

**DELİK İŞLEMEDE TAKIMLAMA SİSTEMİNİN DELİK KALİTESİ
ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YILMAZ KÜÇÜK

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2009
ANKARA**

Yılmaz KÜÇÜK tarafından hazırlanan DELİK İŞLEMEDE TAKIMLAMA SİSTEMİNİN DELİK KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İhsan KORKUT

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Kürşad DÜNDAR

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut İZCİLER

.....

Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ersan ASLAN

.....

Makine Mühendisliği Bölümü, 100. Yıl Üniversitesi

Doç. Dr. İhsan KORKUT

.....

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 09/02/2009

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

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Yılmaz KÜÇÜK

DELİK İŞLEMEDE TAKIMLAMA SİSTEMİNİN DELİK KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Yılmaz KÜÇÜK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2009

ÖZET

Bu çalışma; delik işleme operasyonlarında takımlama sisteminin, kesme parametreleri ile birlikte delik kalitesini nasıl etkilediğini deneysel tasarım yöntemi kullanarak belirlemeyi içermektedir. Takımlama sistemi, kesici uç geometrisi, takım malzemesi ve takım bağlama boyunu içermektedir. Delik kalitesi; delik yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma ve düzlemselliği kapsamaktadır. Deneylerin gerçekleştirilmesinde en az zaman ve maliyet ile en optimum sonuçları elde etmek için Taguchi deney tasarım metodu ile elde edilen deney kombinasyonları kullanılmıştır. Deney sonuçları, mevcut katalog verileri ile anlamlı bir ilişki ve paralellik göstermiştir. Diğer taraftan, deney kombinasyonu şartlarının uygulanabilirliği, verimliliği ve güvenilirliği test edilmiştir. Deneyler, imalat endüstrisinde oldukça sık kullanıma sahip AISI 1040 malzemedan $\varnothing 60 \times 60$ mm ebatlarında boydan boya 36 mm çapında delinerek hazırlanan 27 adet deney numunesi ile yapılmıştır. Deney tasarımında, her biri 3 düzeyli 5 adet etken için en uygun dikey dizim olan Taguchi'nin standart L_{27} dikey dizimi (orthogonal array) kullanılmıştır. Deney etkenleri; kesme hızı (V_c , m/dak), ilerleme miktarı (f , mm/dev), kesme derinliği (a_p , mm), takım tutucu malzemesi (T_t) ve takım bağlama boyu-takım gövde çapı oranı (L/d oranı, mm) olarak seçilmiştir. Deney verileri, Minitab istatistiksel analiz programı ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, Minitab programı

yardımıyla 3 boyutlu grafiklere dönüştürülmüş ve yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla ilerleme miktarının (f), daha sonra takım malzemesinin etki ettiği tespit edilmiştir. Dairesellikten sapma için; en fazla ilerleme miktarının (f), ikinci olarak kesme derinliğinin (a_p) etki ettiği saptanmıştır. Titreşim genliğini en fazla kesme hızının (V_c) etkilediği, delik düzlemselliğini ise en çok kesme derinliğinin (a_p) etkilediği görülmüştür.

Bilim Kodu :708.3.028
Anahtar Kelimeler :Talaş kaldırma, Delik işleme, Titreşim, Taguchi metodu, Yüzey kalitesi
Sayfa Adedi :149
Tez Yöneticisi :Doç.Dr. İhsan KORKUT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TOOLING SYSTEM EFFECTS ON HOLE QUALITY IN BORING OPERATIONS

(Ph.D. Thesis)

Yılmaz KÜÇÜK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2009

ABSTRACT

In this study includes to determine that the tooling system together with cutting parameters how affects the hole quality using experimental design method in boring operations. The tooling system contains that the insert geometry, the tool material and the overhang length of boring tool. The hole quality involves that the surface roughness of the hole, the deviation from circularity and linearity of the hole. The trial combinations obtained from the Taguchi experiment design method were used to carry out to get the best optimum results with the minimum cost and time. The results of trials displayed a meaningful relation and parallelism with the available catalog data. Otherwise, the applicability, productivity and the reliability of conditions of the trial combinations were tested. The trials were carried out on the AISI 1040 material used frequently in manufacturing industry. The samples were made 60 mm at diameter and the each length of the sample part at 60 mm. Each sample part drilled all along 36 mm at diameter. Total number of the samples were 27. Taguchi's standart orthogonal array called L_{27} was selected and used since the most suitable orthogonal array for the five factors with three levels for each one. The test factors were selected such as cutting speed (V_c , m/min), feedrate (f , mm/rev), depth of cut (a_p , mm), cutting tool holder material (T_t) and overhang length and diameter ratio of the boring tool (L/d ratio, mm). The tests data were

analyzed by Minitab 15 statistical analyze software. By means of the Minitab software, the experimental results were transformed into the three-dimensional (3D) graphics and these 3D graphics were examined. According to obtained results from the tests, the feedrate factor has been the most significant effect on the surface roughness of the hole and secondary effect occurred by the cutting tool material were measured. The deviation from circularity has been affected mostly by the feedrate (f) factor, secondary effect created by the depth of cut (a_p) were determined. It was seen that the amplitude of cutting vibrations has been affected mostly by cutting speed (V_c) and the depth of cut factor has the most significant effect on the linearity of bored hole.

Science Code	:708.3.028
Key Words	:Machining, Boring operations, Vibration, Taguchi's method, Surface quality
Page Number	:149
Adviser	:Assoc.Prof.Dr. İhsan KORKUT

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilme safhalarının tümünde her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, karşılaştığım problemlerin çözülmesinde büyük katkısı olan kıymetli danışmanım Sayın Doç. Dr. İhsan KORKUT'a, deneylerde gerekli cihazların kullanımı, teknik bilgi ve veri değerlendirme konularında engin tecrübe ve bilgilerinden faydalandığım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, tez izleme aşamalarında gösterdiği özenle çalışmalarımın iyileşmesinde önemli katkıları olan hocam Sayın Prof. Dr. Ersan ASLAN'a, takım ve malzeme temini için finansal destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine (proje kodu:41/2007-02), yaptığım bütün çalışmalar boyunca her türlü manevi desteğini ve sabrını esirgemeyen sevgili eşime ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Takım Tutucu Tasarımı ve Takımlama Sistemleri ile İlgili Çalışmalar.....	4
2.2. Delik İşleme ile İlgili Çalışmalar.....	12
2.3. Delik İşlemede Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğü ile İlgili Çalışmalar.....	16
2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirmesi.....	19
3. KURAMSAL TEMELLER.....	24
3.1. Talaşlı İmalatta Talaş Oluşumu.....	24
3.2. Talaşlı İmalatı Etkileyen Faktörler.....	25
3.2.1. Yanaşma açısının etkisi.....	25
3.2.2. Köşe radyüsünün etkisi.....	25
3.2.3. Kesici ucun şekli.....	26
3.3. Delik İşlemenin Esasları.....	28
3.3.1. Delik işleme işlemi.....	28
3.3.2. Delik işlemede kesme kuvvetlerinin etkisi.....	29

Sayfa

3.3.3. Takımın sehim.....	33
3.3.4. Delik takımının tespiti.....	34
3.3.5. Delik işleme takımının sehim telafisi.....	35
3.3.6. Delik işleme takımları.....	35
3.3.7. Talaş kırma ve talaş boşaltma.....	37
3.3.8. Delik işlemede takım seçimi.....	38
3.4. Titreşim oluşumunda temel etkenler.....	39
3.4.1. Titreşimlerin doğası.....	40
3.5. Dinamik rijitlik.....	41
3.6. Zorlanmış salınım.....	42
4. TAGUCHI DENEY TASARIMI.....	44
4.1. Taguchi Felsefesi.....	44
4.2. Deney Tasarım Stratejisi.....	45
4.3. Deney Sonuçlarının Analizi.....	47
4.3.1. Etkenlerin görelî katkıları.....	49
4.3.2. Varyans oranları.....	50
4.3.3. Saf kareler toplamı.....	51
4.3.4. Etkenlerin yüzde katkıları.....	51
4.3.5. Sinyalin gürültüye oranı (S/N).....	52
4.4. Kalite Karakteristikleri.....	52
5. MALZEME VE METOT.....	55
5.1. Deneysel Çalışmalar.....	55

Sayfa

5.1.1. İş parçası malzemesi.....	55
5.1.2. Kesici uç ve takım tutucular.....	57
5.1.3. Takım tezgahı.....	60
5.1.4. Deneysel ölçümler.....	60
5.1.5. Kesme parametreleri ve bağımsız değişkenler.....	62
5.1.6. Deney Tasarımı ve deneylerin yapılışı.....	63
6. DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	68
6.1. Yüzey Pürüzlülüğü Analizleri.....	70
6.1.1. Kesme derinliği ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	71
6.1.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	72
6.1.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	74
6.1.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	76
6.1.5. Takım tutucu malzemesi ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	78
6.1.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	80
6.1.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	82
6.2. Dairesellikten Sapma (Ds) Analizleri.....	87
6.2.1. Kesme derinliği ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	87
6.2.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	89
6.2.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	91
6.2.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	92
6.2.5. Takım tutucu malzemesi ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	94
6.2.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	96
6.2.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	98

Sayfa

6.3. Düzlemsellik Analizleri.....	102
6.3.1. Kesme derinliği ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	102
6.3.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	105
6.3.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	107
6.3.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	109
6.3.5. Takım tutucu malzemesi ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	111
6.3.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	112
6.3.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	114
6.4. Titreşim Analizleri.....	118
6.4.1. Kesme derinliği ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	118
6.4.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	121
6.4.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	123
6.4.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	124
6.4.5. Takım tutucu malzemesi ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	126
6.4.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin etkisi.....	127
6.4.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin etkisi.....	129
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	133
KAYNAKLAR.....	142
ÖZGEÇMİŞ.....	148

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Delik kateri tasarımı ve takımlama sistemleri ile ilgili çalışmalar	20
Çizelge 2.2. Delik işleme ve titreşim ile ilgili yapılan çalışmalar	22
Çizelge 3.1. Uç şekli seçimini etkileyen faktörler	28
Çizelge 4.1. Taguchi'nin 18 temel dikey dizimi ile ilgili bilgiler	46
Çizelge 4.2. L ₈ dikey dizimi	47
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan AISI 1040 çeliğin spektral analizi.....	56
Çizelge 5.2. TAKISAWA 106 EX CNC torna tezgahının bazı özellikleri.....	60
Çizelge 5.3. TV 300 titreşim ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	61
Çizelge 5.4. Mitutoyo SJ 301 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	61
Çizelge 5.5. Üç boyutlu ölçüm cihazına ait teknik özellikler.....	62
Çizelge 5.6. Deney tasarımında kullanılan etkenler ve düzeyleri.....	62
Çizelge 5.7. L ₂₇ dikey dizimi ve etkenlerin kolonlara yerleştirilmesi.....	65
Çizelge 5.8. Etkenlerin (faktörlerin) düzey değerlerinin yerleşimi.....	66
Çizelge 5.9. Deney tasarımı akış şeması.....	67
Çizelge 6.1. Yüzey pürüzlülüğü dairesellikten sapma ve düzlemsellik ölçümleri.....	68
Çizelge 6.2. Titreşim genliği ölçümlerine ait deney verileri.....	69
Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü analiz verileri.....	68
Çizelge 6.4. Yüzey pürüzlülüğü için faktörlerin S/N oranına etkileri.....	85
Çizelge 6.5. Faktörlerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkileri.....	85
Çizelge 6.6. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü standart sapma değerine etkileri.....	86
Çizelge 6.7. Dairesellikten sapma analiz sonuçları.....	100
Çizelge 6.8. Dairesellikten sapma için faktörlerin S/N oranına etkileri.....	101

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.9. Faktörlerin ortalama dairesellikten sapma değerlerine etkileri.....	101
Çizelge 6.10. Faktörlerin Ds standart sapma değerlerine etkileri.....	102
Çizelge 6.11. Düzlemsellik analiz sonuçları.....	116
Çizelge 6.12. Düzlemsellik için faktörlerin S/N oranına etkileri.....	117
Çizelge 6.13. Faktörlerin ortalama X_L değerlerine etkileri.....	118
Çizelge 6.14. Titreşim genliği değeri analiz sonuçları.....	131
Çizelge 6.15. X_A değeri için faktörlerin S/N oranına etkileri.....	132
Çizelge 6.16. Faktörlerin ortalama X_A değerlerine etkileri.....	132
Çizelge 6.17. Faktörlerin titreşim standart sapma değerlerine etkileri.....	132

