. CBN kuru işleme için TOPSIS Analizi

Deney No	Normalleştirilmiş Veriler				Uzaklık Matrisi		Yakınlık	Sıralama
	Ra	Ds	Ss	Çs	Si+	Si-		
1	0,1222	0,1871	0,1846	0,1795	0,3023	0,9762	0,7635	3
2	0,1438	0,2494	0,2585	0,2194	0,5063	0,7652	0,6018	9
3	0,3232	0,3325	0,3692	0,3689	1,2619	0,0005	0,0004	18
4	0,1314	0,1871	0,1292	0,1994	0,4007	0,8812	0,6874	6
5	0,3247	0,2494	0,2585	0,2792	0,8125	0,4540	0,3585	15
6	0,1113	0,2702	0,2400	0,2991	0,9010	0,3706	0,2914	16
7	0,0572	0,1663	0,2031	0,1197	0,0369	1,2844	0,9721	1
8	0,1484	0,2286	0,2400	0,1396	0,1267	1,1656	0,9019	2
9	0,3077	0,2702	0,2954	0,2194	0,5233	0,7511	0,5894	10
10	0,3417	0,2494	0,2215	0,2393	0,6181	0,6555	0,5147	12
11	0,2721	0,2286	0,1662	0,1895	0,3670	0,9127	0,7132	5
12	0,1639	0,2494	0,2769	0,2293	0,5575	0,7123	0,5609	11
13	0,3232	0,2078	0,2215	0,2592	0,7123	0,5583	0,4394	13
14	0,2969	0,2494	0,2215	0,2692	0,7599	0,5070	0,4002	14
15	0,1732	0,2702	0,2400	0,2991	0,9025	0,3636	0,2872	17
16	0,1392	0,1663	0,1662	0,1895	0,3519	0,9277	0,7250	4
17	0,3680	0,2078	0,2031	0,2094	0,4767	0,8085	0,6291	8
18	0,0990	0,2078	0,2400	0,1994	0,4037	0,8737	0,6839	7

Faktörlerin yakınlık (π) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.129).



Şekil 7.129. CBN kuru işlemede faktörlerin (π) üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin yakınlık (π) değerleri üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.117).

Çizelge 7.117. CBN kuru işlemede faktörlerin (π) üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	LD	Vc	f
1	-11,48	-14,74	-3,592	-4,665	-4,582
2	-5,531	-8,135	-4,856	-4,839	-4,536
3		-2,642	-17,07	-16,014	-16,4
Değişim	5,949	12,098	13,478	11,349	11,864
Sıralama	5	2	1	4	3

Çizelge 7.117’de S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişim L/D oranı faktöründe meydana gelmiştir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), kater, ilerleme, kesme hızı ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.118).

Çizelge 7.118. CBN kuru işleme şartları (pi) için Varyans analizi (ANOVA)

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,002516	%0,26	0,002516	0,002516	0,21	0,663
Kater	2	0,357855	%37,27	0,357855	0,178927	14,58	0,002
L/D	2	0,251081	%26,15	0,251081	0,125541	10,23	0,006
Vc	2	0,073064	%7,61	0,073064	0,036532	2,98	0,108
f	2	0,177472	%18,48	0,177472	0,088736	7,23	0,016
Hata	8	0,098175	%10,22	0,098175	0,012272		
Toplam	17	0,960163	%100,00				

ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma ve çaptan sapma üzerindeki etkileri, %37,27 ile kater, %26,15 ile L/D oranı, %18,48 ile ilerleme, %7,61 ile kesme hızı ve %0,26 ile malzeme olduğu görülmektedir. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D, kater,f) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN kuru işlemede kesme parametrelerinin (pi) için R^2 =%89,78 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 7.121 ve Çizelge 7.118 incelendiğinde TOPSIS en ideal kesme parametrelerini A2B3C1D1E2 olarak önermektedir. Önerilen parametreler kullanılarak Taguchi yöntemi ile yakınlık (pi) değerleri tahmini ve parametre değerleri ile de doğrulama deneyleri yapılmıştır. Başlangıç faktörleri için GRA'da kullanılan yöntem kullanılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda TOPSIS'deki iyileşme 0,004 olarak elde edilmiştir (Çizelge 7.119).

Çizelge 7.119.CBN kuru işlemede TOPSIS için doğrulama deney sonuçları

	Başlangıç faktörleri	Optimum faktörler	
	A1B1C1D1E1	Tahmin A2B3C1D1E2	Deney A2B3C1D1E2
Çıktılar			
Ra	0,7900		0,48
Ds	0,009		0,008
Ss	0,01		0,01
Çs	0,018		0,011
TOPSIS	07635	0,974	0,978

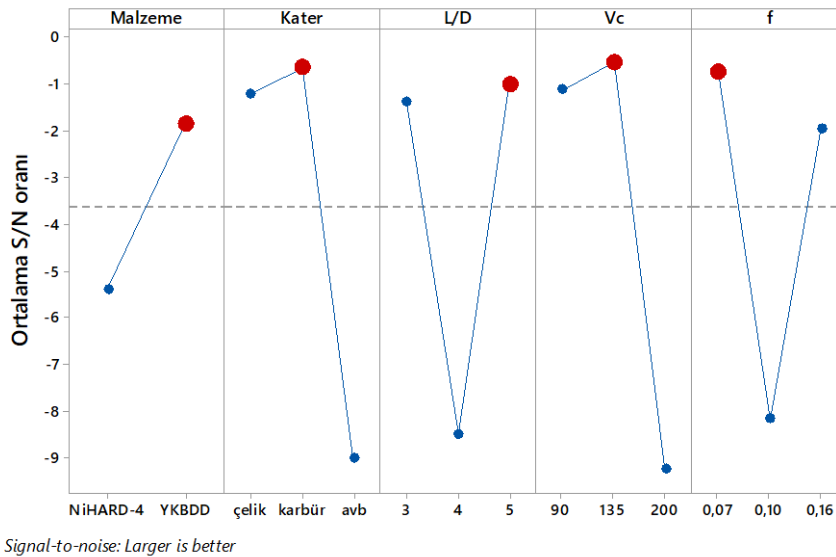
CBN ıslak işleme için TOPSIS

Deney sonuçlarına TOPSIS yöntemi uygulanarak, elde edilen yakınlık (pi) değerleri sıralanmıştır. Sıralamada 4 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 4 nolu deneyde (bkz. Çizelge 7.98) kullanılan ideal kesme parametrelerinin (A1B2C1D1E2), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.120).

Çizelge 7.120. CBN ıslak işleme için TOPSIS Analizi

Deney No	Normalleştirilmiş Veriler				Uzaklık Matrisi		Yakınlık	Sıralama
	Ra	Ds	Ss	Cs	Si+	Si-		
1	0,1404	0,1317	0,1650	0,0508	0,1411	3,5971	0,9623	3
2	0,1782	0,2305	0,2432	0,0762	0,2808	3,4496	0,9247	11
3	0,3342	0,4611	0,2779	0,2539	1,1713	2,5389	0,6843	15
4	0,1559	0,0329	0,1824	0,0254	0,0454	3,7402	0,9880	1
5	0,2673	0,1317	0,2519	0,0584	0,2040	3,5458	0,9456	8
6	0,1448	0,2305	0,2606	0,0736	0,2678	3,4655	0,9283	10
7	0,0668	0,0659	0,1998	0,0508	0,1292	3,6170	0,9655	2
8	0,1626	0,1976	0,2171	0,7616	3,6824	0,0286	0,0077	18
9	0,3119	0,2305	0,2345	0,0508	0,2052	3,5686	0,9456	7
10	0,3230	0,3293	0,2432	0,1777	0,7874	2,9246	0,7879	14
11	0,2941	0,2305	0,2171	0,0381	0,1655	3,6331	0,9564	5
12	0,1760	0,3623	0,2606	0,0609	0,2529	3,5149	0,9329	9
13	0,2941	0,1647	0,2519	0,0457	0,1716	3,6030	0,9545	6
14	0,2673	0,2305	0,2432	0,1777	0,7755	2,9355	0,7910	13
15	0,1983	0,2964	0,2606	0,0330	0,1594	3,6569	0,9582	4
16	0,1671	0,0988	0,2258	0,3554	1,6515	2,0743	0,5567	16
17	0,3654	0,1976	0,2345	0,3554	1,6593	2,0488	0,5525	17
18	0,1069	0,1976	0,2432	0,0914	0,3430	3,3854	0,9080	12

Faktörlerin yakınlık (π) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.130).

Şekil 7.130. CBN ıslak işlemede faktörlerin (π) üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin (π) üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.121).

Çizelge 7.121. CBN ıslak işlemede faktörlerin (pi) üzerindeki S/N oranları

Level	Malzeme	Kater	LD	V	f
1	-5,4015	-1,2283	-1,3843	-1,1392	-0,7578
2	-1,8834	-0,6747	-8,5031	-0,5527	-8,1871
3		-9,0242	-1,0399	-9,2354	-1,9824
Delta	3,5181	8,3496	7,4632	8,6827	7,4293
Rank	5	2	3	1	4

Çizelge 7.121’de S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişimin kesme hızı faktöründe meydana geldiği görülmektedir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), kater, L/D oranı, ilerleme ve malzeme şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.122).

Çizelge 7.122. CBN ıslak işleme şartları (pi) için Varyans analizi (ANOVA)

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,00012	%0,01	0,000119	0,000119	0,01	0,944
Kater	2	0,2488	%24,36	0,248802	0,124401	5,47	0,032
L/D	2	0,13813	%13,53	0,138126	0,069063	3,04	0,104
Vc	2	0,34289	%33,58	0,342891	0,171446	7,54	0,014
f	2	0,10945	%10,72	0,109452	0,054726	2,41	0,152
Hata	8	0,18179	%17,80	0,181789	0,022724		
Toplam	17	1,02118	%100,00				

ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma ve çaptan sapma üzerindeki etkileri %33,58 ile kesme hızı, %24,36 ile kater, %13,53 ile L/D oranı, %10,72 ile ilerleme ve %0,01 ile malzeme olduğu görülmektedir. P-Değeri 0,05’ten küçük olan faktörler (Vc, kater) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre CBN ıslak işlemede kesme parametrelerinin, pi üzerinde R^2 =%82,2 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 7.122 ve Çizelge 7.121 incelendiğinde TOPSIS en ideal kesme parametrelerini A2B2C3D2E1 olarak önermektedir. Önerilen parametrede C3: L/D=5 olduğundan doğrulama deneyleri yapılmamıştır.

