

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**AISI 304L PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALAMA
PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YUNUS EMRE NEHRİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ali ORAL** (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ (Eş Danışman)
Doç. Dr. Ergun ATEŞ
Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR
Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

BALIKESİR, 07 - 2021

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**AISI 304L Paslanmaz Çeliğın Tortalama Parametrelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yunus Emre NEHRİ
(imza)



Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2020/070 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

AISI 304L PASLANMAZ ÇELİĞİN TORNALAMA PARAMETRELERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUNUS EMRE NEHRI

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ALİ ORAL)

(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. ALAADDİN TOKTAŞ)

BALIKESİR, TEMMUZ - 2021

Bu çalışmada, 304L paslanmaz çeliklerin işlenebilirliklerinin zorluğu, tornalanırken talaş kırılma sorunu ve kesici uçların maliyetleri üzerine odaklanılmıştır. Deneyler beş farklı kesici uçla, beş farklı kesme hızında, iki farklı ilerlemede ve üç farklı paso değerinde gerçekleştirilmiştir. Soğutma yöntemi olarak vorteks tüp kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda aşınma ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri alınmıştır. Elde edilen ölçümler için farklı yöntemler kullanarak ara değer tahmini ve optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Aşınma ve yüzey pürüzlülüğünün minimum olması maliyet için önemliyken, ara değer tahminleri de hem zaman hem de maliyet için önem arz etmektedir. Yapılan tahmin sonuçları incelenerek hataların karelerinin toplamının kareköküyle deney veri setine uygun yöntem seçilmiştir. Farklı yöntemlerin olması seçilen yöntemi güçlendirmektedir. Yöntemlerden aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için ayrı ayrı ve birlikte optimum parametrelerin neler olduğu alınmıştır. Optimum parametreler için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Doğrulama deneylerinin gerçek ve tahmin değerleri ile uyduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: İşlenebilirlik, 304L paslanmaz çelik, aşınma, yüzey pürüzlülüğü, optimizasyon

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TURNING PARAMETERS OF AISI 304L STAINLESS STEEL

MSC THESIS

YUNUS EMRE NEHRI

**BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: PROF. DR. ALİ ORAL)

(CO-SUPERVISOR: DOÇ. DR. ALAADDİN TOKTAŞ)

BALIKESİR, JULY - 2021

In this study, the difficulty of machinability of 304L stainless steels, the chip breaking problem when turning, and the costs of the inserts are focused on. The experiments were carried out with five different inserts, at five different cutting speeds, at two different feeds and at three different depths of cut. A vortex tube was used as the cooling method. As a result of the experiments, flank wear and surface roughness measurements were taken. Intermediate value estimation and optimization studies were carried out using different methods for the measurements obtained. While minimizing flank wear and surface roughness is important for cost, intermediate value estimates are also important for both time and cost. The estimation results were examined, and the method suitable for the experimental data set was chosen with the square root of the sum of the squares of the errors. Having different methods reinforces the chosen method. The optimum parameters for flank wear and surface roughness, separately and together, were taken from the methods. Confirmation experiments were performed for optimum parameters. The validation experiments were found to agree with the actual and predicted values.

KEYWORDS: Machinability, 304L stainless steel, flank wear, surface roughness, optimization

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Paslanmaz Çelikler.....	2
1.1.1 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	3
1.1.2 Paslanmaz Çeliklerin Özellikleri.....	5
1.2 İşlenebilirlik	5
1.3 Aşınma	7
1.4 Yüzey Pürüzlülüğü.....	9
1.5 Vorteks Tüpü ile Soğutma İşlemi	12
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	15
3. DENEYSEL YÖNTEM	27
3.1 Deneysel Yönteme Giriş	27
3.2 Malzeme.....	27
3.3 Numunelerin Hazırlanması	28
3.4 CNC Tezgahı	29
3.5 Kesici Uçlar	30
3.6 Takım Tutucu.....	33
3.7 Deneysel Çalışma Süreci	33
3.8 Aşınma Ölçümü	34
3.9 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü.....	36
3.10 Deney Tasarımı.....	37
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	39
4.1 Kesme Hızı – Aşınma Grafikleri	45
4.2 Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri	50
4.3 İlerleme – Aşınma Grafikleri	56
4.4 İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri	57
4.5 Paso – Aşınma Grafikleri.....	58
4.6 Paso – Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri	61
4.7 Taguchi Yöntemi	62
4.7.1 Taguchi Yöntemi İçin Varyans Analizi (ANOVA)	65
4.7.2 Taguchi için Regresyon Eşitliği	66
4.8 Yanıt Yüzey Metodu.....	67
4.8.1 Yanıt Yüzey Metodu için Regresyon Eşitliği	72
4.9 Yapay Sinir Ağları (YSA)	75
4.10 Doğrulama Deneyleri.....	81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86

5.1 Sonuçlar	86
5.2 neriler	87
6. KAYNAKÇA	88
EKLER	98
EK A: Yöntemlerden elde edilen tahmin sonuçları	98
ÖZGEÇMİŐ	104



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Paslanmaz çeliklerin tarihsel gelişimi	2
Şekil 1.2: Paslanmaz çelik türleri.....	3
Şekil 1.3: ISO 3685:1993 standardına göre takım aşınmasının türleri [19].....	9
Şekil 1.4: Tornalamada pürüzlülüğün teorik oluşumu [22]	10
Şekil 1.5: Yüzey pürüzlülüğü ölçüm teknolojilerinin bazıları	10
Şekil 1.6: Yüzey yapı karakteristikleri [23]	11
Şekil 1.7: M sistemine göre yüzey pürüzlülüğü [24][25]	11
Şekil 1.8: Vorteks tüpün şematik şekli [32].....	13
Şekil 1.9: Vorteks tüplerin sınıflandırılması	13
Şekil 3.1: 304L deney numunesinin a) İşlenmemiş hali b) İşlenmiş hali	28
Şekil 3.2: CNC torna tezgahı	30
Şekil 3.3: Kesici uç seçiminde önemli olan parametreler	31
Şekil 3.4: Deneylerde kullanılan kesici uçlar.....	32
Şekil 3.5: DCMT 11 T3 04 formülü kesici uç [75].....	32
Şekil 3.6: Kesici takım tutucu	33
Şekil 3.7: Dino-Lite mikroskop ve uygulaması	35
Şekil 3.8: Kesici uç aparatı.....	35
Şekil 3.9: Pürüzlülük ölçüm cihazı ve uygulaması	36
Şekil 3.10: Pürüzlülük ölçümünün alınma şekli	37
Şekil 4.1: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği.....	45
Şekil 4.2: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği.....	46
Şekil 4.3: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği.....	47
Şekil 4.4: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği.....	48
Şekil 4.5: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği.....	49
Şekil 4.6: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği.....	50
Şekil 4.7: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği	51
Şekil 4.8: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği	52
Şekil 4.9: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği	53
Şekil 4.10: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği	54
Şekil 4.11: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği	55
Şekil 4.12: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği	56
Şekil 4.13: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve paso değerlerinde, İlerleme-Aşınma grafikleri	57

Şekil 4.14: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve paso değerlerinde, İlerleme-Yüzey Pürüzlülüğü grafikleri	58
Şekil 4.15: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,11 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Aşınma grafikleri	59
Şekil 4.16: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,15 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Aşınma grafikleri	60
Şekil 4.17: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,11 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Yüzey pürüzlülüğü grafikleri	61
Şekil 4.18: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,15 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Yüzey pürüzlülüğü grafikleri	62
Şekil 4.19: Aşınma için S/N oranının etki grafiği.....	63
Şekil 4.20: Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranının etki grafiği	64
Şekil 4.21: T-Tahmini Aşınma değeri ve ölçülmüş olan Aşınma değerlerinin regresyon grafiği.....	66
Şekil 4.22: T-Tahmini Yüzey pürüzlülüğü değeri ve ölçülmüş olan Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin regresyon grafiği.....	67
Şekil 4.23: RSM-Tahmini Aşınma değeri ve ölçülmüş olan Aşınma değerlerinin regresyon grafiği.....	72
Şekil 4.24: RSM-Tahmini Yüzey pürüzlülüğü değeri ve ölçülmüş olan Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin regresyon grafiği.....	73
Şekil 4.25: Yapay sinir ağlarında temel eğitim algoritmalarının Hız ve Hafıza ile ilişkili grafiği [97].....	76
Şekil 4.26: Ağ modeli	77
Şekil 4.27: Ağın eğitimi	77
Şekil 4.28: Aşınma ve Yüzey pürüzlülüğü için regresyon grafikleri.....	78
Şekil 4.29: Tercih edilen deneyin Zaman-Aşınma grafiği	83
Şekil 4.30: 7.Doğrulama deneyi için aşınma görüntüleri a)SEM görüntüsü (X80), b)dijital mikroskop görüntüsü (X240).....	84
Şekil 4.31: 8.Doğrulama deneyi için aşınma görüntüsü a)SEM görüntüsü (X80), b)dijital mikroskop görüntüsü (X240).....	84

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Aşınma Türleri [12, 17].....	8
Tablo 3.1: 304L Paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri	27
Tablo 3.2: 304L Paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlık).....	28
Tablo 3.3: Çalışmada kullanılan kesici uçların simgeleri.....	32
Tablo 3.4: Çalışmada kullanılan takım tutucunun simgesi.....	33
Tablo 3.5: Deney Parametre ve Değişkenleri	38
Tablo 4.1: DCMT 11 T3 04 PM N SU takımıyla yapılan deneyler	40
Tablo 4.2: DCMT 11 T3 04 PF IC 6015 takımıyla yapılan deneyler	41
Tablo 4.3: DCMT 11 T3 04 MF KCM 15 takımıyla yapılan deneyler	42
Tablo 4.4: DCMT 11 T3 04 M3 TM 1501 takımıyla yapılan deneyler.....	43
Tablo 4.5: DCMT 11 T3 04 M3 TM 2501 takımıyla yapılan deneyler.....	44
Tablo 4.6: Aşınma için S/N oranı	63
Tablo 4.7: Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranı.....	64
Tablo 4.8: Taguchi metodunda Aşınma için ANOVA	65
Tablo 4.9: Taguchi metodunda Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA.....	65
Tablo 4.10: Yanıt yüzey metodu modelin aşınma için toplam özeti	68
Tablo 4.11: Yanıt yüzey metodunda Aşınma için ANOVA.....	68
Tablo 4.12: Yanıt yüzey metodunda Aşınma için regresyon denklemleri	69
Tablo 4.13: Yanıt yüzey metodunun aşınma için optimizasyonu.....	69
Tablo 4.14: Yanıt yüzey metodu modelinin yüzey pürüzlülüğü için toplam özeti	70
Tablo 4.15: Yanıt yüzey metodunda Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA	70
Tablo 4.16: Yanıt yüzey metodunda Yüzey pürüzlülüğü için regresyon denklemleri	71
Tablo 4.17: Yanıt yüzey metodunun Yüzey pürüzlülüğü için optimizasyonu	71
Tablo 4.18: Yanıt yüzey metodunun Aşınma ve Yüzey pürüzlülüğü için optimizasyonu ..	73
Tablo 4.19: Taguchi ve Yanıt yüzey metodunda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki ayrı ayrı etki oranları	74
Tablo 4.20: %97 açıklama gücüne sahip olan yapay sinir ağlarına ara değerler için oluşturulan giriş parametreleri	79
Tablo 4.21: Taguchi-Yanıt Yüzey Metodu-Yapay Sinir Ağlarının vermiş olduğu tahmin değerlerinin hatalarının kareleri toplamı	80
Tablo 4.22: Taguchi-Yanıt Yüzey Metodu-Yapay Sinir Ağlarının vermiş olduğu tahmin değerlerinin hatalarının karelerinin toplamının karekökleri	80
Tablo 4.23: Doğrulama deneyleri	81
Tablo 4.24: Doğrulama deneylerinin sonuçlarının karşılaştırılması.....	82
Tablo A.1: Taguchi-Yanıt Yüzey Metodu-Yapay Sinir Ağlarının Aşınma ve Yüzey Pürüzlülüğü için tahmin değerleri	98

SEMBOL LİSTESİ

- R_a** : Yüzey Pürüzlülüğü Aritmetik Ortalaması (μm)
VB : Serbest Yüzey Aşınması (μm)



ÖNSÖZ

Çalışma hayatım boyunca her konuda destek olan, bilgi ve tecrübeleriyle çalışmalarına yön veren değerli danışmanım Prof. Dr. Ali ORAL hocama ve değerli eş danışmanım Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ hocama en içten dileklerle saygılarımı sunar teşekkür ederim.

Tez çalışmamda proje desteklerinden dolayı Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine ve ERBAB Otomat Yedek Parça Sanayi Ltd. Şti. firmasına teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yardımcı olan Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR hocama, Doç. Dr. Gülşen AYDIN KESKİN hocama, Dr. Öğr. Üyesi Kamil TOPAL hocama, Dr. Öğr. Üyesi Kadriye ERGÜN hocama, kıymetli dostum Arş. Gör. Yağız Can BAYHAN hocama, Arş. Gör. A. Hüseyin EZİRMİK hocama ve tezgahı kullanmayı öğretip destek olan Alper GÜNDOĞMUŞ Bey'e teşekkür ederim.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her anımda yanımda olan, bugünlere gelmemi sağlayan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Balıkesir, 2021

Yunus Emre NEHRİ

1. GİRİŞ

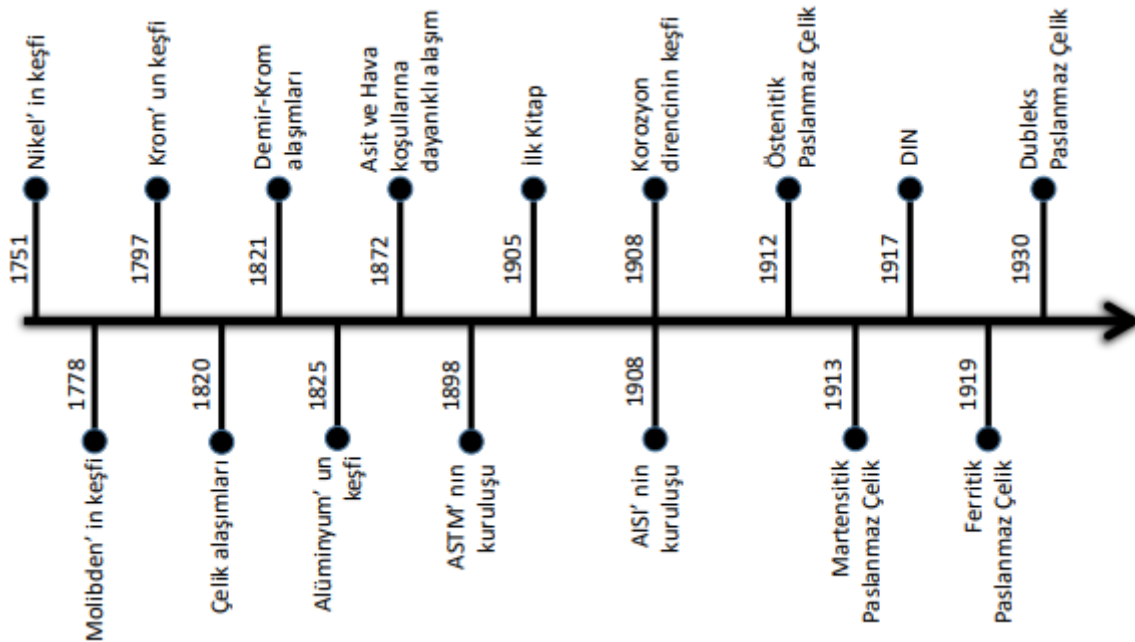
Günümüzde tüketim mallarına olan talebin artması üretimin de artmasına neden olmaktadır. Üretimin artması firmalar arasında büyük bir rekabet oluşmasına, üretim ve tüketimin fazla olması da insanoğlunun çevreye verdiği zararı arttırmaktadır. Makine-teçhizat ve gündelik eşya yapımında metalik veya metalik olmayan birçok malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemelerden birisi de paslanmaz çeliklerdir. Paslanmaz çelikler, ev aletleri, gıda prosesleri, büyük ev aletleri, mobilyalar, inşaat, tekstil, kimyasal alanlar, tıbbi ekipmanlar, savunma sanayisi ve ulaşım endüstrisi gibi birçok alanda bulunmakta ve kullanılmaktadır [1]. Bu kadar fazla tüketim alanı olan malzemenin üretim alanları da haliyle çokça vardır. Talaşlı imalat, döküm, plastik şekil verme, toz metalürjisi gibi birçok farklı üretim yöntemi mevcuttur. Temel üretim yöntemlerinden birisi olan talaşlı imalatta şekillendirilecek olan malzemenin talaş şeklinde parçalar koparılır. Parçaların koparılması genelde işleme olarak isimlendirilir. Rekabetin çok yüksek olduğu günümüzde işlenebilirlik ve işlemenin önemi de artmaktadır. Çünkü üretilen parçaların mükemmel doğruluk ve hassasiyette olması beklenmekle birlikte zaman, maliyet ve çevreye daha az zarar verme konularında işlenebilirlik ve işlemenin etkisi yüksektir [2]. İşlemeyi etkileyen faktörlere tezgah, kesici takım tutucu, iş parçası ve kesici takım malzemesi, kesme hızı, ilerleme, paso ve soğutma yöntemini örnek olarak verilebilir. Her bir işleme parametresi, kesici ucun aşınmasına, işlenen malzemenin hassasiyetine, zamana ve maliyete etki etmektedir. Üretimin artmasıyla azalan kaynaklarımızı koruyabilmek için güvenilir tahmin değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Güvenilir tahmin deneyleri için ön çalışmalar yapılarak elde edilen veri setlerinin programlar vasıtasıyla uygun güvenilirlik düzeyinde yapılmamış olan çalışma sonuçlarını tahmin ettirip, optimizasyon yaparak deneme yapmadan daha az malzeme tüketimi, programların hızlı sonuçlar vermesiyle zamandan tasarruf, deneme az olduğu için maliyetten kazanç sağlanır.

Bu çalışmalar ve sonrasındaki üretim süreci içinde kullanılan soğutma sıvıları çevreyi kirletmektedir. Üretim süreçlerinde çevreyi korumak adına çevreye dost soğutma yöntemlerinin kullanılması zorunlu olmaktadır. Soğutma yöntemleri talaşlı imalatta, talaş kaldırma işlemini kolaylaştırmak, kesici takımın ömrünü uzatmak, işleme süreçlerinin verimliliğini arttırmak ve daha iyi yüzey kalitesi oluşturmak için gereklidir [3]. Genelde soğutma yöntemi olarak bitkisel yağlar, kesme sıvısının minimum miktarda kullanım yöntemleri ve vorteks tüpler kullanılmalıdır.

1.1 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelik, en az %12 krom içeren alaşımlı çelik olarak tanımlanabilir. Metalin yüzeyinde oluşan ince koruyucu oksit filminden dolayı korozyona ve paslanmaya karşı direnç göstermektedir [4]. Koruyucu oksit film, deforme olduğu durumlarda malzeme korozyona uğrayabilir [5].

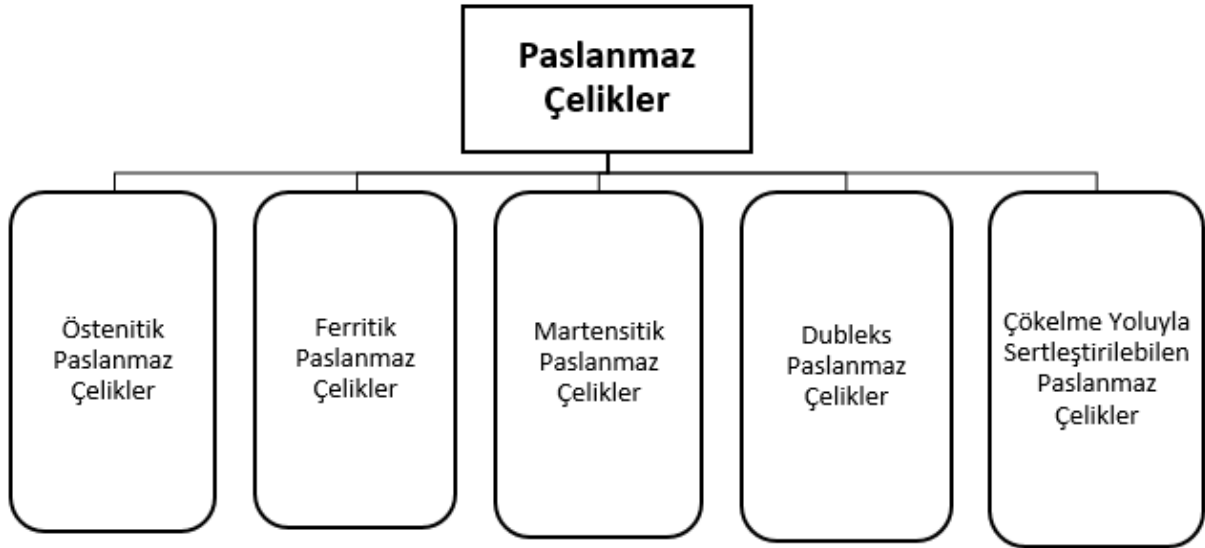
Paslanmaz çeliklerin tarihçesi incelendiğinde; 1910'lu yılların sonuna doğru bir İngiliz dergisinde Cushman ve Gardner isimli yazarlar, "The Corrosion and Preservation of Iron and Steel" adlı çalışmalarında paslanma hakkında "Paslanma eğilimi, demir olarak bilinen elementin doğasında bulunan bir özelliktir ve bu durum tamamen aşılamaz bir durumdur." şeklinde bir yorum yapmışlardır. O yıllarda "Demir paslanır, işin doğası budur." şeklinde düşünceler hâkimdi. Araştırmacılar, paslanmanın her durumda olacağını düşündükleri için aside karşı dayanıklılık üzerine çalışmışlardır. Amerikan Test Malzemeleri Derneği (ASTM) tarafından 1929'da "Korozyona Dirençli ve Isıya Dayanıklı Alaşımlar Komitesi A-10" kurulmuştur. 1933'te Amerika'da Ernest Thum, kitabına "Paslanmaz Çelikler" adını vermiştir. Kitaba bu isim verilirken yüksek kromlu, ısıya dayanıklı, korozyona dayanıklı ve kolayca karamayan çeliklere paslanmaz çelik denmiştir [1]. Şekil 1.1' de de paslanmaz çeliklerin tarihsel gelişimi verilmiştir.



Şekil 1.1: Paslanmaz çeliklerin tarihsel gelişimi

1.1.1 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çelikler temel olarak Şekil 1.2’de verilen beş sınıfa ayrılır. Bu sınıflandırmalar, öncelik karbon oranına verilmek kaydıyla, alaşımların oranlarına göre yapılmaktadır. Isıtma ve soğutmalar yapılırken faz değişimlerine dikkat edilmesi önemli bir husustur.



Şekil 1.2: Paslanmaz çelik türleri

- Karbon oranı %0,1’ den küçük olan Demir-Krom-Nikel bileşenli paslanmaz çelikler; östenitik,
- Karbon oranı %0,1’ den küçük olan Demir-Krom bileşenli paslanmaz çelikler; ferritik,
- Karbon oranı %0,1’ den büyük olan Demir-Krom bileşenli paslanmaz çelikler; martensitik,
- Karbon oranı değişkenlik gösterebilen Demir-Krom-Nikel bileşenli (Östenitik+Ferritik) paslanmaz çelikler; dubleks,
- Karbon oranı %0,4’ten büyük olan Demir-Krom bileşenli paslanmaz çelikler; çökeltme yoluyla sertleştirilebilen şeklinde sınıflandırılmaktadır [5, 6].

Bu çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çelikler, en yaygın kullanım alanına sahip olan paslanmaz çeliklerdir. Bunlar, birincil faz olarak östenit (gama fazlı demir), krom ve nikel içermektedir. Bazen mangan ve nitrojen de içerebilmektedir. Genelde 300 serisi (304, 304L, 316 vb.) paslanmaz çeliklerle ifade edilir [7]. 200 serisinde mangan-nikel-krom içeren paslanmaz çelikler de östenitik sınıfına girmektedir [8]. Östenitik çelikler sertleştirmeye

uygundur. Manyetik özellikleri olmadıkları için manyetiklik istenmeyen (MRI: manyetik rezonans görüntüleme, implant, LWR: hafif su reaktörleri gibi) yerlerde çokça tercih edilmektedirler [7, 9]. Ferritik ve martensitik paslanmaz çeliklere kıyasla en iyi yüksek sıcaklık mukavemetini, kireçlenme direncini ve üstün korozyon direncini sergilerler [6]. Soğuk işlemlerde şekillendirilebilme özellikleri iyidir [5]. Düşük akma dayanımları olmasına karşın darbelere, çekme ve uzamaya oldukça dayanıklıdır. Yapılan bu çalışmada da talaş kırılmama sorunu çözmeye çalışılmıştır.

Ferritik paslanmaz çelikler, belirli oranda krom içeren alaşımlardır. Genelde 405 ve 430 seri paslanmaz çeliklerle ifade edilirler. Belirli özellikleri sergilemek için molibden, alüminyum, silikon, titanyum ve niyobyum ile alaşımlanabilirler. Bu çelikler ferromanyetik, iyi sünekliliğe sahiptir ve çalışılması biraz daha kolaydır. Karbon oranının az olmasından dolayı sertlik ısı ile arttırılmamaktadır ve soğuk işlemle de orta derecede sertleştirilebilir. Soğuk işlem malzemenin dayanımını arttırırken sünekliliğini de azaltmaktadır. Özel alaşımları süperferritik paslanmaz olarak adlandırılır. Korozyona karşı dirençleri iyidir ve özellikle gerilme korozyonu çatlaması ve oyulmaya karşı direnç için iyidirler [5, 6].

Martensitik paslanmaz çelikler, belirli oranda krom içeren alaşımlardır. Martensitik yapıyı koruyabilmek için krom-karbon oranı dengede tutulmalıdır. Genelde 403, 410, 420 ve 501 seri paslanmaz çeliklerle ifade edilirler. Bu çelikler ferromanyetik ve ısı ile sertleştirilebilirler. Korozyon dayanımları çok yüksek değildir. Ancak az miktarda nikel eklenerek korozyona karşı dirençleri iyileştirilebilir. Isı ile sertleştirme sonrasında iyi tokluğa, iyi sünekliliğe ve yüksek akma dayanımına sahip olabilirler. Manyetik özellikleri vardır. Kolay bir şekilde soğuk işleme de tabi tutulabilirler [6, 10].

Dubleks paslanmaz çelikler, belirli oranda krom ve nikel içeren alaşımlardır. Alaşım sistemi, mikro yapılarında tipik bir şekilde yaklaşık olarak yarı yarıya östenitik ve ferritik faz içerdiği için dubleks olarak adlandırılırlar. Östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin iyi özelliklerini alırlar. Bu çelikler düşük karbon içerir ve alaşım elementleri olarak molibden, tungsten, bakır ve azot eklenebilir. Alaşım, ferritik yapısı nedeniyle mekanik mukavemet kaybına karşı hassastır ve yüksek sıcaklıkta gevrekleşmeye neden olabilir. Dupleks paslanmaz çeliklerin en büyük avantajı; korozyona, özellikle çukurlaşmaya karşı dirençli olmalarıdır [6].

Çökeltme sertleşmesi, bir bileşenin aşırı doymuş bir katı çözüldüğü çökeltmesinin neden olduğu olarak tanımlanır. Metalin yapay yaşlanması, bir bileşenin aşırı doymuş katı çözüldüğü çökeltmesi ile gerçekleştirilir. Bu krom nikel dereceli çelik, yaşlandırma işlemi ile sertleştirilir.

Çökelme yoluyla sertleştirilebilen paslanmaz çelikler, genellikle çözeltili ile tavllanmış durumda sağlanırlar ve şekillendirmeyi takiben mukavemet için yaşlandırılırlar. Tavllanmış durumda bu kaliteler, yarı östenitik çeliklerdir. Isıl işlemde mikro yapı martensitik yapıya dönüştürülür. Soğuk işlem yaşlanma etkisini artırır. Yaşlanmayı kolaylaştırmak için alüminyum, niyobyum, titanyum ve bakır gibi belirli alaşım elementleri eklenebilir. Östenitin martensit dönüşümüne izin vermek için çözeltili ile muamele edilir ve hava ile soğutulur. Mukavemeti ve korozyon direncini artırmak için yeniden ısıtma yapılır. Genelde 630 seri paslanmaz çeliklerle ifade edilirler. Bu paslanmaz çelikler yüksek mukavemetlere ulaşabilir. Korozyona karşı dirençleri orta düzeyde olup süneklik ve toklukları iyidir [5, 6].

1.1.2 Paslanmaz Çeliklerin Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin birçok türü bulunmaktadır. Bu türler genelde üstün özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin bazıları şu şekilde sıralanabilir.

- Korozyon direncinin iyi olması,
- Şekillendirilebilme özelliğinin iyi olması,
- Enerji absorbe özelliğinin iyi olması,
- Kaynak edilebilirliğinin iyi olması,
- Isıl direncinin iyi olması,
- Mekanik özelliklerinin iyi olması,
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir olması,
- Estetik görünüme sahip olması,
- Geri dönüşümünün olması,
- Düşük toplam ömür maliyeti,
- Hijyenik ve benzeri birçok özelliklere sahip olması [5].

1.2 İşlenebilirlik

Takım ve iş parçası arasındaki bağıl hareket işleme olayını başlatacaktır. İşlenebilirlik, bir parçanın tezgah tarafından belirlenen parametrelerle şekillendirilirken göstereceği tepkidir. İşlenebilirlik, temel olarak bir malzemenin işlenebilme kolaylığı olarak ifade edilebilir. İşlenebilme kolaylığı, kesici takım-iş parçası malzeme çiftine, kesme parametrelerine bağlı olarak değişir. Bir parçayı talaş kaldırarak şekillendirmenin, tornalama, frezeleme, delme,

raybalama, taşlama gibi birçok yolu vardır [11]. Bu çalışmada da tornalama işlemi ile imalat yapılmıştır.

İşlenebilirliği etkileyen faktörler genelde iş parçasının mikro yapıları, iş parçasına uygulanan ısı işlemler, iş parçasını oluşturan bileşenler, iş parçasının mekanik özellikleri, kesici takımların geometrileri, takım tutucuları, tezgahlar, işleme parametreleri, kesme/soğutma sıvıları ve oluşan titreşimler şeklinde örneklendirilebilir. Bunlarla ilişkili olarak takımın aşınması, işlenmiş parçanın yüzeyi, talaş debisi, ürünün boyutu ve özellikleri ve kesme kuvvetleri gibi bağlı değişkenler vardır [12, 13]. İşlenebilirlikte zaman, kalite ve maliyet çok önemli olduğu için bağımlı değişkenlerde bunlarla ilişkilidir. Zaman, kalite ve maliyetin en uygun seviyede olması gerekmektedir. Bu çalışmada en uygun kesme parametreleri ile aşınmayı minimum seviyede tutarak maliyet ve yüzey pürüzlülüğü minimize edilerek literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği, içerisinde bulunan alaşım elementlerinin oranlarına bağlı olarak değişmektedir. İçerisindeki alaşım elementlerinin cinsi ve miktarının artması, işlemeyi zorlaştırıp maliyeti arttırabilmektedir [12]. Yüksek alaşımli paslanmaz çeliklerin içerisinde takım aşınmasını arttıran karbür taneleri bulunmaktadır. Yüksek çekme dayanımlarına sahip olması kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olur. Bu durum da paslanmaz çeliklerin işlenmesinin zorluğunu göstermektedir [14, 15].

Paslanmaz çeliklerin tornalanmasında işlemenin iyi yapılabilmesi için;

- Takım tezgahı rijit olmalı,
- Uzun çubuklar işlenirken yeterli rijitlik sağlanmalı,
- Takım ve iş parçası yeterli rijitliğe sahip olmalı,
- Kesici ucun keskin, uygun geometriye sahip, dayanıklı ve talaş kırıcı formları bulunmalı,
- Keskin olan kesici ucun plastik deformasyona uğramaması için köşe radyüsü büyük olmalı, (Radyüsün çok büyük olması titreşimlere sebebiyet verecektir. Olabildiğince küçük radyüs ve dayanıma sahip olması düşük kesme kuvvetleri oluşturur. Aynı zamanda talaş kontrolünün de iyi yapılmasını sağlar.)
- Pozitif talaş açısı ve boşluk açısı büyük olmalı,
- Yanaşma açısı 90°'den küçük olmalı, (Bu durumda çentik aşınması daha düşük olacaktır.)
- Kesme sıvısı ve hava soğutması doğru yapılmalı,

➤ Kaba işlemede talaş derinliği ve ilerleme yüksek, kesme hızının düşük olması gerekmektedir [12].

1.3 Aşınma

İşleme sırasında tüm takımlarda sürtünmelerin, basınçların, talaş ayrılmasında ortaya çıkan sıcaklıkların sebep olduğu kesici takımların deforme olduğu malzeme ve kütle kaybının olduğu duruma “aşınma” denir [12, 16].

Abrasif aşınma, difüzyon aşınması, oksidasyon aşınması, yorulma aşınması (plastik deformasyon) ve adeziv aşınma olmak üzere beş aşınma mekanizması bulunmaktadır.

İş parçasının sert olmasından kaynaklı meydana gelen, ucun serbest yüzeyini aşındıran aşınma mekanizmasına “abrasif aşınma” denir.

Kesici uç ve takımın kimyasal olarak etkileşime girmesinden kaynaklanan, yüksek kesme hızlarından dolayı oluşan ve yüksek sıcaklıklarda meydana gelen aşınma mekanizmasına “difüzyon aşınması” denir.

Pek yaygın olmasa da sıcaklık ve havanın metaller üzerinde oksitlenmeye sebebiyet veren ve çentiklerin oluşmasına neden olan aşınma mekanizmasına “oksidasyon aşınması” denir.

Meydana geldiğinde plastik deformasyona sebebiyet veren sıcaklık dalgalanmalarının, kesici takımın mekanik özelliklerine ve ilerlemeye bağlı olan aşınma mekanizmasına “yorulma aşınması” denir.

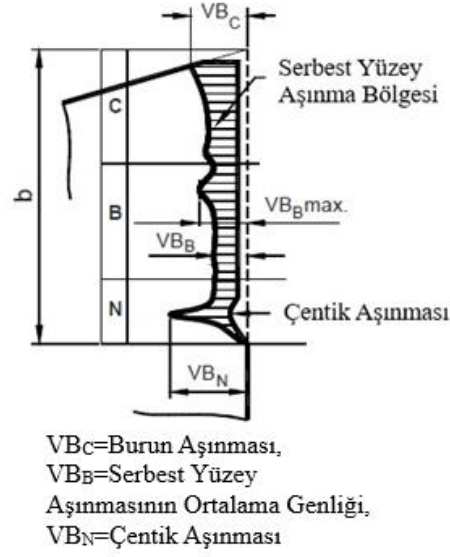
Yığılma kenara (Built up edge-BUE) sebebiyet veren düşük işleme sıcaklıklarında oluşan ve kesici takıma kaynak olan aşınma mekanizmasına “adeziv aşınma” denir. Bu aşınma türü bu çalışmada da işlediğimiz paslanmaz çeliklerde (sünek çeliklerde) çokça oluşmaktadır [11, 12].

Kesici kenara gelen yükleri karşılamak ve aşınma mekanizmalarından korunmak için kesici ucun bazı özelliklere sahip olması beklenir. Bu özellikler; kesici ucun mukavim olması, yeterince sertliğe sahip olması, kaplama varsa kaplamanın iyi yapılmış olması, difüzyon aşınmasının oluşmaması için kimyasal özelliklerinin uygun ve iletkenlik özelliğinin iyi olmasıdır [12]. Kesici uçlarda oluşan aşınma türleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1: Aşınma Türleri [12, 17]

	<p>Serbest yüzeyde meydana gelen abrasif bir aşınma mekanizmasından oluşan, yaygın olarak görülen aşınma değerinin büyümesiyle sürtünmenin artmasına neden olan ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkileyen aşınma tipine “serbest yüzey aşınması” denir.</p>
	<p>Difüzyon ve abrasif aşınma mekanizmalarından oluşan, bu aşınmanın büyümesiyle kesici ucun mukavemetinin azalmasına ve kesici kenar şeklinde bir miktar değişmelere sebep olan aşınma tipine “krater aşınması” denir.</p>
	<p>Sıcaklık ve kesme hızına bağlı olan adeziv aşınma mekanizmasının sebep olduğu yüzey kalitesini bozan aşınma tipine “yığıma kenar” denir.</p>
	<p>Sırasıyla adezyon ve oksidasyon aşınma mekanizmalarından meydana gelen, kesici ucun mukavemetini azaltan ve kötü yüzeye sebep olan aşınma tipine “yardımcı kenarda çentik oluşumu” denir.</p>
	<p>Sıcaklık ve basıncın yüksek olması sonucunda meydana gelen, bu aşınmanın büyümesiyle kesici ucun şeklinin deforme olması sıcaklığın daha da artmasına ve talaş akışının değişmesine sebep olan aşınma tipine “plastik deformasyon” denir.</p>
	<p>Yorulma aşınma mekanizmasından meydana gelen sıcaklık değişimlerinin sebep olduğu, oluşan çatlakların kesici kenara dik olduğu ve artmasıyla kesici ucun kırılmasıyla sonuçlanabilecek aşınma tipine “ısıl çatlaklar” denir.</p>
	<p>Darbeli ve dinamik yüklerin sebep olduğu aşınma tipine “kesici kenardan parçacık kopması” denir.</p>

Takım aşınmasını genelde takım malzemesi, işlenen parçanın malzemesi, soğutma sıvısı, takımın geometrisi, talaş şekli ve uzantısı, paso, ilerleme, kesme hızı etkilemektedir [11, 17, 18].