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yanaşma açıları ve kesme kuvvetleri.....	25
Şekil 3.2. Yüzey kalitesi - köşe radyüsü ilişkisi.....	26
Şekil 3.3. Uç şekli – mukavemet – erişim – güç – titreşim ilişkisi.....	27
Şekil 3.4. L/D oranı ve rijitlik.....	29
Şekil 3.5. Pozitif talaş açısındaki artış ve etkileri.....	30
Şekil 3.6. Radyal sehim ve köşe radyüsü ilişkisi.....	32
Şekil 3.7. Sehim, köşe radyüsü ve talaş derinliği.....	32
Şekil 3.8. Kesici uca etkiyen kuvvetler ve etkileri.....	35
Şekil 3.9. Delik katerleri.....	36
Şekil 3.10. Titreşim sönümleyicili delik işleme takımı.....	37
Şekil 3.11. Periyodik titreşimli hareket.....	41
Şekil 3.12. Dinamik rijitlik.....	42
Şekil 5.1. Deney numunesi (AISI 1040).....	56
Şekil 5.2. 570-STFCR -25-11-B1 kodlu başlık.....	58
Şekil 5.3. 570-2C 25 200 kodlu çelik gövde.....	58
Şekil 5.4. 570-2C 25 250 CR kodlu sert karbür gövde.....	59
Şekil 5.5. 570-3C 25 255 kodlu anti-vibrasyonlu gövde.....	59
Şekil 6.1. (a_p) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	71
Şekil 6.2. (a_p) ve (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	73
Şekil 6.3. (f) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	75
Şekil 6.4. (f) ve (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	77
Şekil 6.5. (Tt) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	78

Şekil	Sayfa
Şekil 6.6. (Vc) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	80
Şekil 6.7. (Vc) ve (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	82
Şekil 6.8. (ap) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi	87
Şekil 6.9. (ap) ve (Tt) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi	89
Şekil 6.10. (f) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi	91
Şekil 6.11. (f) ve (Tt) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi	93
Şekil 6.12. (Tt) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi.....	95
Şekil 6.13. (Vc) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi	97
Şekil 6.14. (Vc) ve (Tt) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi	99
Şekil 6.15. (ap) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi	103
Şekil 6.16. (ap) ve (Tt) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi	105
Şekil 6.17. (f) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi.....	107
Şekil 6.18. (f) ve (Tt) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi	109
Şekil 6.19. (Tt) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi.....	111
Şekil 6.20. (Vc) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi.....	113
Şekil 6.21. (Vc) ve (Tt) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi.....	115
Şekil 6.22. (ap) ve (L/D) ilişkisinin titreşime etkisi.....	120
Şekil 6.23. (ap)ve (Tt) ilişkisinin titreşime etkisi.....	121
Şekil 6.24. (f) ve (L/D) ilişkisinin titreşime etkisi.....	123
Şekil 6.25. (f) ve (Tt) ilişkisinin titreşime etkisi.....	125
Şekil 6.26. (Tt) ve (L/D) ilişkisinin titreşime etkisi.....	126
Şekil 6.27. (Vc) ve (L/D) ilişkisinin titreşime etkisi.....	128
Şekil 6.28. (Vc) ve (Tt) ilişkisinin titreşime etkisi.....	129

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
α	Boşluk açısı (°)
β	Kama açısı (°)
γ	Talaş açısı (°)
κ	Yanaşma açısı (°)
Δ_T	Teğetsel sehim (mm)
Δ_R	Radyal sehim (mm)
δ	Toplam sehim (mm)
F_c	Esas kesme kuvveti (N)
F_R, F_{CN}	Radyal kuvvet (N)
a_p	Kesme derinliği (mm)
V_C	Kesme hızı (m/min)
f	İlerleme miktarı (mm/rev)
D	Takım tutucu gövde çapı (mm)
E	Elastisite modülü (N/mm ²)
I	Atalet momenti (mm ⁴)
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
X_L	Düzlemsellik (mm)
X_A	Titreşim yerdeğiştirme genliği (mm)
D_s	Dairesellikten sapma (mm)

Kısaltmalar	Açıklama
AISI	<i>American Iron and Steel Institute-</i> Amerikan Çelik Standardı
ANOVA	<i>Analysis of Variance-</i> Varyans analizi
BUE	<i>Built-up edge-</i> Kesici kenar üzerinde talaş yığılması
CNC	<i>Computer Numerical Control-</i> Bilgisayarlı Sayısal Denetim
DD	Dikey dizim
FEM	<i>Finite Elements Method-</i> Sonlu Elemanlar Metodu
FTP	<i>Fuzzy Transition Probability-</i> Bulanık Geçiş Olasılığı
IMS	<i>Integrated Manufacturing System-</i> Bütünlüklü İmalat Sistemi
KO	Kareler Ortalaması
L/D	Takım tutucu boyu/gövde çapı oranı
S/N	<i>Signal to Noise Ratio-</i> Sinyalin Gürültüye oranı
TLPM	<i>Tool Life Prediction and Management-</i> Takım ömrü tahmini ve yönetimi
TVA	<i>Tunable Vibration Absorber-</i> Ayarlanabilir Titreşim Emici

1. GİRİŞ

Delik tornalama işlemi; imalat sanayinde dar tolerans aralıklarında ve önceden delinmiş veya dökümden, haddeden çıkan parça delik kısımlarının küçük kesme derinliği miktarları ile işlenerek hassas ölçülere getirilmesidir. Delik tornalama işlemlerinde dikkate alınması gereken belli hususları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Delik kesitinin düz veya bir profilde oluşu
- Boydan boya veya kör delik oluşu
- Tek çap ve/veya kademeli delik çaplarının varlığı
- İstenen yüzey pürüzlülüğü değer aralıkları
- Kesici uç geometrisi (kesici uç yarıçapı ve yanaşma açısı) ve malzemesi
- Delik işleme takım tutucu gövde malzemesi ve gövde çapı
- Takım bağlama boyu (L/d oranı)
- Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği)

Delik tornalama operasyonlarında hedefler; ölçü tamlığı, ovalliğin en aza indirilmesi, delik düzlemselliğinin en uygun ölçülerde olması ve iyi bir yüzey pürüzlülük değeri elde etmek olarak sıralanabilir.

Herhangi bir makine parçasını herhangi bir talaş kaldırma tekniği ile üretmek için öncelikle uygun kesme parametreleri seçilmelidir [1]. Kesme parametrelerinin yanında kesici takımda önemlidir. Dış tornalama işleminde efektif takım uzunluğu iş parçasının boyundan etkilenmez ve takım tutucun boyutları işlem sırasında oluşan kuvvetlere ve gerilmelere dayanacak ölçülerde seçilir. Buna karşın iç tornalamada takım seçimi, iş parçasındaki deliğin çapı ve uzunluğu ile sınırlandırılmıştır [2].

Thomas, yaptığı çalışmasında, genel talaş kaldırma işlemlerinde yüzey pürüzlülük değerinin azaltılmasının paso derinliğinin azaltılması, düşük ilerleme ve yüksek kesme hızları kullanımı, soğutma suyu debisinin artırılması, kesici takım uç

yarıçapının ve talaş açısı değerlerinin büyük olması gibi faktörlere bağlı olduğunu belirtmiştir [3]. Kopac ve Bahor, uygulamada sık kullanılan temperlenmiş Ç 1060 ve Ç 4140 çeliklerin işleme koşulları ile yüzey pürüzlülüğünün değişimi üzerine yaptıkları çalışmalarında, işleme parametrelerinin rastgele seçimi sayesinde ne tür sonuçlar ile karşılaşılabilceği üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında, her iki çelik için büyük uç yarıçaplı kesici takım kullanıldığında düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşıldığı görülmüştür [4]. Yuan, Zhou ve Dong'un, tornalama ile ilgili çalışmalarında, baklava geometrili (eşkenar dörtgen veya diamond) kesici takımın keskinliğinin, işleme deformasyonlarını ve işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğünü etkileyen ana faktörlerden biri olduğunu ortaya koymuşlardır [5]. Eriksen, torna ile işlenen kısa elyaflarla güçlendirilmiş termoplastik malzemelerin değişik kesme ve ilerleme hızları, kesici takım uç yarıçapı ve elyaf doğrultusu ile etkileşimlerini incelemiştir [6]. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine etkisi ve ısıya dönüşümünü araştırmak amacıyla yapılan çalışmalarda, iş parçasından talaş kaldırmada kullanılan enerjinin ısıya dönüştüğü, ısı oluşum bölgesinin takım-talaş arasındaki temas uzunluğunda başladığı ve kesme kuvvetlerinin büyüklüklerini etkilediği belirtilmiştir [7-8]. Korkut ve Şeker, kesme hızının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları deneysel çalışmada kesme hızındaki artışların takım ömrünü artırdığı ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler tespit edildiğini belirtmişlerdir [9].

Kesme işlemlerinde, takım talaş açısının kesmede titreşim oluşumuna etkileri incelenmiştir [10]. Talaş kaldırma sırasında oluşan talaş tipinin bitmiş yüzey üzerinde önemli etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir [11]. Rijitliğin, takım çapı artışıyla birlikte artacağı bilinmektedir. Ancak talaş tahliyesi ve radyal hareketler açısından delik içerisindeki boşluğun da dikkate alınması gerektiğinden takım çapı açısından bazı sınırlamalar vardır. Rijitlik, L/D oranı ile tanımlanmaktadır. Delik işleme işlemindeki rijitlik açısından sınırlamalar, üretim planlamasında ve hazırlık aşamasında özel dikkat gerektirir. Takım geometrisinin ve seçilen kesme verilerinin kesme kuvvetleri üzerindeki, farklı tipteki katerlerin ve takım tespit sistemlerinin ise rijitlik üzerindeki etkilerinin anlaşılmasıyla sehim ve titreşim en aza indirilebilmektedir [2].

Bu yaklaşımlardan yola çıkarak planlanan bu çalışma ile;

- Farklı değerlerde belirlenen kesme parametreleri ile (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) farklı bağlama oranlarındaki üç değişik kater malzemesinden oluşan kater gövdeleri için ayrı ayrı kombinasyonlar halinde kesme deneyleri yapılarak delik içi yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi
- Deneylerde kesme sırasında ortaya çıkan titreşimlerin ölçülmesi
- Delik tornalama sonunda deliklerde meydana gelen dairesellikten sapmaların (Ds) ölçülmesi
- Delik tornalama sonunda delik içi düzlemselliğinin ölçülmesi

ile kesme parametrelerinin her birinin; delik içi yüzey pürüzlülüğüne, dairesellikten sapmaya, titreşime ve düzlemselliğe etkilerinin belirlenmesi, ayrıca farklı kater malzemelerinin ve L/D oranlarının yukarıda sıralanan 4 başlıkta belirtilen hususları ne ölçüde etkilediklerinin tespiti amaçlanmıştır.

Çalışma 7 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı üzerinde durulmuş ve ikinci bölümde çalışma konusuna paralel konularda yapılan çalışmalar literatürden incelenerek değerlendirilmiş ve yapılan çalışmanın literatürle ilişkisi ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde talaş kaldırma ve delik işleme esasları üzerine kuramsal temeller aktarılmıştır. Dördüncü bölümde Taguchi deney tasarım metodu tanıtılarak hazırlanan deney tasarımı mantığı izah edilmiştir. Beşinci bölüm deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi, kesici takımlar, ölçüm cihazları ve metotlar üzerinde ayrıntılı bilgiler sunulmuştur. Altıncı bölümde deneylerden elde edilen sonuçların her kalite özelliği için ayrı ayrı olmak üzere ayrıntılı olarak analizleri yapılarak değerlendirilmiştir. Yedinci bölümde yapılan çalışma neticesinde elde edilen bulgular ortaya konularak değerlendirmeler yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Delik tornalama işlemi için son 25 yılda yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde; delik işleme işlemlerini üç ana başlıkta sınıflandırmak mümkündür.

2.1. Takım Tutucu Tasarımı ve Takımlama Sistemleri ile İlgili Çalışmalar

Delik tornalamada karşılaşılan en önemli problemlerin başında titreşim, dairesellikten sapma (Ds), düzlemsellik, tezgah ve takım rijitliği gelmektedir. Bu problemlerin sonucunda istenen yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı değerlerindeki sapmaların en aza indirilmesi amacıyla delik işleme takım tutucu ve takımlama sistemleri tasarım ve modifiyesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Lee ve arkadaşları çalışmalarında; derin deliklerin çelik veya tungsten delik katerleriyle yüksek hızlı delik işleme operasyonlarıyla işlenmesi sırasında delik katerlerinin düşük dinamik rijitliği ve doğal frekanslarından dolayı işleme titreşimi oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında, yüksek hızda delik işleme gereksinimlerini karşılamak için yüksek bükülmezlik eğilimli karbon fiber epoksi kompozitten bir dönel delik işleme takım tutucu tasarlayıp üretmişlerdir. Karbon fiber epoksi kompozit malzemelerin, geleneksel delik işleme takım tutucu malzemelerinden daha fazla gürültü soğurucu ve daha yüksek spesifik bükülmezliğe sahip olmasını tercih sebebi olarak sunmuşlardır. Kompozit delik işleme takım tutucu için optimum tasarım parametrelerini; titreşim testlerinden delik işleme takım tutucunun ölçüleri ve malzeme tipleriyle ilgili olarak deneysel olarak belirlemişlerdir. Geliştirilen kompozit delik işleme takım tutucunun dinamik karakteristikleri, alüminyum motor bloklarının delik işleme operasyonu yoluyla ölçülmüştür. Deneylerden, kompozit delik işleme takım tutucunun dinamik bükülmezliğinin tungsten karbür takım tutucuya göre yüzde 30 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda kesme titreşimi boy/çap oranı 10,7 üzerine kadar oluşmamakta olup, aynı şartlardaki tungsten takım tutucu boy/çap oranı 8.0 ile karşılaştırıldığında yaklaşık yüzde 30 daha fazla bir iyileşme olduğu bulunmuştur [12].