KARBÜR kuru işleme için TOPSIS

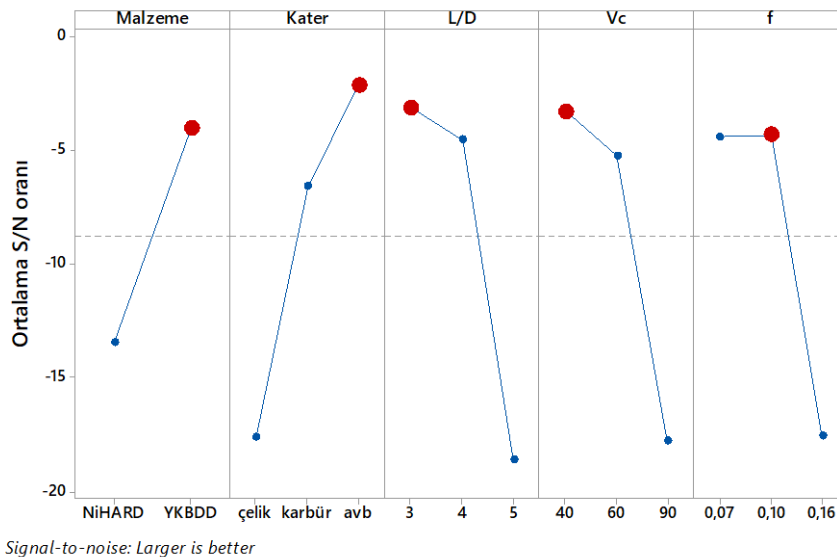
Deney sonuçlarına TOPSIS yöntemi uygulanarak, elde edilen yakınlık (pi) değerleri sıralanmıştır. Sıralamada 16 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 16 nolu deneyde (bkz. Çizelge 7.99) kullanılan ideal

kesme parametrelerinin (A2B3C1D3E2), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.123).

Çizelge 7.123. KARBÜR kuru işleme için TOPSIS Analizi

Deney No	Normalleştirilmiş Veriler			Uzaklık Matrisi		Yakınlık		Sıralama
	Ra	Ds	Ss	Çs	Si+	Si-	Pi	
1	0,1479	0,1977	0,1873	0,2151	0,1545	0,4743	0,7543	4
2	0,1688	0,2337	0,2248	0,2458	0,3099	0,3157	0,5046	13
3	0,3046	0,2876	0,3122	0,3073	0,6270	0,0001	0,0001	18
4	0,2820	0,2157	0,2123	0,2305	0,2454	0,3883	0,6127	8
5	0,3185	0,2517	0,2622	0,2612	0,4002	0,2314	0,3664	16
6	0,1671	0,2517	0,2997	0,2766	0,4666	0,1599	0,2552	17
7	0,1184	0,1977	0,1748	0,1997	0,0768	0,5547	0,8784	2
8	0,1636	0,2337	0,2123	0,2151	0,1575	0,4703	0,7492	6
9	0,3203	0,2517	0,2497	0,2305	0,2558	0,3854	0,6011	11
10	0,2646	0,2337	0,2372	0,2458	0,3179	0,3102	0,4939	14
11	0,1514	0,2337	0,2248	0,2151	0,1576	0,4707	0,7492	5
12	0,2036	0,2696	0,2622	0,2612	0,3906	0,2346	0,3752	15
13	0,3203	0,2337	0,2497	0,2305	0,2550	0,3858	0,6021	10
14	0,1340	0,2157	0,2248	0,2458	0,3085	0,3192	0,5085	12
15	0,3116	0,2337	0,2372	0,2305	0,2525	0,3863	0,6047	9
16	0,1532	0,2157	0,1873	0,1844	0,0206	0,6268	0,9682	1
17	0,2924	0,2337	0,2123	0,1997	0,1190	0,5412	0,8198	3
18	0,2089	0,2337	0,2248	0,2151	0,1631	0,4667	0,7410	7

Faktörlerin yakınlık (pi) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.131).



Şekil 7.131. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin (pi) üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin (π) üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.124).

Çizelge 7.124. KARBÜR kuru işlemede faktörlerin (π) üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	-13,476	-17,59	-3,107	-3,288	-4,404
2	-4,046	-6,581	-4,546	-5,219	-4,311
3		-2,111	-18,629	-17,775	-17,567
Değişim	9,43	15,479	15,521	14,487	13,255
Sıralama	5	2	1	3	4

Çizelge 7.124'te S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişim L/D oranı faktöründe meydana gelmiştir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), kater, kesme hızı, ilerleme ve malzeme şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.125).

Çizelge 7.125. KARBÜR kuru işleme şartları (π) için Varyans analizi (ANOVA)

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,07228	%7,53	0,07228	0,072276	17,41	0,003
Kater	2	0,37835	%39,42	0,37835	0,189177	45,57	0
L/D	2	0,25725	%26,80	0,25725	0,128627	30,99	0
Vc	2	0,11435	%11,91	0,11435	0,057174	13,77	0,003
f	2	0,10437	%10,87	0,10437	0,052187	12,57	0,003
Hata	8	0,03321%	3,46	0,03321	0,004151		
Toplam	17	0,95981	%100,00				

ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma ve çaptan sapma üzerindeki etkileri %39,42 ile kater, %26,80 ile L/D oranı, %11,91 ile kesme hızı, %10,87 ile ilerleme ve %7,53 ile malzeme olduğu görülmektedir. Bütün faktörlerde P-Değeri 0,05'ten küçük olduğundan bütün faktörler istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR kuru işlemede kesme parametrelerinin, π üzerinde R^2 =%96,54 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 7.123 ve Çizelge 7.125 incelendiğinde TOPSIS en ideal kesme parametrelerini A2B3C1D1E2 olarak önermektedir. Önerilen parametreler kullanılarak Taguchi analizi ile TOPSIS tahmini ve doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda TOPSIS'deki iyileşme 0,0234 olarak elde edilmiştir (Çizelge 7.126).

Çizelge 7.126. KARBÜR kuru işlemede TOPSIS için doğrulama deney sonuçları

Parametre	Başlangıç faktörleri	Optimum faktörler	
	A1B1C1D1E1	Tahmin A2B3C1D1E2	Deney A1B3C1D1E1
Ra	0,85		0,76
Ds	0,011		0,11
Ss	0,015		0,14
Çs	0,014		0,13
TOPSIS	0,7543	0.8543	0.8777

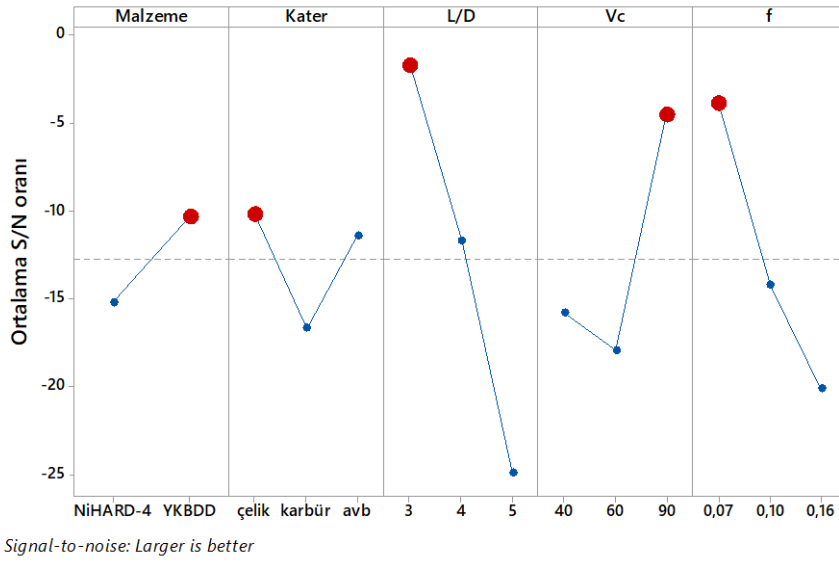
KARBÜR ıslak işleme için TOPSIS

Deney sonuçlarına TOPSIS yöntemi uygulanarak, elde edilen yakınlık (π_i) değerleri sıralanmıştır. Sıralamada 7 numaralı deneyde kullanılan parametrelerin en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Bu, durum 7 nolu deneyde (bkz. Çizelge 7.100) kullanılan ideal kesme parametrelerinin (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en düşük değerler olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.127).

Çizelge 7.127. KARBÜR ıslak işleme için TOPSIS Analizi

Deney No:	Normalleştirilmiş Veriler				Uzaklık Matrisi		Yakınlık π_i	Sıralama
	Ra	Ds	Ss	CS	Si+	Si-		
1	0,0767	0,2120	0,2058	0,1893	0,0158	0,5002	0,9694	2
2	0,1736	0,2252	0,2401	0,2524	0,3208	0,1705	0,3471	12
3	0,3790	0,2915	0,3087	0,2524	0,3588	0,1577	0,3053	14
4	0,1287	0,1987	0,2058	0,2208	0,1602	0,3359	0,6770	7
5	0,3660	0,2252	0,2573	0,2839	0,4964	0,0018	0,0036	17
6	0,3067	0,2782	0,2401	0,2524	0,3399	0,1602	0,3204	13
7	0,0810	0,1855	0,1887	0,1893	0,0022	0,5018	0,9957	1
8	0,1620	0,2385	0,2058	0,2208	0,1657	0,3306	0,6660	8
9	0,3544	0,2915	0,2401	0,2839	0,4966	0,0013	0,0027	18
10	0,2806	0,2650	0,2744	0,1893	0,1176	0,4760	0,8020	5
11	0,0940	0,1855	0,2230	0,2208	0,1589	0,3404	0,6818	6
12	0,2184	0,2385	0,2744	0,2839	0,4811	0,0074	0,0152	16
13	0,3226	0,1987	0,2401	0,2208	0,2017	0,3196	0,6130	10
14	0,1982	0,2252	0,1887	0,1893	0,0639	0,4860	0,8838	4
15	0,1707	0,2782	0,2573	0,2839	0,4790	0,0116	0,0236	15
16	0,1085	0,2252	0,1887	0,1893	0,0255	0,4962	0,9512	3
17	0,2922	0,2252	0,2230	0,2208	0,1928	0,3203	0,6242	9
18	0,1114	0,2120	0,2401	0,2524	0,3172	0,1784	0,3599	11

Faktörlerin yakınlık (π_i) değerleri üzerindeki ortalama S/N oranları Taguchi analizi (bkz Eş 6.2) kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.132).