Şekil 1.3: ISO 3685:1993 standardına göre takım aşınmasının türleri [19]

Şekil 1.3’de verilen ISO 3685:1993 standardı; tornalama takımlarıyla takım ömürlerinin test edilmesi, kesici takımın yan (serbest) ve eğim (talaş) yüzeylerindeki aşınmaları belirtmektedir. Talaş yüzeyi krater aşınması olarak da adlandırılır. Talaşlar, talaş yüzeyi boyunca akmaktadır. Bu durumda genelde ana kesme kenarına paralel izlerin oluşmasına sebebiyet verir. Krater aşınması kesme kuvvetini azaltabilmekteyken kesme kenarının mukavemetini de zayıflatmaktadır. Yan yüzeydeki aşınma, “serbest yüzey aşınması” olarak adlandırılır. Serbest yüzey aşınmasında, aşınma alanı oluşmaktadır. Bu aşınma alanları, kesici ucun ana ve küçük kesme kenarları boyunca sürekli ve stabil değildir. Bu yüzden aşınma ölçümü yapılırken ana kenar boyunca üç bölüme ayrılır: C bölgesi takım köşesi yani burun dediğimiz kısımdır; B bölgesi kesici kenarın düz kısmıdır; N bölgesi takım burnundan en uzak kısımdır ve genelde çentik aşınmasının olduğu kısımdır [20].

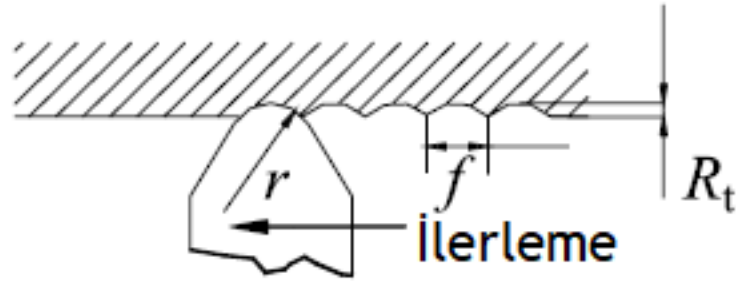
1.4 Yüzey Pürüzlülüğü

Üretilen her malzemede kusursuzluk söz konusu değildir. Yüzey pürüzlülüğü, bu kusurların malzemenin dış yüzeyinde olan veya oluşan kısımlarındadır. Yüzey pürüzlülüğü, parçanın teorik boyutu yani ideal yüzey üzerinde veya altında düz olmayan yani girinti çıkıntıların (pürüzlülüğün) olduğu yerlerdedir. Bu pürüzlülük kesme parametrelerinden, kesici uçlardan, ısıl faktörlerden, kopan talaşlardan ve birçok farklı parametreden dolayı oluşmaktadır. Pürüzlülük yüzey yapısının bir ölçüsüdür ve istenmeyen bir durum olmasına rağmen

kaçınılmazdır. İstenilen aralıklarda veya yok sayılacak kadar az oranda olması istenilen yüzey pürüzlülüklerinde işlem maliyeti ve süresi artmaktadır.

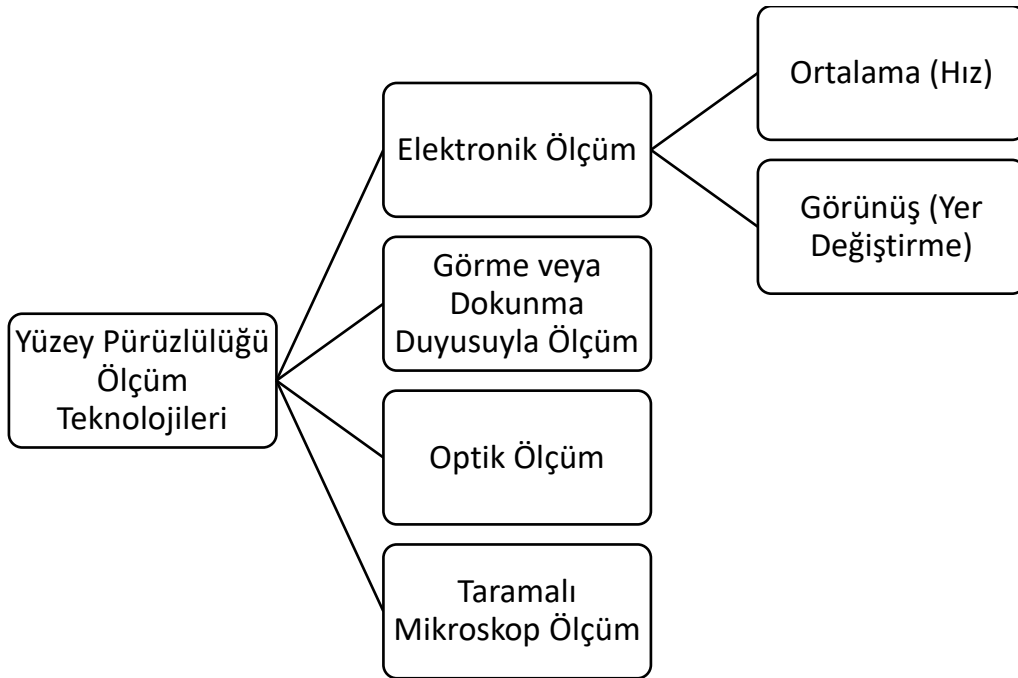
İşlenen parçanın aşınma direnci, yorulma dayanımı, korozyon direnci ve mekanik özellikleri yüzeyin kalitesini etkilemektedir [21].

İşleme şartlarıyla pürüzlülük parametrelerinin ilişkileri Şekil 1.4'deki gibi gösterilebilir [22].



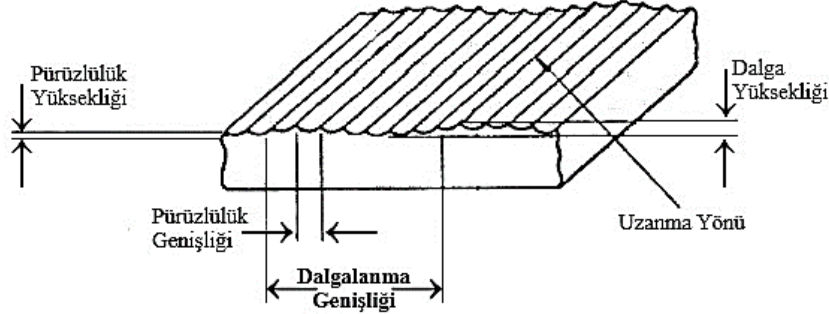
Şekil 1.4: Tornalamada pürüzlülüğün teorik oluşumu [22]

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm teknolojileri, Şekil 1.5'de belirtildiği gibi "elektronik ölçüm", "optik ölçüm", "taramalı mikroskop", "görüş veya dokunma duyusuyla ölçüm" şeklinde dört bölüme ayrılabilir [22].



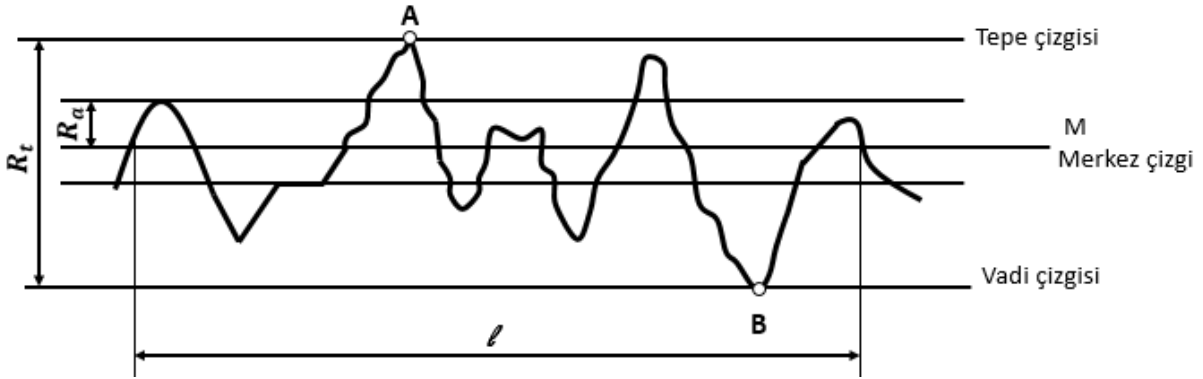
Şekil 1.5: Yüzey pürüzlülüğü ölçüm teknolojilerinin bazıları

Yüzey pürüzlülüğünün temel yapısını, Şekil 1.6’da gösterildiği gibi pürüzlülük ile dalganın yükseklik ve genişlikleri oluşturmaktadır.



Şekil 1.6: Yüzey yapı karakteristikleri [23]

Genelde yüzey kalitesi değerlendirilirken iki farklı yöntem kullanılır. Bunlar, ortalama çizgi sistemi ve zarf sistemidir.



Şekil 1.7: M sistemine göre yüzey pürüzlülüğü [24][25]

Şekil 1.7’de gösterilen M sistemine göre; etken uzunluğa yani iğnenin ilerlediği uzunluğa “örnek uzunluk (l)”, örnek uzunluk boyunca profildeki alt ve üst çizgilerin merkezinden geçerek yüzeye paralel olan çizgiye “merkez çizgi (M)”, pürüzlülükteki en alt (B noktası) ile en üst (A noktası) kısım arasındaki mesafeye “ R_t ”, en alt ve en üst beş kısım arasındaki ortalama mesafeye “ R_z ”, aritmetik ortalamaya “ R_a ” ve aritmetik ortalamaların kareköküne ise “ R_q ” denir [22, 25].

Yüzey kalitesini; kesme şartları, kesici ucun şekli, kesici ucun malzemesi, kesici ucun aşınması, kesici ucun hatalı bağlanma ve konumlaması, imalat hataları, takım tutucu veya katerin rijit olmaması, tezgah yataklanma sorunları, tezgahın yeterli rijitlikte olmaması, işlenen parçanın malzemesi ve sistemdeki titreşimler etkilemektedir [11, 22].

Yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu oldukça önemlidir. Yüzey kalitesinin iyi olması ve boyutsal doğruluk için optimum işleme koşullarının tahmini, proses planlamasında oldukça önemlidir [26]. Bu yüzden optimizasyon yöntemleri ve metotları sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada da matematiksel model oluşturma ve optimizasyon çalışmaları bulunmaktadır.

1.5 Vorteks Tüpü ile Soğutma İşlemi

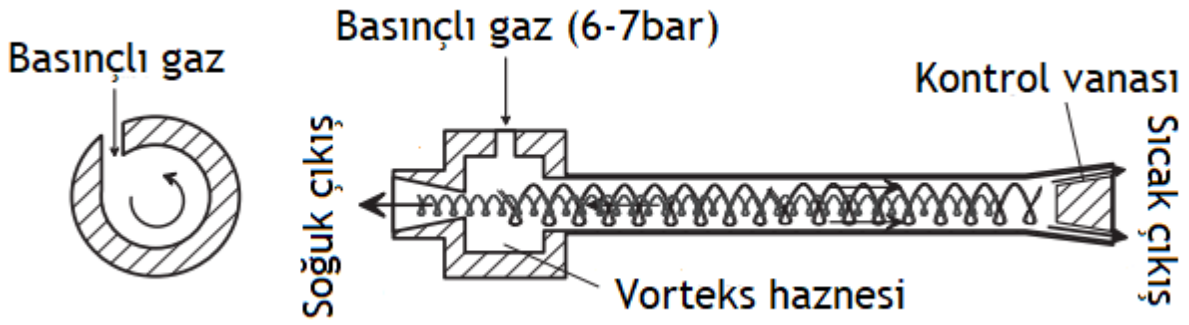
Endüstride üretkenlik ve ekonomi; genelde takımın aşınmasına, yüzeyin kalitesine, oluşan kesme kuvvetlerine, kesme için harcanan güce ve sıcaklıklara bağlıdır. Kesme işlemi sırasında güçlerin büyük bir bölümü doğrudan veya dolaylı olarak ısıya dönüşmektedir. Ürün kalitesi ve işleme performansı için ısı kontrolü oldukça önemlidir. Bu yüzden işleme yapılan yerlerde soğutma işlemi de çok önemli olmaktadır. Ekonomik ve ekolojik baskıların sonucunda endüstri, zararlı yağlama veya soğutma sıvılarının tüketimini en aza indirmek için yeni yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Çevreyi ve insan sağlığını korumak günümüzde büyük önem arz etmektedir. Bu durumlar için vorteks tüp kullanımları ve minimum miktarda yağlama yöntemlerine ilişkin geliştirilen farklı yöntemlere yönelim fazladır [27, 28].

Vorteks, bir eksen etrafında dönen akışkandır. Vorteks tüp ise giren akışkanı sıcak ve soğuk olarak çıkaran ve hareketli parçası olmayan basit bir cihazdır [29]–[31].

Vorteks tüp içerisinde akışkan, dairesel hareket etmektedir. Akışkanın dairesel hareketi de sıcaklık farkını oluşturmaktadır.

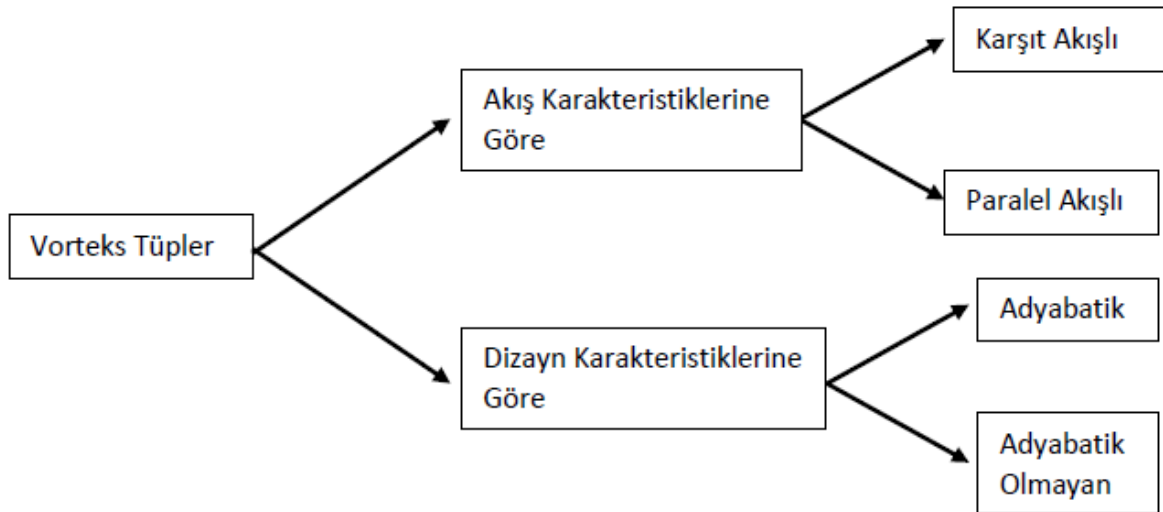
Şekil 1.8’de vorteks tüpe ait şematik şekil verilmiştir. Vorteks tüp beş bölüme ayrılabilir. Bunlar: vorteks haznesi (gövde), akışkanın giriş kısmı, soğuk akışın çıktığı uç, sıcak akışın çıktığı uç ve sıcak akışın çıkış ucunda bulunan kontrol vanasından oluşmaktadır. Vorteks haznesine akışkan girerken teğetsel bir şekilde girmektedir. Akışkan teğetsel şekilde girdiğinde dönme hareketi yapacaktır. Giren akışkan tüpün ortasında dönme hareketi yaparken merkezkaç kuvvetinin etkisiyle genişler ve soğur. Vorteks haznesinde genişleyen akışkan katmanların hızları birbirinden farklıdır. Genişleyen akışkanın dış kısmında ise

sıcaklık oluşmaktadır (merkez dışında kalan ve tüpün cidarlarına teğet olan kısım). Merkezde soğuyan akışkan soğuk çıkıştan, silindirin içerisinde teğetsel olarak dönen sıcak akışkan ise sıcak çıkıştan çıkmaktadır. Bu sıcak ve soğuk akışkan çıkışlar giriş basıncına bağlı olarak değişmektedir [32, 33].



Şekil 1.8: Vorteks tüpün şematik şekli [32]

Vorteks tüpler Şekil 1.9’da belirtildiği gibi temelde akış ve dizayn karakteristiklerine göre ikiye ayrılırlar.



Şekil 1.9: Vorteks tüplerin sınıflandırılması

Vorteks tüplerin avantajları;

Yapılarının basit olması,

Maliyetinin düşük olması,

Çok kısa süre içerisinde soğumanın gerçekleşmesi,

Çevre dostu olması,

Sıcaklık çıkış vanasından sıcaklık ayarının yapılabilir olması şeklinde sıralanabilir.

Vorteks tüplerin dezavantajları;

Isıl verimliliği düşük olması,

Gürültülü çalışması,

Harcanan hava maliyeti şeklinde sıralanabilir [30].

Bu tez çalışmasında; beş farklı kesici takım ile beş farklı kesme hızında, iki farklı ilerleme ve üç farklı paso değeri giriş parametresi alınıp, vorteks tüpü ile soğutma işlemi uygulanarak yapılan talaşlı işleme sonrasında aşınma ve yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen deney veri setlerini üç farklı yöntemde inceleyerek matematiksel model oluşturulmuş ve tahmin değerleri alınmıştır. Elde edilen tahmin değerlerinin açıklama güçlerine bakarak aşınma ve yüzey pürüzlüğünün optimum değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda uygulanan deney setine göre kullanılan yöntemlerin vermiş olduğu ara değer tahminleri deney yapmadan “Hangi kesme parametreleri ve takım kullanılırsa iyi olur?” veya “Bu takım ve kesme parametrelerini kullanılırsa takım ne kadar sürede aşınır?” gibi soruların deney yapmadan cevaplanmasını sağlayacaktır. Ayrıca elde edilen matematiksel modellerle belirli bir güven düzeyinde deneyler yapmadan parametrelerin seçimi hakkında ön görüde bulunulabilecek ve bu sayede maliyet ve zamandan tasarruf sağlanabilecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada literatür incelenmesinde paslanmaz çeliklerin işlenmesi, kesici uçların aşınması, vorteks tüpün talaşlı imalatta uygulanması, işlenen yüzeylerin pürüzlülükleri, günümüzde çokça tercih edilen yapay sinir ağlarının uygulanması ve optimizasyon çalışmaları incelenmiştir.

Özbek ve arkadaşları çalışmalarında, 250 mm uzunluğunda 100 mm çapında AISI 316 ve AISI304 paslanmaz çelik çubukları, soğutma sıvısı kullanılmadan 2,4 mm sabit pasoda, 100-120-140-160 mm/dk farklı kesme hızlarında ve 0,15-0,3-0,45 mm/dev ilerlemeyle kaplamasız tungsten karbür takım kullanarak tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. İki çelik malzeme kıyaslanacak olursa AISI316 çeliği AISI304 çeliğine göre kesici takımı daha fazla aşındırılmış, daha yüksek kesme kuvveti ve daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri sergilemiştir. Buradan da AISI316 çeliğinin daha zor işlendiği sonucuna varmışlardır [34] .

Mavi ve Uzun çalışmalarında, Dublex 1.4462 paslanmaz çelik malzemesi PVD 1105 TiAlN kaplamalı sementit karbür uçla, üç farklı paso, iki farklı ilerleme ve sabit kesme hızında FANUC 10KW tezgâhta tornalama işlemine tabi tutmuşlar, KISTLER9257A ile kuvvetleri ölçmüş ve AM413ZT Polarize Dijital Mikroskop ile 50X yakınlaştırmayla uç üzerindeki aşınmaları ölçmüşlerdir. İlerleme, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüyle doğru orantılıdır. SMR uçlar QM uca göre daha düşük kesme kuvveti ve daha iyi yüzey vermiştir. Paso miktarının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerinde önemi büyüktür sonuçlarına varmışlardır. [35]

Nur çalışmasında, Ø150x300 mm boyutlarında AISI 316L östenitik paslanmaz çelikleri, TCLNR 2020K12 takım tutucuyula, sabit 0,4 mm pasoda, 90-150-210 m/dk kesme hızlarında, 0,1-0,16-0,22 mm/dev ilerlemede ALPHA 1350S 2 eksenli CNC torna tezgâhında kuru tornalama işlemine tabi tutmuştur. Minimum güç ihtiyacını, en uzun takım ömrüne yönelik optimizasyon ve işleme süreçlerine katkıda bulunmuştur. Gereken güç kesme hızının artmasıyla artmıştır. Takım ömrü ve güç ihtiyacının ideal değerleri kesme hızı ve ilerlemenin düşük hızlarda olmasıyla elde edileceği sonucuna varmıştır [36].

Singh ve arkadaşları çalışmalarında, Ø70x370 mm boyutlarında AISI 304 paslanmaz çeliklerin PVD kaplamalı karbür takımlarla kuru işleme, kesme sıvısıyla işleme ve nanofluid minimum miktarda yağlama ile işleme performansını incelemiştir. Optimum tornalama parametreleri 160,67 m/dk kesme hızı, 0,06 mm/devir ilerleme ve 0,25 mm pasoda 100,001 µm serbest yüzey aşınması ve 0,509 µm yüzey pürüzlülüğü 0,808 arzu edilebilirlik değerinde

bulunur. Nanofluid minimum miktarda yağlamanın kuru ve kesme sıvısıyla olan kesme işlemine göre üstünlüğü ortaya çıkmıştır. Bu araştırmanın en göze çarpan başarısı, nanofluid minimum miktarda yağlama işlemesi altında, takım işlemesi aşınmasının kuru işlemeye göre %32,26 ve sıvı işleme koşullarına göre %9,68 az olmasıdır. AISI 304 paslanmaz çelik gibi kesilmesi zor malzemelerin işlenmesinde, gelişmiş takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi sağlayarak sürdürülebilir üretim için uygun bir temel oluşturmaktadır sonucuna varmışlardır [37].

Parida ve arkadaşları çalışmalarında, AISI 316 paslanmaz çeliğin işlenmesi zor olduğundan Ø45x250 mm boyutlarındaki parçayı işlemek için karbür takımlar kullanmışlardır. DEFORM yazılımı kullanılarak farklı işleme parametreleriyle parçanın mekanik ve termal davranışlarını incelemiştir. Bulunan sonuçları doğrulamak için deneysel çalışmalar yapılmış ve deneysel çalışma ile simülasyon arasında %10 hata olduğu sonucuna varmışlardır. Kesme hızı ve ilerleme oranı önemli bir şekilde kesme kuvvetini, tepki kuvvetini ve talaş morfolojisini etkilediğini görmüşlerdir [38].

Chen ve arkadaşları çalışmalarında, Ø40x180 mm boyutunda AISI 304 paslanmaz çelikleri, P10 CrWN sert filmlili tungsten karbür uçlar (TNMG160404R-UM Sumitomo) kullanılarak 0,09 mm/dev ilerleme oranında, 2 mm pasoda ve kesme sıvısı kullanmadan işlemeye tabi tutmuşlardır. Yapılan çalışmada sertlik, serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü minimize etmek MACs'i optimize etmek için en büyük ve en küçük değerlerin dağılımı metodu (ROV-range of value) ve entropinin bir kombinasyonunu kullanmışlar ve Grey ilişkisel analiz ile karşılaştırmışlardır. Kaplama şeklinin en iyi sıralamaları belirlemiş olup iki yöntemde de aynı olduğu göstermişlerdir. Çalışmalar serbest yüzey aşınmasının, çıktı sonuçları üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu sonucuna varmışlardır [39].

Maruda ve arkadaşları çalışmalarında, Ø45x16 mm boyutlarında 316 östenitik çelikleri, CSRNR2525 takım tutucular yardımıyla SNUN 120408-PF ve PVD kaplamalı (Ti,Al bileşenli) kesici uçlar kullanılarak 70-400 m/dak kesme hız aralıklarında, 0,05-0,35 mm/dev ilerlemede ve 0,5 mm sabit pasoda işlemeye tabi tutmuşlardır. İşlemeler yapılırken soğutmanın 4 farklı metodu; kuru işleme, minimum soğutma ve yağlama metodu, minimum miktarda yağlama metodu ve minimum miktarda yağlama + EP/AW metodunu karşılaştırmışlardır. Kesme hızı arttıkça pürüzlülük azalırken, ilerleme oranı arttıkça pürüzlülük artıyor sonucuna ulaşmıştır. EP/AW katkısıyla minimum miktarda yağlama metodu uygulandığında, R_a ve R_z parametrelerinin en küçük değerleri, işlemenin değişken parametrelerinin tüm çeşitlerinde elde etmişlerdir. Uzak parametrelerle birlikte minimum

miktarda yağlama + EP/AW şartlarındaki tornalama sürecinden sonra üretilen bir yüzeyi kanıtlayan ‘Abbott Firestone eğrileri daha iyi işleme özellikleri gösterdiği sonucuna varmışlardır [40].

Singh ve arkadaşları çalışmalarında, Ø70x370 mm uzunluğunda parçaları MTJNL2020 M16 takım tutucular yardımıyla PVD kaplamalı karbür uçlar (TNMG 160412-MJ) kullanılarak işleme tabi tutmuşlardır. Bu çalışmanın amacı VB: takım serbest yüzey aşınması ve R_a : yüzey pürüzlülüğü’ nü minimize etmek için nano akışkan minimum miktarda yağlama altında AISI304’ün çevre dostu işlemede RSM yöntemi kullanarak optimum tornalama parametrelerini araştırmaktır. Minimum serbest yüzey aşınması, en düşük ilerleme oranı ve kesme hızı kombinasyonunda bulunmuştur. Kesme hızının artması, ilerleme ve kesme derinliğinin azalması yüzey pürüzlülüğünün azalmasını sağladığı sonucuna varılmıştır. ANOVA testi sırasıyla %95 güven aralığında serbest yüzey aşınması ve pürüzlülük için en iyi adım modeli olarak 2FI (2 factor interaction) modeli ve lineer modeli ortaya çıkarmıştır. Kesme hızı yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en baskın faktör olarak belirlemişlerdir. Serbest yüzey aşınmasına her üç faktörde etki etmekte olduğu göstermişlerdir [41].

Deshpande ve Vasudevan çalışmalarında, dubleks paslanmaz çelikler gibi işlenmesi zor olan çeliklerin literatür araştırmalarını yapmışlardır. Takım-iş parçası ara yüzeyindeki yüksek sürtünme katsayısı diğer çeliklere göre daha hızlı takım aşınmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Paslanmaz çeliklerin düşük termal iletkenliği parçalı talaş oluşumunu etkileyen ve kısa takım ömrüyle sonuçlanan takımlarda sıcaklık artışından sorumlu olduğunu vurgulamışlardır. Östenitik ve dubleks paslanmaz çelikler yığıma kenarının (built up edge) oluşumu ve çok uzun talaşının oluşumuna sebep olan sünek gerilmelerin çokluğuyla ilişkilidir. Paslanmaz çeliklerin soğuk işle sertleşme eğilimi diğer çeliklere göre daha yüksektir. Bu, takım ömrünü etkileyen çok geçişli işleme operasyonlarında sonraki kesimler için zorluk yaratır şeklinde sonuçlara varmışlardır [42].

Ghatge ve arkadaşları çalışmalarında, Ø50x300 mm boyutlarında AISI 2205 dubleks paslanmaz çelikleri, çok tabakalı (TiN/Al₂O₃/TiCN/TiN) CNMG 120408FR karbür uçlarla işleme tabi tutmuşlardır. Hindistan cevizi yağı, neem yağı ve mineral yağı şeklinde 3 farklı kesme yağı kullanmışlardır. Deneylerde kesme hızı, ilerleme oranı, paso ve kesme sıvısının üzer seviyeleriyle Taguchi L27 kullanılarak tasarım yapmışlardır. Bu giriş parametrelerine karşılık olarak yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve takım sıcaklığı çıkış değerleri ölçmüşlerdir. Önce Hindistan cevizi yağı sonra neem yağı ve sonra mineral yağ şeklinde yüzey pürüzlülüğünde iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Kesme hızı arttıkça, gerekli işleme

uzunluğunun işleme süresi azaldığından dolayı serbest yüzey aşınmasının azaldığı görmüşlerdir. Bu durum kesici takımın iş parçası ile temas süresini azalttığı sonucuna varmışlardır. En düşük kesme hızı, en yüksek ilerleme, düşük paso ve neem yağında en düşük kesme sıcaklığı görülmüş, düşük kesme hızı ve yüksek ilerlemede daha az takım aşınması olduğunu görmüşlerdir. Takım aşınması, takım sıcaklığıyla doğru orantılıdır. Takım sıcaklığı arttıkça takım yüzeyindeki kaplama aşınmaya başlar ve kesici takım aşınma oranı arttığını belirtmişlerdir. Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla kesme sıvısı, ilerleme oranı ve paso etkilemektedir sonucuna varmışlardır [43].

Kayir ve Aslan çalışmalarında, Ø60x125 mm boyutunda AISI 316Ti paslanmaz çelik malzemelerini yaklaşma açısı 90° olan takım tutucuyla kaplamalı karbür uç tutularak iki farklı uç, sabit paso, üç farklı kesme ve üç farklı ilerleme hızında manuel torna tezgâhında deney yapılacağını belirlemişlerdir. Bu değişkenlerden dolayı çok sayıda deney yapılması gerektiği için Taguchi ve ANOVA analizleri yapılarak değerlendirmişlerdir. Yapılan varyans analizi sonucunda yüzey pürüzlülüğüne etki oranına göre sırasıyla; ilerleme, uç yarıçapı, kesme hızı ve uç formu olarak belirlemişlerdir. En iyi yüzey düşük ilerleme ve büyük uç yarıçapında olduğunu fakat düşük ilerleme ve düşük kesme hızı olursa uç yarıçapının etkisinin de azaldığı göstermişlerdir [44].

Johansson ve arkadaşları çalışmalarında, AISI 304 paslanmaz çelikler tornalanırken takım ömrünün modellenmesi için Colding's denkleminin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. 500 mm uzunluğundaki AISI 304 paslanmaz çelikler CNMG431MJ kesici takımlarının 5 farklı kaplaması ile işlenmiştir. Elde edilen takım ömrü modelinin, farklı takım kaplamaları için Colding's modelini ayarlamak üzere sabit K kullanılarak deneysel olarak test edilmiş kesme parametresi aralığı dışında bir miktar açıklayıcı güce ve takım davranışını modelleme potansiyeline sahip olduğu göstermişlerdir. İşleme deneylerinde beş farklı PVD kaplamalı ve sabit kesme geometrisiyle katı karbür (WC-Co) uçlar kullanmışlardır. Sonuçlar iş parçasının miktarını ve test zamanını minimize etmeye ve de güvenilir işleme verilerini elde etmek için ihtiyaç duyulan takıma yardım edeceği düşünülmüşlerdir [45].

Özbek ve arkadaşları çalışmalarında, kaplamasız tungsten karbür uçların aşınma performansı üzerinde derin kriyojenik işlemenin (deep cryogenic treatment/DCT) etkileri araştırmış olup Ø100x250 mm boyutlarında AISI 304 paslanmaz çelikleri SNMG 120412-TF kaplamasız karbür uçlar kullanılarak 0,15-0,3-0,45 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 100-120-140-160 m/dk kesme hızı değerlerinde işlemeye tabi tutmuşlardır. Uçlar kriyojenik işleme tabi tutulmuş olup -145°C' de 24 saat sonrasında da iç gerilmeleri toparlamak için 200°C de 2 saat

ısıtmışlardır. Kesme deneyleri kesme hızının artmasıyla önemli bir şekilde artan aşınmanın miktarını göstermiştir. Ayrıca DCT tornalama uçlarının aşınma direncine katkıda bulunduğunu göstermişlerdir. Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde düşük kesme hızı ve ilerlemelerde BUE oluşumundan dolayı meydana gelen burun aşınması gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem kaplamasız karbür uçların aşınma dirençlerini önemli bir şekilde geliştirdiğini göstermişlerdir. Tornalama uçları işlemede serbest yüzey aşınması açısından üstün aşınma performansı %18 artarken, krater aşınması ve burun aşınması açısından %48 ve %38'e kadar azalmıştır sonucuna varmışlardır. Genelde daha yüksek kesme sıcaklıklarının etkisiyle kesme hızlarının artması aşınma miktarını arttırdığı sonuçlarına varmışlardır [46].

Gürbüz ve arkadaşları çalışmalarında, Ø25x125 mm AISI316L östenitik paslanmaz çelikleri, PSBNR 2525M12 standardında takım tutucu yardımıyla PVD kaplamalı, MM ve MF talaş kırma formuna sahip sinterlenmiş karbür kesici takımlar kullanarak; 4 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme miktarı ve iki farklı kesme derinliğinde işlemeye tabi tutmuşlardır. Deneylerde 75 mm boyunca talaş kaldırılarak ölçüm yapmışlardır. Paso ve ilerlemenin artmasıyla yüzeyin kötüleştiği, kesme hızının artmasıyla da yüzeyin iyileştiği görmüşlerdir. MF formulu kesici uçlar en iyi yüzeyi verirken, MM formulu kesici uçlar en kötü yüzeyi vermiştir sonucuna varmışlardır. Talaş açısının artmasıyla yüzeyin iyileştiğini görmüşlerdir. Deney sonuçlarıyla en iyi ve en kötü işleme parametreleri belirlemişlerdir. Yüzey kalitesinin iyileşmesi için kalıntı gerilmeleri en aza indirmenin etkili olacağı düşünmüşlerdir [47].

Palanisamy ve arkadaşları çalışmalarında, 3 farklı TiAlN kaplamalı tungsten karbür uçlar 0,4-0,8-1,2 mm köşe radyüslü uçlar kullanarak, 3 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme, 3 farklı köşe radyüsünde ve sabit 0,5 mm pasoda, 15-5 PH paslanmaz çelikleri işlemeye tabi tutmuşlardır. Toplamda 27 deney yapmışlardır. Belirli köşe radyüsü ve kesme hızında ilerleme arttıkça kesme kuvvetinin de arttığı görmüşlerdir. Belirli ilerleme ve köşe radyüsünde artan kesme hızında kesme kuvvetinin azaldığını görmüşlerdir. Daha iyi yüzey için kesme kuvvetlerinin düşük değerleri daha az deformasyon ve titreşim oluşturur. Daha düşük kesme hızlarındaki işleme boyunca built up edge (yığılma kenar) oluşur bu da kötü yüzeyin oluşmasına sebebiyet verdiğini belirtmişlerdir. Köşe radyüsünün artması yüzey pürüzlülüğünün de artmasına sebep olduğunu, artan ilerlemede titreşimlerin oluştuğunu ve kötü yüzey çıktığını, köşe radyüsü ve ilerlemenin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığını görmüşlerdir (Yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük kesme hızı en uygun kesme kuvveti değerlerini verdiğini belirtmişlerdir). İlerleme oranının artması, kesme hızı ve köşe radyüsünün azalmasıyla yüzey pürüzlülüğü artmaktadır, daha düşük kesme hızı daha düşük ilerleme ve köşe radyüsünün orta değeri en iyi

yüzeyi vermektedir sonucuna varmışlardır. En iyi işleme (yani kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü için) yüksek kesme hızı, ortalama aza yakın ilerleme oranı ve daha geniş köşe radyüsüyle elde etmişlerdir [48].

Akıncıoğlu ve arkadaşları çalışmalarında, Ø60x250 mm boyutlarında 100Cr6 rulman çeliğini kuru işlemeyle ve sabit 1 mm kesme derinliğinde, kesici takım talaş kırıcı formu, ilerleme ve kesme hızı değişkenleriyle Taguchi yöntemi kullanılarak TT8125 kalitesinde, PC-MT-FG farklı talaş kırıcı formu, CVD kaplamalı kesici uçlar ve WTQNR 2020 K1304 kodlu takım tutucuyla tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğü cihazıyla işlenen yüzeylerden 5 farklı ölçüm alınarak en küçük ve en büyük değerleri almadan ortadaki üç değeri kullanarak aritmetik ortalamasını almışlardır. Bu çalışma sonucunda TNMG 130408 – MT talaş kırıcı formu T2 kesici takımı kullanılarak 0,3 mm/dev ilerlemede ve 160 m/dk kesme hızı değerinde optimum değere ulaşıldığını görmüşlerdir [49].