Atabey ve arkadaşları, büyük çaplı deliklerin genellikle çok uçlu delik işleme takım tutucu başlıkları ile işlendiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışma; delik işleminin mekaniği, kinematiği ve fiziği tabanlı işlem parametreleri (ilerleme, kesme hızı, radyal kesme derinliği gibi) kesme kenarı temas uzunluğu, talaş yükü ve takım geometrisini bir fonksiyonu olarak kesme kuvveti sistemi için bir matematiksel model sunmaktadır. Model aynı zamanda her bir uçtaki radyal ve eksenel aşınma gibi olası işlem hatalarını ve boylamsal delik ve takım tutucu eksenleri arasındaki sapmayı içermektedir. Radyal ve eksenel aşınmaya sahip tüm uçlar tarafından karşılanan kesme kuvvetleri modellenmektedir ve deneysel ölçümlerle karşılaştırılmaktadır. Sistemde aşınma olmadığından; kuvvet iptallerinden dolayı normal kesme kuvvetleri sıfırdır. Uçlarda aşınma olduğunda, -ilerleme kuvveti sabit iken- uç geçiş frekansında delik eksenine dik konumdaki kesme kuvvetleri periyodik olmaktadır. Geliştirilen model, takma uçlu delik kater başlıkları ile delik işleme operasyonlarının işlem planlamasında kullanılabilir. Böylece bitirme yüzeyi ve deliklerin çap kalitesi aşırı kuvvet titreşimlerinden sakınmak suretiyle korunmaktadır [13].

O'Neal ve arkadaşları, otomotiv endüstrisinde hat delik işleme işleminin esnekliğini ve tamlığını artırmak için bir mekatronik metal kesme takımı geliştirmişlerdir. Delik işleme takımının dönen kısmına lazer pozisyon sensörleri ve piezoelektrik aktüatör yerleştirilmiştir. Takım tutucunun bükülmesini ve kesme kuvvetlerinin etkilerini telafi etmek için delik takımı giriş pozisyonunun geri dönüşümlü kontrolünü kullanan bir hızlı takım servo motoru tasarlanarak dönen takım setine yerleştirilmiştir. Pozisyon kontrolüne ek olarak olumsuzluk tahmininde kullanılan bir kendi kendini izleme algoritması kontrolör ile birlikte konulmuştur. Deneysel sonuçlara göre; geliştirilen kesme işlem kontrolörü, takım uç kırılması ve işlem hatalarının güvenli bir şekilde ortaya çıkarılması gibi delik takımının tamlik parametrelerinin ek bir izleme olmaksızın iyileştirildiği ifade edilmiştir [14].

Chiu ve arkadaşları, gerçek zamanlı hata telafisi yoluyla küçük bağlama oranına sahip takım tutucunun işleme hatalarını azaltmayı gerektiren bir çalışma yapmışlardır. Geliştirilen delik işleme takım tutucusu, 140mm boy ve 14mm dış çaplı

bir çift eş merkezli takım tutucudan oluşmaktadır. Bir piezoelektrik aktüatör, on-line telafiyi sağlamak için takım tutucu ile birleştirilmiştir. Kesme testlerinin sonuçlarına göre; deliklerin hassas işlenmesi ve pürüzlülük hatalarında %40 iyileşmenin, işleme hatalarının on-line telafisi ile başarılabileceği ifade edilmiştir [15].

Gao ve arkadaşları, işleme hataları için bir on-line telafi fonksiyonu ile donatılmış yeni bir delik işleme takım tutucu servo sistemi geliştirmişlerdir. Delik işleme takım tutucu; dış çapı 14mm eş merkezli ve L/d oranı 8:1 olarak geliştirilmiştir. Bir piezoelektrik aktüatör on-line telafi sağlamak için bir delik işleme takım tutucu servo sistemi ile birleştirilmiştir. Geliştirilen delik işleme takım tutucu servo sistemi ile deliklerin hassas işlenmesinde işleme hatalarının on-line telafisinin mümkün olduğu vurgulanmıştır [16].

Byung-Kwon Min ve arkadaşları, hat delik işleme işlemlerinin hassasiyetini ve esnekliğini iyileştirmek için yeni bir sensörlü delik işleme takımı geliştirmişlerdir. Bir pozisyon sensörü, takım ucu kontrol aktüatörü ve kontrol elektroniği kesici takımla birleştirilmiştir. Bu komplike takımın avantajlarını artırmak için kesme kuvveti ölçüm metodu tabanlı bir işlem teşhis metodu geliştirilmiştir. Takım ucu kırılması ve iş parçasının yanlış ayarlanması gibi kesme işlem hatalarını ortaya çıkarmada kesme kuvvetini kullanan bir algoritma tasarlanmış ve deneysel olarak test edilmiştir [17].

Katsuki ve arkadaşları, delik sapmasını önlemek için piezoelektrik aktüatör kullanan bir laser-kılavuzlu derin delik işleme takımı tasarlamışlardır. Çift kenarlı delik işleme takım tutucu başlığı yerine tek kenarlı delik işleme takım tutucu başlığı kullanılmıştır. Deneylerin, 108 mm çapta delinmiş duralümin (A2017-T4) iş parçası kullanılarak yeni takımın performansını ölçmek ve pratikteki uygulamasını belirlemek için yapıldığı ifade edilmiştir. Sonuç olarak, oluşturulan deneysel şartlarda 700mm den az derinlikte kontrollü delik işleminin mümkün olduğu belirtilmiştir [18].

Chiu ve arkadaşları, aktif hata telafisi için piezoelektrik kontrollü bir delik işleme takım tutucunun tasarım ve test edilmesi üzerine çalışmışlardır. Bir bilgisayar kontrollü piezoelektrik aktüatör, kesme sırasında otomatik olarak düzeltilebilen anlık kesme kuvvetinin sebep olduğu takım yer değiştirmeleri şeklinde delik işleme takım tutucusu üzerine etki ettirilmekte ve kesme kuvvetini eş zamanlı izleme ile bir PID kontrol algoritması yazılmaktadır [19].

Alamin ve arkadaşları çalışmalarında; bir akıllı takım seçim sistemi içinde birleştirilmiş takım ömrü tahmini ve yönetimi (TLPM) için bilgisayar tabanlı bir sistem ve yeni metotlar sunmaktadırlar. Tornalama ve delik işleme operasyonları için takım ömrü teorik tahmininin, değerlerin modifikasyonu yoluyla gerçek zamanda mevcut takım ömrü bilgisi üzerine uygulanan regresyon (karşılaştırılmalı analiz) teknikleri yoluyla yürütüldüğü ifade edilmektedir. TLPM'nin kapalı bir döngü programı olduğu ve talaş kaldırma işlemlerinden tahmin ömrü datalarının işleme ve toplanmasına yönelik bir data sürücü sistem operasyonu olduğunu vurgulamışlardır. Tahminlerin tamlığı, doğruluğu ve takım ömrü sabitlerinin dengelenmesini tanımlamak için ulaşılan değerlere bakılarak periyodik olarak değerlendirildiğini ifade etmişlerdir. Takım ömrüne göre kurulan kontrolün, takım gereksinimlerinin etkili planlaması ve optimum takım değiştirme stratejilerinin belirlenmesine olanak sağladığını belirtmişlerdir [20].

Ema ve Marui, delik takımları gibi ince ve uzun kesme takımlarının ve matkapların sönümleme kapasitesini geliştirmek için bir darbe sönümleyici geliştirmişlerdir [21].

Tewani ve arkadaşları, bir delik işleme takım tutucusundaki takım işleme titreşimini bastırmak için bir aktif dinamik emici kullanımını vurgulamışlardır. Sistem titreşimleri, temel sisteme etkiyen gürültü faktörlerini (istenmeyen etkiler) önleyen bir atalet kuvveti üretmek için piezoelektrik aktüatör kullanan bir emici kütlenin hareketi ile azaltılmaktadır. Dinamik kesme değişkenini ve sürtünme açısını inceleyen bir kesme işlemi modeli kümelenmiş kütle modeline uygulanmaktadır. Kesme hızının bir fonksiyonu olarak kabul edilebilir maksimum kesme genişliği için denge sınırları hesaplanmıştır. Sade delik işleme takım tutucu, pasif ayarlı dinamik

emicili delik işleme takım tutucu ve aktif dinamik emicili delik işleme takım tutucu sessiz kesme operasyonu için bir sınır karşılaştırmasına tabi tutulmuştur. Karşılaştırma sonucunda; aktif dinamik emici ile donatılmış delik işleme takım tutucu için kesme hızı aralığının üstündeki sabit kesme operasyonu için maksimum kabul edilebilir kesme genişliğinde önemli bir artış elde edildiği belirtilmiştir [22].

Dhage ve arkadaşları, delik işleme ve tornalama operasyonları için takımların otomatik seçiminde, tüm takım tutucuları ve giriş parametrelerini inceleyen bir prototip hazırlamışlardır. Ortaya çıkan yazılım sisteminin makine imalatçıları tarafından kullanılabileceğini vurgulamışlardır [23].

Chen ve Hinduja çalışmalarında, bir tornalama operasyonu için seçilen bir takımın, makine veya iş parçasını engellemeyecek şekilde doğru geometriye sahip olması gerektiği ifade edilmiş, herhangi olası bir karışıklığı etkili bir şekilde ve otomatik olarak ortaya çıkarmayı mümkün kılan bir metot tanımlamışlardır. Tanımlanan metot, sadece takım geometrisi ve iş parçasını hesaba katmakla kalmayıp aynı zamanda ayna, punta ve takım taretleri gibi çevre elemanlarını da hesaba katmaktadır. Metot, tezgah ve iş parçasına karşı takımı kaydırma, takımın uç merkezinin geometrik yerini belirleme ve işlenecek olan alan ve geometrik yer arasındaki kesişmeyi hesaplamaya odaklıdır. Birçok durumda, sadece iş parçası hattı ve takım elemanlarının doğrultu açılarının kontrolü ile problemin ortaya çıkarılabildiği vurgulanmıştır. Engel ortaya çıktığında, metot takımın işleyemeyeceği tam alanı belirlemektedir. Metot aynı zamanda, belirli operasyonlar için gerekli minimum güvenli takım boyunu ve delik işleme için engelden kaçınan minimum kesme derinliğini belirleyebilmektedir [24].

Katsuki ve arkadaşları, derin delik işlemede, delik eksenel sapmasını önlemek amacıyla laser kontrollü bir delik işleme takım tutucu geliştirmişlerdir. Bu sistemin performansını test etmek için ön delik delinmiş duralümin iş parçası kullanılarak iki tür deney gerçekleştirilmiştir. İlk deney takımın bilgisayara hassas bir şekilde manipülasyonunun test edilmesi ikincisi, takımın hedefi takip edebildiğinin

araştırılması şeklinde sunulmuştur. Sonuçlara göre, kalemin delik sapma telafisi için pozisyonlanabildiği belirtilmiştir [25].

Nickols ve Martin, iki operasyon moduna göre yapılmış yeni bir delik işleme başlığı tanımlamışlardır. İlk mod, takım ucu 0,4mm çap aralığını mümkün kılan delik işleme modudur. İkinci mod ise, delik işleme başlığını delik yarıçap ölçüm elemanına döndüren ölçüm modudur. Bu işlem takım ucunun dokunma probu olarak kullanılmasıyla yapılmaktadır [26].

Koren ve arkadaşları, otomotiv uygulamalarında uzun delik işleme işlemleri için yeni bir pratik hat delik işleme takımı tasarlamışlardır. Delik işleme takımı, on-line olarak telafi mekanizmalı ve delik işlemede algılama ve gerçek zamanlı düzeltme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir [27].

Kuster ve Gygax, yüksek L/D oranlarında bağlanan delik katerlerinin tırlamaya meyilli olduğunu, denge sınırının yalnızca delik işleme takım tutucune bağlı olmadığını bunların yanında takım tutucun takılmasına, takım tezgahına ve aynı zamanda seçilen kesme şartlarına bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Daha fazla ölçüsel tamlik veren bir kesme modeli üzerinde çalışmışlardır. Model üç boyutlu gerinimlerin yanında kesici takım uç köşe radüsü eğimini de incelemektedir. Bu ise kaba ve ince işleme arasında önemli bir farklılık meydana getirmektedir. Bu çalışma, simülasyonla deneysel kesme testi ile karşılaştırıldığında işleme sesi dengesinin tahmininde daha hassas bir tamlik gösteren yeni bir kesme modeli sunmaktadır [28].

Nagano ve arkadaşları çalışmalarında, çelik gövdeli ve sementit karbür gövdeli takımlara göre daha üstün titreşim dengeleme özelliğine sahip bir kompozit delik işleme takım tutucu geliştirmişlerdir. Geliştirilen kompozit delik işleme takım tutucu malzemesi, zift esaslı karbon fiber katkılı plastiktir. Farklı şekillendirilmiş çelik çekirdeklere sahip dört tip kater FEM analizi ile tasarlanmıştır. Çapraz şekilli çelik çekirdeğe sahip takım tutucunun, tasarlanan tüm takımlar arasında en iyi kesme ve dengeleme kapasitesi gösterdiği belirtilmiştir [29].