Şekil 7.132. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin (pi) üzerindeki S/N oranları

Faktörler ve seviyelerinin (pi) üzerindeki etkilerini sayısal olarak görebilmek için, ortalama S/N oranları değerleri çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 7.128).

Çizelge 7.128. KARBÜR ıslak işlemede faktörlerin (pi) üzerindeki S/N oranları

Seviye	Malzeme	Kater	L/D	Vc	f
1	-15,206	-10,229	-1,716	-15,832	-3,912
2	-10,32	-16,669	-11,681	-17,932	-14,242
3		-11,391	-24,891	-4,524	-20,135
Değişim	4,887	6,44	23,175	13,408	16,224
Sıralama	5	4	1	3	2

Çizelge 7.128’de S/N oranının faktörlere göre değişimini veren değerler incelendiğinde en fazla değişim L/D oranı faktöründe meydana gelmiştir. Diğer faktörlerdeki değişimler (büyükten-küçüğü doğru), ilerleme, kesme hızı, kater ve malzeme faktörü şeklinde sıralanmaktadır. Faktörlerin etki oranlarını % olarak belirleyebilmek için varyans (ANOVA) analizi yapılmıştır (Çizelge 7.129).

Çizelge 7.129. KARBÜR ıslak işleme şartları (pi) için Varyans analizi (ANOVA)

Faktör	Serbestlik Derecesi	Ardışık Kareler Toplamı	Etki Oranı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	0,02475	1,18%	0,02475	0,02475	1,9	0,205
Kater	2	0,0973	4,65%	0,0973	0,04865	3,73	0,072
L/D	2	1,32479	60,27%	1,32479	0,6624	50,85	0
Vc	2	0,21439	10,24%	0,21439	0,10719	8,23	0,011
f	2	0,32847	15,69%	0,32847	0,16423	12,61	0,003
Hata	8	0,10421	7,98%	0,10421	0,01303		
Toplam	17	2,0939	100,00%				

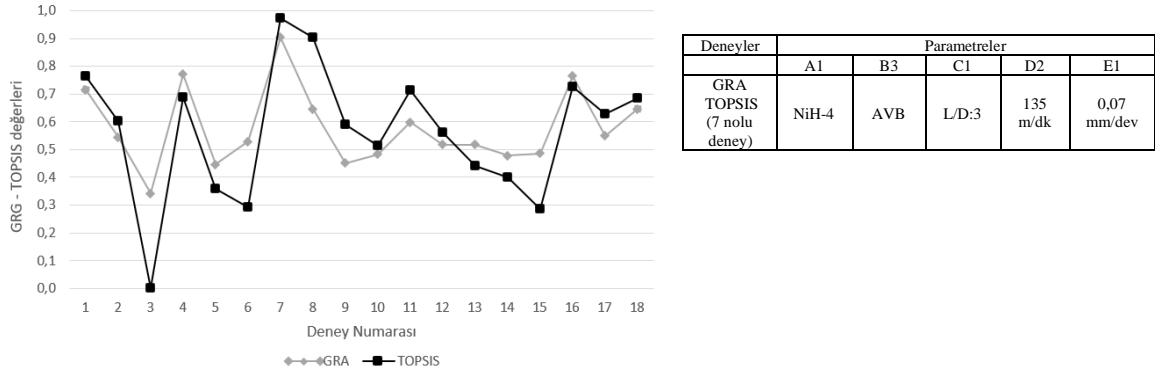
ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma üzerindeki etkileri %60,27 ile L/D oranı, %15,69 ile ilerleme, %10,24 ile kesme hızı, %4,65 ile kater ve %1,18 ile malzeme olduğu görülmektedir. P-Değeri 0,05'ten küçük olan faktörler (L/D,f,Vc) istatistiksel olarak anlamlıdır. Varyans analizi sonucuna göre KARBÜR ıslak işlemede kesme parametrelerinin, pi üzerinde R^2 =%92,02 oranında anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 7.124 ve Çizelge 7.128 incelendiğinde TOPSIS en ideal kesme parametrelerini A2B1C1D3E1 olarak önermektedir. Önerilen parametreler kullanılarak Taguchi analizi ile TOPSIS tahmini ve doğrulama deneyleri yapılmıştır. Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda TOPSIS'deki iyileşme 0,0044 olarak elde edilmiştir (Çizelge 7.130).

Çizelge 7.130. KARBÜR ıslak işlemede TOPSIS için doğrulama deney sonuçları

Parametre	Başlangıç faktörleri	Optimum faktörler	
	A1B1C1D1E1	Tahmin A2B1C1D3E1	Deney A1B3C1D1E1
Ra	0,53		0,57
Ds	0,016		0,17
Ss	0,012		0,12
Çs	0,006		0,006
TOPSIS	0,9694	0,9541	0,9585

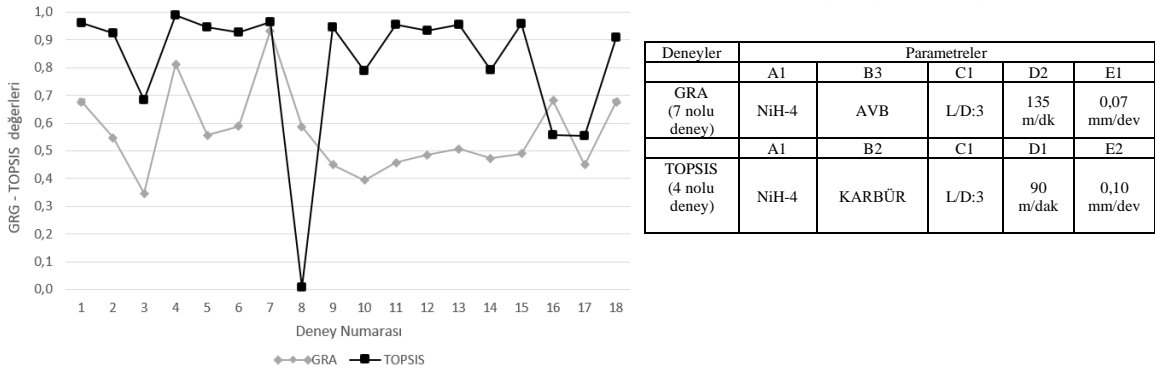
GRA ve TOPSIS grafikleri ve karşılaştırma

GRA ve TOPSIS çoklu optimizasyon yöntemleri sonucunda CBN ve KARBÜR kesici uçlar için kuru ve ıslak işleme şartlarında elde edilen sonuçlar grafiklerle de gösterilerek karşılaştırılmıştır.



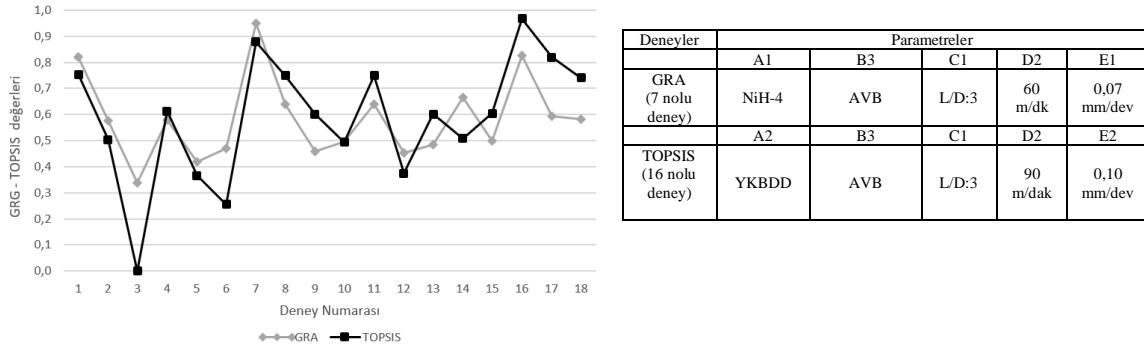
Şekil 7.133. CBN kuru işlemede GRA-TOPSIS grafiği

CBN kuru işleme için, GRA ve TOPSIS analizleri ve grafiği incelendiğinde her ikisinde de 7 nolu deney parametreleri (A1B3C1D2E1) yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en ideal değerler olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 7.125). GRA'nın R^2 değeri, TOPSIS'in R^2 değerinden daha yüksektir ($95,91 > 89,78$). Yapılan doğrulama deneyleri sonucunda GRA'daki iyileşme (0,173) TOPSIS'teki iyileşmeden daha yüksektir. Bütün bunlar dikkate alındığında GRA'nın optimizasyon sonuncun daha anlamlı olduğu söylenebilir. Bu durum literatürle benzerlik göstermektedir [107].



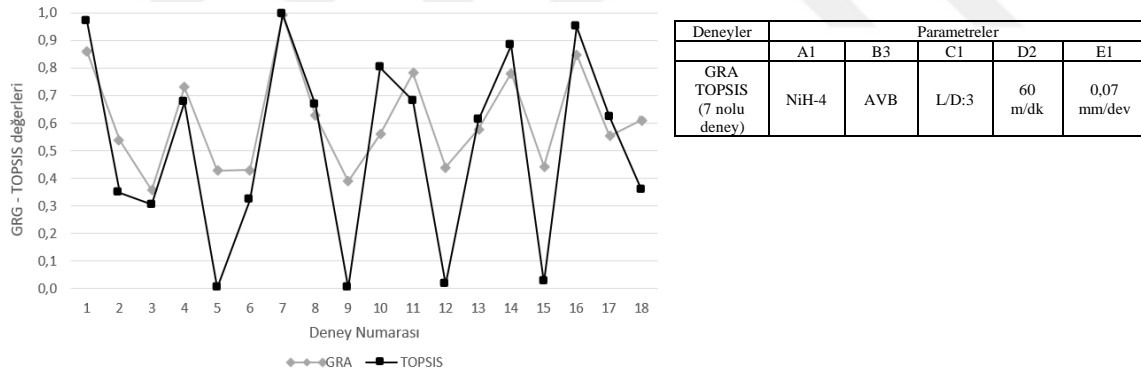
Şekil 7.134. CBN ıslak işlemede GRA-TOPSIS grafiği

CBN ıslak işleme için, GRA ve TOPSIS analizleri ve grafiği incelendiğinde GRA, 7 nolu deney parametrelerini (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en ideal değerler olarak ortaya koyarken TOPSIS 4 nolu deney parametrelerini (A1B2C1D1E2) en ideal değerler olarak belirtmiştir (Şekil 7.126). Elde edilen GRA'nın R^2 değeri, TOPSIS'in R^2 değerinden daha yüksektir ($95,00 > 82,2$).