Erkan ve Yücel çalışmalarında, Ø30x390 mm boyutlarında AISI 630 paslanmaz çelik malzemelerini, CBN510 kodlu CBN takımla sabit 1 mm pasoda, kuru ve ıslak kesme durumlarında SPINNER marka EL 510-75 model CNC torna kullanılarak 32 deneye tabi tutmuşlardır. 150 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dev ilerlemeyle ıslak kesmede en iyi yüzeyi elde etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme artışıyla doğru, kesme hızı artışıyla ters orantılıdır. Küçük ilerleme değerlerinde yüzey pürüzlülüğü çok fark göstermezken büyüyen ilerlemelerde kat kat artış göstermektedir sonucuna varmışlardır. [50].

Chandra ve arkadaşları çalışmalarında, Ø100x300 mm boyutlarında EN24 ve HCHCr alaşımlı çelik malzemeleri, PCLNL2525 M12 tipi takım tutucularla CNMG120408 M15 ve M20 takımlar kullanılarak 150 m/dak ile 350 m/dak arasına 50 m/dak aralıklarla kesme hızı değerlerinde, 0,15-0,25-0,35 mm/dev ilerleme değerlerinde ve sabit 1,5 mm paso değerinde ISO3685 standartlarına uygun Jobber XL CNC Torna tezgâhında işlemeye tabi tutmuşlardır. Kesme hızı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkileri incelemişlerdir. HCHCr malzemesinin EN24 alaşımlı çeliğe göre sertliği yüksek, daha iyi yüzeye sahip ve kesme kuvveti yüksektir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azalmıştır, ilerlemenin artmasıyla da kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır sonucuna varmışlardır [51].

Acayaba ve Escalona çalışmalarında, Ø30x200 mm boyutlarında AISI 316 östenitik paslanmaz çelikleri, 0,4 mm ve 0,8 mm köşe radyüslü iki farklı TiN/TiAlN karbür kaplamalı HERTEL kesici uçlar ile kuru tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. İlk olarak çoklu lineer

regresyon sonra da yapay sinir ağıları kullanmışlardır. Geliştirilen ‘‘Yapay Sinir Ağları Modeli’’ ‘‘Simulated Annealing’’ olarak bilinen optimizasyon algoritmalarıyla entegre etmişlerdir. Bunu düşük yüzey pürüzlülüğü değerindeki kesme parametrelerini oluşturmak için yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün düşük değeri ve onun üzerindeki parametre sonuçlarının oluşumu SA algoritması yardımıyla başarılı bir şekilde kazanç sağlamıştır sonucuna varmışlardır. Bu çalışma düşük kesme hızında istenen yüzey pürüzlülüğünü hedeflemişlerdir [52].

Kara ve arkadaşları çalışmalarında, Ø60x240 mm (iç çap Ø56 mm) boyutlarında AISI 316L paslanmaz çelikleri, 5 farklı kesme hızında, 3 farklı ilerlemede, sabit pasoda ve 3 farklı kesici uç türüyle işlemeye tabi tutmuşlardır. Yapay sinir ağıları (YSA) ve çoklu regresyon analizi kullanmışlardır. Ek olarak aynı giriş ve çıkış parametreleriyle çoklu regresyon analizi yapmışlardır. YSA ve çoklu regresyon analizinden elde edilen formüller kullanılarak hesaplanan kesme kuvvetleri deneylerle ölçülen kesme kuvvetleriyle karşılaştırmışlardır. Deney ve ANOVA sonuçları incelendiğinde kesme kuvveti ve ilerlemeyi etkileyen baskın faktör ilerleme oranı olduğu belirlemişlerdir. İlerleme oranından sonra sırasıyla kesme hızı ve kaplama türü olduğu belirlemişlerdir. Hata değerleri YSA’ nın Regresyon analizinden daha düşüktür, tahmini sonuçlar gösterir ki YSA tahmini yapabilirlik açısından çoklu regresyon analizinden üstündür sonucuna varmışlardır. YSA’ nın iyi sonuçlarından dolayı karmaşık, pahalı ve zaman tüketimi olan deneysel çalışmaların yerine kesme kuvvetinin tahmini için kullanmışlardır. YSA hız, basitlik ve öğrenme kapasitesi açısından geleneksel modelleme tekniklerine göre daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır [53].

Basmacı çalışmasında, Ø25x130 mm boyutlarında AISI 316L paslanmaz çelikleri, CNMG 12 04 kesici uçlarla, 3 farklı ilerleme, 3 farklı paso ve 3 farklı soğutma sistemi kullanılarak işlemiştir. İlk olarak Taguchi metoduyla yüzey pürüzlülüğü ölçümü için parametre değerleri ve uygulanmış ölçümlerin sayısı belirlemiştir. Sonra elde edilen değerler ANOVA ile analiz etmiştir ve parametreler arasındaki ilişki derecesi belirlemiştir. Kesme kuvvetini sırasıyla; paso, ilerleme, soğutma sıvısı-minimum miktarda yağlama ve soğutma- kuru etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünün minimum değeri sırasıyla; minimum miktarda yağlama, CO₂ ve kuru şartlarda elde etmiştir. Paso ve soğutma sıvısı arasında etkileşim olduğu görmüştür. Kesme derinliği en düşük değerini aldığı zaman yüzey pürüzlülüğü de en düşük değerini almıştır, ilerleme oranı arttığında yüzey pürüzlülüğünün de arttığı görmüştür. Kesici takımın ömrünü artırmak için kesme kuvvetleri minimize edilmelidir şeklinde yorum yapmıştır [54].

Basmacı ve Ay çalışmalarında, klasik ve wiper kesici uçlar kullanarak kuru, CO₂ ve minimum miktarda yağlama kesme durumları altında AISI 316L paslanmaz çeliklerin malzemelerinin sertliği, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel optimizasyonunu sunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve malzeme sertliği üzerinde soğutma sistemi, kesme derinliği ve ilerleme oranının etkilerini incelemişlerdir. Deformasyon boyunca oluşan ısı, takım geometrisi ve kesme parametrelerine göre çeşitlenen takım-talaş yüzeyinde kesme kuvveti ve sürtünme ile yakın bir şekilde ilişkilendirilir. Minimum miktarda yağlamanın oluşturduğu takım-talaş ve iş parçası-talaş kesme bölgelerinde ısı üretimindeki azalma sayesinde yüzey kalitesindeki gelişme ve takım aşınmasındaki azalmanın önemli sonuç olduğunu vurgulamışlardır. Uygun işleme parametreleri belirlemiş ve minimum miktarda yağlamanın etkili olduğu görmüşlerdir. Wiper uçların etkinliğini kanıtlamışlardır [55].

Ay çalışmasında, Ø25x130 mm boyutlarında AISI 304L paslanmaz çelikleri, Kennametal KC 5010 PVD TiAlN-kaplamalı geleneksel uçlar ve wiper kesici uçlar kullanılarak 3 farklı ilerleme, 3 farklı paso ve 3 farklı kesici uç köşe radyüsünde işlemiştir. Taguchi metodu, deneysel tasarım adımlarında kullanmıştır. Grey ilişkisel analiz metodu, optimizasyon adımları için kullanmıştır. Optimum işleme şartlarını başarılı bir şekilde belirlemiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri için; ilerleme, pasonun düşük olması ve köşe radyüsünün yüksek olması optimum değerleri verdiğini görmüştür. Test sonuçları mükemmel yüzey pürüzlülüğünün sağlanmasında wiper kesici uçların etkinliğini kanıtlamıştır [56].

Özdemir çalışmasında, Ø60x360 mm boyutlarında AISI 409 (ferritik krom) paslanmaz çelikleri, IC 907 kalitede VBMT 100204 P kesici uçlarla, 3 farklı kesme hızı, 3 farklı ilerleme ve üç farklı paso değerinde işleme tabi tutmuştur. Taguchi L27 Ortogonal dizilişi kullanmıştır. S/N oranlarının varyans analizine göre, R_a ve R_z etkileyen değişkenlerin önem sırası ilerleme, paso ve kesme hızı olarak belirlemiştir. İlerleme arttığında parçanın R_a ve R_z değerlerinin de artması gözlemlenmiştir. Kesme hızının artmasıyla azalma eğilimi gösterir ve en iyi yüzey kalitesi düşük ilerlemede elde edilir sonuçlarına varmıştır. Doğruluk testlerinin sonucu olarak yüksek yakınsama değeri R_a (%86.18) ve R_z (%99.37) belirlemiştir. ANOVA sonuçlarına göre paso ve ilerlemenin etkileşimi deneysel sonuçlara yüksek katkı sağlıyorken, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme olduğu bulmuştur [57].

Su ve arkadaşları, Ø55x120 mm boyutunda AISI 304 östenitik paslanmaz çelikleri, CNMG 120408-PG SC2035 kesici uçlarıyla 5 farklı kesme hızı, 5 farklı ilerleme, 5 farklı paso ve kuru şekilde işlemeye tabi tutmuşlardır. Genellikle işleme parametrelerinin optimizasyonunun yapılma sebebi maliyet, yüzey kalitesi, aşınma kesme kuvvetlerine odaklanırken, bu

çalışmada enerji tüketimi azalırken üretim oranı ve kesme kalitesini artırmak için uygulanan Grey ilişkisel analizi ve yanıt yüzeyi metoduna dayanan kesme parametrelerinin çok amaçlı optimizasyonunu sunmuşlardır. Deney tasarımı Taguchi metodu kullanmışlardır. Optimizasyon problemi Grey ilişkisel analizi boyunca basit optimizasyon problemine dönüştürmüşlerdir. Grey ilişki derecesi için yanıt yüzeyi metoduna dayanan regresyon modeli ve tornalama parametrelerinin optimum kombinasyonunu belirlemişlerdir. İlk tornalama parametreleriyle karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülük değeri (R_a) %66,9 azalmış, talaş yoğunluğu ise %8,82 artmış ve eş zamanlı olarak özel enerji tüketimi %81,46 azalmıştır sonuçlarına varmışlardır [58].

Sathiskumar ve Rajmohan çalışmalarında, $\text{Ø}60 \times 150$ mm boyutlarında AISI 316L paslanmaz çelikleri, kaplamalı karbür uçlarla SAE20W40 motor yağında dağıtılmış çok duvarlı karbon Nano tüp (MWCNT) yağlayıcı ve minimum miktarda yağlama şartlarında işlemeye tabi tutmuşlardır. Çalışma sıcaklığı 10°C ile 50°C arasındadır. Maksimum tornalama uzunluğu 500 mm'dir. Taguchi L18 kullanmışlardır. Deneysel çalışmalar spindle hızı, kesme sıvısının türü ve kesme derinliğini takip eden çıkış parametreleri üzerinde daha fazla etkiye sahip olmanın söz konusu olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Optimum sonuçlar belirlenmiş ve çıktı sonuçları için en etkili kesme parametresi ilerleme oranı olduğu gözlemlenmiştir [59].

Nayak ve arkadaşları çalışmalarında, $\text{Ø}60 \times 200$ mm boyutlarında AISI 304 östenitik paslanmaz çelikleri, ISO P30 kaplamasız yapışkan karbür uçlar kullanılarak, 3 farklı kesme hızında, 3 farklı ilerlemede, 3 farklı pasoda, kuru bir şekilde işlemeye tabi tutmuşlardır. Taguchi L27 kullanmışlardır. Grey ilişkisel analiz kullanılarak malzeme talaş debisi, kesme kuvveti (F_c) ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) gibi işlenebilirliğin üç önemli karakteristiği ölçmüşlerdir. Optimum değeri belirlemişlerdir [60].

Senthil ve arkadaşları çalışmalarında, kesici uçların performansını değerlendirmede en önemli parametrenin takım ömrü olduğu kanısına varmışlardır. Takım aşınması, iş parçasının yüzey kalitesi ve ölçülerini etkiler ve takım ömrünü belirlemedeki en önemli parametrelerdendir. Takım belirli bir aşınma değerine geldiği zaman uç kötüleşir ve kullanılamaz hale gelir. Sertleştirilmiş martensitik paslanmaz çelikleri (HRC 60) işlemişlerdir. Çalışmalarında serbest yüzey aşınması, krater aşınma ve burun aşınması incelemişlerdir. Aşınma verileri çoklu regresyon analiz kullanarak takım aşınmasının matematiksel modelini geliştirmek için kullanılmıştır. Deneyler 120, 170, 220 ve 270 m/dak kesme hızında, 0,12 mm/dev sabit ilerlemede, 0.5 mm sabit pasoda ve kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirmişlerdir. Alümina esaslı seramik takımların ömrü düşük hızlarda serbest yüzey aşınmasını ve yüksek

hızlarda hem krater hem de burun aşınmasından etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığını görmüşlerdir [61].

Gowthaman ve arkadaşları çalışmalarında, dubleks paslanmaz çeliklerin takım aşındırma mekanizması ve işleme karakterlerini araştırmışlardır. Dubleks alaşımlar Cr-Ni-Mo-Fe alaşımlarının birleşiminden meydana gelmektedir. Ayrıca eşit boyutta östenitik ve ferritik yapı içerir. Bu çelikler akma mukavemetinin, korozyon direncinin, dayanımının ve yorulma dayanımının gelişimini gösterir. İşlenmeleri oldukça güçtür. Daha düşük kesme hızlarında ve daha az talaş uzaklaştırılmasının, takım üzerindeki ısının yüksek etkisinin sonucu olarak takım aşınması oluşur. Daha üstün dubleks paslanmaz çelik kalitesi, takım aşınmasının artmasına sebep olan kesme kuvvetleri arttığı zaman takım ömründe daha düşük aşınma sunar. Dubleks paslanmaz çelik işlenirken daha yüksek kesme kuvveti ve hızlı takım aşınması meydana gelir. Dubleks paslanmaz çelikte işlemeyi geliştirmek için uygun geometri kaplamalı uçların kullanılması, yüksek kesme derinliği ve düşük ilerleme; yığılma kenar oluşumunu önlemek için yüksek kesme hızının uygulanmaması ve küçük köşe radyüslü uçların kullanılması, plastik deformasyon riskini azaltmak için daha yüksek kesmenin gerekli olduğunu önermişlerdir [62].

Das ve arkadaşları çalışmalarında, Al-4.5Cu-1.5TiC metal matrisli kompozitleri 500-700-900-1100-1300 devirde, 15-25-35-45-55 mm/dak ilerleme hızında, 0,05-0,1-0,15-0,2-0,25 mm pasoda kesme sıvısı kullanmadan sement karbür uçlarla tornalama işlemine tabi tutmuşlar. 3D profil metre kullanarak yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapmışlardır. 31 deneyin değerini paylaşmışlardır. 6 deneyi doğrulama testi için kullanmışlardır. Bu da deney setinin %80'ini öğrenme için %20'sini ise test için kullanmışlardır. Feed Forward sinir ağları kullanılarak yüzey pürüzlülüklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Kesme şartları ve yüzey pürüzlülüğü arasında non-lineer bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır [63].

Nalbant ve arkadaşları çalışmalarında, 150x450 mm AISI 1030 çeliği soğutma sıvısı kullanılmadan 2 mm sabit kesme derinliğinde 100,200 ve 300 m/dak kesme hızlarında ve 0,25-0,3-0,35-0,4-0-45 mm/dev ilerleme değerlerinde kaplamasız, PVD(AlTiN) kaplamalı, PVD(TiAlN) kaplamalı ve CVD (TiN (TiN,Al₂O₃,TiC)) kaplanalı semete karbür uçlar kullanarak tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Bu giriş parametrelerine karşılık çıkış olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerini almışlardır. Toplamda 60 deney yapmışlardır. Genelde kullanılan back-propagation öğrenme algoritmasını kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde ilerlemenin etkisinin diğer giriş parametrelerine göre daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [64].

Kant ve Sangwan çalışmalarında, 125 mm çapında AISI1060 çeliği kuru işleme şartlarında karbür uçlar kullanarak frezeleme işlemine tabi tutmuşlardır. Yapay sinir ağlarını tahmin geliştirmek için uygulamışlardır. Yapay sinir ağı sonuçları deneysel verilerle, regresyon modeliyle ve hata analiz ilişkisini kullanarak literatürden fuzzy logic modeliyle karşılaştırma yapmışlardır. Geliştirilen modeli temsili hipotez testi kullanarak doğrulamışlardır. Ve sonunda genetik algoritma kullanarak yüzey pürüzlülüğünü minimize etmeye çalışmışlardır. 30 deneyin 25'i eğitim 5'i test için kullanmışlardır. Eğitim verilerini asla test için kullanmamışlardır. MATLAB Neural Network Toolbox'ında 4-9-1 tasarımının en iyi sonuçları verdiğini bulmuşlardır [65].

Alharti ve arkadaşları çalışmalarında, 40 mm çapındaki parçaları 100 mm işlemişlerdir. Toplamda 64 deney yapmışlardır. Yüzey pürüzlülük değerini tahmin etmek için yapay sinir ağları kullanmışlardır. Ayrıca matematiksel model belirlemek için Regression analizi yapmışlardır. Regression analizinin matematiksel modelinden tahminler ile deney verileri ve yapay sinir ağları değerleriyle karşılaştırmışlardır. 56 deney eğitim için 8 deney hem yapay sinir ağlarını hem de regresyon analizinde bulunan matematiksel modeli test etmek için kullanmışlardır. Buda yaklaşık olarak deneylerin %14'ünün teste ayrıldığını göstermektedir. Yapay sinir ağlarında transfer fonksiyonu olarak "TanhAxon" seçmişlerdir. İlerleme oranının malzemenin yüzey finışı üzerinde direkt bir etkiye sahip olduğu belirtmişlerdir. İlerleme oranının artmasının kötü yüzeye sebep olacağı sonucuna varmışlardır [66].

Hazza ve Adesta çalışmalarında, 48HRC sertliğindeki AISI H13 paslanmaz çelikleri 150-200 m/dak arasında yüksek kesme hızlarında, 0,05-0,15 mm/dev düşük ilerleme değerlerinde, 0,1-0,2 mm düşük paso değerlerinde Sandvick Coromill R490 takım tutucularla PVD kaplamalı TiAlN karbür uçlar kullanarak işlemeye tabi tutmuşlardır. Yüzey pürüzlülük değerlerini yapay sinir ağları ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Yapay sinir ağlarını, Nftool paketini, feed forward yapısını, back propagation Levenberg-Marquardt (LM) algoritmasını, Sigmoid aktivasyon fonksiyonunu kullanarak 3 katmanda 20 gizli tabaka ile gerçekleştirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüklerini tahmin etmişlerdir [67].

Kannan ve arkadaşları çalışmalarında, 10 mm kalınlığındaki levhaları farklı iş mili hızlarında ve ilerlemelerde delme işlemine tabi tutmuşlardır. En iyi işleme parametrelerinin optimizasyonu için Genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonunu kullanmışlardır. En iyi optimizasyon tekniğini belirlemişlerdir. İşleme parametrelerinin modellenmesinde yapay sinir ağlarını verimli bir şekilde kullanmışlardır. İşleme parametrelerinin optimizasyonu için genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonları (PSO) etkili bir şekilde kullanılabilir

olduğu sonucunu çıkarmışlardır. Genetik algoritma PSO'ya göre yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvvetlerinde daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. PSO da genetik algoritmaya göre ovallik ve işleme süresi için daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır [68].

Tez çalışmamız kapsamındaki literatür incelemelerinden; dört farklı giriş parametresi ve iki farklı çıkış parametresiyle çok az çalışma yapıldığı görülmüş olup, incelenen çalışmaların yaklaşık %71'i son 5 yılda yapılmıştır. Tüm incelenen çalışmaların da yaklaşık %68'inde östenitik paslanmaz çelikler kullanılmıştır.



3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1 Deneysel Yönteme Giriş

Bu bölümde, gerçekleştirilmiş olan deneylerde kullanılan iş parçalarından, iş parçalarının hazırlanmasından, işleme için kullanılan kesici uçlardan, takım tutuculardan, deneylerin gerçekleştirildiği CNC tezgahından, sonuçların alındığı ölçüm cihazlarından ve izlenen yollardan bahsedilmiştir.

3.2 Malzeme

Paslanmaz çelikler birçok ortamda korozyona karşı dirençlidirler. Ancak kaynak edildiklerinde korozyona karşı olan dirençlerini kaybetmemeleri gerekmektedir. Kaynak esnasında tane sınırlarına krom karbür (CrC) çökeldiği için malzeme içindeki krom miktarında azalma görülmektedir. Bu azalma da korozyona karşı direnci düşürmektedir. Taneler arasında oluşan korozyona kaynakla çürüme de denmektedir. Bu sorunla mücadele edebilmek için 304 ve 316 gibi bazı östenitik paslanmaz çelik sınıfları, 304L ve 316L gibi ağırlıkça %0,03'ten daha az karbon içeriği olan yapılara geçilir [71, 72].

304L paslanmaz çelik, yalnızca üstün korozyon direnci nedeniyle değil, aynı zamanda mükemmel şekillendirilebilirliği ve mekanik davranışı nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemenin davranışı birçok işleme parametresinden ve farklı yükleme koşullarından güçlü bir şekilde etkilendiğinden, birçok araştırmacı 304L paslanmaz çelik malzeme davranışındaki ve mikro yapısındaki değişiklikleri farklı koşullar altında incelenmektedir [71].

Bu çalışmada deney numunesi olarak 304L paslanmaz çelikler işlenmiştir. 304L (1.4307/X2CrNi18-9) paslanmaz çeliklerin sertifikaları Acciaierie Valburna S.p.A firması tarafından alınmış olup Erbab Otomat ve Yedek Parça firmasının desteğiyle tedarik edilmiştir. 304L paslanmaz çeliklerin mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1: 304L Paslanmaz çeliğin mekanik özellikleri

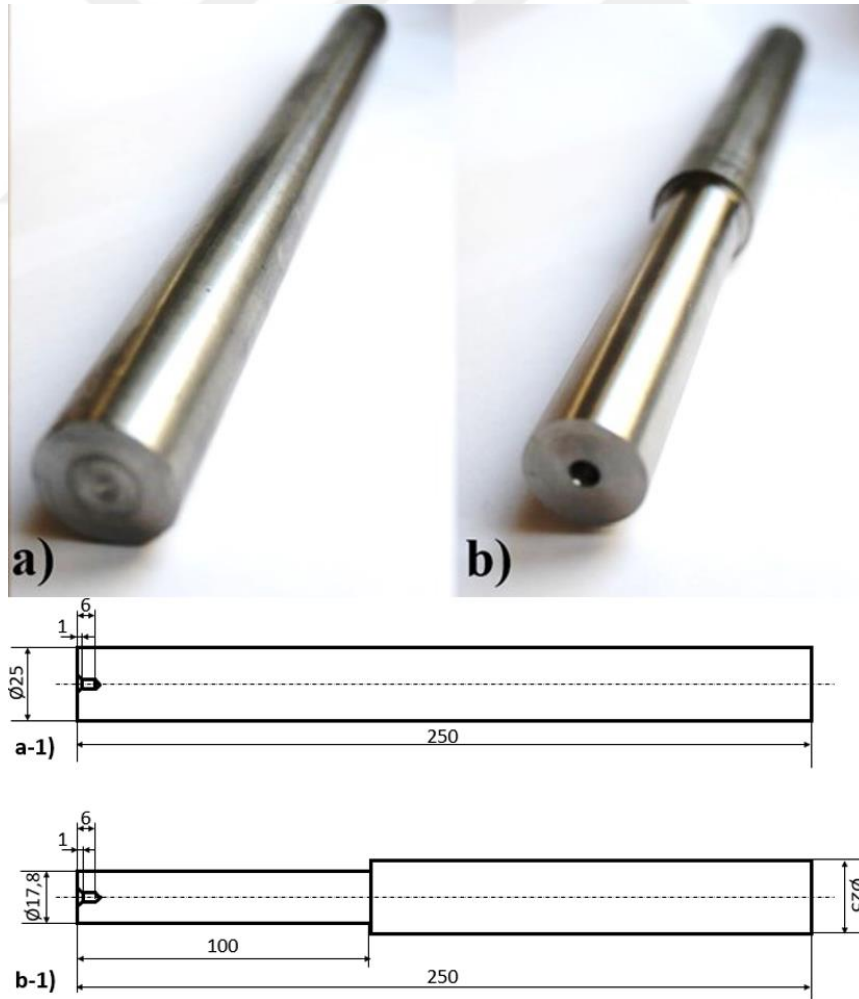
Malzeme	Akma Mukavemeti (N/mm^2)	Çekme Mukavemeti (N/mm^2)	Sertlik (HB)
304L Paslanmaz Çelik (1.4307/X2CrNi18-9)	205	515	232

Tablo 3.2: 304L Paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

AISI	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	N
304L	0,01	0,57	1,86	18,07	8,19	0,03	0,024	0,088

3.3 Numunelerin Hazırlanması

Deney numuneleri hazırlanırken malzemelerin temizlemiş olması önemlidir. Temizlenmiş olan malzemeler işlemeye uygun hale getirilmek için parçaların alınları düzleştirilip sonrasında destek için gerekli olan punta delikleri açılmalıdır. Punta deliğinin açılmazsa, ayna dışında kalan bölümün uzun olmasıyla tornalama işlemi yaparken sehimlerin artması, sehimlerin artmasıyla birlikte titreşimlerin oluşması ve bunun sonucunda kötü yüzey hatta istenilen şeklin elde edilmemesi gibi istenmeyen sonuçlar elde edilir. Bu işlemleri içinde bulunduran deney numunelerinin hazırlanma aşamaları aşağıdaki gibidir. Deney numunesine ait resimler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: 304L deney numunesinin a) İşlenmemiş hali b) İşlenmiş hali

Şekil 3.1-a’da gösterilen 25 mm çapında üretilmiş olan 304L paslanmaz çeliklerin deneysel çalışmaya hazırlık aşamaları kısaca şu şekildedir:

- İşlemlerde birçok farklı neden dolayı titreşimler oluşmaktadır. Titreşimleri etkileyen bir parametrede işlenecek parçanın boyutudur. Titreşim farklılıklarının deney sonuçları üzerinde farklı oranlarda etki etmemesi için yapılmış olan çalışmada tüm numunelerin çap değerleri eşit alınmıştır. İşleme uzunluğu ise 100 mm olarak alınmıştır.
- Boyut olarak belirlenen parçaların alın yüzeyleri tormalanmış ve punta deliği açılmıştır.

İş parçası olarak kullanılan 304L paslanmaz çelikleri, tormalama işlemine tabii tutmak için ön hazırlıklar yapılmıştır.

3.4 CNC Tezgahı

Bir parça, mühendisin hayal gücünden ortaya çıkararak laboratuvar, ofis, araştırma merkezlerine sonrasında da imalat sürecine girerek oluşmaktadır [72]. Birçok farklı üretim yöntemi bulunmaktadır. Bu üretim yöntemlerinden birisi de talaşlı imalattır. Diğer yöntemlere göre; oturmuş bir sistemin olması (uzun süredir yapılmasından kaynaklı), hızlı, güvenilir ve verimlidir. Talaşlı imalat gerçekleştirilirken bilgisayar destekli yazılımlar kullanılarak CNC tezgahlarda üretim gerçekleştirilir.

CNC (Computer numerical control/Bilgisayarlı sayısal kontrol), bir bilgisayar sisteminin takım tezgahını, birkaç eksen boyunca hassas hareketini yönlendirerek, kesme ilerlemelerini düzenleyerek, takım değişikliklerini yaparak, kesme sıvısı kontrollerini yaparak ve açma kapanma özellikleri gibi çalışma sürecini kontrol ettiği süreçtir [73].

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler, Şekil 3.2’de görülen Goodway GS 200 tezgahında kesme sıvısı kullanılmadan vorteks tüp ile soğutma işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir.



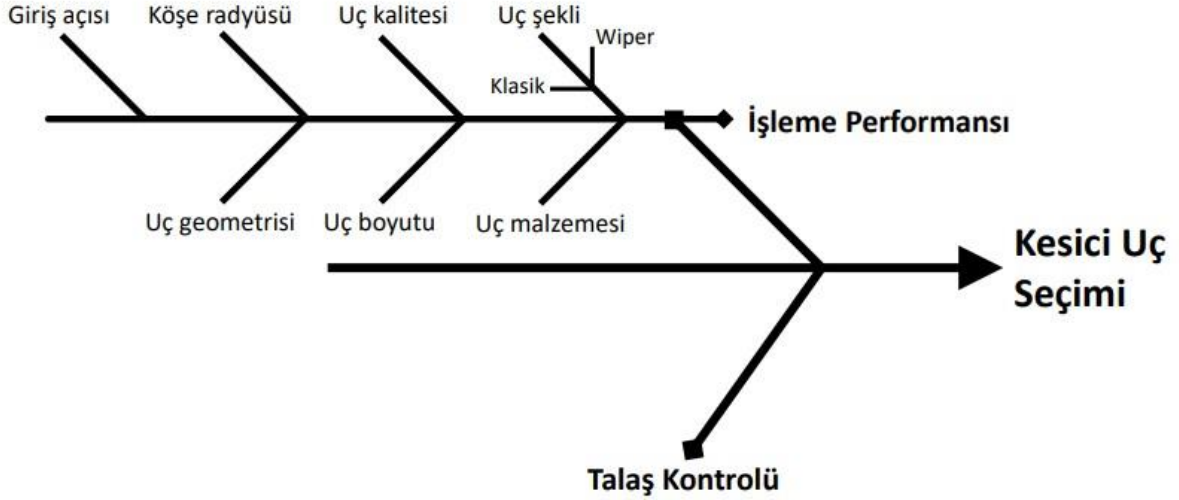
Şekil 3.2: CNC torna tezgahı

3.5 Kesici Uçlar

Tezgah ve kesici uç (takım), talaş kaldırma işlemini gerçekleştiren en önemli iki etkidir. İşleme yaparken yalnızca tezgahın gelişmiş teknolojiye sahip olması yeterli değildir. İşlenecek parçanın şekillendirilmesinde kesici ucunda gelişmiş olması gerekmektedir [74].

Her kesici uçla her malzeme işlenememektedir. Malzemelere uygun kesici uçlar seçilmelidir ki işlenecek parçanın talaşı daha rahat kopsun, yüksek sıcaklıklardan dolayı hasara uğramasın, daha fazla güç harcanmasın, kesici ucun ömrü daha uzun olabilsin ve istenen yüzey kaliteleri sağlanabilsin. Yapılacak imalat işlemlerinde çevreye daha fazla zarar vermemek, gün geçtikçe azalan doğal kaynaklarımızı daha verimli kullanmak ve ekonomik olarak maliyetleri minimum seviyelerde tutmak gerekmektedir. Bu nedenle kesici uçlar, işlenecek olan malzemeye uygun olmalıdır. Bu durumları sağlayabilmek için de kesici uçlar sınıflandırılmaktadır.

Kesici uç seçiminde dikkat edilmesi gerekenler hususlar Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Kesici uç seçiminde önemli olan parametreler

İşlenecek malzemenin talaş şekline uygun temelde 3 grup vardır:

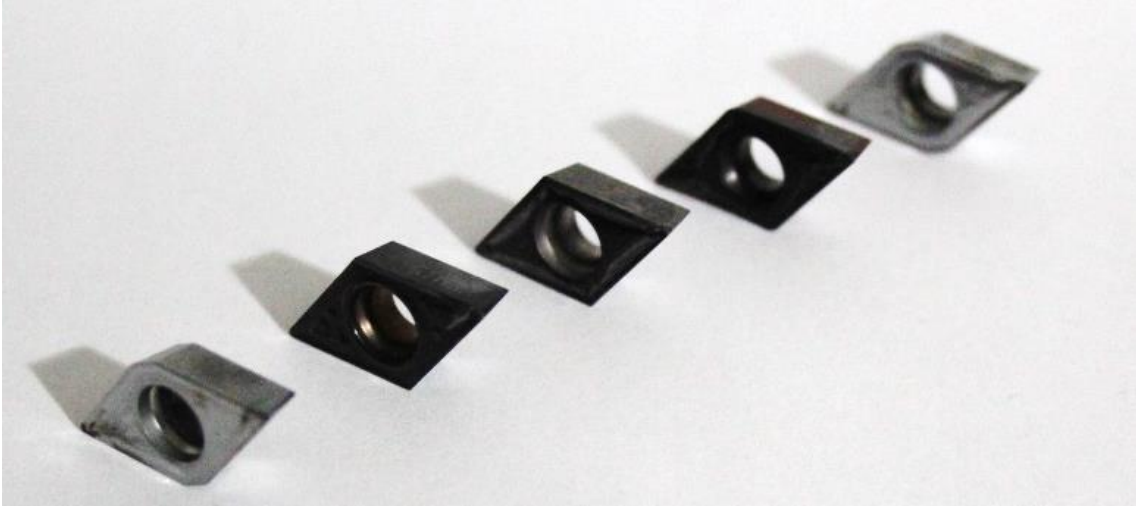
P grubu: Genelde sürekli talaşlar, çelik ve alaşımlı çelikler gibi sünek malzemelerde kullanılan takımlardır. Mavi renkle gösterilmektedirler.

M grubu: Genelde yapışkan talaşlar, paslanmaz çelik ve dökme çeliklerde kullanılan takımlardır. Sarı renkle gösterilmektedirler.

K grubu: Genelde kesik talaşlar, dökme demir ve demir olmayan metallerde kullanılan takımlardır. Kırmızı renkle gösterilmektedirler.

Kesici uçların simgelenmesinde; kesici ucun şekli, serbest açısı, toleransı, tipi, kesici ağzın uzunluğu, kalınlığı, uç yarıçapı, kesme ağız şekli, kesme yönü, firmaya ait simgesi belirtilmektedir [74].

Bu çalışmada Şekil 3.4'teki 4 farklı firmadan temin edilen, kesme ağız şekilleri ve kesme yönleri farklı olan 5 farklı kesici uç kullanılmıştır. Aynı kesme parametreleri uygulanan farklı kesici uçların deney sonuçlarından en uzun takım ömrünü verebilecek ve en iyi yüzey pürüzlülüğünü verebilecek kesme parametreleri ve kesici uçlar belirlenmiştir.

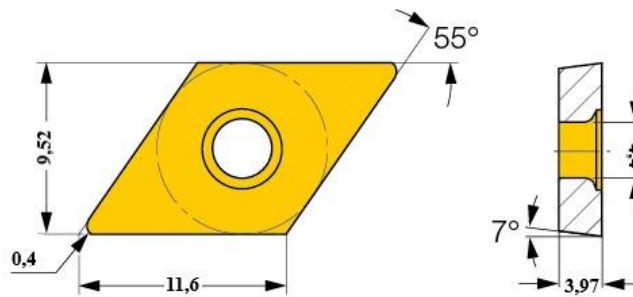


Şekil 3.4: Deneylerde kullanılan kesici uçlar

Deneylerde kullanılan beş farklı kesici ucun geometrik formu Şekil 3.5'te ve bu geometrik formları açıklayan simgelenme şekilleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3: Çalışmada kullanılan kesici uçların simgeleri

Kesici Takım No	Kesici Ucu Tanımlayan Özellikler							Firmaya Ait Simgeler			
	D	C	M	T	11	T3	04	P	M	N	SU
1.Takım								P	M	N	SU
2.Takım								P	F	IC	6015
3.Takım	D	C	M	T	11	T3	04	M	F	KCM	15
4.Takım								M	3	TM	1501
5.Takım								M	3	TM	2501

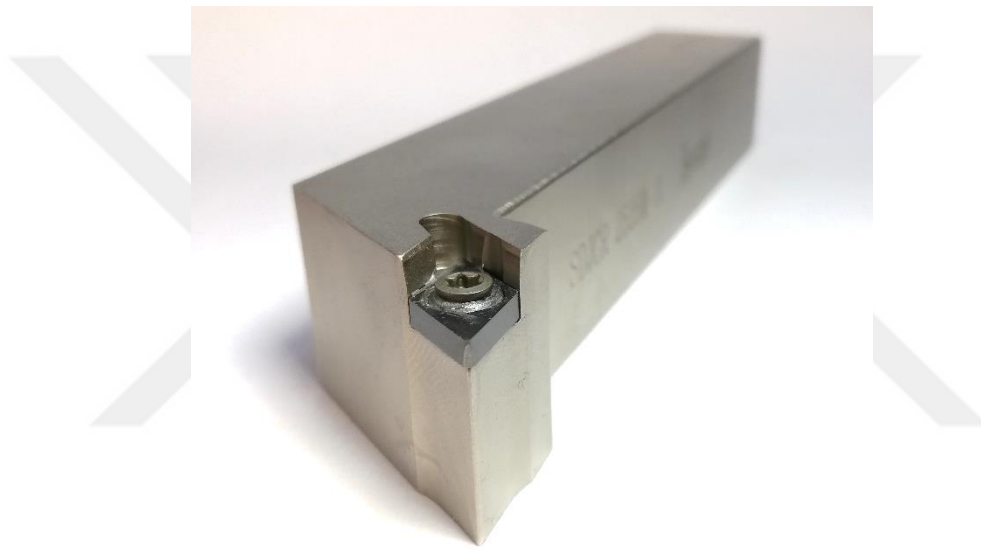


Şekil 3.5: DCMT 11 T3 04 formlu kesici uç [75]

3.6 Takım Tutucu

Takım tutucu; tezgah-parça-taret arasındaki bağlantı olup, kesici ucu hassas ve güvenli konumda tutarlar.