Rivin ve arkadaşları, dinamik titreşim emici yapısına benzer bir kombinasyon kullanarak ankastre delik takımlarının dinamik performansını geliştirmeyi amaçlamışlardır. Ana sistemin rastgele ortaya çıkardığı ve kendiliğinden ortaya çıkan durumlar için analitik sonuçların kullanılması ile emici parametreler sentez edilmiştir. Kombinasyon yapısı optimum rijitlik ve sönümleme kapasitesine ulaşmak için tasarlanmıştır. L/D oranı 15 olan bağlama oranlarında yapılan deney sonuçları incelenmiştir [30].

Lee ve Suh çalışmalarında, delik takımlarının ankastre olarak bağlama tipindeki düşük sönümleme ve düşük rijitliğinin işleme sırasında titreşimlere sebep olduğunu belirtmişlerdir. Rijitlik ve sönümleme kapasitesini artırmak için bir grafit epoksi delik işleme takım tutucu yaparak test etmişlerdir. Yapılan testlerde, grafit epoksi kompozit delik işleme takım tutucusu sönümleme kapasitesinin çelik gövdeli katerlere oranla %50 daha fazla olduğu, doğal frekansının da daha yüksek olduğunun gözlemlendiği belirtilmiştir [31].

Schulte ve arkadaşları, makine takım tasarımı ve yeni kesme malzemelerinde önemli gelişmeler sağlanmasıyla, birçok durumda işleme sistemindeki en zayıf halkanın, takım ile kesici uç arasındaki bir arayüz olan takımlama yapısı üzerine vurgu yapmışlardır. Takımlama yapısındaki yetersizliğin, tamlığa erişebilirliği sınırlayan aşırı statik sapmalara, zorlanmış ve kendiliğinden oluşan titreşimlerin sınırladığı kesme rejimlerine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın, takımlama yapıları ile ilgili 6 önemli konuda analitik ölçmeyi sağladığını ifade etmişlerdir [32].

- 1) işleme dengesi ve takım ömrü üzerine işleme sistem parametrelerinin etkisi
- 2) takımların tokluğu ve sönümlenmesi
- 3) Takım ve takım tutucu arayüzleri (takım bağlama cihazları)
- 4) modüler takımlama
- 5) takım ve makine arayüzleri
- 6) yüksek hız işleme takımları için takım dengeleme

Pepelnjak ve Kuzman, esnek metal işleme takımları için katmanlı takımlama yapısı konsepti sunmuşlardır. Takımlama geometrisinin adaptasyonunun böyle katmanlı takımlama setleri için mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Takım katmanlarının tasarımı için geliştirilen optimizasyon modelinde, metal şekillendirme için yeni

katmanlı takımların oluşturulmasında veya varolanın yeniden tasarımında birçok önemli parametre gruplarından oluşan (geometrik parametreler, yük parametreleri, takımlama malzemesi ve takım seti montajı) bir yapı kullanılmıştır [33].

Lahres ve arkadaşları, özellikle elmas kaplı sementit karbür uçların kaplaması, kesme performansının araştırılmasından elde edilen sonuçlar ve korelasyon olasılığını araştırmışlardır. AlSi10Mg alaşımının tornalama, frezeleme ve delme operasyonları ile ilgili kesme performans testleri gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra elmas kaplamaların yapışkanlığını değerlendirmek için Rockwell testi üzerine incelemeler yapmışlardır [34].

Tolio ve arkadaşları, takımlama konfigürasyonun bütünlüklü imalat sistemlerinin (IMS) performansını esneklik ve verimlilik yönlerinden derinden etkilediğini vurgulamışlardır. Sistem verimliliğini göz önünde tutarak, takım konfigürasyonu için takım yatırımını minimize etmeyi amaçlayan bir metot sunmuşlardır [35].

Yeo ve Rahman, geleneksel malafa tipi takımlar ile blok takımların karşılaştırmalı bir değerlendirmesini yapmışlardır. Her iki tip takımlar için performans değerlendirmesi kesme ve modül analiz testleri ile yapılmıştır. Aynı kesme şartlarında, kesme işlemi sırasında blok takımların geleneksel takımlara göre daha yüksek doğal frekans ve daha küçük titreşim genliğine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Yaptıkları testlerde, blok takım kullanılarak elde edilen iş parçası yüzeyinin geleneksel takımlar ile kesme işlemlerinde elde edilen yüzeylerden daha kararlı ve iyi olduğunu tespit etmişlerdir [36].

Weck ve arkadaşları yaptıkları araştırmada, yüksek fener mili hızları elde etmek için iğne rulmanlı yataklar kullanıldığını, ama bu sistemlerin hidrostatik ve hidrodinamik rulmanlara göre daha düşük sönümlleme kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Takımların uzun bağlama boylarında bağlanmasının dinamik dengesizliğe sebep olduğunu böylece kesme işlemi sırasında işleme titreşimine yol açtığını ifade etmişlerdir. İğne rulmanların hidrostatik sisteme yerleştirilmesi hız kapasitesini azaltmaksızın sönümlleme kapasitesini artırdığını tespit etmişlerdir. Pasif sönümlleme

elementlerinin takım tutucu sistemlerle bütünleştirilmesi sayesinde fener mili ve takımın dinamik davranışı optimize edilebileceğini vurgulamışlardır. Delik işleme takım tutucularında malzeme değişikliği, geometrik şekil değişikliği kadar takım tutucunun dinamik dengesini artırdığı belirtilmiştir [37].

2.2. Delik İşleme ile İlgili Çalışmalar

Atabey ve arkadaşları, delik işleme operasyonlarının mekaniği üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Kesme kenarı boyunca talaş kalınlığının dağılımı; takımın eğim açısı, takımın uç radüsü, kesme derinliği ve ilerleme oranının bir fonksiyonu olarak modellemişlerdir. İşlemin kesme mekaniği, mekaniksel ve ortogonal eğimli kesme iletim yaklaşımlarının her ikisini de kullanarak modellenmektedir. Kuvvetler, teğetsel ve sürtünme doğrultularına ayrılmaktadır. Sürtünme kuvveti, radyal ve ilerleme doğrultularında incelenmektedir. Kesme kuvvetleri; talaş-takım kenarı temas uzunluğu, talaş alanı ve kesme hızının bir fonksiyonu olarak ifade edilen mekanistik kesme kuvveti katsayılarını kullanan talaş alanı ile bağıntılı olduğu belirtilmiştir. Düzgün eğimli yüzeye sahip takımlar için kesme katsayılarının; malzemenin sürtünme katsayısı, kesme açısı ve kesme gerilimini kullanarak önceden tahmin edilebileceği bildirilmektedir [38].

Lazoğlu ve arkadaşları çalışmalarında, delik işleme dinamiğinin zaman yaklaşımlı çözümü için bir bilgisayarlı algoritma ve bir matematiksel model sunmaktadırlar. Model bir modüler formda geliştirilmektedir. Modüler form; iş parçası geometrisi, yüzey topografya modülü, kinematik ve takım pozisyon modülü, bir dinamik talaş yükü modülü, bir dinamik kesme kuvveti tahmin modülü ve bir yapısal dinamik modül içermektedir. Zaman yaklaşımlı model; kesme işlem parametrelerini, takım ve iş parçası geometrilerini ve yapısal model parametrelerini girdiler olarak almaktadır. İşleme süresince oluşan titreşimleri, ani kesme kuvvetlerini ve işlenmiş iş parçası topografyasını çıktılar olarak tahmin etmektedir. Çeşitli kesme şartları için bazı simülasyonlar ve deneysel sonuçlar sunulmakta ve geçerli amaçlar için karşılaştırılmaktadır [39].

Li ve Ulusoy çalışmalarında, yüksek hassasiyetli esnek hat delik işlemede aktif kontrol sağlamak için hassas yer değiştirme ölçümünün kritik bir element olduğu belirtilmiş, güncel ölçüm metotlarının bu uygulamada tatbiki zor olduğu için yeni bir ölçme metodu geliştirilmiştir. Bu çalışma, bir kirişin yüksek hassasiyette titreşim ölçümü için strengçeç tabanlı yeni bir metot sunmaktadır. Bu metot, sonsuz sayıda titreşim modu meydana geldiğinde ifade edilebilen bir titreşim yer değiştirmesi üzerine odaklıdır ve gerilme-yer değiştirme ilişkisi boyunca ölçülen gerilmelerle bağlantılıdır. Çoklu hazırlanmış strengçeçlerin yerleştirilmesiyle, çoklu modlarda yüksek hassasiyetli ölçüm elde etmenin mümkün olduğu belirtilmiştir [40].

Correa ve arkadaşları çalışmalarında, GH190 gri dökme demir ve Fe-C-Cu çelik alaşımı gibi iki ayrı malzemenin benzeşimli işleme kompleksliğini gösteren bilgiler sunmaktadırlar. Titanyum nitrit (TiN) ile kaplanmış sementit karbür takımlar kullanarak silindirik delik işleme ile yatakların işlenmesi değerlendirilmiştir. Kesme hızı ve kesme derinliği gibi parametreler sabit tutulurken ilerleme hızı değiştirilmiş, çok sayıda iş parçasının işlenmesinden sonra takım üzerindeki yanak aşınması izlenmiştir. Kesici uçlardaki aşınmanın, ilerleme oranı artırıldığında daha az gerçekleştiği belirtilmiştir. Aşınmış yüzeyler elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Yüksek yapışma seviyeleri gözlemlendiği ve temel aşınma mekanizmalarının; yapışma, difüzyon ve yıpranma olarak belirlendiği ifade edilmiştir [41].

Du ve Yeung çalışmalarında, özellikle aşınma ve yorulma gibi zamanla ortaya çıkan kusurları izlemek için yeni bir kondüsyon izleme metodu sunmaktadırlar. Kondüsyon izleme metotlarının hiçbirinin olasılık ve bulanık mantık tabanlı olmadığını belirtmişlerdir. Bulanık geçiş olasılığı (FTP) olarak adlandırdıkları yeni metodun, eğitim örneklerinden maksimum çıktılar almak için mevcut bilgileri kullandığını ve bundan dolayı mevcut metotlardan daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Test sonuçlarına bağlı olarak yeni metot popüler yatay sinir ağları vermektedir [42].

Du ve Yeung, daha önce geliştirdikleri bulanık geçiş olasılığı (FTP) yöntemini kullanarak delik işleme işlemlerinde işleme durumunu izlemişlerdir. İlk kısım

alışmalarında FTP teorisi geliştirilip tanıtımını yapan araştırmacılar bu defa ortaya koydukları teoriyi değerlendirmek için iki pratik örnek üzerine çalışmışlardır. Bu örneklerden birincisinin, malzeme gerilme testi, ikincinin ise delik işlemede takım durum izleme olduğu belirtilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçların, ortaya konulan metodun etkililiğini kanıtlar nitelikte olduğu vurgulanmıştır[43].

Katsuki ve arkadaşları çalışmalarında, eksenel delik sapmalarını önlemek için bir lazer uçlu delik takımı geliştirmişlerdir. Detaylı şekilde bu takımın performansını ölçmek ve 108mm çapta ön-delinmiş duralümin (A2017-T4) iş parçası kullanarak pratik uygulamasını belirlemek için 4 çeşit deney yapmışlardır. İlk deney, normal derin delik işlemede delik sapma şartlarını incelemek için yapılmıştır. İkincisi, takımın delik sapmasına göre konumlanıp konumlanmadığını incelemek için yapılmıştır. Üçüncüsü, takımın; iş parçasının bir kenarı üzerinde yönünü değiştirmeksizin düz olarak ilerleyip ilerlemediğini incelemek için yapılmıştır. Dördüncüsü, 100mm delik boyu için 100mm radyal doğrultuda eğimli ön-delinmiş deliği etkilemeksizin takımın hedefe doğru kılavuzluk edip edemediğini incelemek için yapılmıştır. Deneyler, iş parçası sabit-takım döner sistemle yapılmıştır. Takım apı 110mm, ilerleme hızı 0,125 mm/rev ve dönüş hızı 270 dev/dak olarak seçildiğinde, takımın engellere rağmen hedefe doğru gitmede kılavuzluk edebildiği sonucuna ulaşılmıştır [44].

Taglia ve Tani, delik işlemlerinde, kesme kuvvetlerinin ölçümünü mümkün kılan 2 metottan söz etmişlerdir. Birincisi, bir dinamometrik delik işleme takım tutucu ile takım üzerinde sarf edilen kuvvetlerin ölçümü veya bir dinamometrik tabla sayesinde iş parçası üzerinde harcanan kuvvetlerin ölçümü olarak belirtilmiştir. İkinci metotta, takım iş parçasına göre döndüğü için üç kesme kuvvet bileşenlerini (teğetsel kuvvet, radyal kuvvet, eksenel kuvvet) anlama ve çözmenin zorluğu vurgulanarak, iş parçası üzerine bağlanmış eksenel ilerleme kuvvetini veren bir üç-bileşenli dinamometre kullanılması ileri sürülmüştür. Bu alışma dönme kuvvetinin tek bileşenlerini elde etme probleminin çözümü için güvenilir basit bir metot tanımlamaktadır. Teğetsel ve radyal kuvvetlerin bir elektronik alet ve bir elektrikli çözümleyici yardımıyla sürekli olarak ölçüldüğü belirtilmiştir [45].