Şekil 7.135. KARBÜR kuru işlemede GRA-TOPSIS grafiği

KARBÜR kuru işleme için, GRA ve TOPSIS analizleri ve grafiği incelendiğinde GRA, 7 nolu deney parametrelerini (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma ve çaptan sapma için en ideal değerler olarak ortaya koyarken TOPSIS, 16 nolu deney parametrelerini (A2B3C1D3E2) en ideal değerler olarak belirtmiştir (Şekil 7.127). TOPSIS'in R^2 değeri, GRA'nın R^2 değerinden daha yüksektir ($96,54 > 92,04$). TOPSIS'deki iyileşme 0,0234 olarak elde edilirken GRA'daki iyileşme 0,0114 olarak elde edilmiştir [108].



Şekil 7.136. KARBÜR ıslak işlemede GRA-TOPSIS grafiği

KARBÜR ıslak işleme için, GRA ve TOPSIS analizleri ve grafiği incelendiğinde her ikisinde de 7 nolu deney parametreleri (A1B3C1D2E1), yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten, silindiriklikten ve çaptan sapma için en ideal değerler olarak ortaya çıkmıştır. GRA'nın R^2 değeri, TOPSIS'in R^2 değerinden daha yüksektir ($94,74 > 92,02$). Doğrulama deneyleri sonucunda GRA'daki iyileşme 0,007 olarak elde edilirken TOPSIS'deki iyileşme 0,0044 olarak elde edilmiştir [109].



8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Beyaz dökme demirin (NiHARD-4 ve YKBDD) delik içi tornalanmasında kesme parametrelerinin optimizasyonu adlı bu çalışmada CBN ve KARBÜR kesici uçlarla ıslak ve kuru işleme şartlarında yapılan deneylerde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü dairesellikten sapma, silindiriklikten sapma çaptan sapma ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçları Taguchi ve ANOVA analizleri, üç boyutlu ve iki boyutlu grafikler ile yorumlanmış, ayrıca GRA ve TOPSIS çoklu optimizasyon yöntemleri uygulanarak, optimum kesme parametreleri belirlenmiş olup sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

8.1. Sonuçlar

Taguchi ve ANOVA analizleri;

Yüzey pürüzlülüğü (R_a : μm);

CBN kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin yüzey pürüzlülüğü değerleri YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Kesme parametrelerine göre AVB kater, orta seviye kesme hızı (135 m/dak), en düşük ilerleme değeri, (0,07 mm/dev) ve en düşük kater bağlama boyu ($L/D=3$) en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bunlar R_a için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

CBN kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin yüzey pürüzlülüğü YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Kesme parametrelerine göre AVB kater orta seviye kesme hızı (135 m/dak), orta seviye ilerleme değeri (0,10 mm/dev) ve en düşük kater bağlama boyu ($L/D=3$) en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle ıslak işlemede bu parametreler R_a için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin yüzey pürüzlülüğü YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Kesme parametrelerine göre AVB kater, en yüksek kesme hızı (90 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve orta seviye kater bağlama boyu ($L/D=4$) en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bu parametreler Ra için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametre ilerleme olarak belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin yüzey pürüzlülüğü NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Kesme parametrelerine göre AVB kater, en düşük kesme hızı (40 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en düşük kater bağlama boyu ($L/D=3$) en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bu parametreler Ra için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre yüzey pürüzlülüğünde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak CBN ve KARBÜR kesici uçlarla NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin delik içi tormalanmasında kater olarak AVB ve bağlama boyu olarak ta $L/D=3$ değerinin yüzey pürüzlülüğü açısından en uygun parametreler olduğu belirlenmiştir.

Dairesellikten sapma ($D_s:mm$):

CBN kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin daireselliği NiHARD-4 malzemeye göre daha iyidir. Taguchi analizine göre AVB kater orta seviye kesme hızı (135 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu ($L/D=3$) en düşük dairesellikten sapma değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bu değerler D_s için uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre dairesellikten sapma üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu belirlenmiştir.

CBN kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin daireselliği YKBDD malzemeye göre daha iyidir. Taguchi analizine göre AVB kater, düşük seviye kesme hızı (90 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu, ($L/D=3$) en düşük dairesellikten sapma değerini vermektedir. Dolayısı ile bu kriterler D_s için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de D_s üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu tespit edilmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin dairesellikten sapma değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater, en düşük kesme hızı (40 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu (L/D=3) en düşük dairesellikten sapma değerini vermektedir. Dolayısı ile bu faktörler Ds için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre Ds üzerinde en etkili parametrenin de L/D oranı olduğu tespit edilmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin dairesellikten sapma değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater, orta seviye kesme hızı (60 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu (L/D=3) en düşük dairesellikten sapma değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Ds için en uygun kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre Ds üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak CBN ve KARBÜR kesici uçlarla NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin delik içi tornalanmasında kater olarak AVB ve bağlama boyu olarak ta L/D=3 değerinin dairesellikten sapma açısından en uygun parametreler olduğu belirlenmiştir.

Silindiriklikten sapma (Ss:mm):

CBN kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin silindiriklikten sapma değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre karbür kater, en düşük kesme hızı (90 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu (L/D=3), en düşük silindiriklikten sapma değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bu değerler Ss için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ss üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu tespit edilmiştir.

CBN kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin silindiriklikten sapma değerleri YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater, en düşük seviye kesme hızı (90 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu (L/D=3) en düşük silindiriklikten sapma değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bu değerler Ss için en uygun (optimum) kesme

parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ss üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu tespit edilmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin silindiriklikten sapma değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater, en düşük kesme hızı (40 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu (L/D=3) en düşük silindiriklikten sapma değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Ss için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ss üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu belirtilmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin silindiriklikten sapma değerleri YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater, en düşük kesme hızı (40 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu (L/D=3) en düşük silindiriklik değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Ss için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ss üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu belirtilmiştir.

Sonuç olarak CBN ve KARBÜR kesici uçlarla NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin delik içi tornalanmasında kater olarak AVB ve bağlama boyu olarak ta L/D=3 değerinin silindiriklikten sapma açısından en uygun parametreler olduğu belirlenmiştir.

Çaptan Sapma (Çs:mm):

CBN kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin çaptan sapma değerleri YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater, en düşük kesme hızı değeri (90 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu (L/D=3) en düşük çaptan sapma değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Çs için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Çs üzerinde en etkili parametrenin kater olduğu belirlenmiştir.

CBN kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin çaptan sapma değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre karbür kater, orta seviye kesme hızı (135 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en yüksek

kater bağlama boyu ($L/D=5$) daha düşük çaptan sapma değerleri vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Çs için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Çs üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin çaptan sapma değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater, en düşük seviye kesme hızı (40 m/dak), en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) ve en kısa kater bağlama boyu ($L/D=3$) daha düşük çaptan sapma değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Çs için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Çs üzerinde en etkili parametrenin kater olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin çaptan sapma değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre AVB kater yüksek kesme hızı (90 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri 0,07 mm/dev en kısa kater bağlama boyu ($L/D=3$) daha düşük çaptan sapma değerleri vermektedir. Diğer bir ifadeyle en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre çaptan sapma üzerinde en etkili parametrenin L/D oranı olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak CBN ve KARBÜR kesici uçlarla NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin delik içi tormalanmasında genel olarak AVB katerin ve kısa bağlama boyunun çaptan sapma açısından daha uygun parametreler olduğu anlaşılmıştır. Fakat CBN kesici uçlarla NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin ıslak şartlarda delik içi tormalanmasında karbür kater ve en uzun bağlama boyunun Çs için en uygun parametreler olduğu görülmüştür.

Kesme kuvvetleri (F_c, F_r ve F_f): N:

CBN kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin F_c (kesme kuvveti) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en yüksek kesme hızı (200 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük F_c değeri vermektedir. Dolayısı ile F_c için bu değerler en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de F_c üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

CBN kesici uçlarla kuru işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Fr (radyal kuvvet) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre orta seviye kesme hızı (135 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Fr değerini vermektedir. Dolayısı ile bu parametreler Fr için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Fr üzerinde en etkili parametrenin malzeme olduğu belirlenmiştir.

CBN kesici uçlarla kuru işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Ff (ilerleme kuvveti) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre orta seviye kesme hızı (135 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri 0,07 mm/dev en düşük Ff değerini vermektedir. Dolayısı ile bu parametreler Ff için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ff üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu belirlenmiştir.

CBN kesici uçlarla ıslak işlemede, Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Fc (kesme kuvveti) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en yüksek kesme hızı (200 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Fc değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Fc için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Fc üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

CBN kesici uçlarla ıslak işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Fr (radyal kuvvet) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en düşük kesme hızı (90 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Fr değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Fr için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Fr üzerinde en etkili parametrenin malzeme olduğu belirtilmiştir.

CBN kesici uçlarla ıslak işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Ff (ilerleme kuvveti) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre orta seviye kesme hızı (135 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Ff değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Ff için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ff (ilerleme kuvveti) üzerinde en etkili parametrenin malzeme olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin Fc (kesme kuvveti) değerleri YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en yüksek kesme hızı (90 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Fc değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bu değerler Fc için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Fc üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Fr (radyal kuvvet) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en düşük kesme hızı (40 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Fr değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Fr için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Fr üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Ff (ilerleme kuvveti) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en düşük kesme hızı (40 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Ff değerini vermektedir. Diğer bir ifadeyle bu değerler Ff için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ff üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR ıslak işlemede, Taguchi analizinde NiHARD-4 malzemenin Fc (kesme kuvveti) değerleri YKBDD malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en yüksek kesme hızı (90 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Fc (kesme kuvveti) değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Fc için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Fc üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR ıslak işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Fr (radyal kuvvet) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en düşük kesme hızı (40 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Fr değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Fr için en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Fr üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR ıslak işlemede Taguchi analizinde YKBDD malzemenin Ff (ilerleme kuvveti) değerleri NiHARD-4 malzemeye göre daha düşüktür. Taguchi analizine göre en yüksek kesme hızı (90 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,07 mm/dev) en düşük Ff değerini vermektedir. Dolayısı ile bu değerler Ff en uygun (optimum) kesme parametreleridir. ANOVA sonucuna göre de Ff üzerinde en etkili parametrenin kesme hızı olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak CBN ve KARBÜR kesici uçlarla yapılan delik içi tornalama işleminde, YKBDD malzemede meydana gelen kesme kuvvetlerinin (Fc,Fr,Ff) NiHARD-4 malzemeye göre daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer bir ifadeyle YKBDD malzemenin daha kolay işlenebildiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte NiHARD-4 ve YKBDD malzemenin ıslak ve kuru şartlarda delik içi tornalanmasında kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametreler olduğu belirlenmiştir.