Takım tutucunun simgelenmesinde; katere bağlanma şekli, kesici ucun temel şekli, kesici ucun şekli, yerleşme açısı, takım tutucunun ağız yönü, kesici ucun yüksekliği, kesici ucun genişliği, kesici ucun uzunluğu, kesici ucun kenar uzunluğu ve firmaya ait simgesi belirtilmelidir [74]. Şekil 3.6’da kullanılan takım tutucu ve Tablo 3.4’te bu çalışmada kullanılan takım tutucunun simgeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Kesici takım tutucu

Tablo 3.4: Çalışmada kullanılan takım tutucunun simgesi

Kesici Uç Tutucuyu Tanımlayan Özellikler								Firmaya Ait Simgeler	
S	D	J	C	R	25	25	M	1	1

3.7 Deneysel Çalışma Süreci

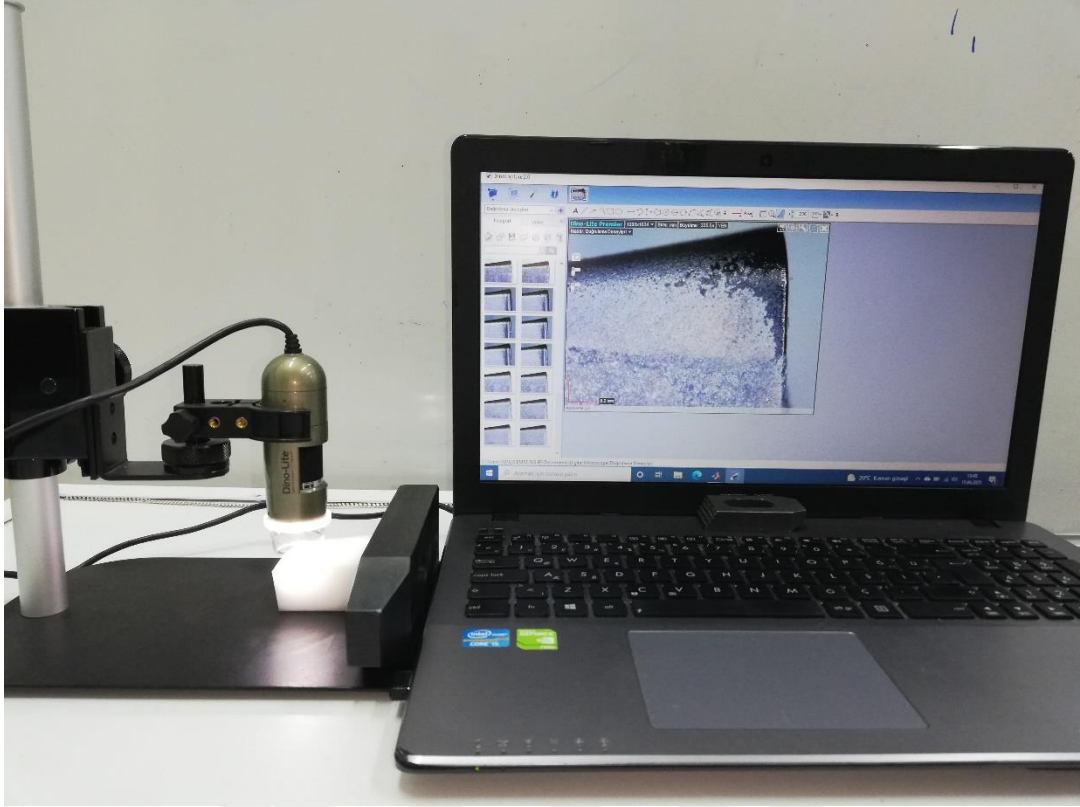
304L paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kullanılan kesici uçların maliyetlerinin yüksek olması ve işleme esnasında oluşan talaşların kırılmasının zorluğu nedeniyle endüstriyel bir sorunun çözümü için bu tez çalışması seçilmiştir. Konuyla ilgili problem Bursa’da yerleşik ERBAB

firması tarafından gündeme gelmiştir. Sorunun çözümü için firmanın kullandığı kesici uç haricinde üç farklı üretici tarafından pazara sunulan kesici uçlarda deney sürecinde değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılmasına karar verilen dört farklı firmaya ait beş farklı kesici uç için 304L paslanmaz çelik işlemek amacıyla tercih edilen geometriler ve kesici uçlar belirlenmiştir. Soğutma yöntemi olarak çevreye zararı fazla olan kesme sıvılarının yerine çevreye dost vorteks tüp kullanılması kararı alınmıştır. Deney tasarımları oluşturulurken, temin edilen kesici uçlar için uygun olan kesme parametreleri dikkate alınmıştır. Kesici uç firmaları tarafından önerilen kesme parametreleri geniş bir yelpazeye sahip olduğu için bu parametreleri kapsayacak uygun deney tasarım parametreleri belirlenmiştir. Oluşturulan deney tasarımı eşliğinde deneyler gerçekleştirilmiş ve her deney için aşınma ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları kaydedilmiştir. Alınan deney sonuçları Taguchi, yanıt yüzey metodu ve yapay sinir ağlarında incelenip, aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için ayrı ayrı ve birlikte optimizasyonları yapılmıştır. Optimizasyon sonuçları için doğrulama deneyleri yapılmıştır. Doğrulama deneylerinin destekler nitelikte olup olmadığı incelendikten sonra oluşturulan deney veri seti için uygun kesici uç ve kesme parametreleri belirlenmiştir.

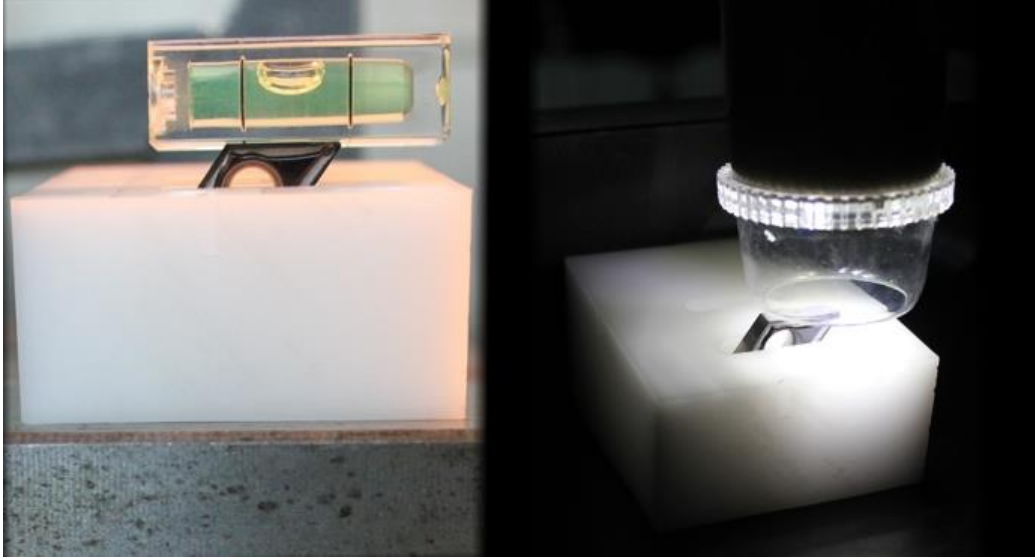
3.8 Aşınma Ölçümü

304L paslanmaz çelikleri DCMT 11 T3 04 geometriye sahip kesici uçlarla işledikten sonra kesici uçlarda oluşan aşınmalar; takımın ömrü yani maliyeti minimum seviyede tutabilmek, iyi bir yüzeye sahip olabilmek, hassas işlemler yapabilmek ve kesme kuvvetlerini arttırmamak için incelenmiştir. Aşınma ölçümleri, Şekil 3.7’de gösterilen Dino-Lite Pro2 AM4000/AD4000 series 1.3 megapixel dijital mikroskop ile 240 kat büyütmede yapılmıştır.

Aşınma ölçümleri alınırken aşınmanın olduğu yüzeyin kesici uç şeklinden veya zeminin eğriliğinden kaynaklı eğimli olması mikroskopta hatalı değer okunmasına sebep olacağından 7° alt ve üst yüzeyinde eğim bulunan kesici uca yere paralel olması için Şekil 3.8’de gösterilen aparat yapılmıştır.



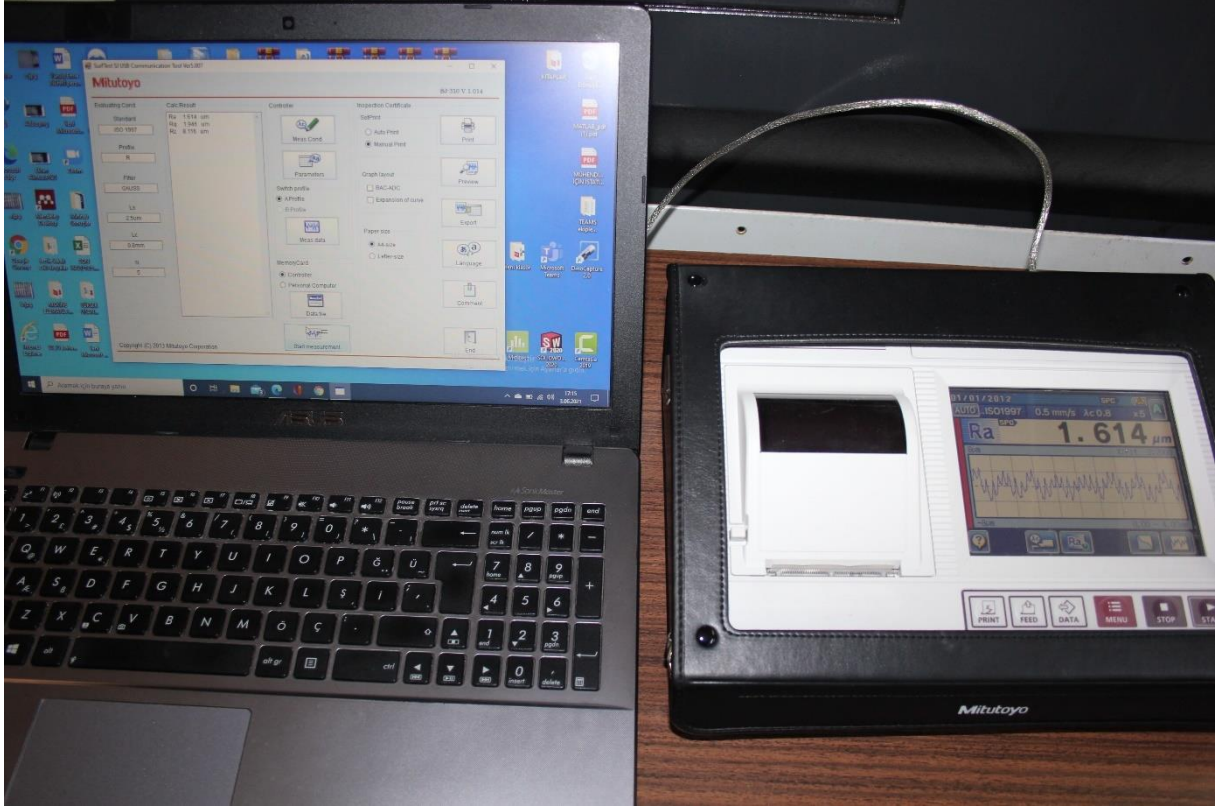
Şekil 3.7: Dino-Lite mikroskop ve uygulaması



Şekil 3.8: Kesici uç aparatı

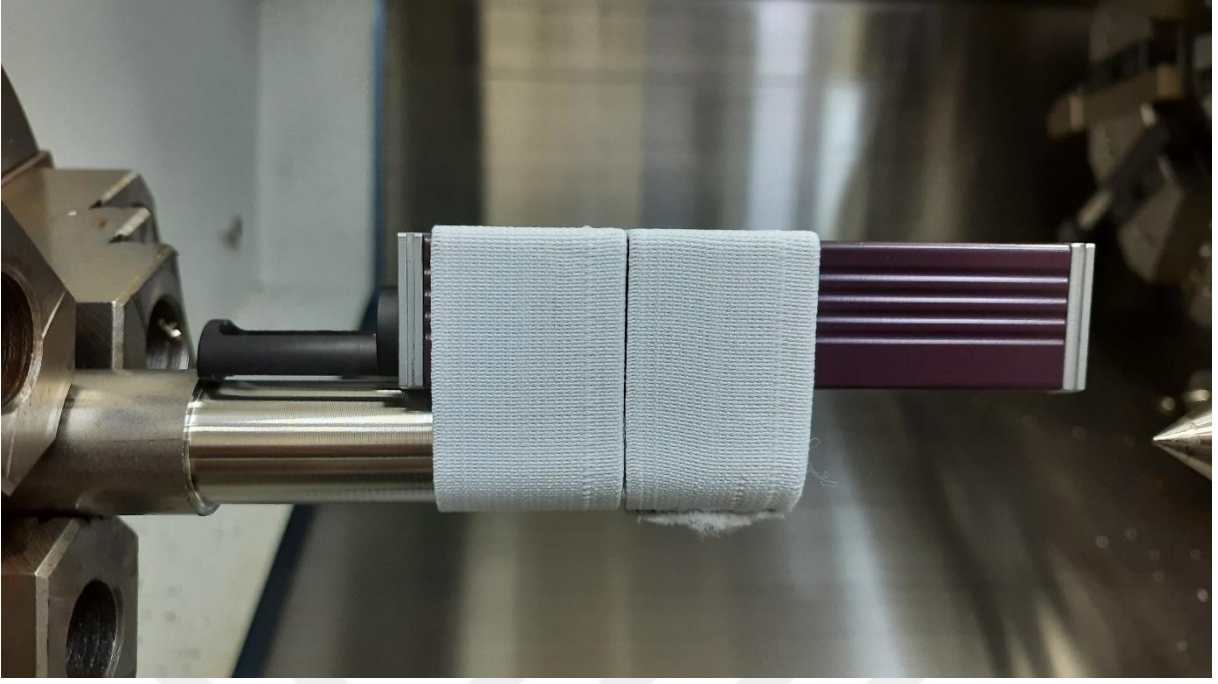
3.9 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

DCMT 11 T3 04 geometriye sahip kesici uçlarla 304L paslanmaz çelikler işlendikten sonra yüzey pürüzlülüğü değerini ölçmek için Şekil 3.9’da görülen Mitutoyo SJ-310 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.9: Pürüzlülük ölçüm cihazı ve uygulaması

Pürüzlülük ölçümleri alınırken üç farklı pasoda işlem gerçekleştirildiği için işlemeden sonra deney numunesini çıkarınca aynı noktadan bağlama durumu olmayacağı ve bu da ölçümlerde hata oranını artıracığından Şekil 3.10’da gösterildiği gibi probu deney numunesi, aynaya bağlı iken yerleştirilmiştir. Proben sabitliği elastik malzemelerle sağlanmıştır. Sonra ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.10: Pürüzlülük ölçümünün alınma şekli

3.10 Deney Tasarımı

Deney tasarımı yapılırken; 4 farklı parametre ve bu parametrelerinde 5'e kadar farklı değişkenleri bulunmaktadır. Talaşlı imalatta işlemler yapılırken birçok dış etkenin aşınma ve yüzey pürüzlülüğünün de içinde bulunduğu sonuçları etkilemektedir. Dış etkenlerin fazla olması deney tekrarına veya farklı değerlerde deney yapılması gerektiğini işaret etmektedir. Yapay sinir ağlarını yeteri kadar eğitebilmek için ne kadar çok deney olursa öğrenme işlemi o derece iyileşmeye yönelecektir. Bu çalışmada farklı değerlerdeki deneyler eklenerek deney yapılması kararı verilmiştir. Bu nedenle bu çalışma için Full Factorial tasarımının uygun olduğu değerlendirilmiştir. Ancak bazı kesici uçlarda kesme parametreleri uygun olmadığı, talaşın deney numunesinin etrafını sarması ve vorteks tüpe temas edip vorteks tüpün yönünü değiştirdiği için bu deneyler deney tasarımından çıkarılmıştır. Buna yönelik deney tasarımını oluşturan parametreler ve bu parametrelerin değişkenleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5: Deney Parametre ve Değişkenleri

Kesici Takım		Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)
DCMT 11 T304	PM-N SU	100	0,11	0,9
	PF-IC6015	120		
	MF-KCM15	140	0,15	1,2
	TM-1501	160		1,5
	TM-2501	180		

Tablo 3.5'te belirtilen parametreler eşliğinde toplam 137 deney yapılmıştır. Her deney 3 pasoda gerçekleştirilmiştir. Her pasodan ve deneyden sonra aşınma ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada; 25 mm çapında, 100 mm tornalama uzunluğunda, soğutma sıvısı olmadan vorteks tüp ile 20°C ortamda işlemler yapılmıştır.

Bire bir şeklinde düzenlenmiş olan deney tasarımında toplam 150 deney (5x5x2x3) yapılmalıdır. Ancak yapılan çalışma esnasında DCMT 11 T3 04 MF KCM 15 kesici ucu ile yapılan deneylerde 0,11 mm/dev ilerleme değerinde talaş kopmaması, kopmayan talaşın iş parçasına sarılması ve sarılan parçaların vorteks tüp hortumuna vurması problemiyle karşılaşmıştır.

Talaş vorteks tüp hortumuna vurduğu zaman hortum yön değiştirmiş ve takım ile parça arasına hava akışı sağlanmamıştır. Bu nedenle, vorteks tüp hortumunun yönünü değiştiren deney çalışmalarının sonuçları bu tez çalışmasına eklenmemiş, öngörülen 150 deney yerine 137 deney sonucu değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 4.1’de DCMT 11 T3 04 PM N SU takımıyla yapılan işlemlerden elde edilen aşınma ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1: DCMT 11 T3 04 PM N SU takımıyla yapılan deneyler

Deney No	Kesme Hızı (v_c) [m/dk]	İlerleme (f) [mm/dev]	Paso (a_p) [mm]	Aşınma (V_B) [μm]	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) [μm]
1	100	0,11	0,9	30	1,984
2	100	0,11	1,2	29	1,835
3	100	0,11	1,5	32	1,782
4	100	0,15	0,9	38	2,442
5	100	0,15	1,2	35	2,245
6	100	0,15	1,5	38	2,241
7	120	0,11	0,9	33	1,881
8	120	0,11	1,2	29	1,866
9	120	0,11	1,5	33	1,732
10	120	0,15	0,9	36	2,346
11	120	0,15	1,2	36	2,287
12	120	0,15	1,5	35	2,187
13	140	0,11	0,9	33	1,699
14	140	0,11	1,2	32	1,833
15	140	0,11	1,5	32	1,648
16	140	0,15	0,9	38	2,304
17	140	0,15	1,2	38	2,337
18	140	0,15	1,5	36	2,214
19	160	0,11	0,9	30	1,734
20	160	0,11	1,2	30	1,81
21	160	0,11	1,5	35	1,794
22	160	0,15	0,9	35	2,372
23	160	0,15	1,2	41	2,178
24	160	0,15	1,5	38	1,977
25	180	0,11	0,9	35	1,716
26	180	0,11	1,2	38	1,88
27	180	0,11	1,5	35	1,888
28	180	0,15	0,9	35	2,334
29	180	0,15	1,2	35	2,107
30	180	0,15	1,5	41	2,21

Tablo 4.2’de DCMT 11 T3 04 PF IC 6015 takımıyla yapılan işlemlerden elde edilen aşınma ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2: DCMT 11 T3 04 PF IC 6015 takımıyla yapılan deneyler

Deney No	Kesme Hızı (v_c) [m/dk]	İlerleme (f) [mm/dev]	Paso (a_p) [mm]	Aşınma (V_B) [μm]	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) [μm]
31	100	0,11	0,9	73	1,863
32	100	0,11	1,2	92	1,828
33	100	0,11	1,5	84	1,757
34	100	0,15	0,9	81	2,324
35	100	0,15	1,2	79	2,216
36	100	0,15	1,5	87	2,149
37	120	0,11	0,9	71	1,738
38	120	0,11	1,2	84	1,775
39	120	0,11	1,5	87	1,714
40	120	0,15	0,9	79	2,233
41	120	0,15	1,2	84	2,083
42	120	0,15	1,5	81	2,053
43	140	0,11	0,9	70	1,63
44	140	0,11	1,2	87	1,749
45	140	0,11	1,5	89	1,785
46	140	0,15	0,9	79	2,476
47	140	0,15	1,2	81	2,246
48	140	0,15	1,5	89	2,109
49	160	0,11	0,9	70	1,785
50	160	0,11	1,2	90	1,798
51	160	0,11	1,5	90	1,645
52	160	0,15	0,9	81	2,432
53	160	0,15	1,2	87	2,15
54	160	0,15	1,5	95	2,177
55	180	0,11	0,9	79	1,601
56	180	0,11	1,2	87	1,526
57	180	0,11	1,5	92	1,625
58	180	0,15	0,9	84	2,283
59	180	0,15	1,2	87	2,048
60	180	0,15	1,5	100	2,103

Tablo 4.3'te DCMT 11 T3 04 MF KCM 15 takımıyla yapılan işlemlerden elde edilen aşınma ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri verilmiştir. Bu kesici uçta 0,11 mm/dev ilerleme değerinde talaş deney numunesine sarılmıştır ve sonrasında vorteks tüpe temas ederek yönünü değiştirmiştir. Bu nedenle 0,11 mm/dev ilerleme değerindeki deneyler gerçekleştirilmemiştir.

Tablo 4.3: DCMT 11 T3 04 MF KCM 15 takımıyla yapılan deneyler

Deney No	Kesme Hızı (v_c) [m/dk]	İlerleme (f) [mm/dev]	Paso (a_p) [mm]	Aşınma (V_B) [μm]	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) [μm]
61	100	0,11	0,9	109	1,861
62	100	0,11	1,2	122	1,341
63	100	0,15	0,9	84	2,117
64	100	0,15	1,2	60	2,096
65	100	0,15	1,5	54	2,081
66	120	0,15	0,9	92	2,082
67	120	0,15	1,2	81	2,124
68	120	0,15	1,5	70	2
69	140	0,15	0,9	100	1,999
70	140	0,15	1,2	90	1,996
71	140	0,15	1,5	100	1,913
72	160	0,15	0,9	108	1,95
73	160	0,15	1,2	106	1,991
74	160	0,15	1,5	106	1,798
75	180	0,15	0,9	111	2,085
76	180	0,15	1,2	108	1,996
77	180	0,15	1,5	108	1,777

Tablo 4.4'te DCMT 11 T3 04 M3 TM 1501 takımıyla yapılan işlemlerden elde edilen aşınma ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4: DCMT 11 T3 04 M3 TM 1501 takımıyla yapılan deneyler

Deney No	Kesme Hızı (v_c) [m/dk]	İlerleme (f) [mm/dev]	Paso (a_p) [mm]	Aşınma (V_B) [μm]	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) [μm]
78	100	0,11	0,9	46	1,825
79	100	0,11	1,2	57	1,529
80	100	0,11	1,5	76	1,444
81	100	0,15	0,9	49	2,384
82	100	0,15	1,2	65	2,186
83	100	0,15	1,5	54	2,187
84	120	0,11	0,9	70	1,707
85	120	0,11	1,2	57	1,598
86	120	0,11	1,5	79	1,708
87	120	0,15	0,9	51	2,265
88	120	0,15	1,2	46	2,104
89	120	0,15	1,5	52	2,259
90	140	0,11	0,9	70	1,704
91	140	0,11	1,2	60	1,561
92	140	0,11	1,5	81	1,577
93	140	0,15	0,9	49	2,332
94	140	0,15	1,2	49	2,18
95	140	0,15	1,5	54	2,213
96	160	0,11	0,9	73	1,45
97	160	0,11	1,2	76	1,534
98	160	0,11	1,5	73	1,531
99	160	0,15	0,9	51	2,35
100	160	0,15	1,2	65	2,236
101	160	0,15	1,5	62	2,047
102	180	0,11	0,9	46	1,768
103	180	0,11	1,2	62	1,655
104	180	0,11	1,5	84	1,511
105	180	0,15	0,9	62	2,228
106	180	0,15	1,2	76	2,037
107	180	0,15	1,5	84	2,017

Tablo 4.5'te DCMT 11 T3 04 M3 TM 2501 takımıyla yapılan işlemlerden elde edilen aşınma ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerleri verilmiştir.

Tablo 4.5: DCMT 11 T3 04 M3 TM 2501 takımıyla yapılan deneyler

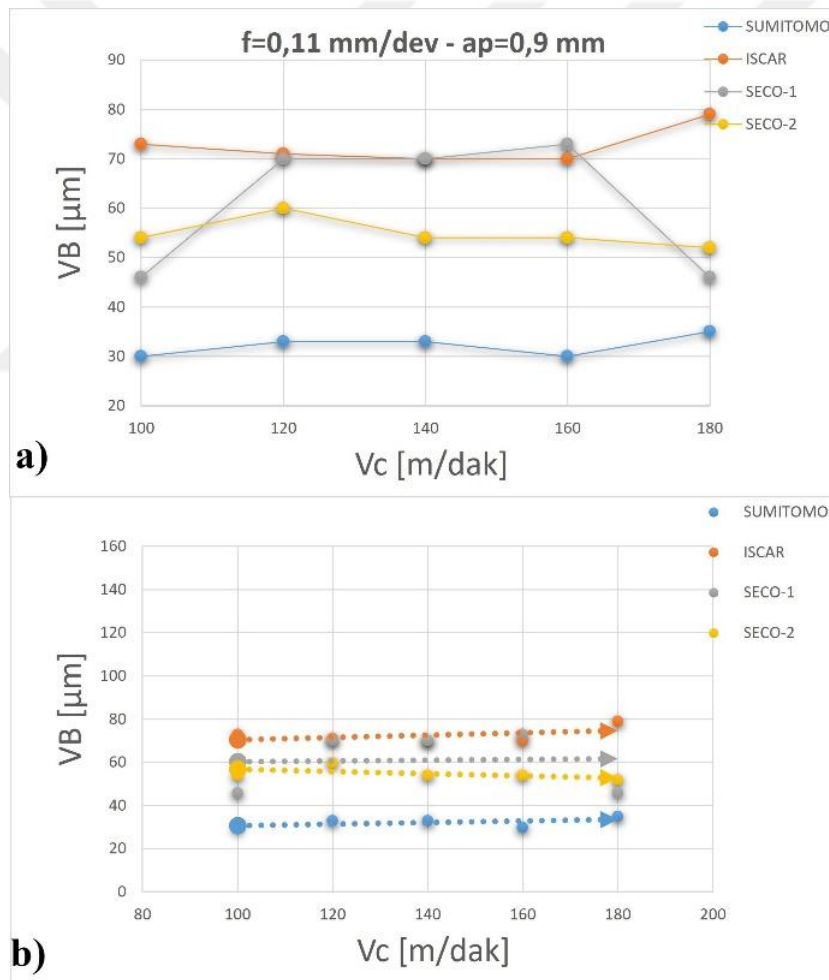
Deney No	Kesme Hızı (v_c) [m/dk]	İlerleme (f) [mm/dev]	Paso (a_p) [mm]	Aşınma (V_B) [μm]	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) [μm]
108	100	0,11	0,9	54	1,817
109	100	0,11	1,2	81	1,888
110	100	0,11	1,5	54	1,65
111	100	0,15	0,9	62	2,188
112	100	0,15	1,2	46	2,13
113	100	0,15	1,5	49	1,911
114	120	0,11	0,9	60	2,005
115	120	0,11	1,2	84	1,812
116	120	0,11	1,5	57	1,661
117	120	0,15	0,9	62	2,043
118	120	0,15	1,2	76	1,927
119	120	0,15	1,5	54	1,853
120	140	0,11	0,9	54	1,911
121	140	0,11	1,2	76	1,863
122	140	0,11	1,5	60	1,692
123	140	0,15	0,9	73	2,012
124	140	0,15	1,2	54	2,106
125	140	0,15	1,5	52	1,787
126	160	0,11	0,9	54	1,856
127	160	0,11	1,2	87	1,81
128	160	0,11	1,5	79	1,688
129	160	0,15	0,9	79	2,076
130	160	0,15	1,2	54	1,927
131	160	0,15	1,5	54	1,809
132	180	0,11	0,9	52	1,859
133	180	0,11	1,2	76	1,663
134	180	0,11	1,5	70	1,597
135	180	0,15	0,9	76	1,998
136	180	0,15	1,2	57	2,015
137	180	0,15	1,5	57	1,765

4.1 Kesme Hızı – Aşınma Grafikleri

Tezgah ve kesici ucun uygun değerlerine bağlı olarak kesme hızının artması durumunda kesici uça oluşan aşınmalar da genellikle artmaktadır.

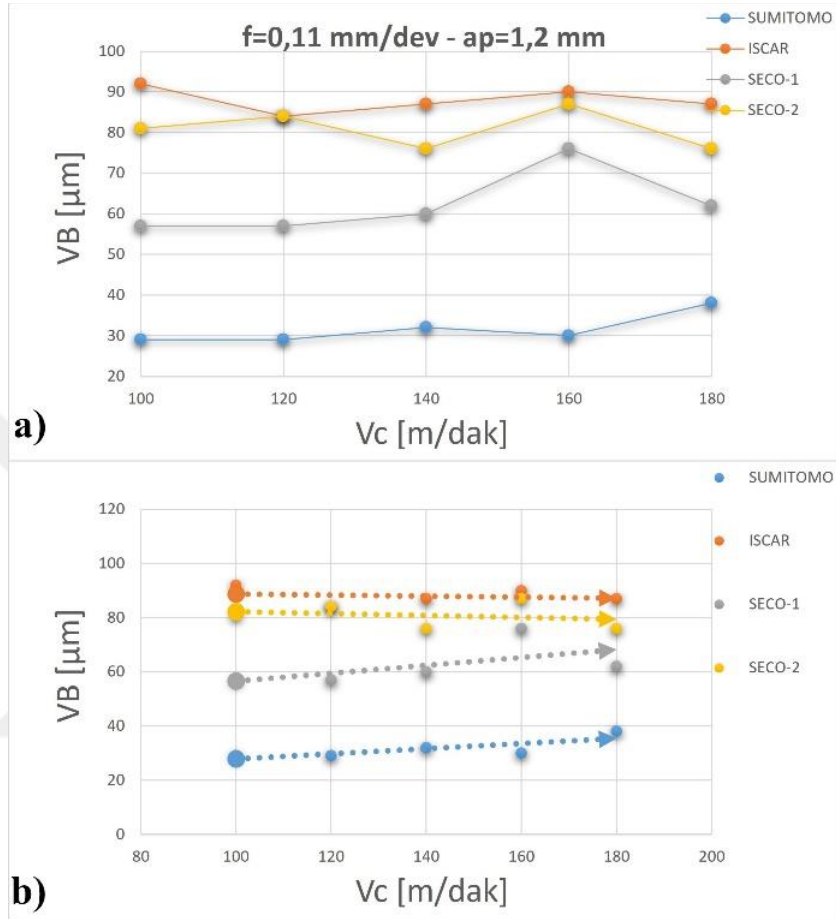
Yapılan deneylerin sonuçları ayrı ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Deney sonuçları gerek talaşlı imalatı etkileyen dış faktörlerin çok oluşu gerekse ölçüm cihazlarının tolerans aralıklarından dolayı dalgalanmalar göstermiştir.

Şekil 4.1’de deney sonuçlarının 0,11 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 0,9 mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık aşınma değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde genelinin kesme hızının artmasıyla aşınmaların arttığı görülmüştür.



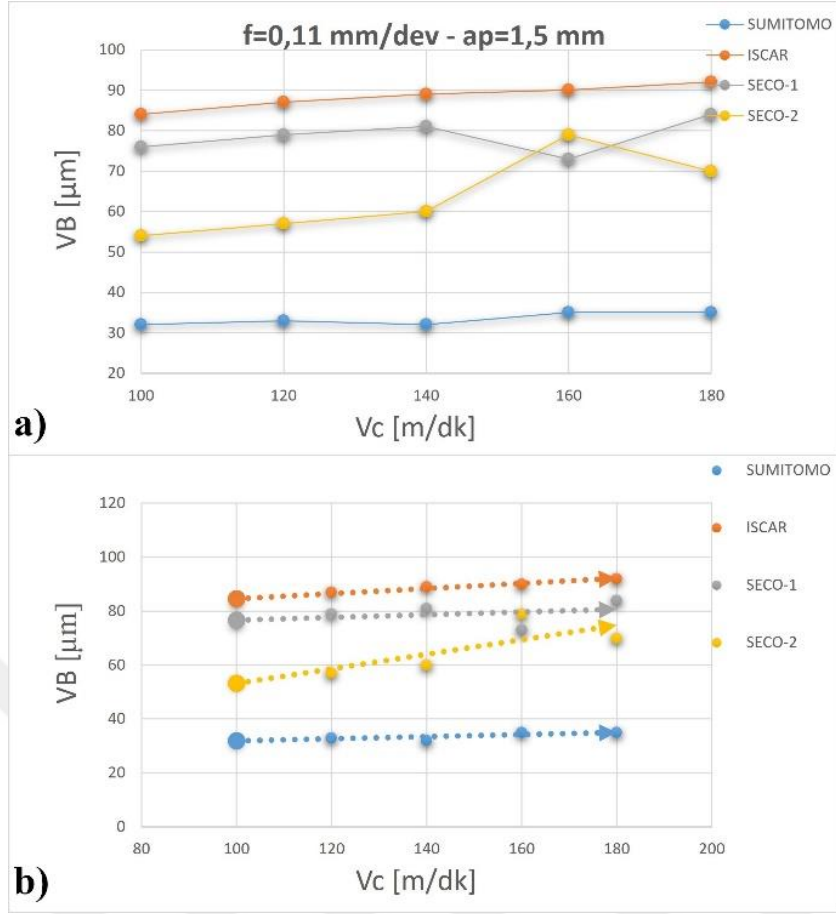
Şekil 4.1: Farklı kesici uçlara ait; (f=0,11 mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.2’de deney sonuçlarının 0,11 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 1,2 mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık aşınma değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde genelinin kesme hızının artmasıyla aşınmaların arttığı görülmüştür.



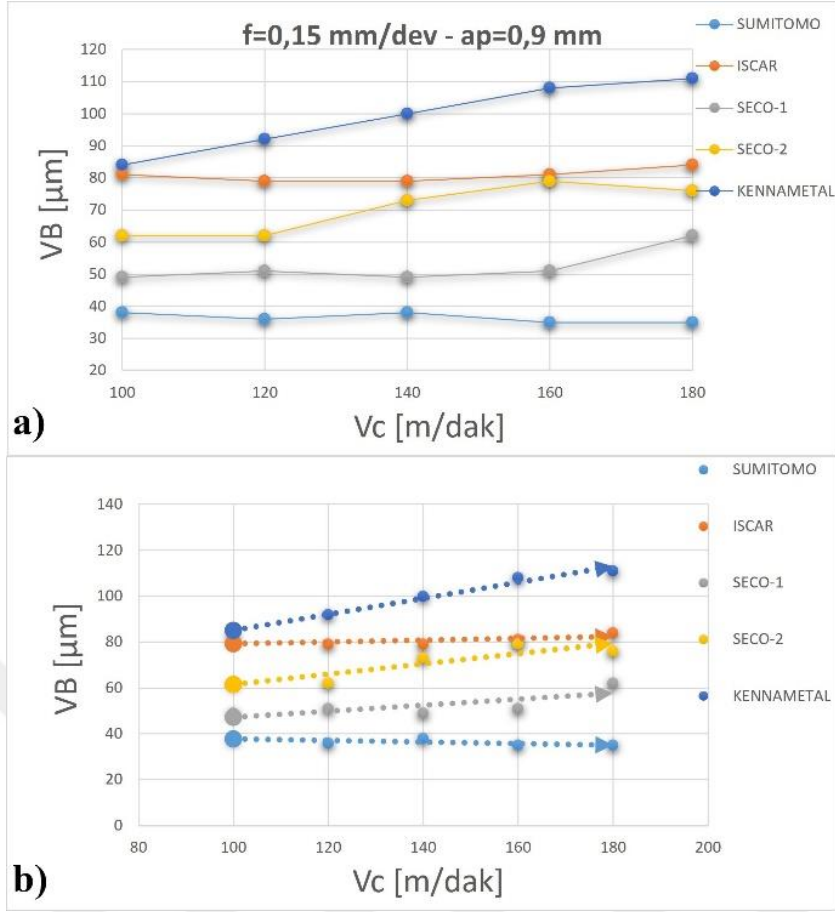
Şekil 4.2: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.3’te deney sonuçlarının 0,11 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 1,5 mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık aşınma değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde hepsinde kesme hızının artmasıyla aşınmaların arttığı görülmüştür.