Ebrahimi ve Moshksar, aynı sertlikteki AISI 1045 ve AISI 5140 ısıtılma işlem görmüş alaşım çelikleri ile 38MnVS5 mikroalaşımli çeliğin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Bu araştırmada; delik işleme operasyonlarında kesme hızı, kesme kuvveti, ilerleme miktarının yanak aşınması üzerine etkileri ve TiN kaplı karbür uçların takım ömrü incelenmiştir. SEM mikroskopikleri yardımıyla bu üç malzemenin işlenmesinde oluşan yanak aşınması ve elde edilen talaş tipleri gözlemlenmiştir. Mikro alaşımli çeliklerde delik işlemede, oluşan kayma düzlemleri ve talaşlardaki mikro çatlaklar talaşların düzenli ve süreksiz olduğunu göstermiştir. Sonuçların, aynı şartlardaki mikro alaşımli çeliklerin işlenebilirliğinin, ısıtılma işlemli alaşım çeliklerin işlenebilirliğinden iyi olduğunu gösterir nitelikte olmasına vurgu yapılmıştır [46].

Mei, delik işleme performansının takım-iş arayüzünde oluşan tırlama titreşimi tarafından sınırlandırıldığını belirtmiştir. Araştırmacı bu çalışmasında, sabit delik takım tutucusunun işleme performansını geliştiren, geniş frekans bandındaki tırlama titreşim enerjisini absorbe etmede kullanılan aktif kontrolör tasarlamıştır [47].

Gao ve arkadaşları, derin delik işlemlerinde işleme mekanizmalarının araştırılması için bilgisayar tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Araştırılan kesme mekanizmaları özelde, derin delik delmede birleştirilmiş delme kuvvetlerinin ve talaş deformasyonunun üzerine odaklanmıştır. Model, bilgisayar tabanlı veri elde etme sistemi ile elde edilen dataları değerlendirmektedir. Çalışma, aynı zamanda derin delik işlemede eksenel kuvvetlerin analiz ve ölçümünü tanımlamaktadır [48].

2.3. Delik İşlemede Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğü ile İlgili Çalışmalar

Andren ve arkadaşları, delik tornalama operasyonlarındaki titreşimlerin genellikle imalat sürecinin olumsuz bir parçası olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışma, delik işleme takım tutucu titreşimleri üzerine odaklanmıştır. Alaşımli çelikler, dökme demir ve paslanmaz çeliklerdeki delik işleme takım tutucu titreşimleri, kesme hızı doğrultusu ve kesme derinliği doğrultularının her ikisine de hızölçerlerin konulmasıyla ölçülmüştür. Delik işleme takım tutucu dinamik verisinin, lineer olmayan davranış sergileyen bir zaman değişkenli süreç gibi görüldüğünü ifade

etmişlerdir. Titreşimlerin, delik işleme takım tutucunun iki doğrultusundan birinde ilk rezonans frekansı tarafından bastırıldığı belirtilerek aynı zamanda dönel parçalar kuvvet modülasyonu ile ilgili problemin ele alındığı ileri sürülmektedir. Ayrıca bu çalışmada, delik işleme takım tutucunun rezonans frekansları Euler-Bernoulli kiriş modeli ile bağlantılı hale getirilmiştir [49].

Hakansson ve arkadaşları çalışmalarında, delik işleme takım tutucusu rezonans frekansları gibi mod şekiller ve/veya sapma şekillerini incelemişlerdir. Araştırmalarında, bağlanmış bir delik işleme takım tutucusu dinamik özelliklerini araştırmak için teorik Euler-Bernoulli kiriş modeli, deneysel modül analizi, işletim sapma şekil analizi olmak üzere üç metot kullanılmaktadır:

Deneylelerden elde edilen sonuçların, üç farklı analiz metodu yoluyla üretilen mod şekilleri ve/veya sapma şekilleri arasında bir bağlantıyı gösterdiği vurgulanmıştır. Başka bir ifade ile, kuvvet uygulanmış sapma şekilleri ve/veya mod şekillerinin uyumu ve rezonans frekansları üç metot arasındaki farklılıkları göstermektedir. Sürekli kesme süresince, ilk iki rezonans frekanslarının kesme hızı doğrultusundaki bükülme hareketinin geniş bir büyüklüğe ulaştığı ifade edilmiştir [50].

Edhi ve Hoshi çalışmalarında, ortaya koydukları model, iki enerji üretim kaynağı ve iki enerji dağıtım kaynağı içeren bir enerji denge denkleminde oluşmaktadır. Sunulan çalışmada, kesme şartındaki denge sınır çizgisinin önceden tahmini için enerji denge denklemi uygulanmaktadır. Kesme titreşiminin olduğu denge sınır hattının üstündeki kesme şartında, bazı parametreler takım ucu titreşiminin belirlenip hesaplanması yoluyla daha önceden tahmin edilmektedir. Sınır hattından sınır hattı üstüne geçiş; enerji kaynağı ve enerji dağıtım mekanizmaları tarafından yüzdelik paylaşım, içten dışa modülasyon faz gecikmesi, X ve Y yerdeğiştirmeleri arasındaki zaman fazı tahmini hesaplaması yoluyla değerlendirilmiştir. Sınır hattı kesme genişliğine bakılarak önceden tahminin geçerliliği ve X ile Y genlik oranının; kesme testlerinden elde edilen deneysel ölçümleri doğruladığı belirtilmiştir [51].

Edhi ve Hoshi çalışmalarında; 10,000 Hz den daha fazla frekansta ortaya çıkan yüksek frekans işleme titreşimini önlemek için sürtünme azaltıcı kullanmanın başarılı

sonuç verdiğini ve bu durumun delik işleme operasyonunda takım ömrünü artırdığını belirtmişlerdir. Küçük mıknatıs parçası ile ana titreşim yapısına bağlanmış ek bir kütleden oluşmuş basit bir yapı ile geliştirilen sönümleyici, ana titreşim yapısı ile sönümleyici arasındaki arayüzde oluşan sürtünmeleri azaltarak titreşim enerjisini dağıtmaktadır. Çalışma genel olarak, kesme kenarındaki normal takım ömrünü garanti eden ve finiş pasosu ile delik işlemede yüksek frekans işleme titreşimini ortadan kaldıran tipik bir sürtünme sönümleyicisi tasarımını tanıtmaktadır. Geliştirilen sönümleyicinin niteliklerini ve temel prensiplerini anlayabilmek için teorik ve deneysel analizler tanıtılmaktadır [52].

Ema ve Marui çalışmalarında, darbe sönümleyiciler kullanarak, delik katerlerinin sönümleme kapasitesini iyileştirmeyi ve gürültü titreşimini bastırmayı denemişlerdir. Delik işleme takım tutucune bir darbe sönümleyici ile; eğilme testleri, darbe testleri ve kesme testleri uygulanmıştır. Serbest kitle ve temizleme miktarının etkileri, delik işleme takım tutucunun bağlama uzunluğu ve onların kesme şartı araştırılmıştır. Sonuç olarak aşağıdaki noktalar açıklanmıştır:

- i. Delik takımlarının sönümleme kapasitesi, darbe sönümleyiciler kullanarak oldukça geliştirilebilmektedir.
- ii. Deneyde, dikey doğrultuda (esas kesme doğrultusu) delik takımının titreşimini oldukça fazla sönümleyebilen üç tip darbe sönümleyici kullanılmış, fakat genişlikteki yatay doğrultudaki (itme kuvveti doğrultusu) sönümlemenin çok küçük olduğu görülmüştür.
- iii. Bir darbe sönümleyici kullanımı, belirtilen delme takımları ile karşılaştırıldığında daha derin delikleri delmeyi mümkün kılmaktadır ve delme operasyonlarının verimliliğini artırmaktadır [53].

Chern ve Liang, geliştirilen bir titreşim cihazı ile delik işleme ve delme işlemlerine kesme titreşimi uygulamışlardır. Delik işlemede oluşan titreşimin etkisi, taguchi metodu ve varyans analizi (ANOVA) yardımıyla iş parçası yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi şeklinde analiz edilmiştir. Delik işlemede kesme titreşiminden faydalanmanın yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde geliştirdiği görülmüştür.

Önerilen gölgeli alan metodu kesişen deliklerde tırlama analizi için basit ve uygulanabilir bir yaklaşım olarak kullanılabilir. Yüksek frekans titreşimli delik işleme, kesişen deliklerde tırlama formasyonunu etkili bir şekilde azaltabilmektedir. Deneysel sonuçlar; kesişen deliklerde kesme titreşiminden faydalanmanın tırlamayı dikkate değer ölçüde azalttığını göstermektedir [54].

Rigal ve arkadaşları, iş parçası ve takım davranışı için kesme işlemi dinamiğinin, özellikle ince cidarlı kompleks yüzeylerin delik işleme operasyonlarında işlenmiş yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Takım malzeme etkileşiminin parametrik modellemesi tabanlı bir doğrusal sonlu elemanlar metodu (FEM) ile iş parçası, takım ve bunların bağlantı davranışı tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, kesme işlemi denge şartlarının tanımlanması amaçlanmıştır [55].

Moradi ve arkadaşları, ayarlanabilir titreşim emicilerin (TVA) aynı zamanda yarı aktif kontrolör olarak kullanıldığını bildirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada, delik işlemede işleme titreşimlerinin bastırılması için bir TVA uygulaması sunulmaktadır. Sunulan sonuçlarda, yüksek modlarda daha geniş kritik kesme genişlikleri ve sonuç olarak daha fazla talaş kaldırma oranı elde edilebildiğini belirtilmektedir [56].

Beauchamp ve arkadaşları çalışmalarında, tornada kuru delik işleme operasyonunda kesme parametresinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarında, 6 bağımsız değişkenin etkisini değerlendirmek (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği, takım uç radüsü, takım boyu ve delik işleme takım tutucu tipi) ve onların iki düzeyli etkileşimine uyması için tam faktöriyel tasarım kullanıldığı bildirilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlara göre, kısa takım boyu kullanma daima iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmeyi sağlamaktadır ve delik işleme takım tutucu tipi ve/veya tam anlamıyla kontrol edilen kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğünde sadece küçük bir iyileşme sağlanabilmektedir. Önceden tahmin modeli her bir tip delik işleme takım tutucu için önerilmektedir [57].

2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirmesi

Literatür araştırmasının birinci bölümünde delik işleme takım tutucu tasarımı ve takımlama sistemleri ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. İlk bölümle ilgili çalışmalar Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 incelendiğinde, yıllara göre delik işleme takım tutucu tasarımı ve takımlama sistemleri ile ilgili çalışmalar kısa açıklamalar ile tanıtıldığı görülmektedir. Takımlama sistemi için ağırlıklı olarak laser kontrollü, piezo elektrik aktüatörlü ve sensörlü delik işleme takım tutucu başlıklarının tasarlandığı görülmektedir. Delik işleme takımı tasarımı ile ilgili çalışmalar incelendiğinde ise genelde hata telafisi, takım izleme ve konumlama üzerine çalışmalar göze çarpmaktadır.

Bu çalışmada, CNC torna tezgahlarında genel olarak kullanılan VDI tipi takım tutucular yerine farklı L/D oranlarında mevcut üç tür delik işleme takım tutucuyu bağlayabilmek amacıyla ayna eksenine paralel konumda bağlamaya olanak veren takım tutucu kullanılmıştır. Böylece yapılan çalışma, takımlama sistemlerinden farklı olarak takım tutucu ve bağlama mekanizması yönünden tabloda verilen sistemlerden ayrılmaktadır.

Çizelge 2.1. Takım tutucu tasarımı ve takımlama sistemleri ile ilgili çalışmalar

YIL	YAZAR	ARAŞTIRMA KONUSU		AÇIKLAMALAR
		Delik işleme takımı Tasarımı	Takımlama Sistemleri	
1984	D.G.Lee ve ark. [31]	x		Sönümleme kapasitesini artırmak için grafit epoksi delik işleme takım tutucu yapıp test edilmiştir
1989	E.I.Rivin ve diğ. [30]		x	Dinamik titreşim emici kullanarak delik işleme takım tutucu dinamik özellikleri iyileştirilmiştir
1990	F.Kuster [28]		x	Takım, tezgah, bağlama boyu ile ilgili model
1991	F.Nickols[26]		x	Delik işleme başlığı tasarlanmıştır
1992	A.Katsuki[25]	x		Laser kontrollü delik işleme takım tutucu geliştirmiştir
1996	S.H.Yeo[36]		x	Blok takımların üstünlüğü üzerine çalışılmış
1996	S.Ema[21]		x	Bir darbe sönümleyici geliştirmişlerdir
1997	S.Nagano[29]	x		Kompozit delik işleme takım tutucu geliştirilmiştir
1997	M.Lahres ve ark. [34]		x	Sementit karbür uçların kaplaması ve kesme performanslarının değerlendirmesi yapılmış
1997	T.Tolio [35]		x	Takımlamanın verimliliğe etkisi
1998	W.M.Chiu [19]	x		Piezoelektrik kontrollü delik işleme takım tutucu tasarımı
1998	K.Kuzman[33]		x	Takımlama seti hazırlanmış ve denenmiştir
1999	Y.Koren[27]		x	Delik işleme takımı tasarımı ve online telafi sistemi
1999	M.Weck [37]		x	İğne rulmanların hidrostatik sisteme etkisi
1999	B.Alatin [20]		x	Takım seçim sistemi geliştirilmiştir
2000	A.Katsuki [18]	x		Laser kontrollü delik işleme takım tutucu geliştirmiştir
2000	T.Schulte [32]		x	Takımlama yapıları ile ilgili analitik ölçme
2002	G.O'Neal [17]	x		Mekatronik delik işleme takım tutucu tasarlanmıştır
2002	D.Gao [16]	x		Hata telafisi yapan delik işleme takım tutucu tasarımı
2002	W.M.Chiu [15]	x		Hata telafisi yapan delik işleme takımı servo sistemi
2002	Z.Pasek [14]	x		Sensörlü delik işleme takımı geliştirmişlerdir
2002	S.Tewani [22]		x	Piezoelektrik aktüatörlü titreşim emici sistem
2003	D.G.Lee [12]	x		Karbon fiber epoksi delik işleme takımı geliştirilmiş
2003	S.Dhage ve ark. [23]		x	Takım tutucu ve parametreleri inceleyen prototip yazılım geliştirmişlerdir
2003	S.J.Chen ve ark. [24]		x	Takım hareketlerini kontrol eden takımlama sistemi geliştirmişlerdir