İki boyutlu grafiklerin sonuçları:

Yüzey pürüzlülüğü (Ra:µm):

CBN kesici uçlarla ıslak işleme şartlarında, KARBÜR kesici uçlarla ise kuru işleme şartlarında daha düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri elde edilmiştir.

Dairesellikten sapma (Ds:mm):

CBN ve KARBÜR kesici uçlarla kuru işleme şartlarında daha düşük dairesellikten sapma (Ds) değerlerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Silindiriklikten sapma (Ss:mm):

CBN ve KARBÜR kesici uçlarla ıslak işleme şartlarında daha düşük silindiriklikten sapma (Ss) değerlerine ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Çaptan Sapma (Cs:mm);

CBN ve KARBÜR kesici uçlarla ıslak işleme şartlarında daha düşük çaptan sapma (Cs) sonuçlarının elde edildiği anlaşılmıştır.

Kesme kuvvetleri (Fc,Fr,Ff:N);

CBN kesici uçlarla, kuru işleme şartlarında daha düşük kesme kuvveti (Fc), radial kuvvet (Fr) ve ilerleme kuvveti (Ff) değerleri, KARBÜR kesici uçlarla ise ıslak işleme şartlarında daha düşük Fc, Fr ve Ff değerleri ortaya çıkmıştır.

Sonuç itibariyle, CBN kesici uçlarla, genellikle kuru işlemede, KARBÜR kesici uçlarla ise genellikle ıslak işlemede en uygun (optimum) işleme şartlarının elde edildiği tespit edilmiştir.

Üç boyutlu grafiklerin sonuçları:

Yüzey pürüzlülüğü (Ra:µm);

CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı belirlenmiştir. CBN kesici uçlarla ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Düşük kesme hızı ve düşük L/D oranlarında yüzey pürüzlülüğü daha düşük elde edilmiştir. Bununla birlikte kater olarak AVB kater malzeme olarak ta NiHARD-4 malzeme yüzey pürüzlülüğü daha düşüktür.

KARBÜR kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede ilerleme arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. KARBÜR kesici uçlarla ıslak işlemede yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Düşük kesme hızı ve L/D oranlarında yüzey pürüzlülükleri daha iyidir. AVB kater ile daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. YKBDD malzeme yüzey pürüzlülüğü daha düşüktür.

Dairesellikten sapma (Ds:mm):

CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede kullanılan yüksek kesme hızları ve ilerlemelerin daireellikten sapmayı arttırdığı anlaşılmıştır. CBN kesici uçlarla ıslak işlemede daha düşük daireellikten sapma değerleri elde edilmiştir. Düşük kesme hızı ve L/D oranlarında daireellikten sapma daha azdır. Çelik katederde daireellikten sapma değerleri artmıştır. YKBDD malzemedede daireellikten sapma daha düşüktür.

KARBÜR kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede yüksek kesme hızlarında ve ilerlemelerde daireellikten sapmanın arttığı tespit edilmiştir. KARBÜR ıslak işlemede daha düşük daireellikten sapma değerleri elde edilmiştir. Düşük L/D oranlarında ve AVB katerle işlemede daireellikten sapma daha azdır. YKBDD malzemedede daireellikten sapma daha düşüktür.

Silindiriklikten sapma (Ss:mm):

CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede yüksek kesme hızlarında silindiriklikten sapmanın arttığı belirlenmiştir. Düşük ilerlemelerde silindiriklikten sapma değerleri daha azdır. CBN kesici uçlarla kuru çalışmada daha düşük silindiriklikten sapma elde edilmiştir. Silindiriklikten sapmanın azaltılmasında, düşük L/D oranlarının kullanılması gerektiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte karbür ve AVB katerlerin çelik katerden daha iyi olduğu belirlenmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede yüksek kesme hızlarında silindiriklikten sapmanın arttığı belirlenmiştir. Düşük ilerlemelerde silindiriklikten sapma daha azdır. KARBÜR ıslak çalışmada daha düşük silindiriklikten sapma değerleri elde edilmiştir. Düşük L/D oranlarında silindiriklikten sapma daha az olduğu, çelik ve AVB katerlerin ise karbür katerden daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

Çaptan Sapma (Çs:mm):

CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede yüksek kesme hızlarında çaptan sapmanın arttığı belirlenmiştir. Her iki işleme şartında düşük ilerlemelerde çaptan sapmanın daha az olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte kuru işleme şartlarında CBN kesici uçlarla daha düşük

çaptan sapma değerlerinin elde edildiği ortaya çıkmıştır. Karbür ve AVB kater çelik katerden daha iyi sonuçlar vermiştir.

KARBÜR kesici uçlarla, kuru işlemede yüksek kesme hızlarında ve ıslak işlemede ise düşük kesme hızlarında çaptan sapmanın arttığı anlaşılmıştır. Kuru ve ıslak işlemede düşük ilerlemelerde çaptan sapma daha azdır. KARBÜR ıslak işlemede daha düşük çaptan sapma değerleri elde edilmiştir. Düşük L/D oranlarında çaptan sapma daha azdır. AVB kater ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Kesme kuvvetleri (F_c, F_r, F_f : N):

CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede ilerlemenin artışı ile F_c (kesme kuvveti) artmıştır. CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede yüksek kesme hızında, düşük F_c elde edilmiştir. CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede kesme hızı ve ilerlemenin artması ile F_r (radyal kuvvet) artmıştır. CBN kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede düşük ilerleme ve orta seviye kesme hızlarında en uygun F_f (ilerleme kuvveti) elde edilmiştir.

KARBÜR kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede düşük ilerleme ve yüksek kesme hızında F_c azalmıştır. KARBÜR kesici uçlarla kuru çalışmada yüksek kesme hızı ve ilerlemede, ıslak çalışmada ise orta seviye kesme hızı ve ilerlemede F_r artmıştır. KARBÜR kesici uçlarla kuru işlemede yüksek kesme hızlarında ıslak işlemede ise yüksek ilerleme ve düşük kesme hızlarında F_f artmıştır.

Sonuç olarak elde edilen üç boyutlu grafiklerle; NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin delik içi tornalanmasında düşük yüzey pürüzlülüğü ve geometrik sapmaların elde edilmesinde; genel olarak kuru işlemede CBN kesici uçların ıslak işlemede ise KARBÜR uçların daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında her iki kesici uç ile ıslak ve kuru işleme şartlarında AVB ve karbür katerlerle ve düşük L/D oranlarında elde edilen sonuçların daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca düşük ilerleme ve yüksek kesme hızlarında kesme kuvvetlerinin (F_c, F_r, F_f) azaldığı anlaşılmıştır.

Çoklu optimizasyon yöntemlerinin sonuçları:GRA:

CBN kuru işlemede bütün çıktılar için 7 nolu deney parametreleri (Malzeme: NiHARD-4, Kater: AVB, L/D:3, V:135m/dak, f:0,07 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en ideal parametreler; Malzeme: NiHARD-4, Kater: AVB, L/D:3, V:90 m/dak, f:0,07 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametre L/D oranı olarak belirlenmiştir.

CBN ıslak işlemede bütün çıktılar için 7 nolu deney parametreleri (Malzeme: NiHARD-4, Kater: AVB, L/D:3, V:135m/dak, f:0,07 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en uygun parametreler; Malzeme: NiHARD-4, Kater: AVB, L/D:3, V:135 m/dak, f:0,07 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametrenin ilerleme olduğu sonucuna varılmıştır.

KARBÜR kuru işlemede bütün çıktılar için 7 nolu deney parametreleri (Malzeme: NiHARD-4, Kater: AVB, L/D:3, V:60 m/dak, f:0,07 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en uygun parametreler; Malzeme: YKBDD, Kater: AVB, L/D:3, V:40 m/dak, f:0,07 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametrenin L/D oranı olduğu sonucuna varılmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede bütün çıktılar için 7 nolu deney parametreleri (Malzeme: NiHARD, Kater: AVB, L/D:3, V:60 m/dak, f:0,07 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en uygun parametreler; Malzeme: YKBDD, Kater: AVB, L/D:3, V:40 m/dak, f:0,07 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametrenin L/D oranı olduğu sonucuna varılmıştır.

TOPSIS:

CBN kuru işlemede bütün çıktılar için 7 nolu deney parametreleri (Malzeme: NiHARD-4, Kater: AVB, L/D:3, V:135m/dak, f:0,07 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en uygun parametreler; Malzeme: YKBDD, Kater:

AVB, L/D:3, V:90 m/dak, f:0,10 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametre kater olduğu sonucuna varılmıştır.

CBN ıslak işlemede bütün çıktılar için 4 nolu deney parametreleri (Malzeme: NiHARD-4, Kater: karbür, L/D:3, V:90m/dak, f:0,10 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en uygun parametreler; Malzeme: YKBDD, Kater: Karbür, L/D:5, V:135 m/dak, f:0,07 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametrenin kesme hızı olduğu sonucuna varılmıştır.

KARBÜR kuru işlemede bütün çıktılar için 16 nolu deney parametreleri (Malzeme: YKBDD, Kater: AVB, L/D:3, V:90 m/dak, f:0,10 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en uygun parametreler; Malzeme: YKBDD, Kater: AVB, L/D:3, V:40 m/dak, f:0,10 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametren kater olduğu sonucuna varılmıştır.