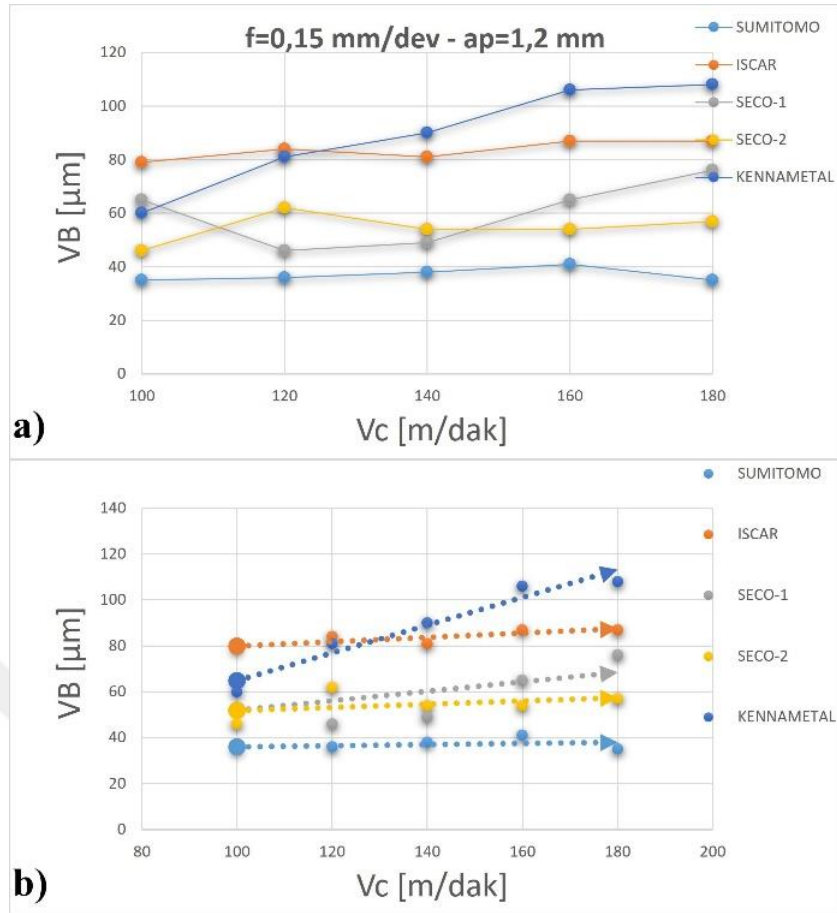
Şekil 4.3: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.4'te deney sonuçlarının $0,15$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $0,9$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık aşınma değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde genelinin kesme hızının artmasıyla aşınmaların arttığı görülmüştür.



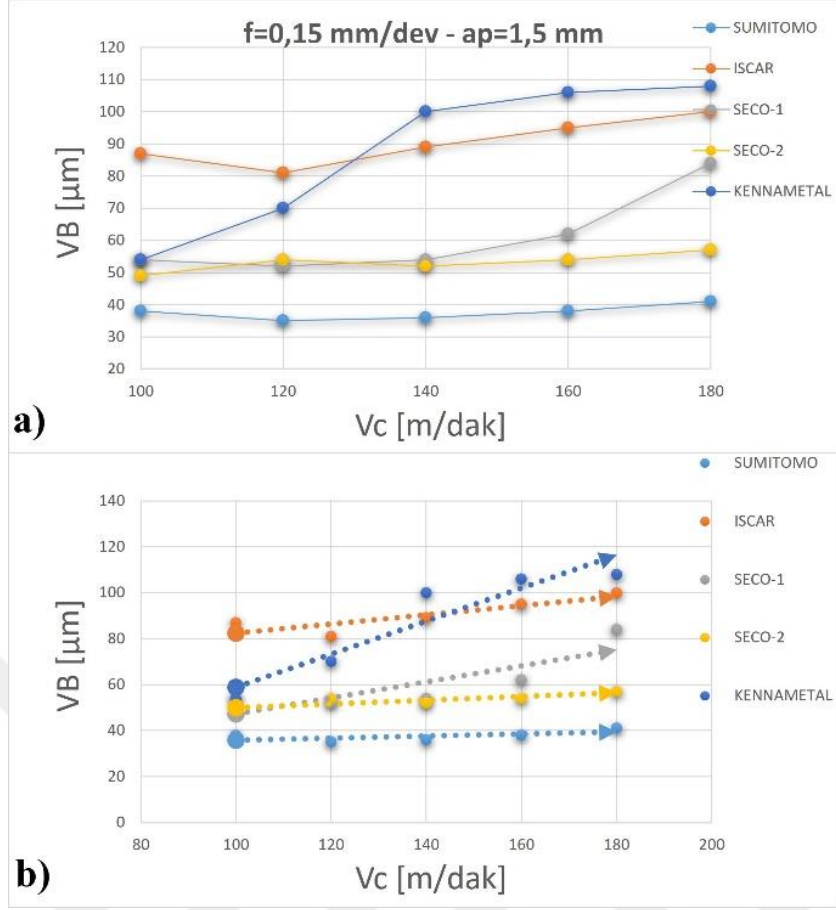
Şekil 4.4: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.5’de deney sonuçlarının $0,15$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $1,2$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık aşınma değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde hepsinde kesme hızının artmasıyla aşınmaların arttığı görülmüştür.



Şekil 4.5: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.6'da deney sonuçlarının $0,15$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $1,5$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık aşınma değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde hepsinde kesme hızının artmasıyla aşınmaların arttığı görülmüştür.



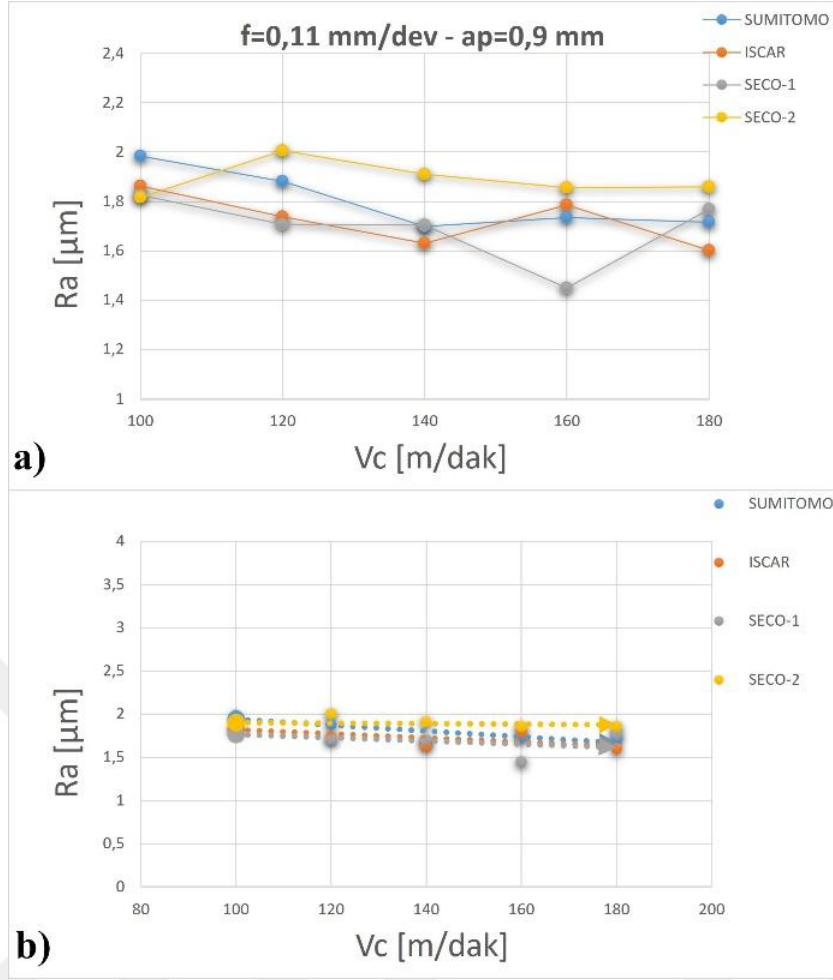
Şekil 4.6: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Aşınma grafiği, b) Eğilim grafiği

Kesme hızının artmasıyla aşınma artışı olmuştur. Deney sonuçlarının da literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür [39, 48, 78, 79].

4.2 Kesme Hızı – Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri

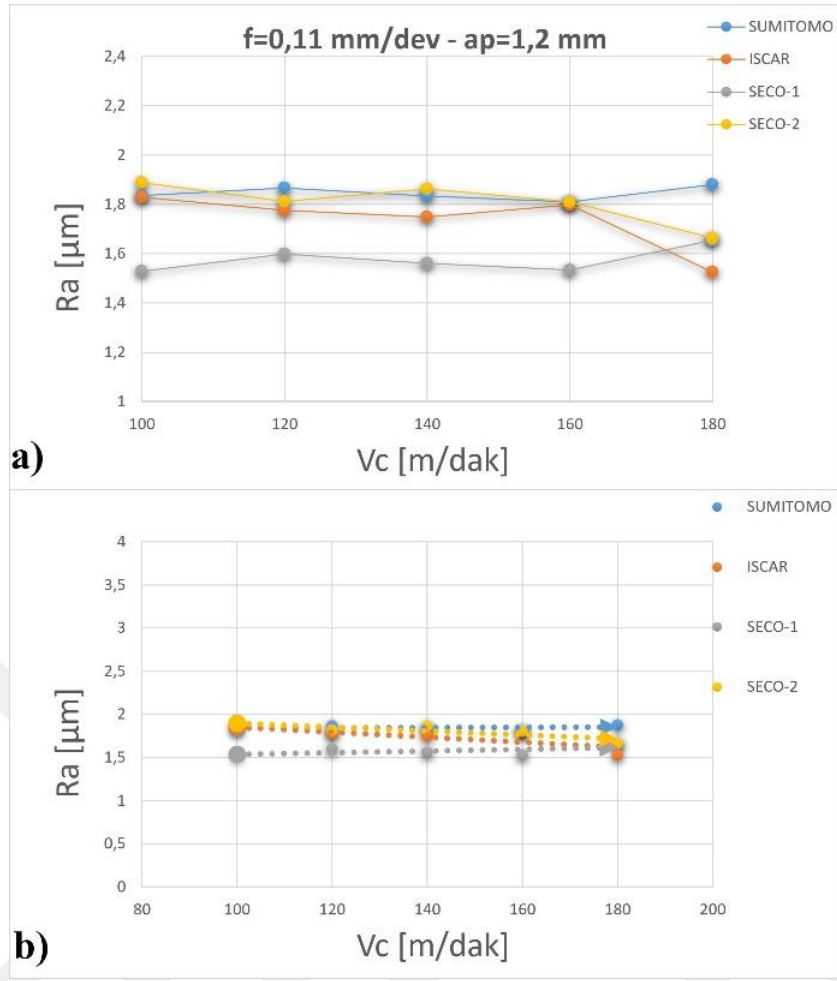
Genellikle kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü arasında ters orantı vardır. Belirli bir değerin üzerine kesme hızı çıktığında sistemin doğal frekansı ve titreşiminin önemi azalır. Bu durumda da daha kaliteli bir yüzeye ulaşılır [78].

Şekil 4.7’de deney sonuçlarının 0,11 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 0,9 mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde hepsinde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüklerinin de azaldığı görülmüştür.



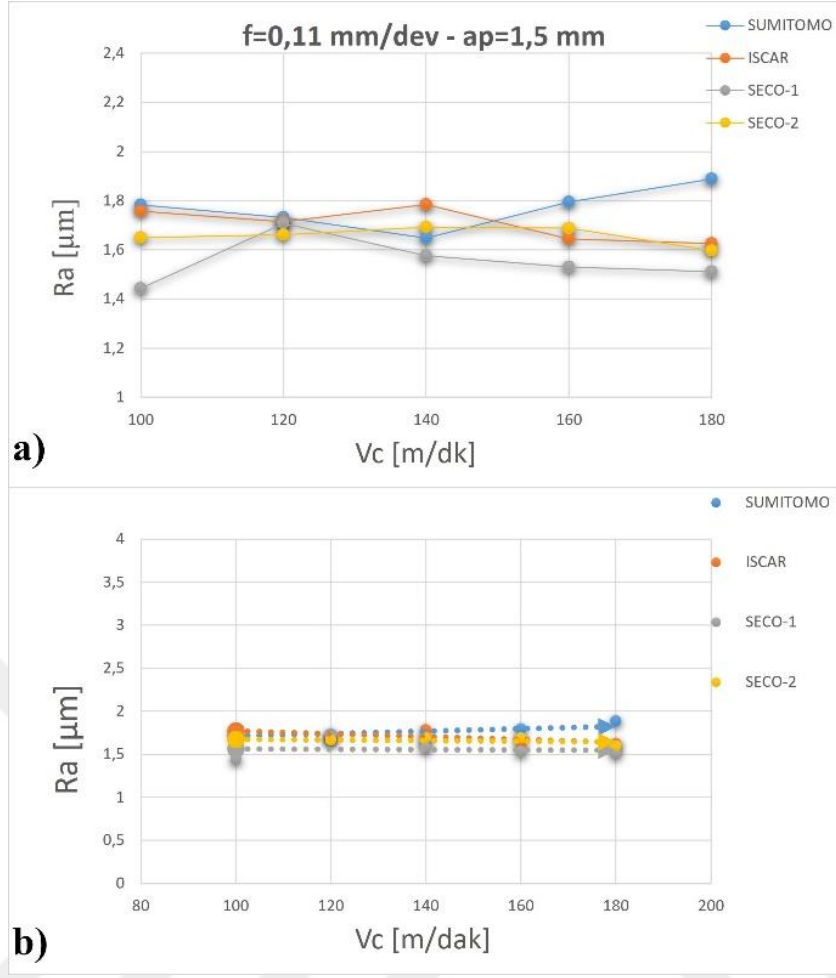
Şekil 4.7: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.8’de deney sonuçlarının $0,11$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $1,2$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde genelde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüklerinin de azaldığı görülmüştür.



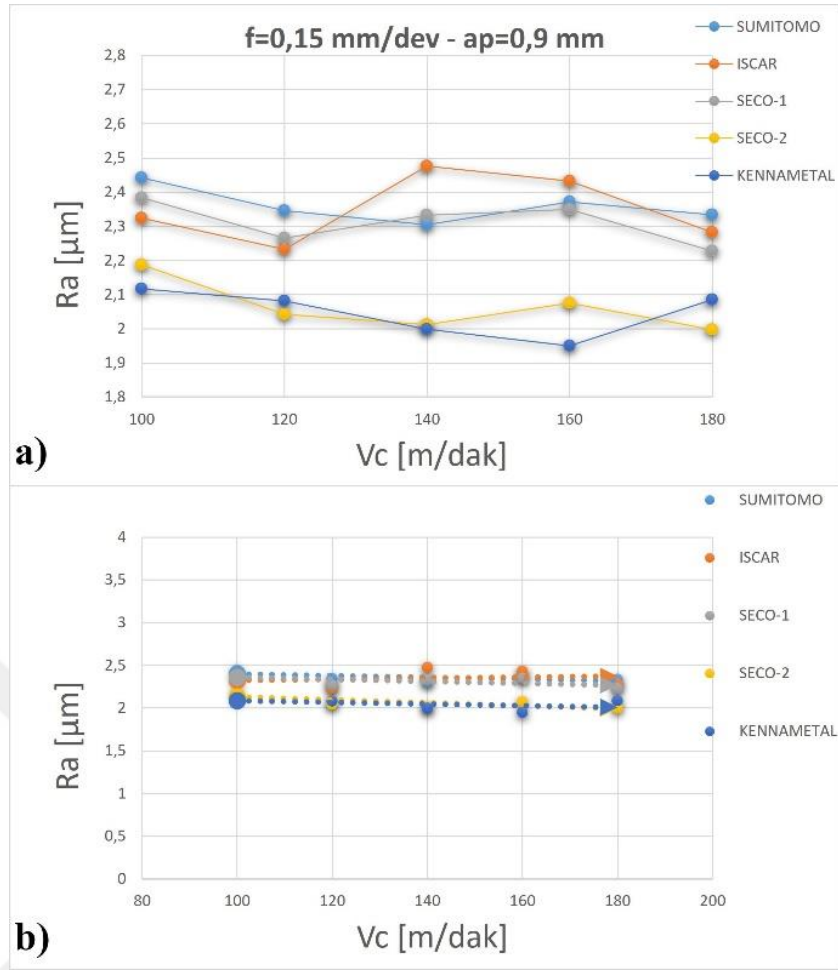
Şekil 4.8: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.9’da deney sonuçlarının $0,11$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $1,5$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde genelde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüklerinin de azaldığı görülmüştür.



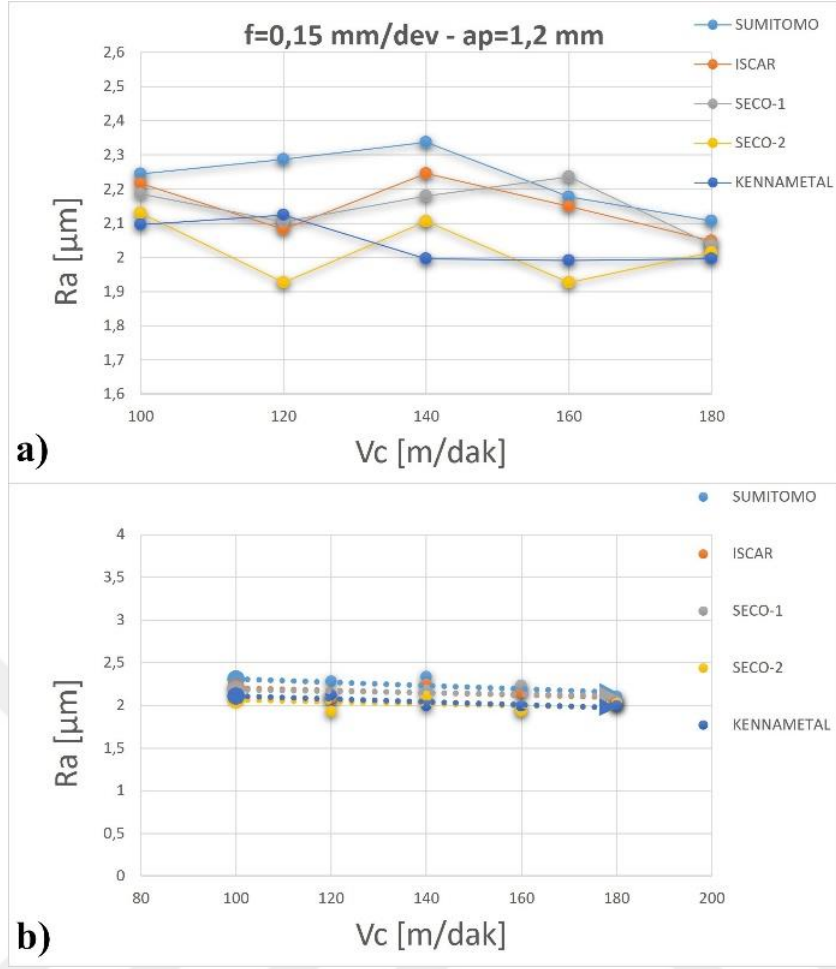
Şekil 4.9: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,11$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.10'da deney sonuçlarının $0,15$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $0,9$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde genelde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüklerinin de azaldığı görülmüştür.



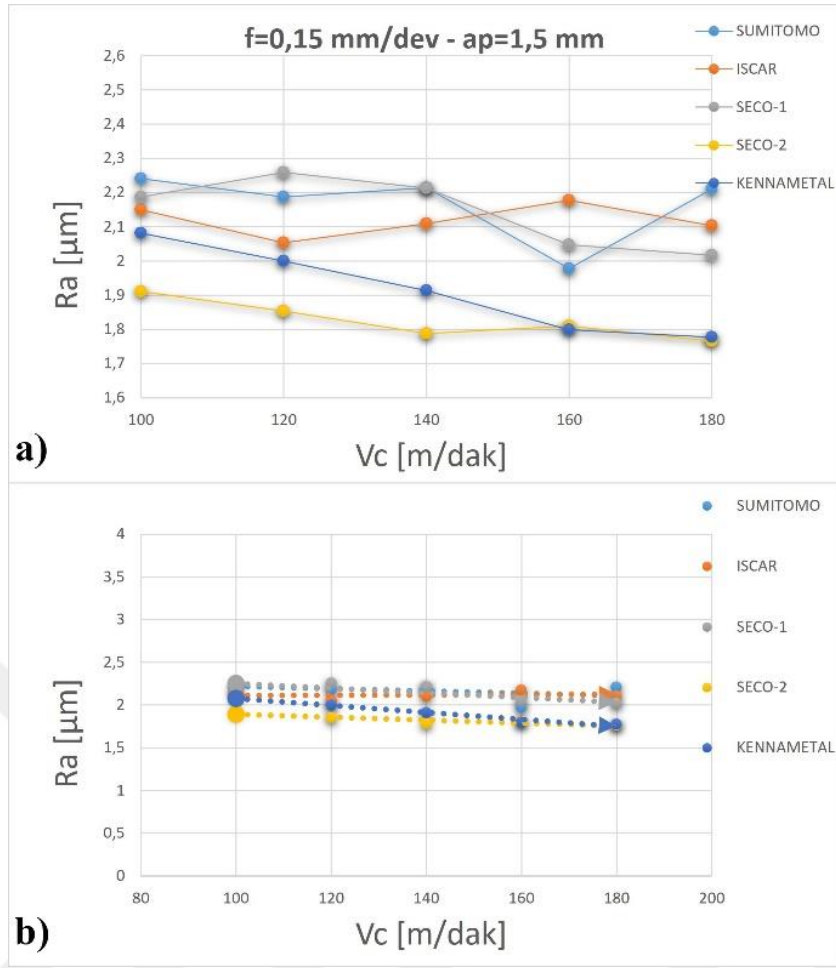
Şekil 4.10: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=0,9$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.11'de deney sonuçlarının $0,15$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $1,2$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde hepsinde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüklerinin de azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.11: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,2$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği

Şekil 4.12’de deney sonuçlarının $0,15$ mm/dev ilerleme değerlerinde ve $1,5$ mm paso değerlerindeki değişen kesme hızına karşılık yüzey pürüzlülüğü değerleri verilmiştir. Eğilim grafikleri incelendiğinde hepsinde kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüklerinin de azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.12: Farklı kesici uçlara ait; ($f=0,15$ mm/dev ve $a_p=1,5$ mm) a) Kesme hızı-Yüzey pürüzlülüğü grafiği, b) Eğilim grafiği

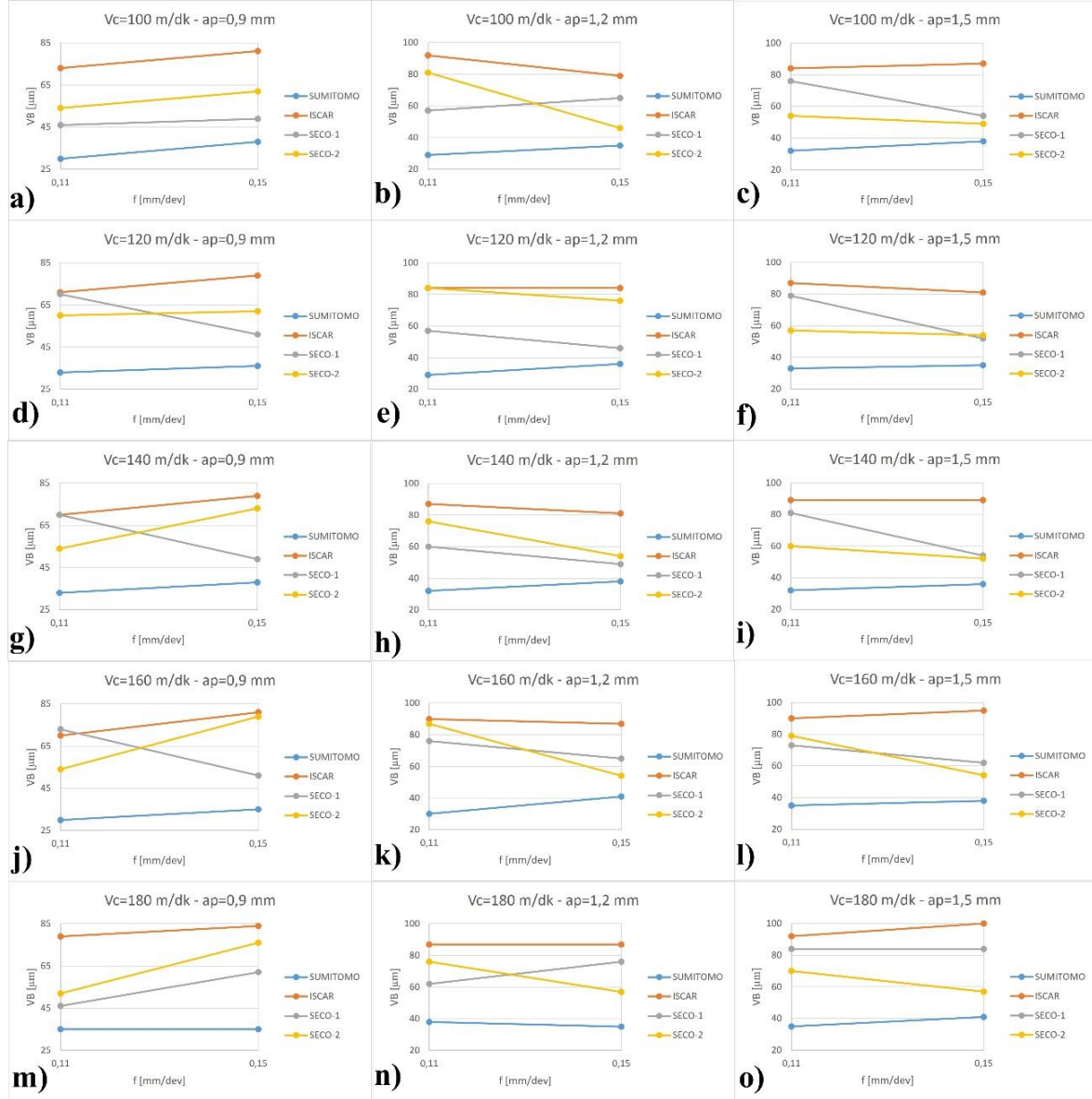
Kesme hızındaki artış genelde yüzey pürüzlülüğünün azalmasına sebep olmuştur. Bu durum da deney sonuçları literatür ile karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmüştür [53, 81, 82].

4.3 İlerleme – Aşınma Grafikleri

Tezgah ve kesici ucun uygun değerlerine bağlı olarak ilerlemenin artması durumunda kesici uçta oluşan aşınmalar da genellikle artmaktadır.

Yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4.13’de ayrı ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Deney sonuçları talaşlı imalatı etkileyen dış faktörlerin çok olduğundan, ölçüm cihazlarının hassasiyetinden veya deney tekrarlarının yapılmamış olmasından dolayı ilerlemenin artmasıyla aşınmanın da her deneyde artması söz konusu olmamıştır. İki farklı ilerleme

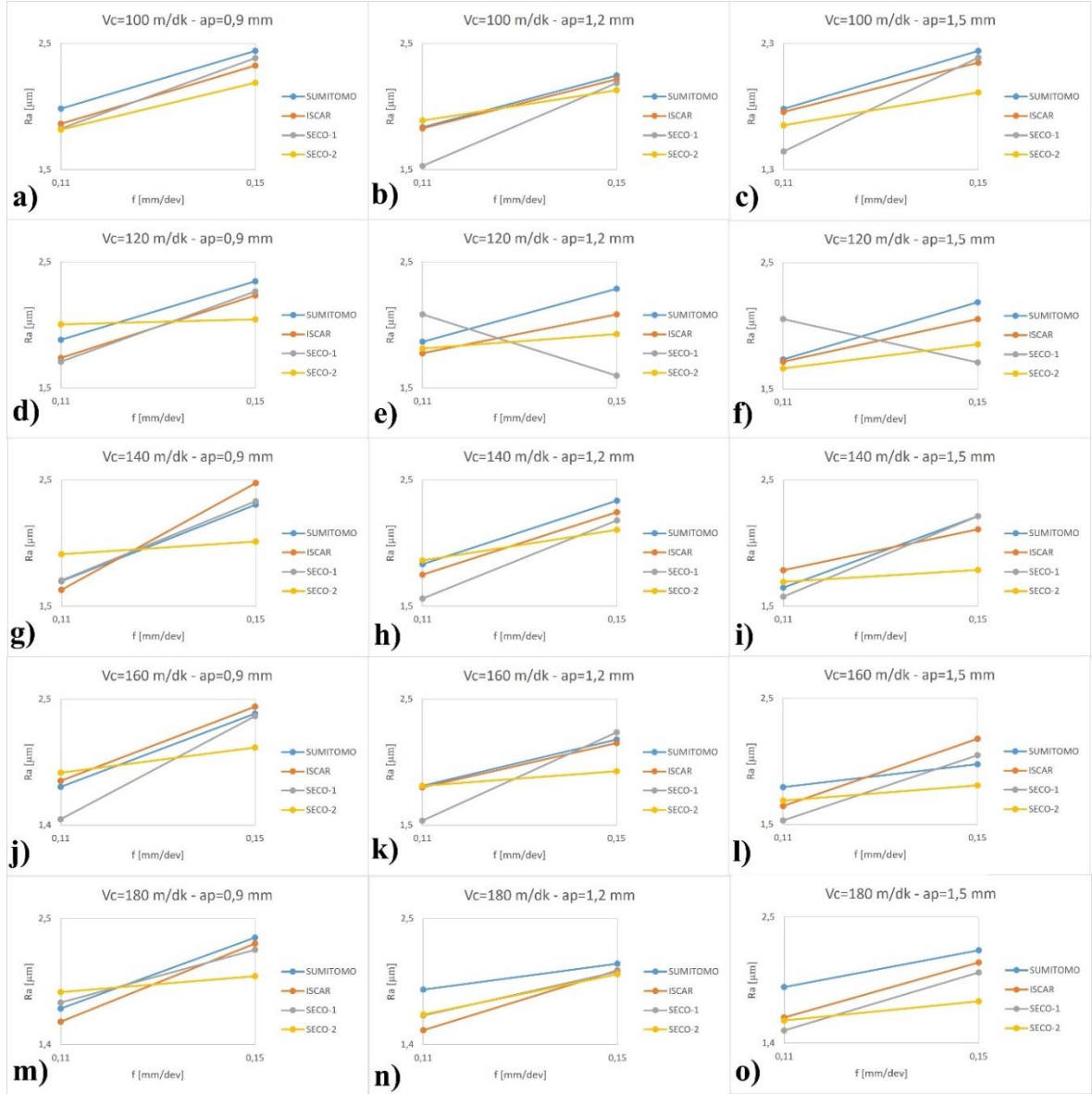
değerinin olması iki nokta göstermektedir. Bu durumda ara noktalarda şartı sağlayacakken ara noktaların olmaması grafik çizimlerinde arzulanan sonuçları göstermeyebilmektedir.



Şekil 4.13: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve paso değerlerinde, İlerleme-Aşınma grafikleri

4.4 İlerleme – Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri

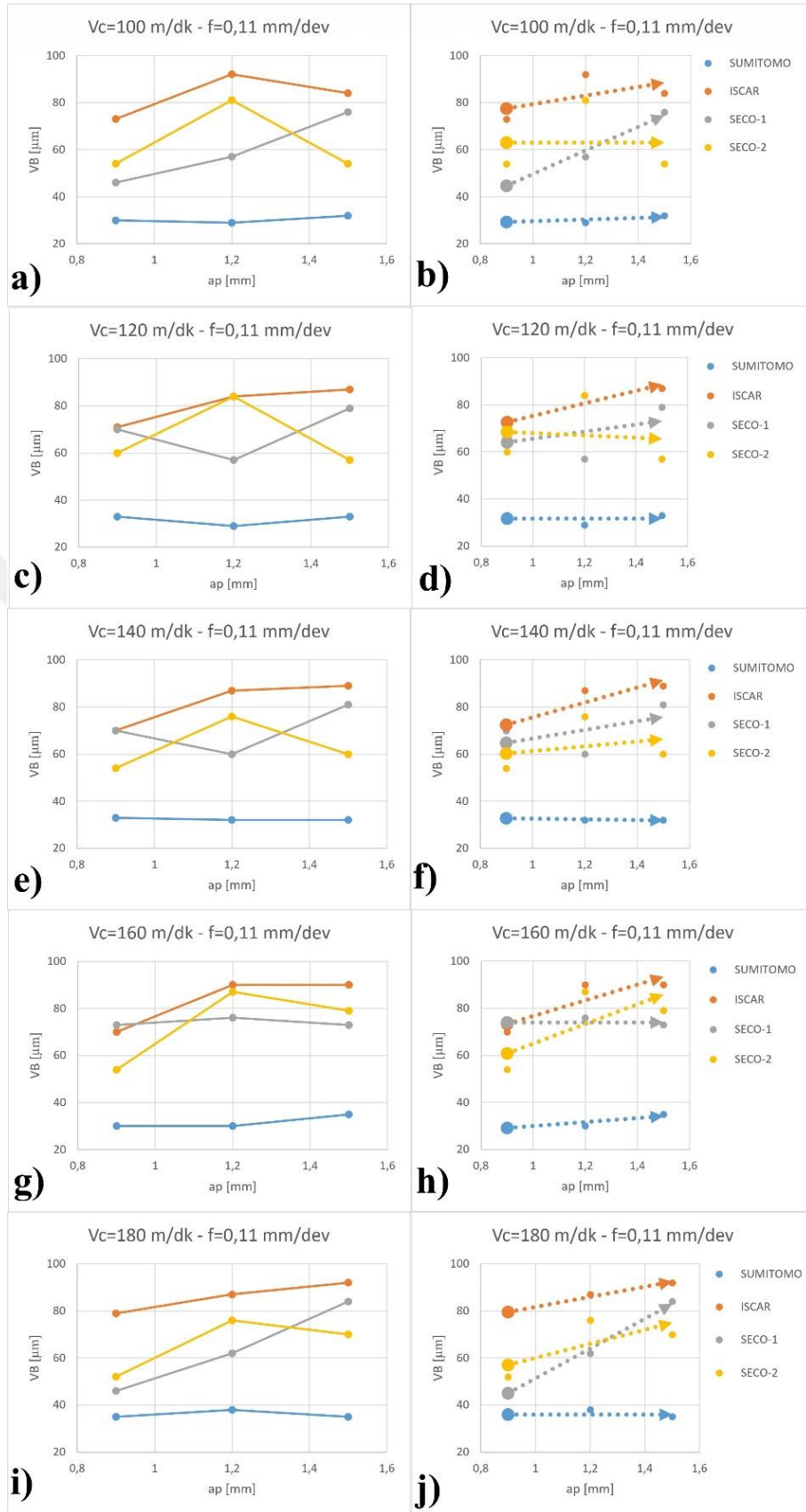
Belirlenen kesme parametreleriyle yapılan deneyler sonucunda Şekil 4.14'te de görüldüğü üzere ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğün de artmıştır. Deney sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu da görülmüştür [42, 56, 81].