Literatür araştırmasının ikinci ve üçüncü bölümlerinde incelenen çalışmalar, delik işleme ve titreşim üzerine yapılan deney ve araştırmaları içermektedir. Delik işleme ve titreşim ile ilgili yapılan çalışmalar Çizelge 2.2’de verilmiştir. Çizelge 2.2 incelendiğinde delik işleme ile ilgili yapılan çalışmalarda, kesme kuvvetlerinin ölçümü, kesme mekanizmalarının ve kesme parametrelerinin delik işlemeye etkisi, delik işleme mekaniği ve dinamiği, takım kondüsyon izleme, titreşim emici kullanımı ve delik işlemeye etkileri, delik işlemede kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesici uç yanak aşınmasına etkileri üzerine çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Delik işlemede titreşimi inceleyen çalışmalara bakıldığında, kompleks yüzeylerin kesme dinamiği, darbe sönümleyici kullanma, yüksek frekanslarda sürtünme azaltıcı önlemlerin delik işlemeye etkisi, delik işleme takım tutucu titreşimlerinin tespiti ve ayarlanabilir titreşim emici kullanımı ile ilgili oldukları görülmektedir.

Bu çalışma delik işleme ve titreşim açısından değerlendirildiğinde, delik işlemede delik kalitesinin dairesellikten sapma (Ds), düzlemsellik, titreşimlerin ölçümü ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin Taguchi deneysel tasarım metodu kullanarak araştırılmasını sağlamaktadır. Kesme parametrelerinin her birinin ayrı ayrı etkilerinin yanında delik işleme takım tutucu malzemelerinin ve anti-vibrasyon gövdeli delik işleme takım tutucunun etkisinin de karşılaştırılmasıyla benzer çalışmalardan ayrıldığı görülmektedir.

Çizelge 2.2. Delik işleme ve titreşim ile ilgili yapılan çalışmalar

YIL	YAZAR	ARAŞTIRMA KONUSU		AÇIKLAMALAR
		Delik işleme	Delik işlemede Titreşim	
1982	G.Tani [45]	x		Delik işlemede kesme kuvvetlerinin ölçümü
1998	J.F.Rigal [55]		x	Kompleks yüzeylerin kesme dinamiği
2000	C.H.Gao [48]	x		Derin delik işleme mekanizmalarını araştıran bilgisayar tabanlı bir yaklaşım
2000	M.Thomas [57]	x		Delik işlemede kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır
2000	S.Ema [53]		x	Darbe sönümleyici kullanarak delik işleme
2001	T.Hoshi [52]		x	Sürtünme azaltıcı yöntemler kullanılmıştır
2002	C.J.Li [40]	x		Titreşim ölçümünde strengaç kullanılmıştır
2002	E.Edhi [51]		x	Kesme denge sınır çizgisinin tahmini için bir enerji denge denklemi uygulanmıştır
2003	F.Atabay [13]	x		Delik işlemenin mekaniği çalışılmıştır
2003	F.Atabay [38]	x		Delik işlemenin dinamiği çalışılmıştır
2003	A.Katsuki [18]	x		Delik sapmalarının tespiti yapılmıştır
2004	R.Du [42]	x		Takım kondüsyon izleme metodu (FTP)
2004	L.Andren [49]		x	Delik işleme takım tutucu titreşimlerinin tespiti yapılmıştır
2004	L.Andren [50]		x	Delik işleme takım tutucu dinamik özelliği araştırılmıştır
2005	D.Correa [31]	x		TiN kaplı uçlarla delik işleme incelenmiştir
2005	C.Mei [47]	x		Titreşimde aktif kontrolör kullanarak delik işlemeye etkilerinin araştırılması
2006	R.Du [43]	x		Geliştirilen Esnek Geçiş Olasılığı (FTP) metodunun iki deneyde test edilmesi
2007	A.Ebrahi [46]	x		Delik işlemede kesme parametrelerinin yanak aşınmasına etkileri incelenmiştir
2007	G.Chern [54]		x	Titreşim cihazı geliştirip kesme titreşimi oluşturarak etkisi analiz edilmiştir
2008	H.Moradi [56]		x	Ayarlanabilir titreşim emicilerin fazla kesme genişliklerinde delik işleme araştırılmıştır

Yapılan bu çalışma literatürden farklı olarak deney tasarımında Taguchi'nin standart dikey dizimleri sayesinde kesme parametrelerinin ve düzeylerinin dikey dizimlere yerleştirilmesi, tam faktöriyelle 243 deney yerine 27 deney kombinasyonu ile zaman, işgücü, kesici uç ve enerji tasarrufu sağlayarak delik kalitesinin araştırılması mümkün olmuştur. Deneylerde AISI 1040 alaşımsız imalat çeliğinin kullanımı, sonuçların yaygın kullanımına imkan tanıyacaktır. Çalışmada; delik işleme yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma (Ds), düzlemsellik ve kesme titreşimi genlik ölçümleri yapılmıştır. Kesme parametreleri, L/D oranları ve takım tutucuların her biri ile kombinasyonları oluşturulmuş ve delik kalitesine etkileri ayrı ayrı belirlenmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1.Talaşlı İmalatta Talaş Oluşumu

Talaş oluşumu, deforme olmamış talaşın kalınlığına, talaş yüzeyi ile iş parçası yüzeyinin normali arasında kalan talaş açısına (γ) ve iş parçası malzemesinin mekanik özelliklerine bağlıdır. Bu faktörler aynı zamanda kayma açısını ve talaş kaldırma işleminde ortaya çıkan kesme kuvvetlerini de etkilerler. Bu anlamda ana kesme işlemi kayma düzleminde meydana gelmekte ve önemli ölçüde deforme olmuş ve deforme olmamış talaş kalınlıklarının bir oranı olan kesme oranınca belirlenmektedir [2].

Kayma gerilmeleri malzemeye göre değişmektedir. Kesme işlemi, kayma bölgesinde kayma gerilmesinin yenilmesi ile başlar ve bir akış bölgesi oluşur. Akış bölgesi yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu, erimiş metalin bulunduğu bir bölgedir. Malzemelere ve kesme koşullarına göre akış bölgesinde bulunan yüksek sıcaklıklardaki erimiş metal katmanlar halinde birbiri üzerine toplanarak yığma kenarı (BUE) oluşturmaktadır. BUE oluşumu; talaş deformasyonu, yüzey kalitesi takım ömrü ve takım iş parçası arayüzünü olumsuz yönde etkilemektedir.

Talaş oluşumu, deforme olmamış talaş kalınlığına, ilerlemeye, talaş açısına ve iş parçası malzemesinin mukavemetine bağlıdır ve talaş deformasyon bölgesinde oluşur. Talaş oluşumu ilk kıvrılma ile başlar ve kesme verileri (özellikle ilerleme ve talaş derinliği), talaş açısı, iş parçası malzemesinin tipi ve koşulları, köşe radyüsünün büyüklüğü gibi faktörlerden etkilenir [2].

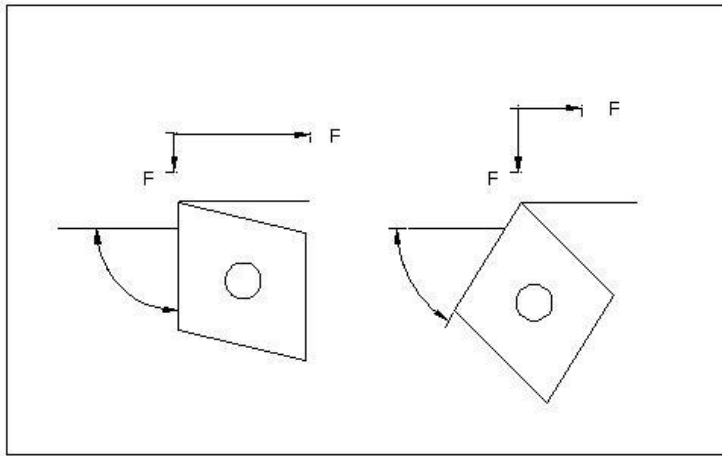
Talaş oluşumunu sağlayan kesici uçlar; malzeme türü, işlemin kaba ve ince oluşu, kesme parametreleri, kesme şartları gibi faktörlere göre imal edilmektedir. Delik işleme, profil işleme gibi hassas işlemlerde küçük köşe radyüsüne sahip ve talaş kırılcılı kesici uçların tercihi önemlidir.

3.2. Talaşlı İmalatı Etkileyen Faktörler

3.2.1. Yanaşma açısının etkisi

Yanaşma açısı, kullanılan kesici uç geometrisine göre üretilen kater katalog bilgilerinde mevcuttur ve kesici kenar ile ilerleme yönü arasında kalan açıdır. Bu açı talaşın oluşumunu etkilediği gibi kesme kuvvetlerinin yönünü, kesme işlemine katılan kesici kenar uzunluğunu, kesici kenar ile iş parçası arasındaki temas alanını ve kullanılan takım ile yapılacak talaş kaldırma işlemlerini de etkilemektedir.

Yanaşma açısı 90° olduğunda ise talaş kalınlığı ilerlemeye eşittir. Yanaşma açısı yatay düzlemdeki kesme kuvvetlerinin yönünü de etkilemektedir. Büyük bir yanaşma açısı büyük bir eksenel kuvvet ve daha küçük bir radyal kuvvetin ortaya çıkmasına neden olurken, daha küçük yanaşma açısı kuvvetler arasında daha dengeli bir ilişkinin kurulmasını sağlar (Şekil 3.1) [10].

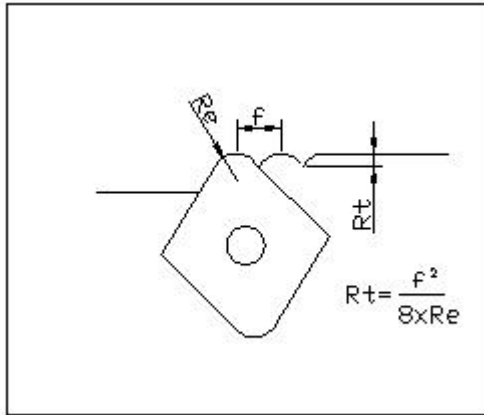


Şekil 3.1. Yanaşma açıları ve kesme kuvvetleri[10]

Delik işleme işlemlerinde yanaşma açısının küçülmesi, radyal kuvveti artırarak uzun delik işleme takım tutucunun sehimine neden olacağı için sakıncalıdır.

3.2.2. Köşe radyüsünün etkisi

İş parçasının yüzey kalitesi köşe radyüsünün büyüklüğünden etkilenmektedir. Yüzey kalitesi ilerleme ile köşe radyüsünün bir fonksiyonudur (Şekil 3.2) [2].



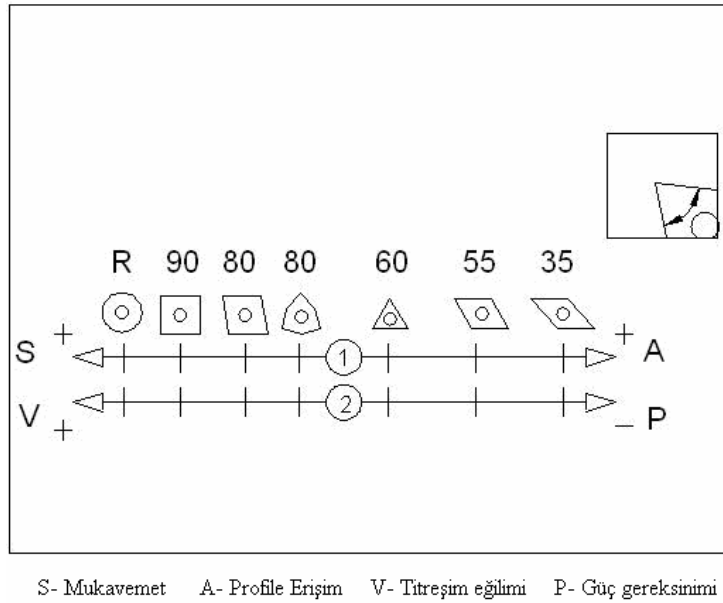
Şekil 3.2.Yüzey kalitesi - köşe radyüsü ilişkisi [10]

Köşe radyüsüne göre radyal ve eksenel yöndeki kuvvet dağılımları da farklılık göstermektedir. Büyük köşe radyüsünün büyük radyal kuvvetlerin oluşumuna neden olduğu bilinmektedir. Büyük radyal kuvvetler, iş parçası ve takımda sehime yol açmakta, ince cidarlı iş parçalarının işlenmesinde ve delik işleme işlemlerinde talaş kaldırma işleminin rijitliğine olumsuz etkide bulunmaktadır [10].