KARBÜR ıslak işlemede bütün çıktılar için 7 nolu deney parametreleri (Malzeme: NiHARD, Kater: AVB, L/D:3, V:135m/dak, f:0,07 mm/dev) ideal parametreler olarak tavsiye edilmiştir. Taguchi analizi sonucunda en uygun parametreler; Malzeme: YKBDD, Kater: Çelik, L/D:3, V:90 m/dak, f:0,07 mm/dev şeklinde elde edilmiştir. ANOVA sonucunda en etkili parametre L/D oranı olmuştur.

Çoklu optimizasyon yöntemlerinden GRA, CBN ve KARBÜR kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede, TOPSIS ise CBN kuru ve KARÜBÜR ıslak işlemede 7 nolu deney parametresini önermiştir. Bu durumda CBN kuru ve KARBÜR ıslak işlemede iki çoklu optimizasyon yöntemi de uyumludur. Her ikisinin de anlamlılık oranının %90'ın üzerinde olması (GRA: $R^2=95,91$ – TOPSIS: $R^2=92,02$) 7 nolu deneyin deney sonuçları için en uygun deney olduğunu ortaya çıkarmıştır. Genel itibariyle, GRA'nın CBN ve KARBÜR kesici uçlarla kuru ve ıslak işlemede 7 nolu deneyi önermesi ve TOPSIS'e göre de R^2 anlamlılık değerlerinin daha yüksek olması, GRA'nın bu çalışma için daha ideal çoklu optimizasyon yöntemi olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Sonuçlar kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir,

- CBN ve KARBÜR kesici uçlarla NiHARD-4 ve YKBDD malzemeler işlenebilir.
- NiHARD-4 ve YKBDD malzemeleri işlemek için, CBN kesici uçların kuru işlemede, KARBÜR kesici uçların ise ıslak işlemede kullanılması uygundur.
- CBN kesici uçlar KARBÜR kesici uçlara göre bütün deneyler için daha iyi performans göstermiştir.
- YKBDD malzemenin işlenmesi NiHARD-4 malzemeye göre daha kolaydır.
- Yüzey pürüzlülüğünün ve geometrik sapmaların düşük olması için AVB kater ve düşük L/D oranı kullanılmalıdır.
- AVB katerin olmadığı durumlarda ise KARBÜR kater kullanılmalıdır.
- GRA ve TOPSIS çoklu optimizasyon yöntemleri CBN için kuru işlemede, KARBÜR için ıslak işlemede kullanılabilir.
- GRA çoklu optimizasyon yöntemi bu çalışma için idealdir.

8.2. Öneriler

NiHARD-4 ve YKBDD malzemelerin işlenebilirliği ile ilgili olarak, ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi önerilebilir;

- Farklı ısı işlem yöntemleri uygulanarak malzemelerin işlenebilirliği araştırılabilir.
- İşleme sırasında titreşimin araştırılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir.
- Farklı kesme derinlikleri ve talaş açılarında (pozitif- negatif) işleme çalışmaları yapılabilir.
- Takım aşınması ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- Farklı kesici uç tipleri ile işleme çalışmaları yapılabilir.
- Farklı CBN kalitelerinde kesici uçlar karşılaştırılarak işleme çalışmaları yapılabilir

KAYNAKLAR

1. Efremenko, V. G., Wu, K. M., Chabak, Y. G., Shimizu, K., Isayev, O. B. and Kudin, V. V. (2018). Alternative heat treatments for complex-alloyed high-Cr cast iron before machining. *Metallurgical and Materials Transactions: A*, 49, 3430-3440.
2. Badadhe, A. M., Bhawe, S. Y. and Navale, L. G. (2005). *Optimization of cutting parameters in boring operation*. In Second National Conference on Recent Developments in Mechanical Engineering, 10-15.
3. Morehead, M. D. (2007). *Machinability and microstructure stability during the machining of pure copper and titanium processed by equal channel angular pressing* Ph. D. Thesis, Clemson University.
4. Shaw, M. C., (1989). *Metal Cutting Principles*. Oxford: Oxford University Press, 1-9.
5. Davim, J. P. and Baptista, A. M. (2000). Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium. *Journal of materials processing technology*, 103(3), 417-423.
6. Black, J. T. and Kohser, R. A. (2017). *DeGarmo's materials and processes in manufacturing*. India: John Wiley Sons.
7. Kopač, J. and Bahor, M. (1999). Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. *Journal of Materials Processing Technology*, 92, 381-387.
8. Davim, J. P. (2001). A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments. *Journal of materials processing technology*, 116(2-3), 305-308.
9. Groover, M. P. (1996). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. NJ: Materials, Processes and Systems, Prentice-Hall, Upper Saddle River.
10. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A. and Manoharan, N. (2008). Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(4), 32-36.
11. De Garmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A. (1997). *Materials and process in manufacturing*. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 214-652.
12. Boothroyd, G. and Knight W.A. (1989). *Fundamentals of Machining and Machine Tools. (Second Edition)* New York Basel : Marcel Dekker, INC.
13. Davim, J. P. (2002). Diamond tool performance in machining metal–matrix composites. *Journal of materials processing technology*, 128(1-3), 100-105.
14. Lou, M. S., Chen, J. C. and Li, C. M. (1999). Surface roughness prediction technique for CNC end-milling. *Journal of Endustrial Technology*, 15 (1-6).

15. Akkurt, M. (1996). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 1-40.
16. Trent, E.M. (1989). *Metal cutting*. London: Butterworths, 1-171.
17. Trent, E. M., and Wright, P. K. (2000). *Metal cutting*. Boston: Butterworth-Heinemann.
18. Smith, G. T. (2008). *Cutting tool technology*, Industrial handbook. Springer Science and Business Media.
19. Juneja, B. L. (2003). *Fundamentals of metal cutting and machine tools*. India: New Age International.
20. DeGarmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A. (1997). *Materials and process in Manufacturing*. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 214-652.
21. Çevik, E. (2006). *Tornalama İşleminde Kesici Takım Ömrünün İyileştirilmesine Yönelik Alternatif Bir Yaklaşım*. Yüksek lisans tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-84.
22. Zhou, J. M., Walter, H., Andersson, M. and Stahl, J. E. (2003). Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(3), 301-305.
23. Grzesik, W., Rech, J. and Wanat, T. (2007). Surface finish on hardened bearing steel parts produced by superhard and abrasive tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(2), 255-262.
24. Zhou, J. M., Andersson, M. and Ståhl, J. E. (2004). Identification of cutting errors in precision hard turning process. *Journal of Materials Processing Technology*, 153, 746-750.
25. Tonshoff, H.K., Arendt, C. and Ben Amor, R., (2000). Cutting of Hardened Steel. *CIRP Annals*, 49(2), 547-566.
26. Huang, Y., Chou, Y. K. and Liang, S. Y. (2007). CBN tool wear in hard turning: A survey on research progresses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35, 443-453.
27. Sood, R., Guo, C. and Malkin, S. (2000). Turning of hardened steels. *Journal of manufacturing processes*, 2(3), 187-193.
28. Klocke, F., Brinksmeier, E. and Weinert, K. (2005). Capability profile of hard cutting and grinding processes. *CIRP Annals*, 54(2), 22-45.
29. Abrão, A. M. and Aspinwall, D. K. (1996). The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel. *Wear*, 196(1-2), 279-284.

30. Smith, S., Melkote, S. N., Lara-Curzio, E., Watkins, T. R., Allard, L. and Riestler, L. (2007). Effect of surface integrity of hard turned AISI 52100 steel on fatigue performance. *Materials Science and Engineering: A*, 459(1-2), 337-346.
31. Scheffer, C., Kratz, H., Heyns, P. S. and Klocke, F. (2003). Development of a tool wear-monitoring system for hard turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(10), 973-985.
32. Fidaner, S., Çelik, S., Doğmuş, H., Süzen, C. ve Duran, A. D. (1979). *Genel Dökümcülik Bilgisi*. İstanbul: Milli Eğitim Basımevi.
33. Sağlam, C. (2009). *Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Elementleri İlavesinin Etkisi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-85.
34. Erdoğan, M. (1998). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*. Cilt. 1, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 332-346.
35. Erdoğan, M. (2000). *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özelliği*. Cilt. 1, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 215-261.
36. Çavuşoğlu, E. (1992). *Döküm Teknolojisi I*. İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul: Ofset Atölyesi.
37. Davis, J. R. (1996). *Classification and basic metallurgy of cast irons*. ASM Specialty Handbook Cast Irons, 3-12.
38. *ASTM A532 Standard Specification for Abrasion Resistant Cast Iron*. ASTM Standards (2014).
39. Jinzhu, L., Shizhuo, L. and Yongfa, M. (1993). Wear resistance of Ni-hard 4 and high-chromium cast iron re-evaluated. *Wear*, 166(1), 37-40.
40. Yao, M. and Page, N. W. (2001). Friction measurement on Ni-Hard 4 during high pressure crushing of silica. *Wear*, 249(1-2), 116-125.
41. Zhou, J. M., Hognas, S. and Stahl, J. E. (2010). Improving waviness of bore in precision hard turning by pressurized coolant. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49, 469-474
42. Fu, Q., Lundin, D. and Nicolescu, C. M. (2014). Anti-vibration engineering in internal turning using a carbon nanocomposite damping coating produced by PECVD process. *Journal of materials engineering and performance*, 23, 506-517.
43. Optimizacijo, U. T. J. M. Z., Stru, T. and Izvrtine, E. R. (2015). Application of the Taguchi method to optimize the cutting conditions in hard turning of a ring bore. *Materiali in tehnologije*, 49(5), 765-772.