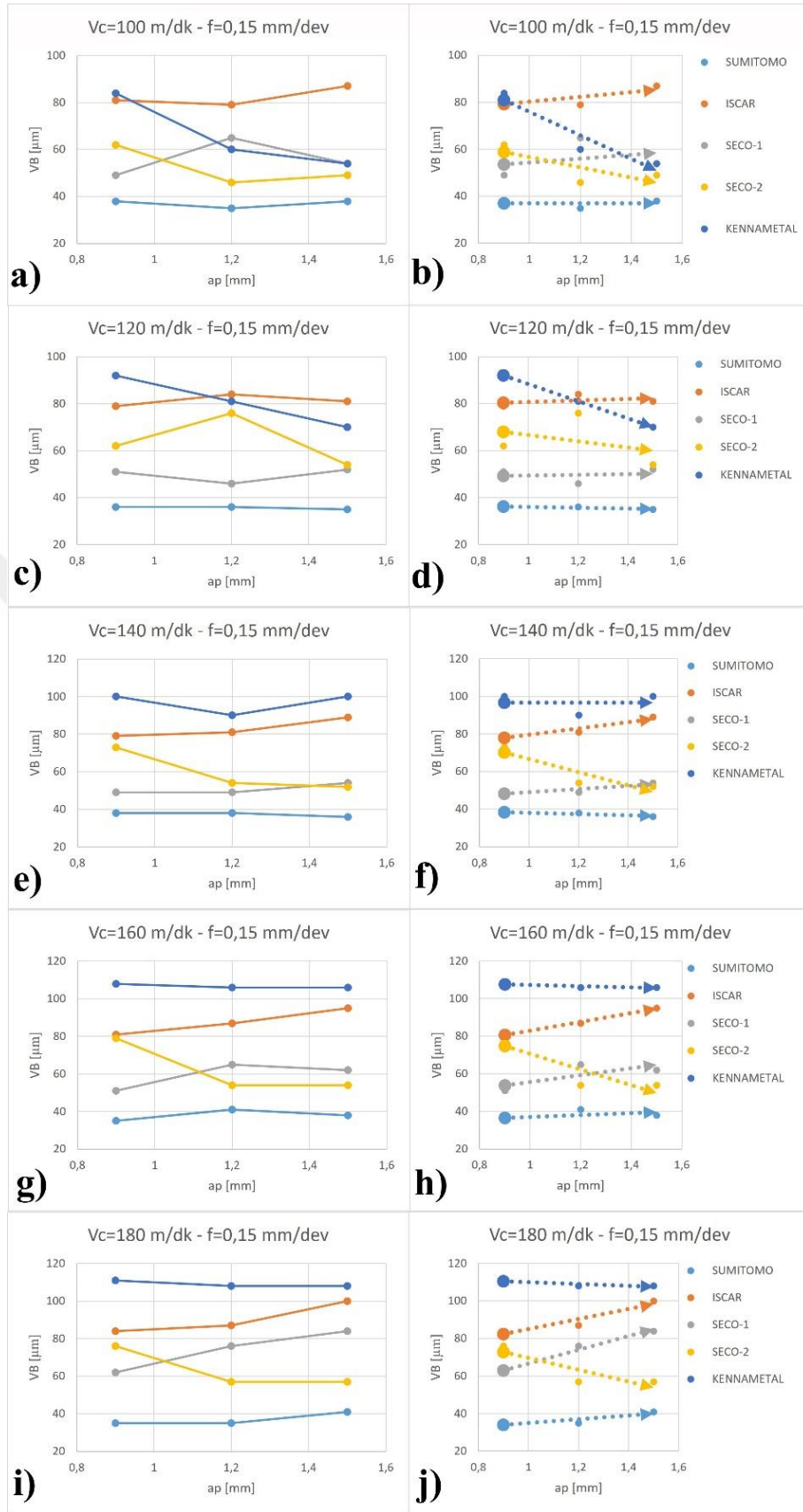
Şekil 4.14: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve paso değerlerinde, İlerleme-Yüzey Pürüzlülüğü grafikleri

4.5 Paso – Aşınma Grafikleri

Belirlenen kesme parametreleriyle yapılan deneyler sonucunda kesme derinliğinin artması halinde kesici uçta oluşan aşınmaların da arttığı ancak kesme derinliğinin aşınma üzerine etkisi kesme hızı ve ilerlemeye göre daha az olduğu değerlendirilmiştir. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 incelendiğinde kesme derinliğinin artmasıyla aşınmalarda genel bir artış olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu da görülmüştür [81].



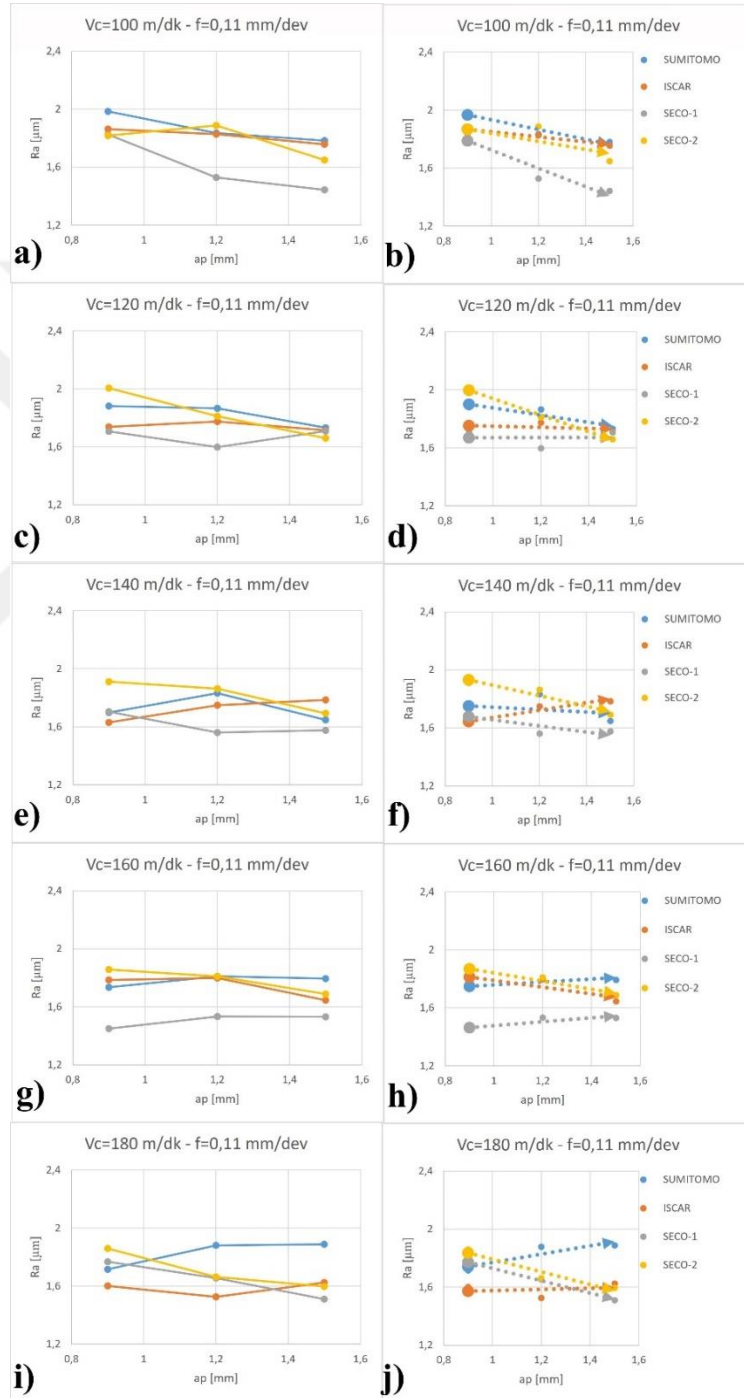
Şekil 4.15: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,11 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Aşınma grafikleri



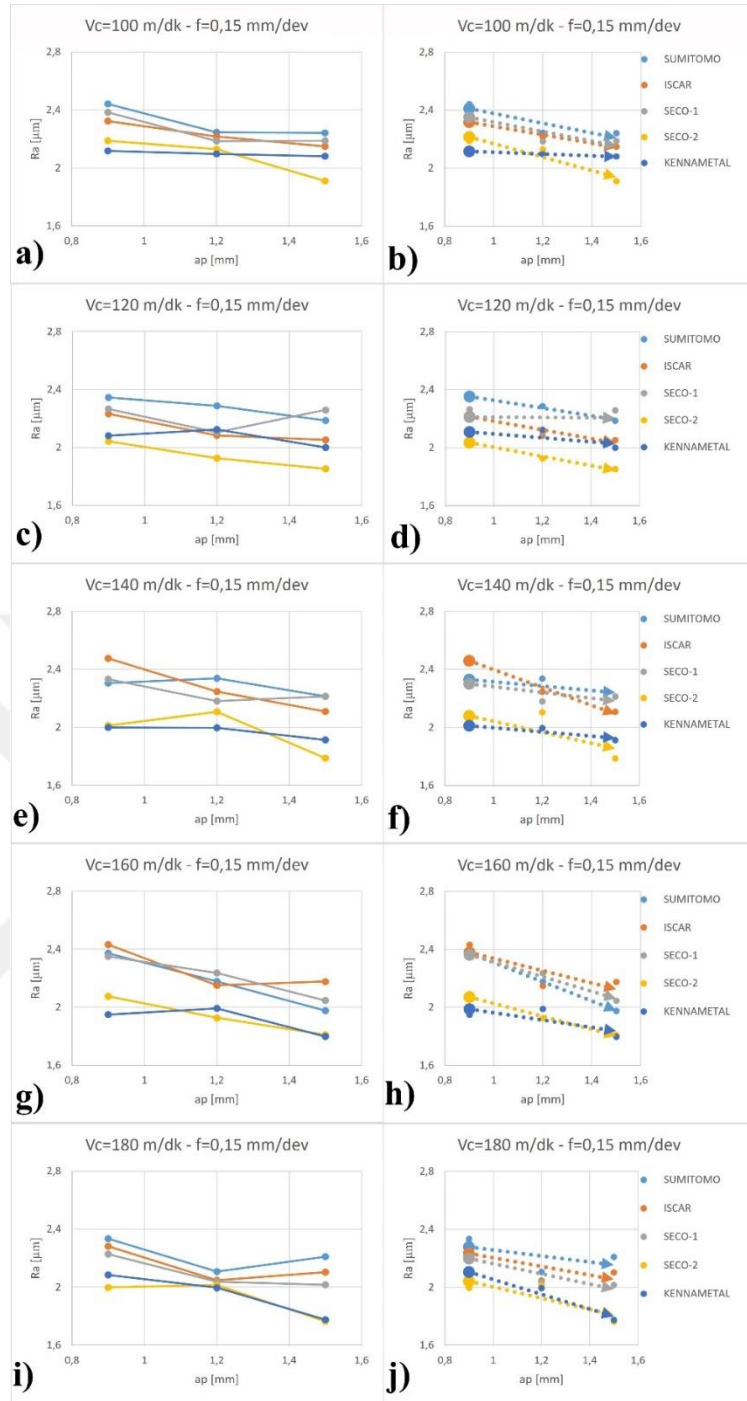
Şekil 4.16: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,15 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Aşınma grafikleri

4.6 Paso – Yüzey Pürüzlülüğü Grafikleri

Belirlenen kesme parametreleriyle yapılan deneyler sonucunda pasonun artması durumunda yüzey pürüzlülüğü üzerinde az etkiye sahip olduğu görülmektedir. Pasonun etkisi diğer parametrelere göre oldukça azdır. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 incelendiğinde pasonun armasıyla yüzey pürüzlülüklerinin üzerinde az etkiye sahip olduğu ve deney sonuçlarının da literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür [82].



Şekil 4.17: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,11 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Yüzey pürüzlülüğü grafikleri



Şekil 4.18: Farklı kesici uçlara ait; farklı kesme hızı ve sabit 0,15 mm/dev ilerleme değerinde, Paso-Yüzey pürüzlülüğü grafikleri

4.7 Taguchi Yöntemi

Giriş parametresi olarak verilen beş farklı kesici takım, beş farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme ve üç farklı pasoda aşınma ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarını ayrı ayrı optimize

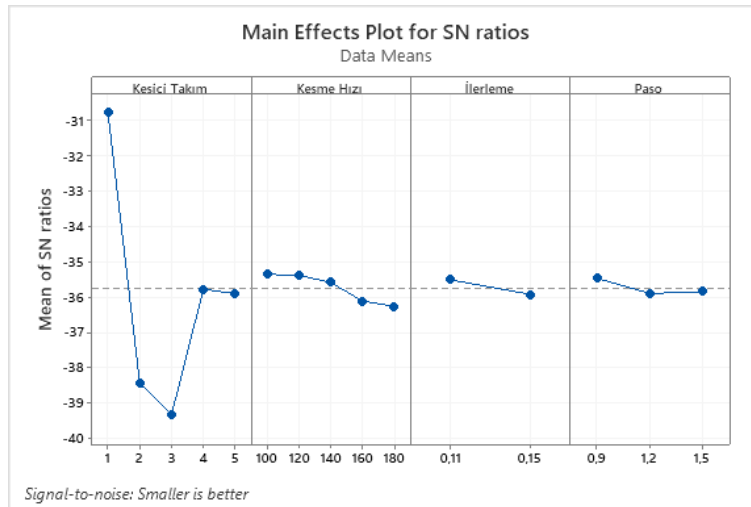
etmek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yöntemi maliyeti azaltmak için deney tasarımı yapmakta ve optimizasyon işlemi gerçekleştirmektedir [83].

Bu tez çalışmasında tam faktöriyel çalışıldığı için Taguchi yöntemi deney tasarımı için değil, yalnızca optimizasyon için kullanılmıştır. Optimizasyon çalışması Taguchi yönteminde ayrı ayrı yapılmaktadır. Çalışmanın amacına yönelik aşınma ve yüzey pürüzlülüğünün minimum olması istenmekte olduğu için “en küçük en iyidir” ile işlem yapılmıştır. Sinyal gürültü oranları hesaplarında işlem en küçük en iyi olmasına rağmen en büyük oran seçilmektedir. Taguchi’de optimizasyon yaparken verilen giriş parametreleri dışında (ara değerler olmadan) optimum sonuçlar verilmemektedir.

Tablo 4.6’da aşınma ile ölçülen sonuçlar için sinyal gürültü oranları, Şekil 4.19’da da bu oranların etki grafiği verilmiştir. Oranlar incelenirken en büyük oranlar optimum sonuçları vermektedir.

Tablo 4.6: Aşınma için S/N oranı

En küçük en iyi				
Level	Kesici Takım	Kesme Hızı	İlerleme	Paso
1	-30,77	-35,35	-35,51	-35,46
2	-38,45	-35,38	-35,92	-35,90
3	-39,33	-35,58		-35,84
4	-35,77	-36,11		
5	-35,90	-36,26		
Delta	8,56	0,91	0,41	0,43
Rank	1	2	4	3



Şekil 4.19: Aşınma için S/N oranının etki grafiği

Tablo 4.6 ve Şekil 4.19 incelendiğinde her parametrenin birinci seviyesinin aşınma için en iyi sonuçları verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

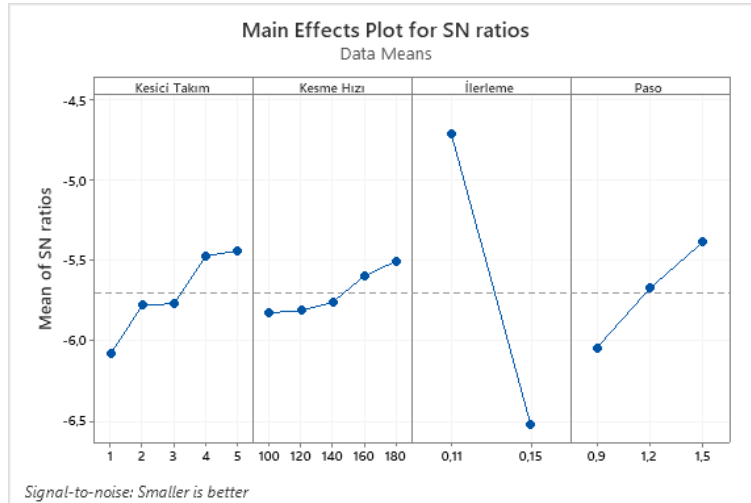
Tablo 4.7’de yüzey pürüzlülüğü ile ölçülen sinyal gürültü oranları verilmiştir. Oranlar incelenirken en büyük oranlar optimum sonuçları vermektedir.

Tablo 4.7 ve Şekil 4.20 incelendiğinde, kesici takımın dördüncü ve beşinci seviyelerinin yüzey pürüzlülüğü için iyi sonuçlar verdiği, bunlar arasından da beşincinin (SECO-2) en uygun olduğu, kesme hızı için beşinci seviyenin (180 m/dak), ilerleme için birinci seviyenin (0,11 mm/dev) ve paso için üçüncü seviyenin (1,5 mm) optimum sonuçlar vermiştir.

Tablo 4.7: Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranı

En küçük en iyi

Level	Kesici Takım	Kesme Hızı	İlerleme	Paso
1	-6,081	-5,827	-4,710	-6,044
2	-5,780	-5,813	-6,524	-5,675
3	-5,770	-5,762		-5,385
4	-5,471	-5,600		
5	-5,442	-5,506		
Delta	0,639	0,321	1,814	0,659
Rank	3	4	1	2



Şekil 4.20: Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranının etki grafiği

4.7.1 Taguchi Yöntemi İçin Varyans Analizi (ANOVA)

Deney sonuçları üzerinde giriş parametrelerinin etki oranlarını belirlemek için varyans analizi uygulanmıştır.

Tablo 4.8'de aşınma için ANOVA sonuçları verilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre aşınma sonucuna sırasıyla %76,73 oranında kesici takım, %2,38 oranında kesme hızı, %0,62 oranında ilerleme ve %0,55 oranında pasonun etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.8: Taguchi metodunda Aşınma için ANOVA

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi (DF)	Karelerin Regresyon toplamı (SeqSS)	Katkı (%)	F-Değeri	P-Değeri
Kesici Takım	4	53503,1	76,73%	123,22	0,000
Kesme Hızı	4	1660,4	2,38%	3,88	0,005
İlerleme	1	434,1	0,62%	4,01	0,047
Paso	2	382,1	0,55%	1,74	0,180
Hata	125	13750,9	19,72%		
Toplam	136	69730,6	100,00%		

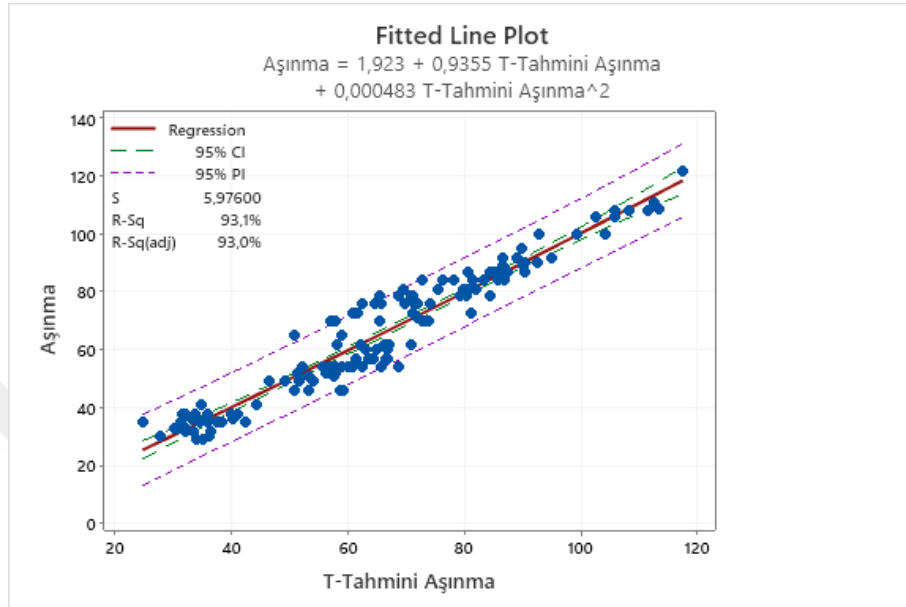
Tablo 4.9'da yüzey pürüzlülüğü için ANOVA sonuçları verilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü sonucuna sırasıyla %67,75 oranında ilerleme, %6,57 oranında paso, %4,75 oranında kesici takım ve %1,29 oranında kesme hızının etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4.9: Taguchi metodunda Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi (DF)	Karelerin Regresyon toplamı (SeqSS)	Katkı (%)	F-Değeri	P-Değeri
Kesici Takım	4	0,4092	4,75%	14,53	0,000
Kesme Hızı	4	0,1111	1,29%	3,11	0,018
İlerleme	1	5,8305	67,75%	435,43	0,000
Paso	2	0,5658	6,57%	20,94	0,000
Error	125	1,6890	19,63%		
Total	136	8,6055	100,00%		

4.7.2 Taguchi için Regresyon Eşitliği

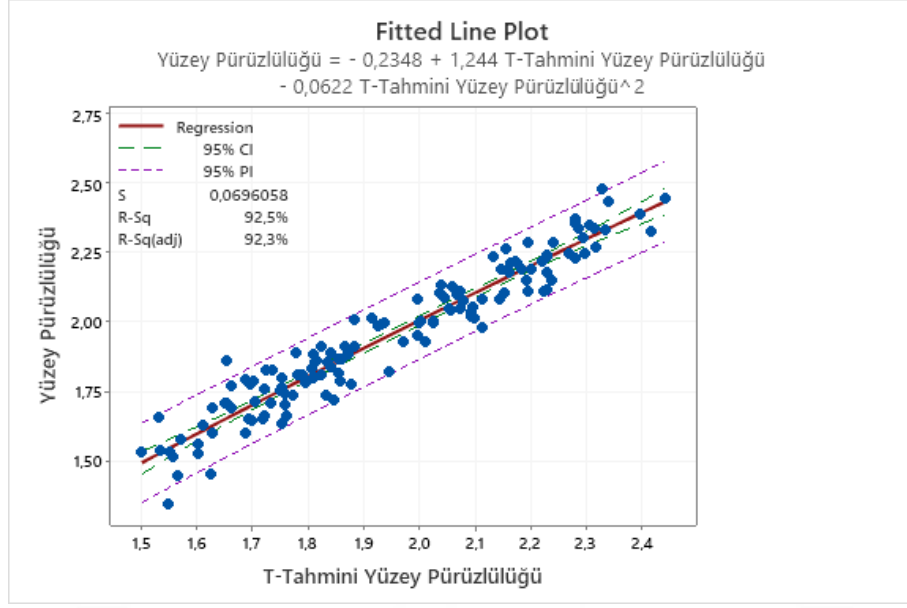
Deneyler sonucunda elde edilen aşınma ölçümleri ve Taguchi yöntemi kullanılarak elde edilen aşınma değerlerinin (T-Tahmini Aşınma) birbirlerini ne kadar doğrular yönde oldukları Şekil 4.21 yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.21: T-Tahmini Aşınma değeri ve ölçülmüş olan Aşınma değerlerinin regresyon grafiği

Şekil 4.21'deki grafik dört farklı giriş parametresi ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen aşınma değerlerinin gerçek değerleriyle, Taguchi yönteminin dört farklı giriş parametresini kullanarak vermiş olduğu tahmini aşınma değerlerini içermektedir. Elde edilen şartlı ortalamalar vasıtasıyla gözlemlerin regresyon çizgisine yaklaştığı dikkat çekmektedir. Bununla beraber incelenen deneylerin hemen hepsinin %95 güven aralığında %93 açıklama gücü içerisinde olduğu yapılan tahminin güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.

Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve Taguchi yöntemi kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin (T-Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü) birbirlerini ne kadar doğrular yönde oldukları Şekil 4.22 yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.22: T-Tahmini Yüzey pürüzlülüğü değeri ve ölçülmüş olan Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin regresyon grafiği

Şekil 4.22'deki grafik dört farklı giriş parametresi ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin gerçek değerleriyle, Taguchi yönteminin dört farklı giriş parametresini kullanarak vermiş olduğu tahmini yüzey pürüzlülüğü değerlerini içermektedir. Elde edilen şartlı ortalamalar vasıtasıyla gözlemlerin regresyon çizgisine yaklaştığı dikkat çekmektedir. Bununla beraber incelenen deneylerin hemen hepsinin %95 güven aralığında %92,3 açıklama gücü içerisinde olduğu yapılan tahminin güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.

4.8 Yanıt Yüzey Metodu

Giriş parametresi olarak verilen beş farklı kesici takım, beş farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme ve üç farklı pasoda aşınma ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarını ayrı ayrı ve bir arada optimize etmek için Yanıt Yüzey Metodu kullanılmıştır. Yanıt Yüzey Metodu, süreçlerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve optimize edilmesi için faydalı olan istatistiksel ve matematiksel tekniklerin birlikteliğidir [84].

Yanıt yüzey yönteminde Taguchi yönteminden farklı olarak ayrı ayrı optimizasyon sonucu verme ile bağımlı değişkenlerin hepsine aynı anda optimizasyon yaparak ara değerleri (yapılmayan deneyler) değerlendirerek sonuç verebilmektedir. Tez çalışmasının bu bölümünde bağımlı değerlerin ayrı ayrı ve birlikte optimum sonuçları verilmiştir. Taguchi

yönteminden farklı olarak kesici takımlar sürekli faktör şeklinde değil kategorileştirilerek işlemler yapılmıştır.

Tablo 4.10 ve Tablo 4.11’de yanıt yüzey metodunun aşınma için sonuçları verilmiştir. Çalışmalar %95 güven düzeyinde yapılmıştır.

Tablo 4.10: Yanıt yüzey metodu modelin aşınma için toplam özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
7,60543	90,71%	88,72%	85,84%

Modelin açıklama gücü incelendiğinde %85’in üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.11 incelendiğinde yanıt yüzey metoduna göre; deney sistematigi içinde aşınmayı en fazla etkileyen parametrenin kesici takım olduğu görülmektedir. Aşınma üzerinde %78 oranında kesici takım, %1,53 oranında kesme hızı, %0,25 oranında ilerleme ve %0,25 oranında pasonun etki ettiği görülmektedir. Buradan kesici takımın aşınma üzerinde optimum noktanın belirlenmesinde önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4.11: Yanıt yüzey metodunda Aşınma için ANOVA

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi (DF)	Karelerin Regresyon Toplamı (Seq SS)	Katkı (%)	F-Değeri	P-Değeri
Model	24	63252,2	90,71%	45,56	0,000
Linear	7	55804,5	80,03%	127,28	0,000
Kesme Hızı	1	1070,2	1,53%	50,61	0,000
İlerleme	1	172,6	0,25%	34,44	0,000
Paso	1	172,5	0,25%	4,85	0,030
Kesici Takım	4	54389,2	78,00%	214,27	0,000
Square	2	108,9	0,16%	0,78	0,460
Kesme Hızı*Kesme Hızı	1	4,7	0,01%	0,11	0,746
Paso*Paso	1	104,2	0,15%	1,46	0,230
2-Way Interaction	15	7338,8	10,52%	8,46	0,000
Kesme Hızı*İlerleme	1	851,8	1,22%	1,27	0,261
Kesme Hızı*Paso	1	328,9	0,47%	4,03	0,047
Kesme Hızı*Kesici Takım	4	827,7	1,19%	8,92	0,000
İlerleme*Paso	1	764,5	1,10%	10,72	0,001
İlerleme*Kesici Takım	4	3240,5	4,65%	12,60	0,000
Paso*Kesici Takım	4	1325,3	1,90%	5,73	0,000
Error	112	6478,4	9,29%		
Total	136	69730,6	100,00%		

Tablo 4.12’de yanıt yüzey metodu kullanılarak aşınma için regresyon denklemleri elde edilmiştir. Kesici takımlar kategorik olarak girildiği için her bir kesici uca göre farklı matematiksel modeller verilmiştir. Matematiksel model oluşturulurken de yalnızca bağımlı değişkelerin bağımsız değişkenlerle olan ilişkisi değil aynı zamanda bağımlı değişkenlerin birbirleri ile etkileşimlerinin etkileri de dikkate alınarak matematiksel modeller oluşturulmuştur.

Tablo 4.12: Yanıt yüzey metodunda Aşınma için regresyon denklemleri

Kesici Takım	Denklem
1	Aşınma = -33,5 - 0,284 Kesme Hızı + 471 İlerleme + 79,6 Paso - 0,000317 Kesme Hızı*Kesme Hızı - 18,5 Paso*Paso + 1,39 Kesme Hızı*İlerleme + 0,1888 Kesme Hızı*Paso - 459 İlerleme*Paso
2	Aşınma = -4,7 - 0,240 Kesme Hızı + 405 İlerleme + 98,7 Paso - 0,000317 Kesme Hızı*Kesme Hızı - 18,5 Paso*Paso + 1,39 Kesme Hızı*İlerleme + 0,1888 Kesme Hızı*Paso - 459 İlerleme*Paso
3	Aşınma = 141,2 + 0,213 Kesme Hızı - 714 İlerleme + 69,9 Paso - 0,000317 Kesme Hızı*Kesme Hızı - 18,5 Paso*Paso + 1,39 Kesme Hızı*İlerleme + 0,1888 Kesme Hızı*Paso - 459 İlerleme*Paso
4	Aşınma = -0,2 - 0,169 Kesme Hızı + 121 İlerleme + 99,6 Paso - 0,000317 Kesme Hızı*Kesme Hızı - 18,5 Paso*Paso + 1,39 Kesme Hızı*İlerleme + 0,1888 Kesme Hızı*Paso - 459 İlerleme*Paso
5	Aşınma = 34,1 - 0,236 Kesme Hızı + 201 İlerleme + 70,9 Paso - 0,000317 Kesme Hızı*Kesme Hızı - 18,5 Paso*Paso + 1,39 Kesme Hızı*İlerleme + 0,1888 Kesme Hızı*Paso - 459 İlerleme*Paso

Tablo 4.13’de yanıt yüzey metoduna göre aşınma için optimum işleme parametreleri birinci kesici takım (SUMITOMO), 180 m/dak kesme hızı, 0,11 mm/dev ilerleme ve 0,9 mm paso olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 4.13: Yanıt yüzey metodunun aşınma için optimizasyonu

Solution	Kesme Hızı	İlerleme	Paso	Kesici Takım
1	180	0,11	0,9	1

Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’de yanıt yüzey metodunun yüzey pürüzlülüğü için sonuçları verilmiştir. Çalışmalar %95 güven düzeyinde yapılmıştır.

Tablo 4.14: Yanıt yüzey metodu modelinin yüzey pürüzlülüğü için toplam özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0903088	89,39%	87,11%	80,08%

Modelin açıklama gücü incelendiğinde %80’in üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 4.15 incelendiğinde yanıt yüzey metoduna göre yüzey pürüzlülüğünü en fazla etkileyen parametrenin ilerleme olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde %63,67 oranında ilerleme, %9,14 oranında kesici takım, %6,28 oranında paso ve %1,21 oranında kesme hızının etki ettiği görülmektedir. Buradan ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerinde optimum noktanın belirlenmesinde önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4.15: Yanıt yüzey metodunda Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA

Kontrol Faktörü	Serbestlik Derecesi (DF)	Karelerin Regresyon Toplamı (Seq SS)	Katkı (%)	F-Değeri	P-Değeri
Model	24	7,69210	89,39%	39,30	0,000
Linear	7	6,91024	80,30%	96,58	0,000
Kesme Hızı	1	0,10406	1,21%	21,09	0,000
İlerleme	1	5,47915	63,67%	448,52	0,000
Paso	1	0,54079	6,28%	58,62	0,000
Kesici Takım	4	0,78624	9,14%	18,23	0,000
Square	2	0,00154	0,02%	0,09	0,916
Kesme Hızı*Kesme Hızı	1	0,00004	0,00%	0,00	0,963
Paso*Paso	1	0,00150	0,02%	0,17	0,677
2-Way Interaction	15	0,78032	9,07%	6,38	0,000
Kesme Hızı*İlerleme	1	0,00394	0,05%	0,03	0,866
Kesme Hızı*Paso	1	0,00245	0,03%	0,41	0,521
Kesme Hızı*Kesici Takım	4	0,00525	0,06%	0,38	0,824
İlerleme*Paso	1	0,03508	0,41%	3,99	0,048
İlerleme*Kesici Takım	4	0,68775	7,99%	21,04	0,000
Paso*Kesici Takım	4	0,04586	0,53%	1,41	0,237
Error	112	0,91344	10,61%		
Total	136	8,60554	100,00%		

Tablo 4.16’da yanıt yüzey metodu kullanılarak yüzey pürüzlülüğü için regresyon denklemleri elde edilmiştir. Kesici takımlar kategorik olarak girildiği için her bir kesici uca göre farklı matematiksel modeller verilmiştir. Matematiksel model oluşturulurken de yine yalnızca bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenlerle olan ilişkisi değil aynı zamanda bağımlı değişkenlerin birbirleri ile etkileşimlerinin etkileri de dikkate alınarak matematiksel modeller oluşturulmuştur.

Tablo 4.16: Yanıt yüzey metodunda Yüzey pürüzlülüğü için regresyon denklemleri

Kesici Takım	Denklem
1	Yüzey Pürüzlülüğü = 0,620 - 0,00171 Kesme Hızı + 15,50 İlerleme - 0,041 Paso + 0,000001 Kesme Hızı*Kesme Hızı + 0,076 Paso*Paso - 0,0025 Kesme Hızı*İlerleme + 0,00072 Kesme Hızı*Paso - 3,32 İlerleme*Paso
2	Yüzey Pürüzlülüğü = 0,488 - 0,00195 Kesme Hızı + 16,44 İlerleme - 0,059 Paso + 0,000001 Kesme Hızı*Kesme Hızı + 0,076 Paso*Paso - 0,0025 Kesme Hızı*İlerleme + 0,00072 Kesme Hızı*Paso - 3,32 İlerleme*Paso
3	Yüzey Pürüzlülüğü = 0,332 - 0,00287 Kesme Hızı + 17,15 İlerleme - 0,082 Paso + 0,000001 Kesme Hızı*Kesme Hızı + 0,076 Paso*Paso - 0,0025 Kesme Hızı*İlerleme + 0,00072 Kesme Hızı*Paso - 3,32 İlerleme*Paso
4	Yüzey Pürüzlülüğü = 0,084 - 0,00167 Kesme Hızı + 19,20 İlerleme - 0,104 Paso + 0,000001 Kesme Hızı*Kesme Hızı + 0,076 Paso*Paso - 0,0025 Kesme Hızı*İlerleme + 0,00072 Kesme Hızı*Paso - 3,32 İlerleme*Paso
5	Yüzey Pürüzlülüğü = 1,595 - 0,00195 Kesme Hızı + 8,96 İlerleme - 0,243 Paso + 0,000001 Kesme Hızı*Kesme Hızı + 0,076 Paso*Paso - 0,0025 Kesme Hızı*İlerleme + 0,00072 Kesme Hızı*Paso - 3,32 İlerleme*Paso

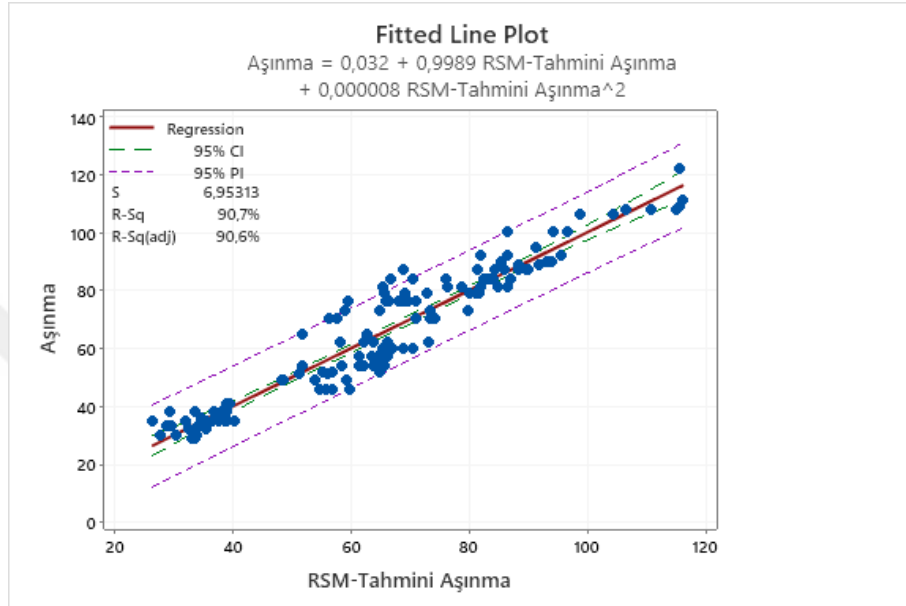
Tablo 4.17’de yanıt yüzey metoduna göre yüzey pürüzlülüğü için optimum işleme parametreleri üçüncü kesici takım (KENNAMETAL), 180 m/dak kesme hızı, 0,11 mm/dev ilerleme ve 1,5 mm paso olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 4.17: Yanıt yüzey metodunun Yüzey pürüzlülüğü için optimizasyonu

Solution	Kesme Hızı	İlerleme	Paso	Kesici Takım
1	180	0,11	1,5	3

4.8.1 Yanıt Yüzey Metodu için Regresyon Eşitliği

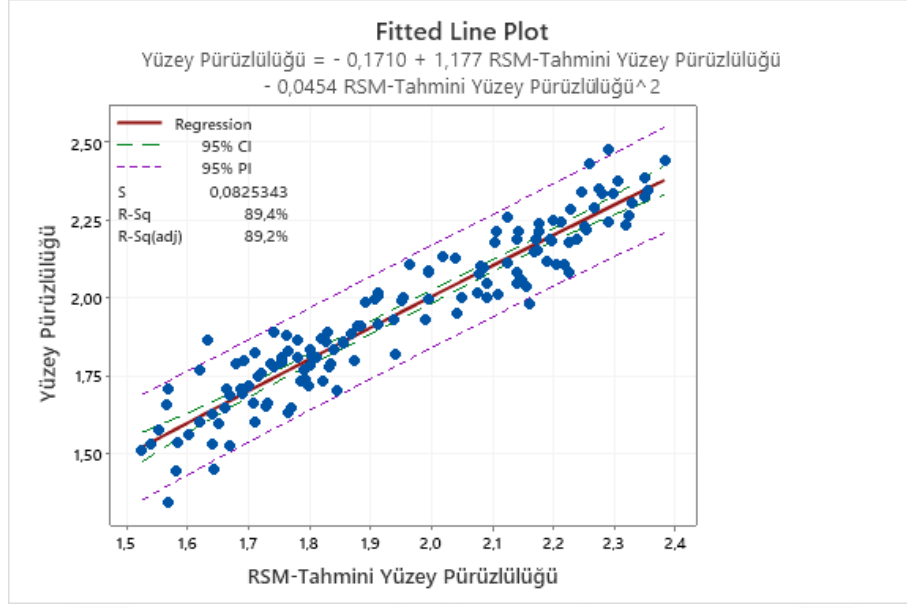
Deneyler sonucunda elde edilen aşınma ölçümleri ve yanıt yüzey metodu kullanılarak elde edilen aşınma değerlerinin (RSM-Tahmini Aşınma) birbirlerini ne kadar doğrular yönde oldukları Şekil 4.23 yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.23: RSM-Tahmini Aşınma değeri ve ölçülmüş olan Aşınma değerlerinin regresyon grafiği

Şekil 4.23'teki grafik dört farklı giriş parametresi ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen aşınma değerlerinin gerçek değerleriyle, yanıt yüzey metodunun dört farklı giriş parametresini kullanarak vermiş olduğu tahmini aşınma değerlerini içermektedir. Elde edilen şartlı ortalamalar vasıtasıyla gözlemlerin regresyon çizgisine yaklaştığı dikkat çekmektedir. Bununla beraber incelenen deneylerin hemen hepsinin %95 güven aralığında %90,6 açıklama gücü içerisinde olduğu yapılan tahminin güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.

Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve yanıt yüzey metodu kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin (RSM-Tahmini Yüzey Pürüzlülüğü) birbirlerini ne kadar doğrular yönde oldukları Şekil 4.24 yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.24: RSM-Tahmini Yüzey pürüzlülüğü değeri ve ölçülmüş olan Yüzey pürüzlülüğü değerlerinin regresyon grafiği

Şekil 4.24'deki grafik dört farklı giriş parametresi ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin gerçek değerleriyle, yanıt yüzey metodunun dört farklı giriş parametresini kullanarak vermiş olduğu tahmini yüzey pürüzlülüğü değerlerini içermektedir. Elde edilen şartlı ortalamalar vasıtasıyla gözlemlerin regresyon çizgisine yaklaştığı dikkat çekmektedir. Bununla beraber incelenen deneylerin hemen hepsinin %95 güven aralığında %89,2 açıklama gücü içerisinde olduğu yapılan tahminin güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.

Tablo 4.18'de yanıt yüzey metoduna göre aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için optimum işleme parametreleri birinci kesici takım (SUMITOMO), 180 m/dak kesme hızı, 0,11 mm/dev ilerleme ve 0,99697 mm pasonun ara değeri olarak tahmin edilmiştir.

Tablo 4.18: Yanıt yüzey metodunun Aşınma ve Yüzey pürüzlülüğü için optimizasyonu

Solution	Kesme Hızı	İlerleme	Paso	Kesici Takım
1	180	0,11	0,996970	1

Tablo 4.19’da Taguchi ve yanıt yüzey metodunda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki ayrı etkileri ortaya konmuştur.

Tablo 4.19: Taguchi ve Yanıt yüzey metodunda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki ayrı ayrı etki oranları

Yöntem	Çıktı	Yönteme Göre Etki Oranları (%)				Metot R ²	Regresyon R ²
		Kesici Takım	Kesme Hızı	İlerleme	Paso		
TAGUCHI	Aşınma	76,73	2,38	0,62	0,55	80,28	93,14
						78,54(adj)	93,03(adj)
						76,1(pred)	-
	Yüzey Pürüzlülüğü	4,75	1,29	67,75	6,57	80,37	92,46
						78,65(adj)	92,34(adj)
						76,41(pred)	-
RSM	Aşınma	78	1,53	0,25	0,25	90,71	90,71
						88,72(adj)	90,57(adj)
						85,84(pred)	-
	Yüzey Pürüzlülüğü	9,14	1,21	63,67	6,28	89,39	89,39
						87,11(adj)	89,23(adj)
						80,08(pred)	-

Sonuçlar yüzey pürüzlülüğü için literatür ile karşılaştırıldığında görülmektedir ki yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerlemenin etkisi oldukça fazladır. Kullanılan parametreler ve malzemeler farklı olduğu için bazı çalışmalarla farklılıklar görülmektedir [85]–[93].

Sonuçlar aşınma için literatür ile karşılaştırıldığında görülmektedir ki aşınma üzerinde kesme hızının etkisi diğer kesme parametrelerine göre çok daha yüksektir. Kullanılan parametre ve malzemeler farklı olduğu için bazı çalışmalarda farklılık görülebilmektedir [85, 88, 92].

Literatürdeki etki oranları ile bu tezde bulunan etki oranları sonuçları karşılaştırıldığında genelde uyumlu olduğu görülmüştür. Etki oranlarının sıralamalarında görünen bazı farklılıkların oluşması, bağımlı değişkenlerin farklı olmasıyla en etkinin belirgin olması diğer parametrelerin daha pasif kalmasına sebep olmakta, hata paylarının olmasından ve bağımlı değişkenlerin farklı farklı seçilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

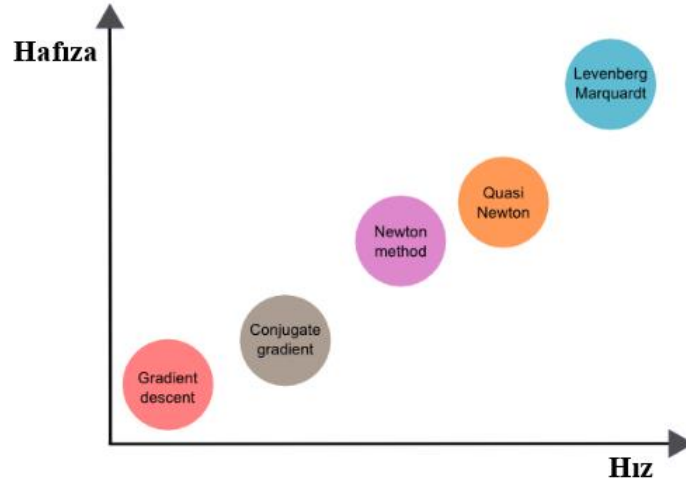
4.9 Yapay Sinir Ağları (YSA)

Giriş parametresi olarak verilen beş farklı kesici takım, beş farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme ve üç farklı pasoda aşınma ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının bir arada ara değerlerini tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Programlara verilen değerlerle gereken algoritma ve formülasyonlarla zamanla verilen değerler hakkında karar verecek hale gelmesine “makine öğrenmesi” denir [94]. Farklı yapıdaki problemleri hızlı bir şekilde algılayabilmektedirler. Tanıma ve tahmin edebilme özelliği vardır [95]. Yapay sinir ağları, onlara verilen bağımlı veya bağımsız değişkenleri öğretip eğiterek yakınsamasını sağlar ve ara değerler için sonuçlar verebilmektedir.

Bu tez çalışmasında da dört farklı bağımlı değişken sonucunda elde edilen iki farklı bağımsız değişkenin oluşturduğu 137 deney veri setini kullanarak tahminler ettirilmesidir. Talaşlı imalatta çalışmada bulunan dört farklı giriş parametresinin seviyelerinin her biri farklı şekillerde ve oranlarda bağımsız değişkenleri etkilemektedir. Aranılan en uygun değeri bulmak için birçok olasılığın denenmesi gerekmektedir. Ancak açıklama gücü yüksek olan bir modelde, tahmin yürütebilen, eğitilebilen yazılımlarla birçok olasılığı denemeden ara değerlerin sonuçlarına ulaşabilmektedir. Ara değerlerin belirli güven düzeylerinde sunulması yapılan çalışmalar için optimum noktaya yaklaşılmasını daha da kolaylaştırmaktadır.

Deney veri setlerini eğitim ve test için rastgele bölünmüştür. 137 deneyin 110’u ağları eğitmek için kullanılırken 27’si test için kullanılmıştır. Yapay sinir ağları MATLAB’ın “nntool” paketi kullanılarak oluşturulup, gerçekleştirilmiştir.

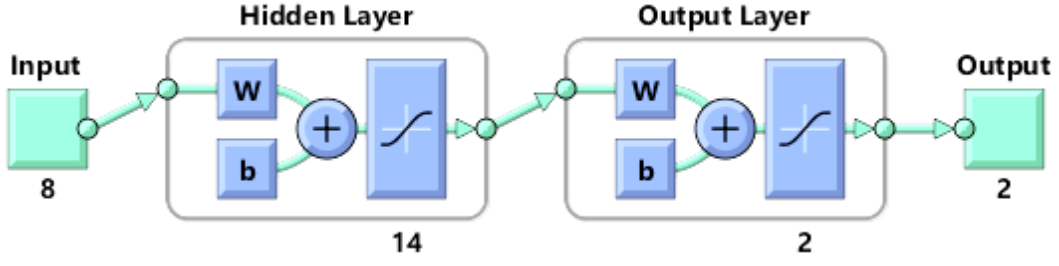
Sinir ağları eğitilirken Şekil 4.25’de da gösterildiği gibi daha hızlı ve belleğinin iyi olmasından dolayı “TRAINLM” eğitim fonksiyonu yani Train Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır [96].



Şekil 4.25: Yapay sinir ağlarında temel eğitim algoritmalarının Hız ve Hafıza ile ilişkili grafiği [97]

Ağ yapısı olarak “feed-forward backprop” kullanılmıştır. Değerler ileri yönlendirilir sonrasında hatalar hesaplanıp önceki katmanlara geri gitmektedir. Bu da denetimi sağladığını göstermektedir. Geri yayılım, ileri beslemeli sinir ağlarını eğitmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Adaptasyon öğrenme fonksiyonu olarak da “LEARNINGDM (Learn-Gradient descent with momentum weight and bias)” kullanılmıştır. Eğitim işlemi iki katmanda 14 gizli nöron ile “TANSIG (Hyperbolic tangent sigmoid)” transfer fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

MATLAB matris tabanlı çalışan bir program olduğu için bu tez çalışmasında bulunan bağımlı değişkenlerden kesici ucu nümerik şekilde tanımlanmıştır. Tanımlama işlemi yapılırken nominal olan kesici takımları vektör haline çevrilmiştir. Kesici takımın beş farklı seviyesinde birinci seviyeye denk gelince onu bir alıp diğerlerini sıfır almasını sağlayacak şekilde yapı oluşturulmuştur. O yüzden giriş parametresi beş farklı kesici takım, kesme hızı, ilerleme ve paso olacak şekilde sekiz adettir. Deney setine normalizasyon uygulanmıştır. Deney setinin %20’si test için %80’i eğitim için rastgele ayrılmıştır. Yapay sinir ağının modeli Şekil 4.26’da ve eğitimin paketi Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.26: Ağ modeli

Neural Network

Algorithms

Data Division: Random (dividerand)
 Training: Levenberg-Marquardt (trainlm)
 Performance: Mean Squared Error (mse)
 Calculations: MEX

Progress

Epoch:	0	1000 iterations	1000
Time:		0:00:06	
Performance:	0.00278	3.51e-05	0.00
Gradient:	0.0224	2.40e-07	1.00e-07
Mu:	0.00100	1.00e-06	1.00e+10
Validation Checks:	0	1000	1000

Plots

Performance (plotperform)
 Training State (plottrainstate)
 Regression (plotregression)

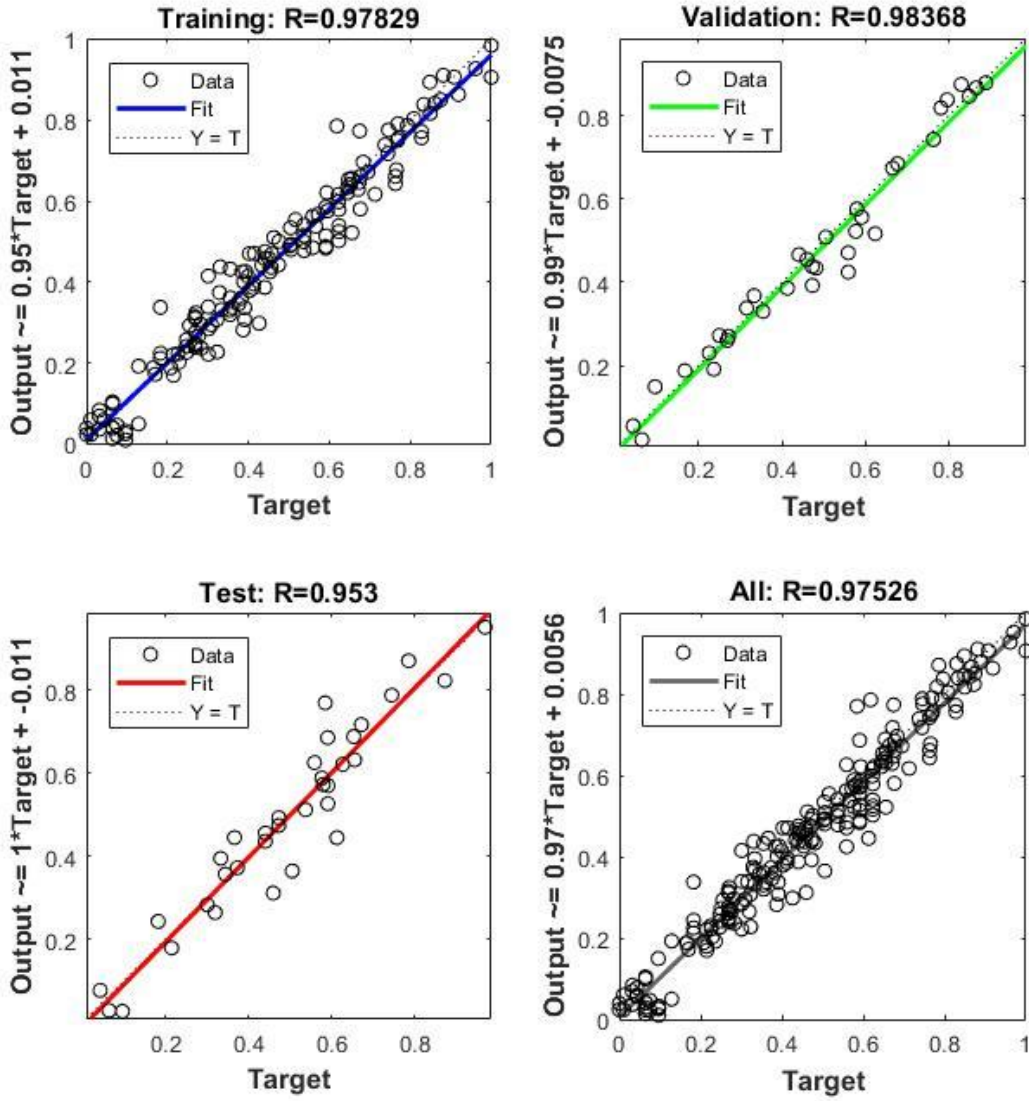
Plot Interval: 1 epochs

Opening Performance Plot

Stop Training Cancel

Şekil 4.27: Ağın eğitimi

Aşınma ve yüzey pürüzlülüğü bağımlı değişkenlerinin regresyon katsayıları Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28: Aşınma ve Yüzey pürüzlülüğü için regresyon grafikleri

Şekil 4.28'deki grafikler sekiz farklı giriş parametresi ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen aşınma ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin gerçek değerleriyle, yapay sinir ağlarının sekiz farklı giriş parametresini kullanarak vermiş olduğu tahmini aşınma ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini içermektedir. Elde edilen şartlı ortalamalar vasıtasıyla gözlemlerin regresyon çizgisine yaklaştığı dikkat çekmektedir. Bununla beraber incelenen deneylerin hemen hepsinin %95 güven aralığında %97 açıklama gücü içerisinde olduğu oluşturulan ağıın ve yapılan tahminin güvenilirliğini kanıtlar niteliktedir.

Yapay sinir ağıları paket programında optimizasyon işlemi yapılamamaktadır. Optimizasyon işlemi %97 açıklama gücüne sahip olan ve tahmini iyi olan ağ yapısına ara değerler tanımlanarak ara değerler tahmin edilmiştir. Ara değerler için giriş parametreleri Tablo 4.20’de verilmiştir. Tahmin ettirilen bu değerlerden gerçek ölçümlerin olduğu giriş parametreleri çıkarılmıştır.

Tablo 4.20: %97 açıklama gücüne sahip olan yapay sinir ağlarına ara değerler için oluşturulan giriş parametreleri

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)
1 (SUMITOMO)	100	0,11	0,9
2 (ISCAR)	110	0,12	1
3 (KENNAMETAL)	120	0,13	1,1
4 (SECO-1)	130	0,14	1,2
5 (SECO-2)	140	0,15	1,3
	150		1,4
	160		1,5
	170		
	180		

Tablo 4.20’deki gibi oluşturulan ara değer tahminleri için toplamda 1575 deney tahmini bulunmaktadır. 137 deneyin ölçümleri alınmış olduğu için bu deneyler tablodan çıkarılmıştır. Tahmin için 1438 adet veri ve tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Açıklama gücü %97 olan ağ yapısından elde edilen tahmin değerleri kullanılarak aşınmanın minimum değerine birinci kesici takımla (SUMITOMO), 170 m/dak kesme hızında, 0,13 mm/dev ilerlemede ve 0,9 mm paso değeriyle ulaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün minimum değerine ise üçüncü kesici takımla (KENNAMETAL), 120 m/dak kesme hızında, 0,11 mm/dev ilerlemede ve 1,4 mm paso değeriyle ulaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün 3 μ m’yi aşmaması istenmektedir. Oluşturulan deney setinde 3 μ m’yi aşmadığı görülmüştür. Maliyet ve zaman olarak aşınmanın minimum olması ve yüzey pürüzlülüğünün belirlenen değeri aşmamasından dolayı aşınmanın ön planda tutulmasıyla aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için optimum sonucu birinci kesici takımla (SUMITOMO), 170 m/dak kesme hızında, 0,13 mm/dev ilerlemede ve 1,1 mm paso değeriyle elde edilmiştir.

Elde edilen tahmin sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırılarak veri seti için hangisinin daha uygun olduğunu hataların karelerinin toplamının karekökünün (MSE-Minimum Square Error) hesaplamasıyla karar verilebilir. Ekler bölümünde Tablo A.1’de ölçülmüş olan değerler ile uygulanan yöntemlerden elde edilen tahmin sonuçları bulunmaktadır. Tahmin değerinin gerçek değer ile arasındaki farklar hataları göstermektedir. Hata değerleri pozitif veya negatif olabilirler. Bu yüzden Tablo 4.21’de gösterildiği gibi hata değerlerinin kareleri alınıp önce hepsini pozitif değere çevrilmiştir. Sonrasında ise Tablo 4.22’de gösterildiği gibi hatalarının karelerinin toplamının karekökleri alınarak hataların uzunluklarının toplamı yapılmıştır.

Tablo 4.21: Taguchi-Yanıt Yüzey Metodu-Yapay Sinir Ağlarının vermiş olduğu tahmin değerlerinin hatalarının kareleri toplamı

Hataların Kareleri Toplamı					
Taguchi		Yanıt Yüzey Metodu (RSM)		Yapay Sinir Ağları (ANN)	
Aşınma	Yüzey Pürüzlülüğü	Aşınma	Yüzey Pürüzlülüğü	Aşınma	Yüzey Pürüzlülüğü
4795,51	0,6516	6478,38	0,9135	5685,86	0,9968

Tablo 4.22: Taguchi-Yanıt Yüzey Metodu-Yapay Sinir Ağlarının vermiş olduğu tahmin değerlerinin hatalarının karelerinin toplamının karekökleri

Hataların Karelerinin Toplamının Karekökü (MSE)					
Taguchi		Yanıt Yüzey Metodu (RSM)		Yapay Sinir Ağları (ANN)	
Aşınma	Yüzey Pürüzlülüğü	Aşınma	Yüzey Pürüzlülüğü	Aşınma	Yüzey Pürüzlülüğü
69,2496	0,8072	80,4884	0,9558	75,4047	0,9984

Bu tez çalışmasında yapılmış olan deneyler için hataların karelerinin toplamının kareköküne göre; aşınma için sırasıyla Taguchi, Yapay Sinir Ağları ve Yanıt Yüzey Metodu’ nun tahmin değerlerinin daha iyi olduğu, yüzey pürüzlülüğü içinse Taguchi-Yanıt Yüzey Metodu ve Yapay Sinir Ağları’nın tahmin değerlerinin daha iyi olduğu görülmüştür.

4.10 Doğrulama Deneyleri

Kullanılan yöntemler sonucunda aşınma ve yüzey pürüzlülüğünün ayrı ayrı ve birlikte olan optimum sonuçları belirlenmiştir. Belirlenen optimum sonuçlar için doğrulama deneyleri yapılmıştır.

Yöntemlerin vermiş olduğu optimum sonuçlarda KENNAMETAL kesici ucu ile 0,11 mm/dev ilerleme bulunmaktadır. Ancak daha önceden de bahsedildiği üzere; bu kesici uç ile 0,11 mm/dev ilerleme değerinde işleme yapıldığında deney numunesi ve punta etrafına talaş sarılmakta ve sarılan talaşın vorteks tüp hortumuna çarparak yönünü değiştirmekteydi. Optimizasyon çalışmalarında kullanılan programlara belirli takımın belirli parametrelerini alma şeklinde bir kısıtlama getirilemediği için KENNAMETAL kesici ucunun 0,11 mm/dev ilerleme değerini optimum nokta olarak vermiştir. Bu yüzden KENNAMETAL kesici ucunun olduğu doğrulama deneylerinde vorteks tüp hortumu çok uzak noktada konumlandırılarak deney yapılmıştır.

Yapılan doğrulama deneylerine ilişkin sonuçlar Tablo 4.23'de verilmiştir. Tablo 4.23'de kullanılan yöntemler aşınma için ayrı yüzey pürüzlülüğü için ayrı ve ikisinin birlikte olduğu optimum değerleri içermektedir.

Tablo 4.23: Doğrulama deneyleri

Yöntem	Optimum Bağımsız Değişken	Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)	Deney Adı
Taguchi	Aşınma	SUMITOMO	100	0,11	0,9	1.Doğrulama deneyi
	Yüzey Pürüzlülüğü	SECO-2	180	0,11	1,5	2.Doğrulama deneyi
Yanıt Yüzey	Aşınma	SUMITOMO	180	0,11	0,9	3.Doğrulama deneyi
	Yüzey Pürüzlülüğü	KENNAMETAL	180	0,11	1,5	4.Doğrulama deneyi
	Aşınma ve Yüzey Pürüzlülüğü	SUMITOMO	180	0,11	0,99697	5.Doğrulama deneyi
Yapay Sınır Ağları	Aşınma	SUMITOMO	170	0,13	0,9	6.Doğrulama deneyi
	Yüzey Pürüzlülüğü	KENNAMETAL	120	0,11	1,4	7.Doğrulama deneyi
	Aşınma ve Yüzey Pürüzlülüğü	SUMITOMO	170	0,13	1,1	8.Doğrulama deneyi

Verilen optimum sonuçlarda deneysel olarak önceden ölçülmemiş sonuçlarda bulunmaktadır. Yanıt yüzey metodu ve yapay sinir ağlarının sonuçlarında bunlar ile karşılaşılmaktadır. Bu yöntemlerde Taguchi yöntemi gibi yalnızca yapılmış olan deneyler içerisindeki optimum sonucu değil, ara değerlerdeki optimum sonuçları da aramaktadırlar. Bu nedenle önceden yapılmış olan deney seti dışında deney setleri bulunabilmektedir. Bu sonuçların karşılaştırmaları; varsa program çıktıları yani tahmin değerleri ile yoksa da doğrulama deneyleri sonucunda istenilen optimum değer mi diye kontrol edilerek yapılabilir.

Tablo 4.24’de kullanılan yöntemler sonucunda bulunan optimum noktalar için yapılan doğrulama deney sonuçları, yöntemlerin tahminleri ve yapılmış olan deneylerin sonuçları bulunmaktadır.

Tablo 4.24: Doğrulama deneylerinin sonuçlarının karşılaştırılması

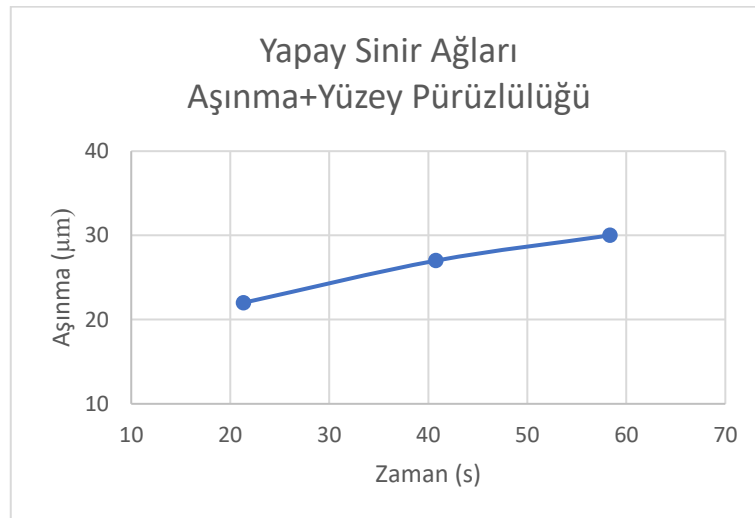
Deney Adı	İlk Deney Sonuçları		Yöntemlerin Tahmin Sonuçları		Doğrulama Deney Sonuçları		Talaş Kaldırma Oranı (cm ³ /dak)
	Aşınma (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Aşınma (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Aşınma (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	
1.Doğrulama Deneyi	30	1,984	27,705	1,926	27	1,930	9,9
2.Doğrulama Deneyi	70	1,597	65,419	1,627	54	1,575	29,7
3.Doğrulama Deneyi	35	1,716	24,742	1,845	32	1,918	17,82
4.Doğrulama Deneyi	-	-	-	-	106	1,532	29,7
5.Doğrulama Deneyi	-	-	28,950	1,785	27	1,679	19,74
6.Doğrulama Deneyi	-	-	29,291	2,225	24	2,110	19,89
7.Doğrulama Deneyi	-	-	121,253	1,356	122	1,488	18,48
8.Doğrulama Deneyi	-	-	29,815	1,793	30	1,939	24,31

Taguchi yönteminde, yönteme verilen verilerden en uygunu seçilmektedir. Bu nedenle yapılmış olan deneyler arasından optimum noktayı vermiştir. Diğer iki yöntemde ara değerleri de vermektedir. Bu nedenle ilk deney sonuçları bazı doğrulama deneylerinde bulunurken bazılarında bulunmamaktadır.

Programların sunmuş olduğu optimum kesme parametreleri için tahmin değerleri incelendiğinde, aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için ayrı ayrı ve birlikte verilmiş olan sonuçların minimum veya minimuma yakın noktalar olduğu görülmektedir. Doğrulama deneyleri de büyük oranda optimum sonuçları destekler nitelikte çıktığı görülmektedir.

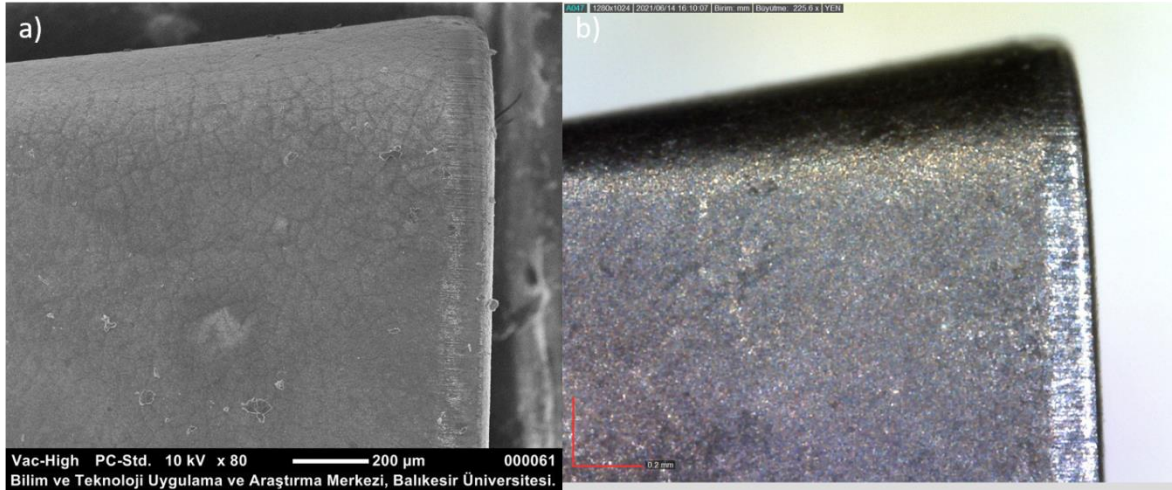
Bu doğrulama deneyleri arasından aşınma ve yüzey pürüzlülüğünün ortak minimum noktalarını veren sonuçlar tercih edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün $3 \mu\text{m}$ 'yi geçmemesi istenmekteydi. Yapılan bu çalışmada da bu sınırı aşan yüzey pürüzlülük değeri olmadığı görülmektedir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünde kritik değer aşılmadığı için yüzey pürüzlülüğü değeri uygun parametre seçiminde aşınmaya göre biraz daha arka planda kalmasında bir problem yoktur. Bu durumda sırasıyla altıncı, beşinci, birinci, sekizinci ve üçüncü doğrulama deneyleri tercih edilebilir. Ancak bu deneylerin talaş kaldırma oranları birbirinden farklı olduğu için seçilecek duruma göre tercih edilecek parametreler değişebilir. Talaş kaldırma oranları göz önünde bulundurularak tercih edilecek olursa sekizinci doğrulama deneyi bu deney seti için en uygundur denilebilir.

Şekil 4.29'da tahmin sonuçları ve doğrulama deneyleri sonucunda seçilmiş olan yapay sinir ağlarının aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için sunmuş olduğu uygun parametreler (SUMITOMO kesici ucu, 170 m/dak kesme hızı, 0,13 mm/dev ilerleme ve 1,1 mm paso) için zamana bağlı olarak kesici uçta meydana gelen aşınmanın grafiği verilmiştir.

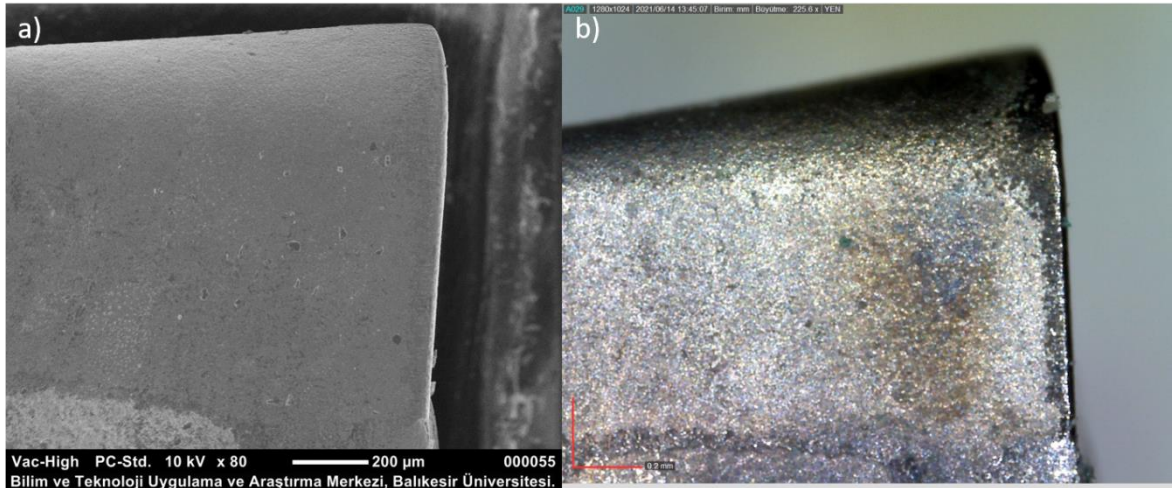


Şekil 4.29: Tercih edilen deneyin Zaman-Aşınma grafiği

Yöntemlerin vermiş olduğu optimum giriş parametrelerine karşın yapılan doğrulama deneyleri sonucunda, doğrulama deneyleri arasından deney setindeki en iyi ve en kötü olduğu düşünülen sonuçlar için taramalı elektron mikroskobu ve dijital mikroskoptan görüntüler alınmıştır. En uygunlar arasından seçilen en kötü doğrulama deneyine ait görüntüler Şekil 4.30'da, en iyi doğrulama deneyine ait görüntüler ise Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.30: 7.Doğrulama deneyi için aşınma görüntüleri a)SEM görüntüsü (X80), b)dijital mikroskop görüntüsü (X240)



Şekil 4.31: 8.Doğrulama deneyi için aşınma görüntüsü a)SEM görüntüsü (X80), b)dijital mikroskop görüntüsü (X240)

En uygunlar arasından seçilen en iyiyi yapay sinir ağlarının aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için sunduğu parametreler olan SUMITOMO kesici ucuyla, 170 m/dak kesme hızında, 0,13 mm/dev ilerlemede ve 1,1 mm pasoda işlemeyle elde edilirken, en kötüsü yapay sinir ağlarının yüzey pürüzlülüğü için sunduğu parametreler olan KENNAMETAL kesici ucuyla, 120 m/dak kesme hızında, 0,11 mm/dev ilerlemede, 1,4 mm pasoda elde edilmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

304L östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde, kesici uçlara harcanan maliyetin yüksek olması ve talaş kırma problemine karşılık olarak farklı kesici uçlarla, farklı kesme parametreleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kesici ucun serbest yüzey aşınması ve işlenen parçaların yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Bu parametrelerin aşınma ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmesiyle birlikte optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Farklı türlerde paket programlar kullanılarak deney setine uygun yöntemler gözlenmiştir. Bu durumda da yöntemlerin birbirlerine göre eksiklikleri olabilecekleri görülmüştür.

Ölçüm sonuçları ile ayrı ayrı bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sabit ilerleme ve paso değerinde genelde kesme hızının artmasıyla aşınmanın arttığı ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı görülmüştür. Sabit kesme hızı ve paso değerinde ilerleme arttıkça aşınmada çoğunlukla artış olduğu ve yüzey pürüzlülüğünde de artış görülmüştür.

Yöntemlerde varyans analizleri yapılarak, giriş parametresi olarak tanımlanan kesici uç, kesme hızı, ilerleme ve paso bağımlı değişkenlerinin, çıkış parametresi olarak ölçülen aşınma ve yüzey pürüzlülüğü bağımsız değişkenleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Varyans analizleri sonucunda iki yöntem içinde aşınma üzerinde sırasıyla kesici takım, kesme hızı, ilerleme ve pasonun etki ettiği görülmüştür. Aşınma üzerinde en etkin parametrenin kesici takım olduğu görülmüştür. Varyans analizleri sonucunda yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametre ilerleme iken, etkisi en az olan parametrenin kesme hızı olduğu görülmüştür.

Yöntemlerden alınan tahmin değerleri ile gerçek değerlerin regresyon grafiği çizilmiştir. Sonuçların hepsi %95 güven aralığındadır. Taguchi yönteminin aşınma için oluşturduğu tahmini değerlerin gerçek değerleri açıklama gücünün %93 olduğu, yüzey pürüzlülüğü için oluşturduğu tahmini değerlerin gerçek değerleri açıklama gücünün %92 olduğu görülmüştür. Aynı şekilde yanıt yüzey metodunun aşınma için oluşturduğu tahmini değerlerin gerçek değerleri açıklama gücünün %90 olduğu, yüzey pürüzlülüğü için oluşturduğu tahmini değerlerin gerçek değerleri açıklama gücünün %89 olduğu görülmüştür. Yapay sinir ağlarında, aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için tahmini değerlerin

gerçek değerleri açıklama gücünün %97 olduğu görölmüştür. Sonuçlar incelendiğinde açıklama güçlerinin gayet iyi olduğu görölmektedir.

Tahmin sonuçları ve gerçek değerler arasındaki hataların karelerinin toplamının karekökleri incelenerek en az hatayı veren yöntem belirlenmiştir. Aşınma için hataların karelerinin toplamının karekökünün en küçük değerini veren yöntemler sırasıyla Taguchi, yapay sinir ağları ve yanıt yüzey metodudur. Yüzey pürüzlülüğü için hataların karelerinin toplamının karekökünün en küçük değerini sırasıyla Taguchi, yanıt yüzey metodu ve yapay sinir ağları olmuştur. Aralarındaki farklar incelendiğinde bu farkların az olduğu yani yöntemlerin birbirlerine yakın cevaplar verdiği görölmektedir.

Elde edilen optimizasyon sonuçları için yapılan doğrulama deneylerinin ölçülen gerçek değerlere ve tahmin değerlerine yakın sonuçlar verdiği görölmüştür.