Köşe radyüsünün artması titreşim eğilimini de artırmaktadır. Daha büyük bir kesme uzunluğu daha yüksek bir rijitliğe gereksinim gösterir. Tırlama riski olduğunda köşe radyüsünün seçiminde son derece dikkatli olunmalıdır. Bu durum yanaşma açısının, kesme geometrisinin ve köşe radyüsünün seçiminin son derece önemli olduğu delik işleme işlemlerinde çok daha büyük önem kazanmaktadır[2].

3.2.3. Kesici ucun şekli

Kesici ucun şeklini belirlemede yanaşma açısı ve takımın profile erişebilirliğinin dikkate alınması gerekmektedir [2].



Şekil 3.3. Uç şekli – mukavemet – erişim – güç – titreşim ilişkisi [10]

Şekil 3.3'te verilen 1 nolu cetvel, kesici kenarın mukavemetini (S) göstermektedir. Kesicinin uç açısı büyüdükçe mukavemet artmaktadır. Çok yönlülük ve profile erişebilirlik (A) söz konusu olduğunda ise sağa doğru gidildikçe, yani uç açısı küçüldükçe daha iyi sonuçlar alınmaktadır. 2 nolu cetvelde ise sağa doğru gidildikçe titreşim eğilimi (V) azalmakta, bunun yanı sıra güç gereksinimi (P) de azalma göstermektedir. Çizelge 3.1'de kesici ucun şeklinin seçimini etkileyen faktörler gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde; kaba işlemlerde, sert malzemelerin işlenmesinde yuvarlak geometrilili ve 90 derece uç açılı kesici uçlar kullanılırken, rombik (baklava dilimi şekilli) uçlarda işlem çeşitliliğinin arttığı görülmektedir. 60 derece uç açısına sahip üçgen geometrilili kesici uçlara gelince; ince tornalama işlemleri, daha fazla profile erişilebilirliği, sınırlı tezgah gücündeki tezgahların kullanılabilirliği, titreşim eğiliminde azalma ve giriş açılarının büyük ve küçük olarak seçimine olanak vermesi gibi avantajlı yönleri sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, delik işlemlerinde planlanan kesme işlemlerine uygun delik işleme takım tutucu seçiminde yanaşma açısı 90 derece olan katerler tercih edilmiş ve bu katerlere ait kesici uç açısı da 60 derece uç açılı kaplamasız sert karbür uçlar seçilmiştir. Böylece titreşim eğilimi sınırlandırılarak yüzey pürüzlülüğünün ölçümünü sağlıklı hale getirmek amaçlanmıştır.

Çizelge 3.1. Uç şekli seçimini etkileyen faktörler [2]

Uç şekli seçimini etkileyen faktörler	R	90	80	80	60	55	35	
								
Kaba işlem (dayanım)								
Orta kaba / Yarı ince (kenar sayısı)								
İnce işlem (kenar sayısı)								
Boyuna ve alın tornalama (ilerleme yönü)								
Profil işleme (Erişebilirlik)								
İşlem çeşitliliği								
Sınırlı tezgah gücü								
Titreşim eğilimi (azalma)								
Sert malzeme								
Aralıklı işleme								
Büyük giriş açısı								
Küçük giriş açısı								

 En Uygun

 Uygun

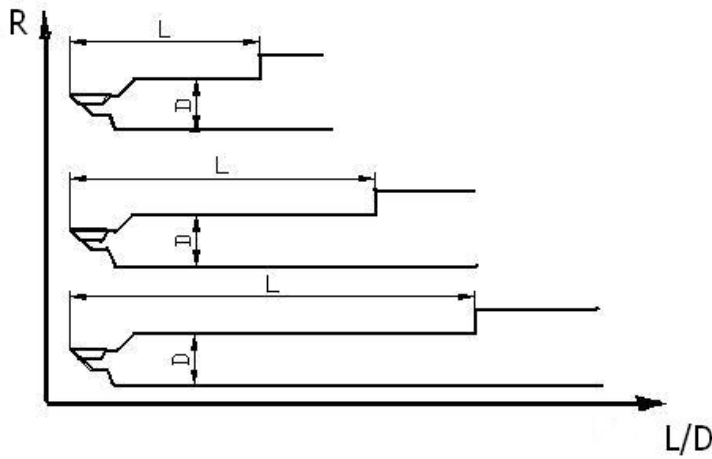
3.3. Delik İşlemenin Esasları

3.3.1. Delik işleme

Delik işleme; daha önce delinmiş iş parçalarında deliklerin istenen profil ve çaplara getirilmesinde sıkı boyutsal toleranslar ve iyi yüzey kalitesi gerektiren işlemleri gerçekleştirmede kullanılan bir imal yöntemidir [2].

İç tornalamada takım seçimi yapılırken işlenecek delik çapı ve uzunluğu dikkate alınmalıdır. Delik tornalama işlemlerinde efektif takım uzunluğunun (L) minimize edilmesi rijitlik, yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyeti açısından önem taşımaktadır. Delik işleme işleminde efektif takım uzunluğunu delik derinliği belirlemektedir. Delik işleme takım tutucu çapı arttıkça rijitlik artmaktadır ancak, talaş tahliyesi ve radyal hareketler açısından delik içerisindeki boşluğun da dikkate alınması gerektiğinden takım çapı açısından bazı sınırlamalar vardır.

Rijitlik L/D oranı ile tanımlanmaktadır. L/D oranının artması rijitliği azaltacaktır (Şekil 3.4) ancak, işlenecek delik çapı ve delik boyuna göre bu oranın belirlenmesi gerekmektedir [2].



Şekil 3.4. L/D oranı ve rijitlik [2]

Delik işleme işlemlerinde; takım geometrisinin, iş malzemesi ve işleme koşullarına göre seçilmesi kesme kuvvetlerinin uygun seviyelerde tutulmasını sağlayacaktır. Buna ek olarak, uygun takım tespit sistemlerinin kullanımı rijitliği olumlu etkileyecek dolayısıyla, sehim ve titreşimler en aza indirilebilecektir.

3.3.2. Delik işlemede kesme kuvvetlerinin etkisi

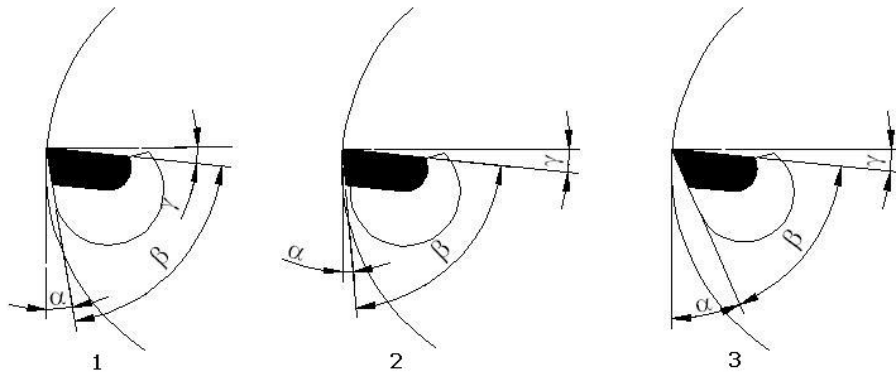
Delik işlemede talaş kaldırma esnasında oluşan teğetsel kuvvet F_c ve radyal kesme kuvveti F_{CN} , takımı iş parçasından uzaklaştırmaya çalışan kuvvetlerdir. Bu kuvvetlerin etkisiyle Δ_T ve Δ_R sehimleri oluşmaktadır [10].

Teğetsel kuvvet (F_c), delik işleme takımını aşağı yönde merkez yatay ekseninden uzaklaştıracak şekilde yerdeğiştirmeye zorlamaktadır. Böylece, deliğin dairesel profili nedeniyle iş parçası iç yüzeyi ile takım arasındaki boşluk açısı (α) da azalmaktadır. Bundan dolayı, özellikle küçük çaplı deliklerde takım ile delik cidarları arasındaki temasın önlenmesi için kesici uç boşluk açısının yeterince büyük olması gerekmektedir.

Radyal sehim (ΔR) ile birlikte kesme derinliği miktarı azalmaktadır. Çapsal toleransa ek olarak talaş kalınlığı da kesme kuvvetlerindeki değişime bağlı olarak değişmektedir. Kesme kuvvetlerinin değişmesi sonucunda kesici kenarlardan katere aktarılan bir titreşim meydana gelmektedir. Takımın ve tespit sisteminin rijitliğini belirlemede, titreşimin genliği ve titreşimin büyütülmüş veya sönümlenmiş olması önemli faktörlerdir [10].

Delik işleme esnasında titreşim kaçınılmazdır ancak titreşim oluşumunun en aza indirilmesi için kesme kuvvetlerinin en avantajlı dağılımının belirlenmesi gerekmektedir.

Kesici kenar geometrisinin talaş kaldırma işlemi üzerindeki etkisi büyüktür. Pozitif bir kesici ucun pozitif bir talaş açısı (γ) vardır. Bu açı(γ), kama açısı (β) ve boşluk açısı (α) toplamının 90° 'den farkı olarak tanımlanır (Şekil 3.5.(1)). Pozitif bir talaş açısı daha düşük bir teğetsel kesme kuvveti demektir, ancak pozitifliğin artması boşluk veya kama açısında azalmaya neden olacaktır. Boşluk açısı küçükse (2), takım ile iş parçası arasındaki sürtünme yüzeyi artacağından aşınma riski ortaya çıkar ve titreşime neden olur. Talaş açısının büyük ve kama açısının küçük olduğu hallerde (3) ise takım malzemeye daha kolay nüfuz edebilir, ancak aynı zamanda keskin kesici kenar serbest yüzey aşınmasından ve diğer düzensiz gelişen aşınmalardan daha kolay etkilenecek zarar görecektir [2].

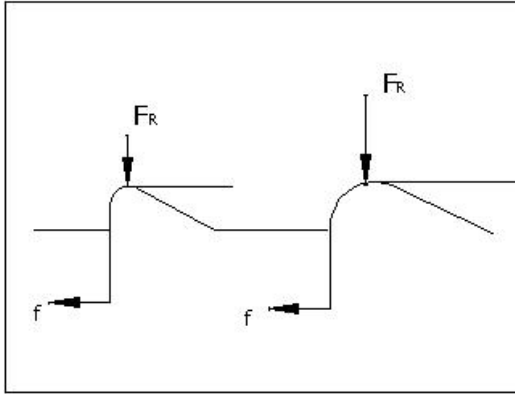


Şekil 3.5. Pozitif talaş açısındaki artış ve etkileri [2]

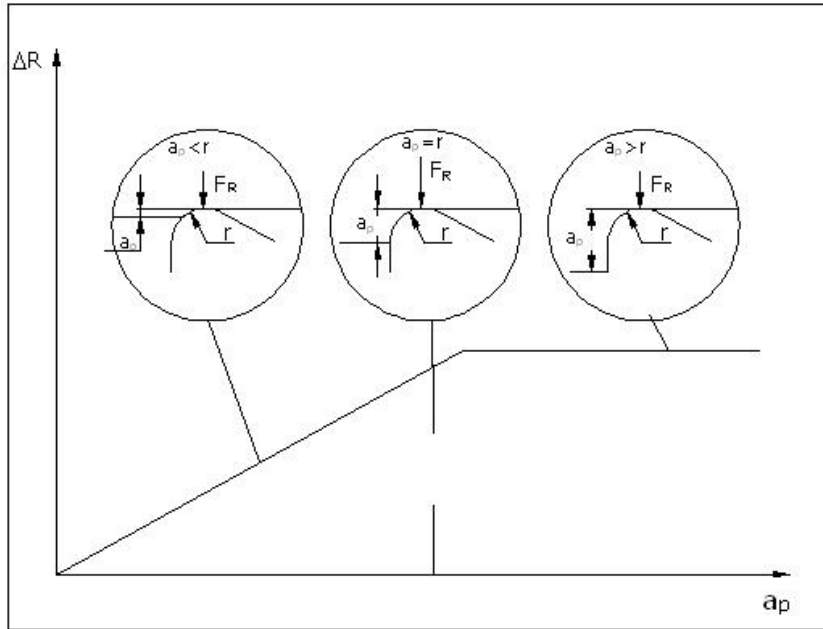
Yanaşma açısı (κ), eksenel ve radyal kesme kuvvetlerini etkilemektedir. Büyük yanaşma açısı daha büyük bir eksenel kesme kuvveti oluştururken, küçük yanaşma açısı radyal yönde daha büyük bir kesme kuvveti meydana getirmektedir. Delik işleme işlemlerinde eksenel kuvvet, delik eksenini doğrultusunda olduğu için delik işlemede dezavantaj oluşturmamaktadır. Titreşimlerin önüne geçilmesi için büyük yanaşma açısının seçilmesi avantajlıdır, ancak yanaşma açısı talaş kalınlığı ve talaş akışının yönü gibi diğer faktörleri de etkilediğinden, optimum değerin bulunması gerekmektedir [10].