44. Suyama, D. I., Diniz, A. E. and Pederiva, R. (2016). The use of carbide and particle-damped bars to increase tool overhang in the internal turning of hardened steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86, 2083-2092.
45. Suyama, D. I., Diniz, A. E. and Pederiva, R. (2017). Tool vibration in internal turning of hardened steel using cBN tool. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88, 2485-2495.
46. Lawrance, G., Sam Paul, P., Varadarajan, A. S., Paul Praveen, A. and Ajay Vasanth, X. (2017). Attenuation of vibration in boring tool using spring controlled impact damper. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11, 903-915.
47. Singh, G., Mann, G. S. and Pradhan, S. (2018). Improving the Surface roughness and Flank wear of the boring process using particle damped boring bars. *Materials Today: Proceedings*, 5(14), 28186-28194.
48. Suyama, D. I. and Diniz, A. E. (2020). Influence of tool vibrations on tool wear mechanisms in internal turning of hardened steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42, 1-17
49. de Aguiar, H. C. G., Hassui, A., Suyama, D. I. and Magri, A. (2020). Reduction of internal turning surface roughness by using particle damping aided by airflow. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106, 125-131
50. Gunaraj, L., Paul, S., Mohammed, J., Sudhagar, E. and Thankachan, T. (2023). Optimization of Cutting Parameters for Hard Boring of AISI 4340 Steel Using Signal-to-Noise Ratio, Grey Relation Analysis and Analysis of Variance. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 67(4), 259-269.
51. Masood, S. H., Armitage, K. and Brandt, M. (2011). An experimental study of laser-assisted machining of hard-to-wear white cast iron. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(6), 450-456.
52. Yücel, E. and Günay, M. (2012). *Yüksek Alaşımlı Beyaz Dökme Demirlerin (Ni-Hard) Tornalanmasında Kesme Kuvvetinin Modellenmesi*. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 489-495.
53. Günay, M. and Yücel, E. (2013). Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron. *Measurement*, 46(2), 913-919.
54. Yücel, E. and Günay, M. (2013). Modelling and optimization of the cutting conditions in hard turning of high-alloy white cast iron (Ni-Hard). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 227(10), 2280-2290.
55. Ding, H. and Shin, Y. C. (2013). Improving machinability of high chromium wear-resistant materials via laser-assisted machining. *Machining science and technology*, 17(2), 246-269.

56. Chen, L., Zhou, J. M., Bushlya, V., Gutnichenko, O. and Ståhl, J. E. (2014, November). *High Performance Machining Of High Chromium Wear Resistance Materials with pcBN and bcBN Tools*. In The 6th Swedish Production Symposium.
57. Ravi, A. M., Murigendrappa, S. M. and Mukunda, P. G. (2014). Machinability investigations on high chrome white cast iron using multi coated hard carbide tools. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 67, 485-502.
58. Ravi, A. M., Murigendrappa, S. M. and Mukunda, P. G. (2014). Experimental investigation on thermally enhanced machining of high-chrome white cast iron and to study its machinability characteristics using Taguchi method and artificial neural network. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72, 1439-1454
59. Ravi, A. M., Murigendrappa, S. M. and Mukunda, P. G. (2014). Experimental investigation of influence of tool temperature on cutting forces in the thermally enhanced machining of high chrome white cast iron. *Procedia Materials Science*, 5, 2099-2104.
60. Ravi, A. M., Murigendrappa, S. M. and Mukunda, P. G. (2015). Experimental and analytical based investigations on machinability of high-chrome white cast iron using CBN tools. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 68, 61-77.
61. Chen, L., Zhou, J., Bushlya, V., Gutnichenko, O. and Stahl, J. E. (2015). Performance assessment of pCBN and bCBN tools in machining of high-chromium white cast iron. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79, 635-644.
62. Chen, L., Zhou, J., Bushlya, V. and Stahl, J. E. (2015). Influences of micro mechanical property and microstructure on performance of machining high chromium white cast iron with cBN tools. *Procedia CIRP*, 31, 172-178.
63. Kir, D., Öktem, H., Col, M., Koç, F. and Erzincanli, F. (2016). Determination of the cutting-tool performance of high-alloyed white cast iron (Ni-Hard 4) using the Taguchi method. *Materiali in tehnologije*, 50(2).
64. de Oliveira, A. J., Boing, D. and Schroeter, R. B. (2016). Effect of PCBN tool grade and cutting type on hard turning of high-chromium white cast iron. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82, 797-807.
65. Gutnichenko, O., Bushlya, V., Zhou, J. M. and Stahl, J. E. (2016). Tool wear and vibrations generated when turning high-chromium white cast iron with pCBN tools. *Procedia CIRP*, 46, 285-289.
66. Gutnichenko, O., Bushlya, V., Zhou, J. and Ståhl, J. E. (2017). Tool wear and machining dynamics when turning high chromium white cast iron with pcBN tools. *Wear*, 390, 253-269.
67. Chen, L., Stahl, J. E., Zhao, W. and Zhou, J. (2018). Assessment on abrasiveness of high chromium cast iron material on the wear performance of PCBN cutting tools in dry machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 255, 110-120.

68. Kalyon, A., Günay, M. and Özyürek, D. (2018). Application of grey relational analysis based on Taguchi method for optimizing machining parameters in hard turning of high chrome cast iron. *Advances in Manufacturing*, 6(4), 419-429.
69. da Silva, A. E., de Melo, I. N. R., Pinheiro, I. P. and da Silva, L. R. (2020). Characterisation and machinability of high chromium hardened white cast iron with and without the addition of niobium. *Wear*, 460, 203463.
70. Ravi, A. M. and Murigendrappa, S. M. (2021). Comparative study of carbide tools in turning of high-chrome white cast iron using hard turning methods. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Vol. 1065, No. 1, p. 012032. IOP Publishing.
71. Fairhurst, W. and Rohrig, K. (1974). *Abrasion-resistant high-chromium white cast irons*.
72. Şahin, Y. (2001). *Kumlama Makinesi Türbin Paletlerindeki Aşınma ve Mikroyapının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 31, 32, 40, 45-48.
73. Say, Y. (2008). *Borürlerin Aşıl原因ıcı Olarak Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1, 9-12, 15-20, 36, 37.
74. Internet: Sandvik Coromant manufacturing tools and machining solutions. (2024). Web: https://docs.steinerelectric.com/Sandvik_5736303_Catalog.pdf, Son Erişim Tarihi: 28.07.2024.
75. Internet: Sandvik Coromant manufacturing tools and machining solutions. (2024). Web: <https://api.dgisupply.ca/uploads/literature/X2F5AUmwvWyJk7MBfa0hjKfAUYEQF3L7ySbXYbJi.pdf>, Son Erişim Tarihi: 28.07.2024.
76. Internet: Sandvik Coromant manufacturing tools and machining solutions. (2024). Web: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/product-details?c=TCGW110304S01020F%20%20%207115>, Son Erişim Tarihi: 28.07.2024.
77. Internet: Sandvik Coromant manufacturing tools and machining solutions. (2024). Web: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/product-details?c=TCMT%2011%2003%2004-MM%20%20%20%201125>, Son Erişim Tarihi: 28.07.2024.
78. Internet: Sandvik Coromant - manufacturing tools and machining solutions. (2024). Web: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/product-details?c=a25t-stfcr%2011-rb1>, Son Erişim Tarihi: 28.07.2024.
79. Internet: Sandvik Coromant - manufacturing tools and machining solutions (2024). Web: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/product-details?c=E25T-STFCR11-RB1>, Son Erişim Tarihi: 28.07.2024.
80. Internet: Sandvik Coromant - manufacturing tools and machining solutions. (2024). Web: <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/product-details?c=570-STFCR-25-11-B1>, Son Erişim Tarihi: 28.07.2024.

81. Roy, R.K. (1990). *A primer on the Taguchi method*. New York: Van Nostrand Reinhold yayıncılık, 1-28, 40-155, 211.
82. Abraham, B. and Mackay, J. (1993). Variation Reduction and Designed Experiments. *International Statistical Review*, 121-129
83. Muluk, Z., Saraçbaşı, T., Aktaş, S. ve Başar, Ç. (1998). *Taguchi Üzerine Araştırma*. 94K120340 Nolu DPT Projesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
84. Ahmed, T., Mollick, N., Mahmud, S. and Ahmad, T. (2021). Analysis of effects of machining parameters on cutting force components in turning AISI 201 stainless steel using cemented carbide cutting tool insert. *Materials Today: Proceedings*, 42, 832-837.
85. Özdemir, M., Kaya, M. and Akyıldız, H. (2020). Analysis of surface roughness and cutting forces in hard turning of 42CrMo4 steel using Taguchi and RSM method. *Mechanika*, 26(3).
86. Taylan, D. (2009). *Taguchi deney tasarımı uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 15-42
87. Sultana, M. and Dhar, N. R. (2021). Hybrid GRA-PCA and modified weighted TOPSIS coupled with Taguchi for multi-response process parameter optimization in turning AISI 1040 steel. *Archive of Mechanical Engineering*, 23-49
88. Ramesh, S., Viswanathan, R. and Ambika, S. (2016). Measurement and optimization of surface roughness and tool wear via grey relational analysis, TOPSIS and RSA techniques. *Measurement*, 78, 63-72.
89. Thirumalai, R. and Senthilkumaar, J. S. (2013). Multi-criteria decision making in the selection of machining parameters for Inconel 718. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27, 1109-1116
90. Angappan, P., Thangiah, S. and Subbarayan, S. (2017). Taguchi-based grey relational analysis for modeling and optimizing machining parameters through dry turning of Incoloy 800H. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31, 4159-4165
91. Dabade, U. A. (2013). Multi-objective process optimization to improve surface integrity on turned surface of Al/SiCp metal matrix composites using grey relational analysis. *Procedia CIRP*, 7, 299-304
92. Acır, A., Canlı, M. E., Ata, İ. and Çakıroğlu, R. (2017). Parametric optimization of energy and exergy analyses of a novel solar air heater with grey relational analysis. *Applied Thermal Engineering*, 122, 330-338
93. Zerti, O., Yallese, M., Zerti, A., Belhadi, S. and Girardin, F. (2018). Simultaneous improvement of surface quality and productivity using grey relational analysis based Taguchi design for turning couple (AISI D3 steel/mixed ceramic tool (Al₂O₃+TiC)). *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(2), 173-194.