304L paslanmaz çeliklerin işlenmesi için yapılmış olan bu tez çalışması, verilen deney seti için literatüre ve endüstriye farklı yöntemlerin vermiş olduğu sonuçları inceleyerek tahminlerin doğruluğunu güçlendirmiş ve bu yöntemler arasında seçme şansını sunmakta olup aynı zamanda maliyet ve zaman açısından iyileştirmeyi sağlamıştır.

5.2 Öneriler

Bu çalışmaya ek olarak kesici uç ücretleri dahil edilerek ayrı bir optimizasyon çalışması yapılabilir.

Kesme sıvıları kullanılarak vorteks tüp sonuçları ile karşılaştırmalar yapılabilir.

Farklı malzemelere uygulanarak o malzemeler içinde zaman ve maliyetten tasarruf etmeye çalışılmalıdır.

Vorteks tüp konumlandırılması yapılırken kesici ucun bulunduğu konuma monte edilebilmesi uç ile parça arasına soğuk havanın daha rahat girmesini sağlar. Bu durumda da aşınma ve yüzey pürüzlülüğü için daha iyi sonuçlar almaya yardımcı olacaktır.

Yüksek güvenilirlik düzeyi ve açıklama gücüne sahip matematiksel modellerle ara değerlerin tahminleri için çalışmalar yapılabilir.

6. KAYNAKÇA

- [1] H. M. Cobb, *The history of stainless steel*, vol. 48, no. 07. USA, 2011.
- [2] P. S. Gowthaman, S. Jeyakumar, and B. A. Saravanan, “Machinability and tool wear mechanism of duplex stainless steel – A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 26, pp. 1423–1429, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.295.
- [3] K. K. Wika, P. Litwa, and C. Hitchens, “Impact of supercritical carbon dioxide cooling with Minimum Quantity Lubrication on tool wear and surface integrity in the milling of AISI 304L stainless steel,” *Wear*, vol. 426–427, no. September 2018, pp. 1691–1701, 2019, doi: 10.1016/j.wear.2019.01.103.
- [4] S. K. Dutta, “Different types and new applications of stainless steel,” *Stainl. Steel*, vol. 62, no. 10, p. 5, 2019.
- [5] A. A. Yontar, “AISI 304 paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin incelenmesi,” Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2011.
- [6] R. Singh, “Stainless steels,” in *Applied Welding Engineering*, no. 13 mm, Elsevier, 2016, pp. 83–90.
- [7] P. J. Andersen, “Stainless steels,” in *Biomaterials Science*, Fourth Edi., Elsevier, 2020, pp. 249–255.
- [8] H. M. Cobb, “Steel products manual: Stainless steels,” *Iron & Steel Society*. Association for Iron & Steel Technology, pp. 1–308, 1999.
- [9] G. S. Was and S. Ukai, “Austenitic stainless steels,” in *Structural Alloys for Nuclear Energy Applications*, Elsevier, 2019, pp. 293–347.
- [10] T. Türkoğlu, “Borlanmış AISI 304, AISI 420 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin içyapı, sertlik ve korozyona dayanıklılık önerilerinin incelenmesi,” Balıkesir üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü; Balıkesir, 2017.
- [11] Y. Şahin, *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*. 2001.
- [12] M. C. Çakır, “İşlenebilirlik,” in *Modern talaşlı imalatın esasları*, Bursa, 2018, pp. 1–308.
- [13] M. S. and H. D. A. Şalak, *Machinability of powder metallurgy steels*. UK: Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2005.
- [14] B. Bakırcıoğlu, “Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği üzerinde farklı kesici kenar formlarının etkisinin karşılaştırmalı olarak araştırılması,” Gazi Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü; Ankara, 2013.
- [15] B. Mills and A. H. Redford, *Machinability of engineering materials*, vol. XIV, no. 1.

- Dordrecht: Springer Netherlands, 1983.
- [16] M. F. Kahraman, “Gerçek zamanlı görüntüleme sistemi vasıtasıyla sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğinin farklı kesme parametreleri kullanılarak işlenmesinde cbn kesici takımların aşınma davranışlarının incelenmesi,” Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, BOLU, 2014.
- [17] “Kesici kenarlarda aşınma.” <https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/knowledge/materials/pages/wear-on-cutting-edges.aspx> (accessed Jun. 20, 2021).
- [18] S. Attari Mamaghani, “Frezeleme işleminde eş yönlü ve zıt yönlü talaş kaldırmanın pvd kaplanmış sert metal uçlardaki aşınma türlerinin etkisinin incelenmesi,” Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [19] J. P. Davim, *Machining*. London: Springer London, 2008.
- [20] V. P. Astakhov, “Turning,” in *Modern Machining Technology*, no. 1, J. P. Davim, Ed. Elsevier, 2011, pp. 1–78.
- [21] H. A. Youssef and H. El-Hofy., “Machining technology: Machine tools and operations,” in *Machining Technology*, vol. 46, no. 2, CRC Press, 2008, pp. 575–603.
- [22] J. P. Davim, *Surface integrity in machining*. Portugal: Campus Universitario de Santiago, 2010.
- [23] Sambet Samantaray, “Experimental analysis on surface roughness En-24 hardened steel,” National Institute of Technology, Rourkela, 2015.
- [24] A. R. Motorcu, “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi,” Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [25] M. S. Kartal, “Alaşsız çeliklerin cnc torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının taguchi yöntemiyle incelenmesi,” Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [26] P. V. S. Suresh, P. V. Rao, and S. G. Deshmukh, “A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model in dry milling,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 42, no. 1, pp. 675–680, 2002, doi: 10.1081/MST-200051263.
- [27] G. Singh and V. S. Sharma, “Analyzing machining parameters for commercially pure titanium (Grade 2), cooled using minimum quantity lubrication assisted by a Ranque-Hilsch vortex tube,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 88, no. 9–12, pp. 2921–2928, Feb. 2017, doi: 10.1007/s00170-016-8982-9.
- [28] S. Yüksel and A. Onat, “Investigation of CNC turning parameters by using a vortex tube cooling system,” *Acta Phys. Pol. A*, vol. 127, no. 4, pp. 881–885, Apr. 2015,

doi: 10.12693/APhysPolA.127.881.

- [29] M. Yilmaz, M. Kaya, Ö. Çomaklı, and S. Karşlı, “Vorteks tüpleri: 1 Teknolojik gelişim,” *Mühendis ve Makina*, vol. 47, no. 553, pp. 46–54, 2006.
- [30] Ö. F. Yıldız, “Vorteks tüp modelleri,” Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ERZURUM, 2009.
- [31] R. Hilsch, “The use of the expansion of gases in a centrifugal field as cooling process,” *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 18, no. 2, pp. 108–113, 1947, doi: 10.1063/1.1740893.
- [32] C. Gao, *Experimental study on the Ranque-Hilsch vortex tube*, no. 2005. Holland: Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2019.
- [33] W. Fröhlingsdorf and H. Unger, “Numerical investigations of the compressible flow and the energy separation in the Ranque-Hilsch vortex tube,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 42, no. 3, pp. 415–422, 1998, doi: 10.1016/S0017-9310(98)00191-4.
- [34] N. Altan Özbek, A. Çiçek, M. Gülesin, and O. Özbek, “AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi,” *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Derg.*, vol. 20, no. 1, pp. 43–49, 2016, doi: 10.2339/2017.20.1 43-49.
- [35] A. Mavi and G. Uzun, “Dubleks 1 . 4462 paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, vol. 5, no. 3, pp. 177–184, 2017.
- [36] R. Nur, “Sustainable machining by optimizing the power demand through dry turning of 316L stainless steel,” *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 6, pp. 1885–1889, 2017.
- [37] T. Singh, J. S. Dureja, M. Dogra, and M. S. Bhatti, “Machining performance investigation of AISI 304 austenitic stainless steel under different turning environments,” *Int. J. Automot. Mech. Eng.*, vol. 15, no. 4, pp. 5837–5862, 2018, doi: 10.15282/ijame.15.4.2018.10.0447.
- [38] A. K. Parida, P. V. Rao, and S. Ghosh, “Numerical analysis and experimental investigation in the machining of AISI 316 steel,” *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 45, no. 1, 2020, doi: 10.1007/s12046-019-1235-5.
- [39] K. T. Chen, C. C. Hu, C. Y. Hsu, C. C. Tsao, and P. Da Hong, “Optimizing the multiattribute characteristics of CrWN hard film tool in turning AISI 304 stainless steel,” *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 29, no. 4, pp. 2506–2513, 2020, doi: 10.1007/s11665-020-04732-x.
- [40] R. W. Maruda, S. Wojciechowski, G. M. Krolczyk, D. Y. Pimenov, and S. Legutko,

The influence of EP/AW addition in the MQL method on the parameters of surface geometrical structure in the process of turning 316L steel, vol. 1. Springer International Publishing, 2019.

- [41] T. Singh, J. S. Dureja, M. Dogra, and M. S. Bhatti, “Multi-response optimization in environment friendly turning of AISI 304 austenitic stainless steel,” *Multidiscip. Model. Mater. Struct.*, vol. 15, no. 3, pp. 538–558, 2019, doi: 10.1108/MMMS-07-2018-0139.
- [42] N. Deshpande and H. Vasudevan, “Machining induced surface integrity aspects of stainless steels: A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 22, pp. 1499–1506, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.067.
- [43] D. A. Ghatge, R. Ramanujam, B. S. Reddy, and M. Vignesh, “Improvement of machinability using eco-friendly cutting oil in turning duplex stainless steel,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 5, pp. 12303–12310, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.02.208.
- [44] Y. Kayir and S. Aslan, “AISI 316Ti paslanmaz çeliğin tornalanmasında kesici uç etkisinin Taguchi yöntemi ile analizi,” *Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 28, no. 2, pp. 363–371, 2013.
- [45] D. Johansson, T. Leemet, J. Allas, M. Madissoo, E. Adoberg, and F. Schultheiss, “Tool life in stainless steel AISI 304: applicability of Colding’s tool life equation for varying tool coatings,” *Proc. Est. Acad. Sci.*, vol. 65, no. 2, p. 172, 2016, doi: 10.3176/proc.2016.2.13.
- [46] N. A. Özbek, A. Çiçek, M. GülesİN, and O. Özbek, “Application of deep cryogenic treatment to uncoated tungsten carbide inserts in the turning of AISI 304 stainless steel,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 47, no. 12, pp. 6270–6280, 2016, doi: 10.1007/s11661-016-3767-1.
- [47] H. Gürbüz, U. Şeker, and F. Kafkas, “Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel,” *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 35, no. 1, pp. 225–240, 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.454386.
- [48] D. Palanisamy, A. Devaraju, S. Harikrishnan, and N. Manikandan, “Machinability studies on CNC turning of PH stainless steel with coated inserts,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 6, pp. 14520–14525, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.03.040.
- [49] S. Akıncıoğlu, Ş. Şirin, G. Akıncıoğlu, and E. Şirin, “100Cr6 rulman çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu,” *İleri Teknol. Bilim. Derg. J.*, vol. 5, no. 1, 2016, [Online]. Available:

- <https://dergipark.org.tr/tr/pub/duzceitbd/issue/45145/564964>.
- [50] Ö. Erkan and E. Yücel, "Investigation of the surface roughness in the turning of the AISI 630 steel with cbn insert," in *7th International Symposium On Machining*, 2016, no. 3–5, pp. 1–7, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Omer-Erkan-2/publication/312164668_INVESTIGATION_OF_THE_SURFACE_ROUGHNESS_IN_THE_TURNING_OF_THE_AISI_630_STEEL_WITH_CBN_INSERT/links/5873945a08ae8fce4924b9b4/INVESTIGATION-OF-THE-SURFACE-ROUGHNESS-IN-THE-TURNING-OF-THE.
- [51] P. Chandra, C. R. P. Rao, R. Kiran, and V. R. Kumar, "Influence of machining parameter on cutting force and surface roughness while turning alloy steel," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 5, pp. 11794–11801, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.02.149.
- [52] G. M. A. Acayaba and P. M. de Escalona, "Prediction of surface roughness in low speed turning of AISI316 austenitic stainless steel," *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 11, pp. 62–67, 2015, doi: 10.1016/j.cirpj.2015.08.004.
- [53] F. Kara, K. Aslantas, and A. Çiçek, "ANN and multiple regression method-based modelling of cutting forces in orthogonal machining of AISI 316L stainless steel," *Neural Comput. Appl.*, vol. 26, no. 1, pp. 237–250, Jan. 2015, doi: 10.1007/s00521-014-1721-y.
- [54] G. Basmaci, "Optimization of machining parameters for the turning process of AISI 316 L stainless steel and taguchi design," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 134, no. 1, pp. 260–264, 2018, doi: 10.12693/APhysPolA.134.260.
- [55] G. Basmacia and M. Ay, "Optimization of cutting parameters, condition and geometry in turning AISI 316L stainless steel using the Grey-based Taguchi method," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 131, no. 3, pp. 354–358, 2017, doi: 10.12693/APhysPolA.131.354.
- [56] M. Ay, "Optimisation of machining parameters in turning AISI 304L stainless steel by the Grey-based Taguchi method," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 131, no. 3, pp. 349–353, 2017, doi: 10.12693/APhysPolA.131.349.
- [57] M. Özdemir, "Optimization with Taguchi method of influences on surface roughness of cutting parameters in CNC turning processing," *Mechanika*, vol. 25, no. 5, pp. 397–405, 2019, doi: 10.5755/j01.mech.25.5.23005.
- [58] Y. Su, G. Zhao, Y. Zhao, J. Meng, and C. Li, "Multi-objective optimization of

- cutting parameters in turning AISI 304 austenitic stainless steel,” *Metals (Basel)*, vol. 10, no. 2, 2020, doi: 10.3390/met10020217.
- [59] S. D. Sathishkumar and T. Rajmohan, “Multi-response optimization of machining parameters in CNC turning of AISI 316L stainless steel using MQL nano fluids,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 390, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/390/1/012049.
- [60] S. K. Nayak, J. K. Patro, S. Dewangan, and S. Gangopadhyay, “Multi-objective optimization of machining parameters during dry turning of AISI 304 austenitic stainless steel using Grey relational analysis,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpe, pp. 701–708, 2014, doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.086.
- [61] A. Senthil Kumar, A. Raja Durai, and T. Sornakumar, “The effect of tool wear on tool life of alumina-based ceramic cutting tools while machining hardened martensitic stainless steel,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 173, no. 2, pp. 151–156, 2006, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.11.012.
- [62] P. S. Gowthaman, S. Jeyakumar, and B. A. Saravanan, “Machinability and tool wear mechanism of duplex stainless steel - A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 26, pp. 1423–1429, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.295.
- [63] B. Das, S. Roy, R. N. Rai, and S. C. Saha, “Studies on effect of cutting parameters on surface roughness of Al-Cu-TiC MMCs: An artificial neural network approach,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 45, no. C, pp. 745–752, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.03.145.
- [64] M. Nalbant, H. Gökkaya, I. Toktaş, and G. Sur, “The experimental investigation of the effects of uncoated, PVD- and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 25, no. 1, pp. 211–223, 2009, doi: 10.1016/j.rcim.2007.11.004.
- [65] G. Kant and K. S. Sangwan, “Predictive modelling and optimization of machining parameters to minimize surface roughness using artificial neural network coupled with genetic algorithm,” *Procedia CIRP*, vol. 31, pp. 453–458, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.03.043.
- [66] N. H. Alharthi, S. Bingol, A. T. Abbas, A. E. Ragab, M. F. Aly, and H. F. Alharbi, “Prediction of cutting conditions in turning AZ61 and parameters optimization using regression analysis and artificial neural network,” *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2018, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1155/2018/1825291.

- [67] M. H. F. Al Hazza and E. Y. T. Adesta, “Investigation of the effect of cutting speed on the surface roughness parameters in CNC end milling using artificial neural network,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 53, no. 1, pp. 0–12, 2013, doi: 10.1088/1757-899X/53/1/012089.
- [68] T. D. B. Kannan, G. R. Kannan, B. S. Kumar, and N. Baskar, “Application of artificial neural network modeling for machining parameters optimization in frilling operation,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 5, pp. 2242–2249, 2014, doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.433.
- [69] H. Bhadeshia and R. Honeycombe, “Stainless steel,” in *Steels: Microstructure and Properties*, 4th ed., Elsevier, 2017, pp. 343–376.
- [70] A. Aran and M. A. Temel, *Paslanmaz çelik*. İstanbul, 2004.
- [71] W.-S. Lee and C.-F. Lin, “Impact properties and microstructure evolution of 304L stainless steel,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 308, no. 1–2, pp. 124–135, Jun. 2001, doi: 10.1016/S0921-5093(00)02024-4.
- [72] P. Smid, *CNC Control Setup for Milling and Turning*. New York, USA: Industrial Press, 2010.
- [73] R. A. Gizelbach, *CNC machining fundamentals and applications*. 2009.
- [74] A. Mustafa, *Talaş kaldırma bilimi ve teknolojisi CNC takım tezgahları ve üretim otomasyonu*. İstanbul: AjansMik, 2009.
- [75] “Iscar cutting tools - Metal working tools - ISO torna - - DCMT/DCGT.” <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=739&mapp=IS&GFSTYP=M&lang=WT> (accessed May 06, 2021).
- [76] M. A. Khan, S. P. Jani, A. S. Kumar, and S. Rajesh, “Machining parameter optimization using Adam – Gene Algorithm while turning lightweight composite using ceramic cutting tools,” *Int. J. Light. Mater. Manuf.*, vol. 4, no. 2, pp. 262–267, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.ijlmm.2020.12.005.
- [77] A. Oral, “Sert malzemelerin tornalanmasında takım aşınmasının tepki yüzeyi metodolojisi ile incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 2018, no. 2018, pp. 1299–1308, Apr. 2018, doi: 10.17341/gazimmfd.416427.
- [78] H. Akkuş, “Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi,” Selçuk Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü; KONYA, 2010.
- [79] N. Henry Ononiwu, E. T. Akinlabi, and C. G. Ozoegwu, “Optimization techniques

- applied to machinability studies for turning aluminium metal matrix composites: A literature review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 1124–1129, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.228.
- [80] H. Gürbüz, F. Kafkas, and U. Şeker, “AISI 316L çeliğinin tornalanmasında kesici uç takım formlarının yüzey bütünlüğü üzerine etkisi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 35, no. 1, pp. 225–240, Oct. 2019, doi: 10.17341/gazimmfd.454386.
- [81] İ. Demirayak, “Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri,” Uludağ Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü; Bursa, 2006.
- [82] Ö. Dinç, “Optimization of surface roughness on a milling process using stochastic methods,” İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü; Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü; İzmir, 2019.
- [83] K. W. Williams, B. Bellows, D. Dees, D. Engler, R. Lindner, and J. J. King, “SN Ratios for Continuous Variables,” in *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*, G. Taguchi, S. Chowdhury, and Y. Wu, Eds. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2005, pp. 239–289.
- [84] D. C. M. Christine Anderson-Cook, Raymond Myers, *Response surface methodology process and product optimization using designed experiments*. Canada: New Jersey: john wiley & sons, 2008.
- [85] A. Hasçalık and U. Çaydaş, “Optimization of turning parameters for surface roughness and tool life based on the Taguchi method,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 38, no. 9–10, pp. 896–903, Sep. 2008, doi: 10.1007/s00170-007-1147-0.
- [86] A. Kabra, A. Agarwal, V. Agarwal, and S. Goyal, “Parametric optimization & modeling for surface roughness , feed and radial force of EN-19 / ANSI-4140 steel in CNC turning using taguchi and regression analysis method,” vol. 3, no. 1, pp. 1537–1544, 2013.
- [87] D. Philip Selvaraj and P. Chandramohan, “Optimization of surface roughness of AISI 304 austenitic stainless steel in dry turning operation using Taguchi design method,” *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 293–301, 2010, Accessed: May 29, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/49595866_Optimization_of_surface_roughness_of_AISI_304_austenitic_stainless_steel_in_dry_turning_operation_using_Taguchi_design_method.
- [88] S. R. Das, D. Dhupal, and A. Kumar, “Experimental investigation into machinability

- of hardened AISI 4140 steel using TiN coated ceramic tool,” *Measurement*, vol. 62, pp. 108–126, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.measurement.2014.11.008.
- [89] A. Takmaz, “Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin işlenebilirliğe etkisinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu,” Düzce Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü; İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018.
- [90] Ş. Çetin, “15- 5 Ph paslanmaz çeliğin tornalanmasında işleme parametrelerinin Taguchi metodu ile optimizasyonu,” Düzce Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü; İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2016.
- [91] C. Moganapriya, R. Rajasekar, K. Ponappa, R. Venkatesh, and S. Jerome, “Influence of coating material and cutting parameters on surface roughness and material removal rate in turning process using Taguchi method,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 8532–8538, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2017.11.550.
- [92] E. Aslan, N. Camuşcu, and B. Birgören, “Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃+TiCN mixed ceramic tool,” *Mater. Des.*, vol. 28, no. 5, pp. 1618–1622, Jan. 2007, doi: 10.1016/j.matdes.2006.02.006.
- [93] R. Akın, “Süper alaşımlardan incoloy 901 ve rene 41’in tornalanmasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün taguchi deneysel tasarımı ile incelenmesi,” Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü; Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019.
- [94] F. Sönmez Çakır, *Yapay sinir ağları - MATLAB kodları ve MATLAB toolbox çözümleri*. nobel yayın, 2020.
- [95] A. Yılmaz, *Yapay Zeka*. İstanbul, 2020.
- [96] F. Dario Baptista, S. Rodrigues, and F. Morgado-Dias, “Performance comparison of ANN training algorithms for classification,” in *2013 IEEE 8th International Symposium on Intelligent Signal Processing*, Sep. 2013, no. September, pp. 115–120, doi: 10.1109/WISP.2013.6657493.
- [97] “5 Algorithms to Train a Neural Network - Data Science Central.” <https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/5-algorithms-to-train-a-neural-network> (accessed Jun. 12, 2021).



EKLER

EKLER

EK A: Yöntemlerden elde edilen tahmin sonuçları

Tablo A.1: Taguchi-Yanıt Yüzey Metodu-Yapay Sinir Ağlarının Aşınma ve Yüzey Pürüzlülüğü için tahmin değerleri

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)	Aşınma (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Taguchi Aşınma (μm)	Taguchi Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	RSM Aşınma (μm)	RSM Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	ANN Aşınma (μm)	ANN Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
1	100	0,11	0,9	30	1,984	27,705	1,926	30,247	1,893	34,569	1,952
1	100	0,11	1,2	29	1,835	34,065	1,840	32,997	1,840	32,829	1,990
1	100	0,11	1,5	32	1,782	32,055	1,795	32,420	1,801	36,792	1,796
1	100	0,15	0,9	38	2,442	40,051	2,441	38,133	2,383	31,521	2,422
1	100	0,15	1,2	35	2,245	34,520	2,299	35,380	2,291	31,092	2,292
1	100	0,15	1,5	38	2,241	33,605	2,228	29,300	2,212	31,378	2,235
1	120	0,11	0,9	33	1,881	30,103	1,872	29,624	1,868	34,546	1,910
1	120	0,11	1,2	29	1,866	35,028	1,862	33,507	1,820	32,636	1,920
1	120	0,11	1,5	33	1,732	32,069	1,832	34,063	1,786	36,211	1,746
1	120	0,15	0,9	36	2,346	40,199	2,307	38,619	2,357	31,753	2,425
1	120	0,15	1,2	36	2,287	33,233	2,241	36,998	2,269	31,024	2,293
1	120	0,15	1,5	35	2,187	31,369	2,185	32,051	2,194	31,712	2,236
1	140	0,11	0,9	33	1,699	30,862	1,758	28,748	1,844	34,173	1,725
1	140	0,11	1,2	32	1,833	33,343	1,806	33,763	1,800	32,406	1,842
1	140	0,11	1,5	32	1,648	36,494	1,718	35,451	1,770	35,454	1,709
1	140	0,15	0,9	38	2,304	40,958	2,295	38,851	2,331	31,982	2,356
1	140	0,15	1,2	38	2,337	31,548	2,287	38,363	2,247	31,411	2,264
1	140	0,15	1,5	36	2,214	35,794	2,173	34,548	2,177	33,364	2,239
1	160	0,11	0,9	30	1,734	27,682	1,774	27,617	1,821	32,229	1,518

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)	Aşınma (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Taguchi Aşınma (µm)	Taguchi Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	RSM Aşınma (µm)	RSM Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	ANN Aşınma (µm)	ANN Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
1	160	0,11	1,2	30	1,81	36,163	1,780	33,765	1,781	31,209	1,790
1	160	0,11	1,5	35	1,794	35,981	1,688	36,586	1,755	32,803	1,811
1	160	0,15	0,9	35	2,372	38,361	2,280	38,829	2,305	32,698	2,370
1	160	0,15	1,2	41	2,178	34,950	2,230	39,473	2,226	33,641	2,180
1	160	0,15	1,5	38	1,977	35,864	2,113	36,791	2,160	40,305	2,119
1	180	0,11	0,9	35	1,716	24,742	1,845	26,233	1,798	30,274	1,838
1	180	0,11	1,2	38	1,88	32,223	1,810	33,513	1,763	29,925	1,843
1	180	0,11	1,5	35	1,888	37,485	1,777	37,467	1,741	31,353	1,942
1	180	0,15	0,9	35	2,334	42,338	2,315	38,553	2,280	38,276	2,306
1	180	0,15	1,2	35	2,107	37,927	2,223	40,330	2,205	38,705	2,219
1	180	0,15	1,5	41	2,21	44,285	2,165	38,780	2,144	46,906	2,110
2	100	0,11	0,9	73	1,863	71,172	1,863	73,363	1,823	73,138	1,695
2	100	0,11	1,2	92	1,828	86,632	1,725	81,863	1,766	74,311	1,786
2	100	0,11	1,5	84	1,757	87,021	1,721	87,037	1,721	82,054	1,847
2	100	0,15	0,9	81	2,324	80,851	2,415	78,583	2,351	68,485	2,325
2	100	0,15	1,2	79	2,216	84,420	2,222	81,580	2,254	75,468	2,199
2	100	0,15	1,5	87	2,149	85,905	2,191	81,250	2,170	86,747	2,109
2	120	0,11	0,9	71	1,738	71,903	1,757	73,607	1,794	72,973	1,680
2	120	0,11	1,2	84	1,775	85,928	1,695	83,240	1,741	74,002	1,750
2	120	0,11	1,5	87	1,714	85,369	1,706	89,546	1,701	82,875	1,766
2	120	0,15	0,9	79	2,233	79,332	2,230	79,936	2,320	76,685	2,330
2	120	0,15	1,2	84	2,083	81,466	2,112	84,065	2,227	78,026	2,123
2	120	0,15	1,5	81	2,053	82,002	2,097	84,867	2,147	87,244	2,047
2	140	0,11	0,9	70	1,63	72,996	1,753	73,598	1,766	73,251	1,673
2	140	0,11	1,2	87	1,749	84,577	1,750	84,363	1,716	75,725	1,725

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)	Aşınma (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Taguchi Aşınma (μm)	Taguchi Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	RSM Aşınma (μm)	RSM Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	ANN Aşınma (μm)	ANN Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
2	140	0,11	1,5	89	1,785	90,128	1,702	91,801	1,681	87,941	1,690
2	140	0,15	0,9	79	2,476	80,425	2,327	81,035	2,290	79,351	2,369
2	140	0,15	1,2	81	2,246	80,114	2,268	86,296	2,200	77,741	2,073
2	140	0,15	1,5	89	2,109	86,761	2,195	88,231	2,125	86,778	2,000
2	160	0,11	0,9	70	1,785	72,815	1,796	73,334	1,737	71,613	1,723
2	160	0,11	1,2	90	1,798	90,396	1,751	85,232	1,692	77,534	1,771
2	160	0,11	1,5	90	1,645	92,614	1,699	93,803	1,661	90,066	1,699
2	160	0,15	0,9	81	2,432	80,827	2,340	81,879	2,259	81,343	2,394
2	160	0,15	1,2	87	2,15	86,517	2,239	88,273	2,175	77,809	2,041
2	160	0,15	1,5	95	2,177	89,831	2,162	91,341	2,103	87,659	1,998
2	180	0,11	0,9	79	1,601	70,875	1,689	72,816	1,709	79,309	1,571
2	180	0,11	1,2	87	1,526	87,456	1,603	85,847	1,669	83,212	1,720
2	180	0,11	1,5	92	1,625	95,119	1,610	95,550	1,642	92,662	1,650
2	180	0,15	0,9	84	2,283	85,804	2,196	82,470	2,230	80,698	2,334
2	180	0,15	1,2	87	2,048	90,494	2,054	89,997	2,149	79,164	2,020
2	180	0,15	1,5	100	2,103	99,252	2,035	94,197	2,082	90,508	2,055
3	100	0,11	0,9	109	1,861	113,456	1,653	115,571	1,633	107,268	1,874
3	100	0,11	1,2	122	1,341	117,544	1,549	115,429	1,569	120,597	1,368
3	100	0,15	0,9	84	2,117	72,853	2,229	76,033	2,190	83,441	2,131
3	100	0,15	1,2	60	2,096	65,050	2,069	70,388	2,085	63,225	2,106
3	100	0,15	1,5	54	2,081	60,096	1,996	61,417	1,995	53,535	2,005
3	120	0,15	0,9	92	2,082	89,126	2,144	86,448	2,140	90,548	2,070
3	120	0,15	1,2	81	2,124	79,888	2,060	81,936	2,040	73,533	2,042
3	120	0,15	1,5	70	2	73,985	2,002	74,097	1,954	71,434	1,992
3	140	0,15	0,9	100	1,999	104,386	2,025	96,609	2,091	98,055	1,995

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)	Aşınma (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Taguchi Aşınma (µm)	Taguchi Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	RSM Aşınma (µm)	RSM Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	ANN Aşınma (µm)	ANN Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
3	140	0,15	1,2	90	1,996	92,703	1,999	93,230	1,995	87,839	2,009
3	140	0,15	1,5	100	1,913	92,911	1,884	86,523	1,913	88,807	1,948
3	160	0,15	0,9	108	1,95	111,497	1,998	106,516	2,043	106,786	1,925
3	160	0,15	1,2	106	1,991	105,814	1,930	104,269	1,951	100,819	1,985
3	160	0,15	1,5	106	1,798	102,689	1,811	98,695	1,873	99,362	1,875
3	180	0,15	0,9	111	2,085	112,682	2,045	116,169	1,994	113,714	2,085
3	180	0,15	1,2	108	1,996	106,000	1,937	115,055	1,907	107,703	1,934
3	180	0,15	1,5	108	1,777	108,319	1,876	110,614	1,833	104,979	1,824
4	100	0,11	0,9	46	1,825	53,339	1,734	54,580	1,711	60,408	1,680
4	100	0,11	1,2	57	1,529	64,299	1,552	63,330	1,640	60,546	1,555
4	100	0,11	1,5	76	1,444	69,688	1,565	68,753	1,582	72,726	1,633
4	100	0,15	0,9	49	2,384	51,684	2,398	48,467	2,350	44,756	2,321
4	100	0,15	1,2	65	2,186	50,753	2,159	51,713	2,239	55,226	2,155
4	100	0,15	1,5	54	2,187	57,238	2,147	51,633	2,141	53,393	2,274
4	120	0,11	0,9	70	1,707	57,070	1,733	56,257	1,688	65,001	1,689
4	120	0,11	1,2	57	1,598	66,595	1,627	66,140	1,621	67,605	1,594
4	120	0,11	1,5	79	1,708	71,035	1,655	72,696	1,567	73,447	1,599
4	120	0,15	0,9	51	2,265	53,165	2,316	51,253	2,324	44,384	2,359
4	120	0,15	1,2	46	2,104	50,799	2,154	55,632	2,217	51,655	2,155
4	120	0,15	1,5	52	2,259	56,335	2,156	56,684	2,124	51,466	2,254
4	140	0,11	0,9	70	1,704	57,996	1,650	57,681	1,665	69,619	1,642
4	140	0,11	1,2	60	1,561	65,077	1,603	68,696	1,602	73,389	1,581
4	140	0,11	1,5	81	1,577	75,628	1,572	76,385	1,553	74,115	1,555
4	140	0,15	0,9	49	2,332	54,091	2,335	53,785	2,299	45,718	2,276
4	140	0,15	1,2	49	2,18	49,281	2,231	59,296	2,197	51,774	2,075

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)	Aşınma (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Taguchi Aşınma (µm)	Taguchi Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	RSM Aşınma (µm)	RSM Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	ANN Aşınma (µm)	ANN Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
4	140	0,15	1,5	54	2,213	60,928	2,176	61,481	2,108	52,153	2,192
4	160	0,11	0,9	73	1,45	60,982	1,625	58,851	1,642	65,507	1,511
4	160	0,11	1,2	76	1,534	74,063	1,535	70,998	1,583	73,694	1,537
4	160	0,11	1,5	73	1,531	81,281	1,501	79,819	1,539	69,706	1,554
4	160	0,15	0,9	51	2,35	57,661	2,279	56,063	2,275	46,819	2,338
4	160	0,15	1,2	65	2,236	58,850	2,134	62,707	2,176	52,710	1,980
4	160	0,15	1,5	62	2,047	67,164	2,074	66,024	2,092	59,735	2,040
4	180	0,11	0,9	46	1,768	58,709	1,662	59,766	1,620	48,734	1,734
4	180	0,11	1,2	62	1,655	70,790	1,531	73,047	1,566	58,751	1,643
4	180	0,11	1,5	84	1,511	83,452	1,556	83,000	1,525	58,742	1,619
4	180	0,15	0,9	62	2,228	62,304	2,280	58,087	2,251	59,726	2,270
4	180	0,15	1,2	76	2,037	62,494	2,093	65,863	2,157	62,941	1,846
4	180	0,15	1,5	84	2,017	76,252	2,093	70,313	2,076	76,865	1,995
5	100	0,11	0,9	54	1,817	56,672	1,946	65,080	1,942	64,095	2,118
5	100	0,11	1,2	81	1,888	69,532	1,841	65,230	1,829	72,792	1,834
5	100	0,11	1,5	54	1,65	55,821	1,694	62,053	1,730	53,247	1,648
5	100	0,15	0,9	62	2,188	58,217	2,200	62,167	2,171	62,638	2,222
5	100	0,15	1,2	46	2,13	59,186	2,038	56,813	2,018	49,900	2,104
5	100	0,15	1,5	49	1,911	46,571	1,865	48,133	1,879	49,557	1,897
5	120	0,11	0,9	60	2,005	66,903	1,883	65,407	1,913	65,753	2,215
5	120	0,11	1,2	84	1,812	78,328	1,854	66,690	1,804	74,405	1,876
5	120	0,11	1,5	57	1,661	63,669	1,722	64,646	1,709	55,477	1,678
5	120	0,15	0,9	62	2,043	66,199	2,057	63,603	2,140	69,201	2,233
5	120	0,15	1,2	76	1,927	65,733	1,971	59,382	1,991	50,722	2,100
5	120	0,15	1,5	54	1,853	52,169	1,813	51,834	1,856	51,256	1,861

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Paso (mm)	Aşınma (μm)	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Taguchi Aşınma (μm)	Taguchi Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	RSM Aşınma (μm)	RSM Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	ANN Aşınma (μm)	ANN Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
5	140	0,11	0,9	54	1,911	62,496	1,825	65,481	1,884	64,144	2,160
5	140	0,11	1,2	76	1,863	71,477	1,854	67,896	1,780	76,290	1,857
5	140	0,11	1,5	60	1,692	62,928	1,663	66,985	1,689	59,852	1,676
5	140	0,15	0,9	73	2,012	61,791	2,100	64,785	2,109	74,856	2,120
5	140	0,15	1,2	54	2,106	58,881	2,073	61,696	1,965	51,774	2,075
5	140	0,15	1,5	52	1,787	51,428	1,857	55,281	1,834	53,002	1,825
5	160	0,11	0,9	54	1,856	65,648	1,835	65,301	1,856	57,895	1,824
5	160	0,11	1,2	87	1,81	80,629	1,822	68,848	1,756	77,051	1,779
5	160	0,11	1,5	79	1,688	68,747	1,628	69,069	1,669	65,449	1,657
5	160	0,15	0,9	79	2,076	65,527	2,079	65,713	2,079	76,852	2,083
5	160	0,15	1,2	54	1,927	68,617	2,011	63,757	1,939	52,138	1,970
5	160	0,15	1,5	54	1,809	57,831	1,791	58,474	1,812	54,669	1,779
5	180	0,11	0,9	52	1,859	57,875	1,816	64,866	1,828	50,081	1,837
5	180	0,11	1,2	76	1,663	71,856	1,762	69,547	1,732	74,888	1,609
5	180	0,11	1,5	70	1,597	65,419	1,627	70,900	1,650	72,382	1,603
5	180	0,15	0,9	76	1,998	64,671	2,024	66,387	2,049	81,725	2,230
5	180	0,15	1,2	57	2,015	66,761	1,914	65,563	1,913	49,638	2,046
5	180	0,15	1,5	57	1,765	61,419	1,753	61,413	1,791	55,384	1,764