94. Singaravel, B. and Selvaraj, T. (2015). Optimizacija parametara obrade u postupcima tokarenja primjenom kombinacije TOPSIS i AHP metode. *Tehnički vjesnik*, 22(6), 1475-1480.
95. Çalışkan, H., Kurşuncu, B., Kurbanoğlu, C. and Güven, Ş. Y. (2013). Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods. *Materials and Design*, 45, 473-479.
96. Yayla, A., Yıldız, A. and Özbek, A. (2012). Fuzzy TOPSIS method in supplier selection and application in the garment industry. *Fibres Textiles in Eastern Europe*, 93, 20-23.
97. Yuvaraju, B. A. G. and Nanda, B. K. (2018). Prediction of vibration amplitude and surface roughness in boring operation by response surface methodology. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 6906-6915.
98. Kiyak M, Kaner B, Sahin I, Aldemir B and Cakir O. (2010). The dependence of tool overhang on surface quality and tool wear in the turning process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(5), 431-438
99. Sarode, M. K., Nehe, P. and Deshpande, M. S. (2020). Chatter Mitigation In Boring Machining Process. *International Journal*, 5(9) 27-34.
100. Kucuk, Y. and Korkut, I. (2012). Using the Experimental Design Method to Optimize the Conicity and Circularity of Bored Holes. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(4), 1077-1082.
101. Özdemir, M., Kaya, M. and Akyildiz, H. (2020). Analysis of surface roughness and cutting forces in hard turning of 42CrMo4 steel using Taguchi and RSM method. *Mechanika*, 26(3), 231-241.
102. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Günay, M. ve Şeker, U. (2011). AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Titanyum Karbür Kaplamalı Kesici Takım ile Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 135-144
103. Kara, F., Aslantas, K., and Çiçek, A. (2015). ANN and multiple regression method-based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel. *Neural Computing and Applications*, 26, 237-250.
104. Fnides, B., Aouici, H., Elbah, M., Boutabba, S. ve Boulanouar, L. (2015). Comparison between mixed ceramic and reinforced ceramic tools in terms of cutting force components modelling and optimization when machining hardened steel AISI 4140. *Mechanics and Industry* 16(6), 609.
105. Özlü, B. (2021). Investigation of the effect of cutting parameters on cutting force, surface roughness and chip shape in turning of Slei pner cold work tool steel. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 36(3), 1241-1251.

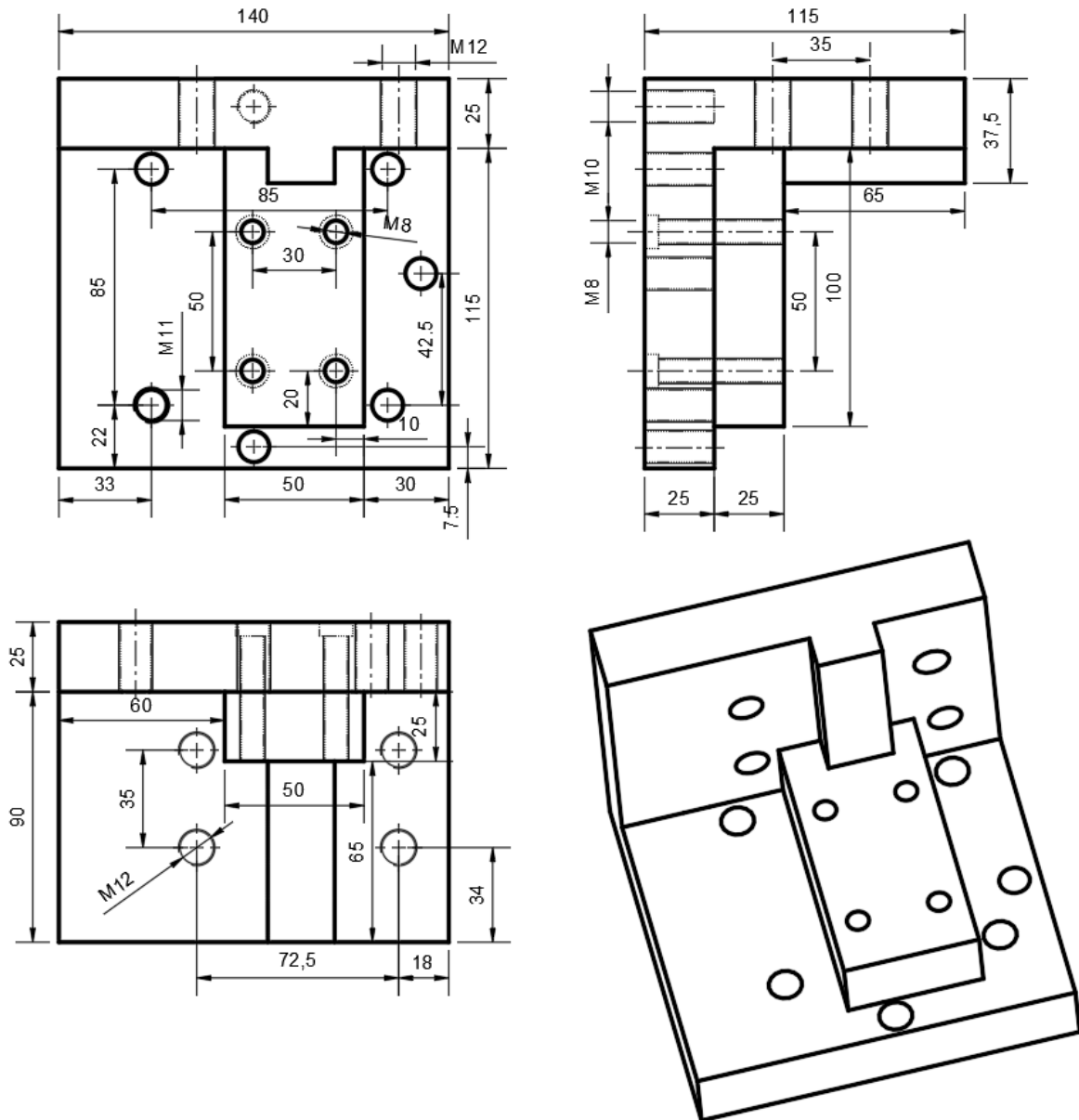
106. Abas, M., Salah, B., Khalid, Q.S., Hussain, I., Babar, A.R., Nawaz, R. and Saleem, W. (2020). Experimental investigation and statistical evaluation of optimized cutting process parameters and cutting conditions to minimize cutting forces and shape deviations in Al6026-T9. *Materials* 13(19), 4327.
107. Palanisamy, A. and Selvaraj, T. (2019). Optimization of turning parameters for surface integrity properties on incoloy 800H superalloy using cryogenically treated multi-layer CVD coated tool. *Surface Review and Letters*, 26(02), 1850139.
108. Uzun, G. (2019). Analysis of grey relational method of the effects on machinability performance on austempered vermicular graphite cast irons. *Measurement*, 142, 122-130.
109. Jozić, S., Bajić, D. and Celent, L. (2015). Application of compressed cold air cooling: achieving multiple performance characteristics in end milling process. *Journal of Cleaner Production*, 100, 325-332.



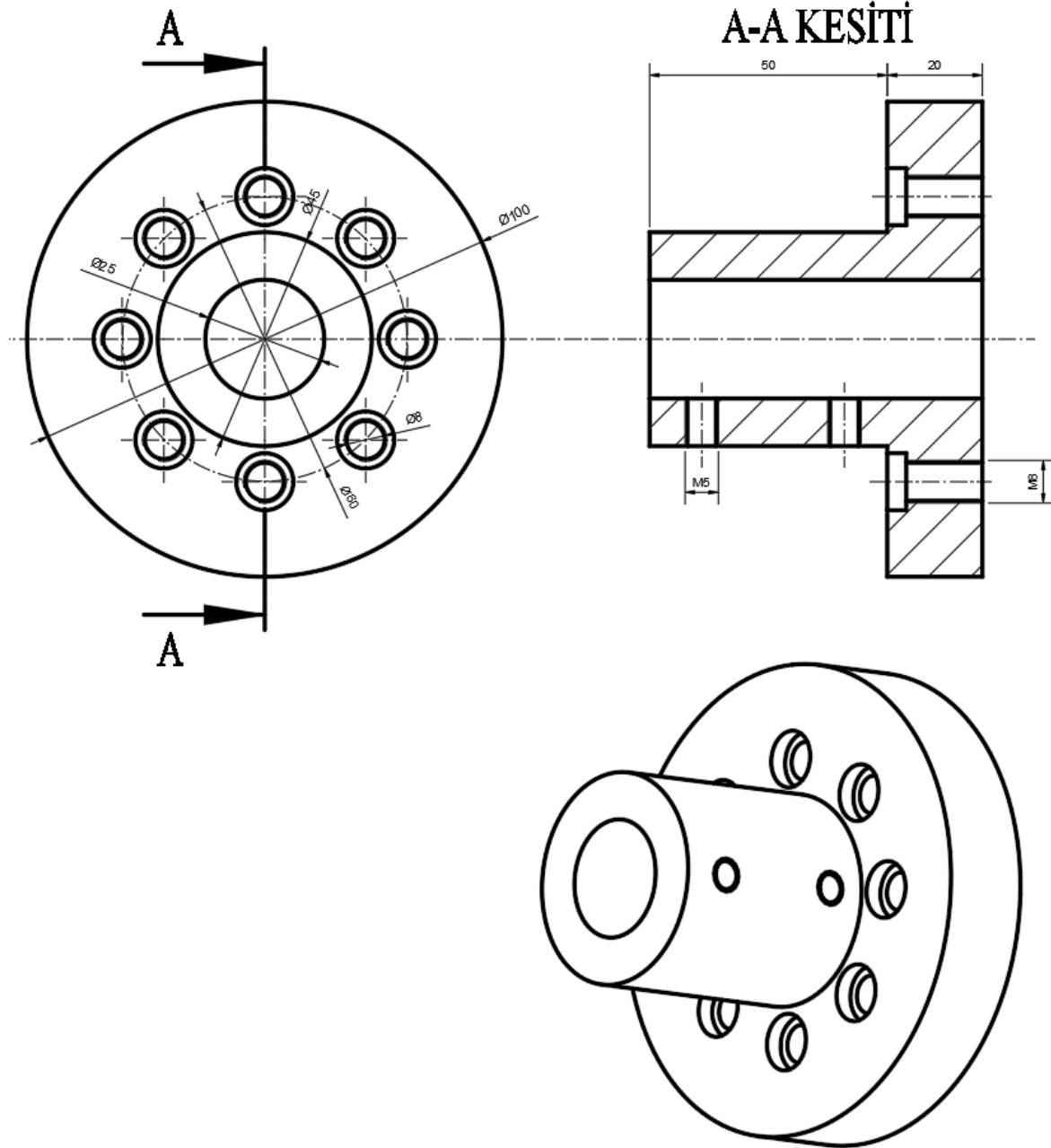


EKLER

EK-1. Dinamometre bağlama aparatı teknik resmi



EK-2. Delik katerini dinamometreye bağlama aparatı teknik resmi





Gazili olmak ayrıcalıktır