Delik işlemede yanaşma açısının büyük olması kesme kuvvetlerinin daha kısa bir kesici kenar yüzeyine yayılması anlamına gelmektedir. Delik işlemede 75° ve daha büyük yanaşma açıları tavsiye edilmektedir [2]. Ancak 75° lik yanaşma açısı için radyal kesme kuvveti 90° ye göre iki kat daha büyüktür. Bu çalışmada radyal kesme kuvvetini en aza indirmek amacıyla yanaşma açısı 90° seçilmiştir.

Kesme kuvvetlerinin dağılımı kesici ucun köşe radyüsünden etkilenmektedir. Köşe radyüsü büyüdükçe radyal ve teğetsel kesme kuvvetleri de büyüyerek titreşim oluşumunu etkilemektedir. Talaş derinliği ve köşe radyüsü kombinasyonu, radyal yönde takımın sehimini üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Talaş derinliği ve köşe radyüsü arasındaki ilişki az olmakla beraber radyal kesme kuvvetleri artan talaş derinliği ile artmaktadır. Talaş derinliği köşe radyüsüne eşit veya büyük olduğunda, radyal sehim yanaşma açısına göre belirlenir (Şekil 3.6). Bu nedenle köşe radyüsünün talaş derinliğinden daha küçük seçilmesi esastır. Bu yolla radyal kuvvetleri minimum seviyede tutacak ve daha dayanıklı bir kesici kenar, daha iyi bir yüzey kalitesi, kesici kenar üzerine daha düzenli bir basınç dağılımı sağlayacak mümkün olan en büyük köşe radyüsü seçilmelidir (Şekil 3.7) [10].



Şekil 3.6. Radyal sehîm ve köşe radyüsü ilişkisi [10]



Şekil 3.7. Sehîm, köşe radyüsü ve talaş derinliği [2]

Kesici kenar yuvarlaması da kesme kuvvetlerinin büyüklüğü açısından önemlidir. Genellikle kaplamasız kesici kenarlar kaplamalılara nazaran daha küçük bir kenar yuvarlatmasına sahiptirler, bu nedenle bu uçlar büyük efektif takım uzunluklarında kesme kuvvetlerinin minimumda tutulması istendiğinde ilk tercih edilecek uçlardır.

3.3.3.Takımın sehim

Delik işleme takım tutucunun sehim miktarı kater malzemesine, uç geometrisine, yanaşma açısına, kater gövde çapına, efektif takım uzunluğuna, radyal ve teğetsel kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Sehim miktarını etkileyen faktörleri incelemek için bir ucuna kuvvet etki eden, rijit olarak bağlanmış bir kater gövdesinin sehim miktarı δ Eş.3.1 ile hesaplanabilir [58]:

$$\delta = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (\text{mm}) \quad (3.1)$$

Burada (F) Newton cinsinden kesme kuvveti, (L) mm cinsinden efektif takım uzunluğu, (E) ise N/mm^2 cinsinden delik işleme takım tutucu malzemesinin elastisite katsayısıdır. Atalet momenti (I) delik işleme takım tutucu kesitinin şekline bağlıdır ve dairesel bir kesit için Eş. 3.2 yardımıyla hesaplanır [58]:

$$I = \frac{\pi \times D^4}{64} \quad (\text{mm}^4) \quad (3.2)$$

Eş. 3.1' e göre sehim miktarı efektif takım uzunluğunun küpü ile doğru orantılı olarak artmakta, atalet momentine göre ise ters orantılı olarak azalmaktadır. Dolayısıyla sehim miktarı takım tutucu gövde çapı ile ters orantılıdır. Sehim daha yüksek elastisite katsayısına sahip bir malzemedan yapılmış bir kater seçimi ile de azaltılabilir. Çeliğin elastisite katsayısı ($E=21 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$) sinterlenmiş karbüründen ($E=63 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$) daha az olduğundan efektif takım uzunluğu fazla olan katerler için malzeme olarak sinterlenmiş karbür seçilmelidir [10].

Delik işleme esnasında oluşan sehmin gerçek değeri Eş. 3.1’de verilen formül ile elde edilen teorik değerden daha büyüktür çünkü Eş. 3.1’de takım tutucunun tam rijit olarak bağlandığı kabul edilir ki pratikte bu şartı yakalamak oldukça güçtür.

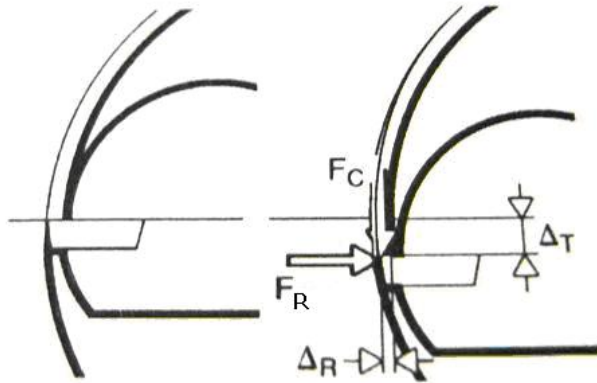
3.3.4. Delik takımının tespiti

Takım tutucun sabitlenmiş ucundaki en ufak bir hareket takımda sehime neden olacaktır. F_1 kuvveti kesici uca etki ettiğinde aynı anda ters yönde bir F_3 kuvveti diğer taraftaki tespit noktasına etki edecek, dolayısıyla tutucu iç yüzeyi malzemeyi deforme edebilecek bir yüke maruz kalacaktır. Bu nedenle tutucu iç yüzeylerinin yüksek yüzey kalitesine ve sertlik derecesine sahip olmaları gerekir. Tutucunun iç yüzeyleri için önerilen yüzey pürüzlülüğü değeri $R_a=0,8 \mu\text{m}$, sertlik değeri ise 45 HRC’dir [2].

Takım tutucuyu çepeçevre sararak sabitleştiren tutucular ile yüksek rijitlik elde edilmektedir [10]. Kater gövdesine basan cıvatalı tespit sistemi, titreşimlere neden olduğu için delik katerlerinde elverişli bir yöntem değildir. Sinterlenmiş karbür gövdeli delik katerleri çelik gövdelilere göre daha kırılğan oldukları için titreşimlerin olumsuz etkilerinden daha belirgin olarak etkilenmektedir.

3.3.5. Delik işleme takımının sehimi telafisi

Delik işleme operasyonlarında en iyi takım tespit sistemlerinde dahi titreşimler kaçınılmaz olarak ortaya çıkmaktadır. Radyal yöndeki sehimi (Δ_R) işlenen çapı etkilerken teğetsel sehimi (Δ_T) kesici ucun eksen çizgisinden aşağıya doğru hareketi anlamına gelmektedir. Her iki durumda da kesme kuvvetlerinin büyüklüğü ve yönü, talaş kalınlığı ve değişen kesici uç geometrisi arasındaki ilişkiden etkilenmektedir (Şekil 3.8) [10].



Şekil 3.8. Kesici uca etkiyen kuvvetler ve etkileri [10]

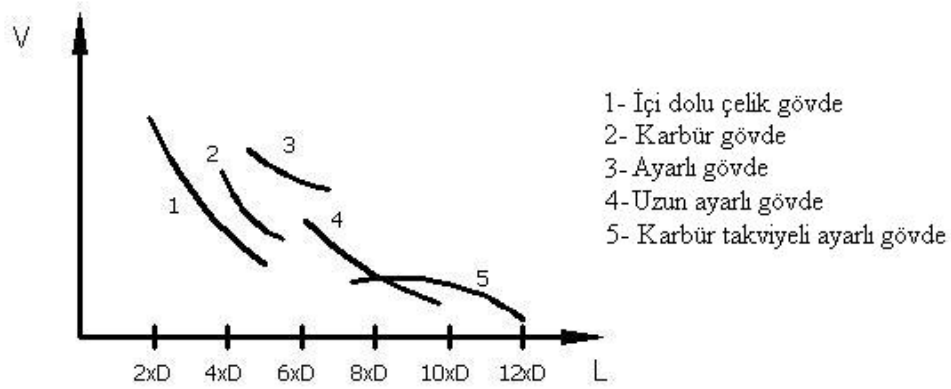
Delik işleme operasyonlarında delik işleme takım tutucu sehimini telafi etmek için son yıllarda literatürde sunulan çalışmalara, laser kontrollü, sensörlü rijit servo bağlama sistemi kullanarak yapılan deneysel çalışmalar eklenmiştir [Bkz. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2]. Deneysel çalışmalarda etkili sonuçların alındığı belirtilmiştir. Takım ucu pozisyonu izlenerek gerçek zamanlı telafi ile sehim ve titreşimler en aza indirilmektedir. Talaş derinliğinin bir fonksiyonu olan radyal sehim köşe radyüsü ile talaş derinliği arasındaki ilişkinin yanı sıra yanaşma açısının büyüklüğünden de etkilenmektedir.

3.3.6. Delik işleme takımları

Delik işleme takımları çelik, sinterlenmiş karbür ve karbürle güçlendirilmiş çelik malzemelerden imal edilmektedir. Karbürün elastisite katsayısı çeliğin elastisite katsayısının üç katı olduğundan sehime karşı büyük bağlama oranları (L/D) için karbür katerler önerilmektedir ancak karbürün çekme gerilmelerine karşı zayıf olması bir dezavantaj olarak bilinmektedir. Ayrıca yakın geçmişte, titreşim ve sehimin yol açtığı olumsuzlukları önlemek için karbon epoksi kompozit gövdeye sahip delik katerleri üzerine yapılan çeşitli deneysel çalışmalar literatüre kazandırılmıştır [Bkz. Çizelge 2.1].

Delik işlemede kullanılan takımların iç kısımlarında soğutma amacıyla açılmış kanallar bulunmaktadır. İçten soğutma kesici ucun soğutulmasının yanı sıra daha iyi

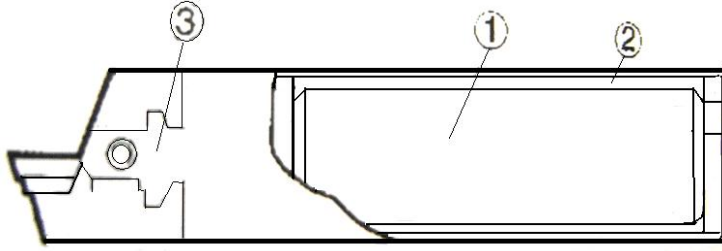
bir talaş kırma ve talaş boşaltma olanağı da sağlamaktadır. Bu sayede talaş sıkışması nedeniyle ortaya çıkan kalite problemlerinin önüne geçilmekte ve daha uzun takım ömrü elde edilmektedir.



Şekil 3.9. Delik katerleri [10]

Şekil 3.9’da talaş kaldırma kapasitesi (V) ile delik işleme takım tutucu bağlama boyları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Şekil 3.12’e göre 4xD’ye kadar olan uzunluklar için içi dolu çelik takımlar (1) en iyi çözümdür. Daha büyük uzunluklar için ayarlı katerler daha iyi sonuç vermektedir. Küçük çaplar için karbür takım tutucu (2) 6xD’ye kadar olan uzunluklar için uygundur, ancak daha büyük çaplar için ayarlı gövdeler (3) tavsiye edilmektedir. 7xD’den büyük uzunluklar için uzun ayarlı katerler (4) yeterli bir kalite ve kabul edilebilir bir talaş kaldırma hızı için en iyi seçenek olarak görülmektedir. Karbür takviyeli ayarlı katerler (5) 12xD ve daha büyük uzunluklar için iyi sonuçlar verirken son zamanlarda 14xD bağlama oranlarına kadar oldukça iyi sonuçlar veren anti-vibrasyon (titreşim sönümleyici) gövdeye sahip delik katerleri imal edilmiştir [2].

Titreşim sönümleyici gövdeye sahip delik işleme takımlarının, büyük L/D bağlama oranlarında dolayısıyla derin delik işlemede, yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı gibi delik kalite özelliklerini ne derecede etkilediğinin belirlenmesi bu çalışmanın amaçlarından biridir. Şekil 3.10’da titreşim sönümleyici (anti-vibrasyon gövdeli) gövdeye sahip bir delik işleme takım tutucunun içyapısı görülmektedir.



Şekil 3.10, Titreşim sönümleyicili delik işleme takımı [2]

Şekil 3.10’da verilen delik işleme takım tutucu gövdesi (1) özel bir sıvı (2) içerisinde bulunmaktadır. Kesici kenardan kesici kafayı gövdeye bağlayan kavrama (3) vasıtasıyla gövdeye iletilen titreşim bu özel sıvı tarafından sönümlenmektedir. Gövdenin hareketleri tezgahın oluşturduğu salınım hareketiyle harmonize olduğundan kesici kenardaki titreşim büyütülmeden sönümlenmektedir.

Yapılan bu çalışmada, titreşim sönümleyicili delik işleme takımı performansı kesme deneyleri ile tespit edilmiş ve yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma, düzlemsellik gibi kalite unsurlarına göre incelenmiştir. Ayrıca titreşim sönümleme kapasitesi, çelik gövdeli ve karbür gövdeli takım tutucular ile karşılaştırılmış ve yüksek kesme hızlarında en düşük titreşim genliği değerleri ölçülmüştür.

3.3.7. Talaş kırma ve talaş boşaltma

İç tornalama işleminde kısa, spiral talaşların oluşturulması hedeflenmektedir. Kısa ve spiral talaşların boşaltılması kolaydır ve oluşan talaş talaşın kırılması esnasında kesici uçta çok yüksek gerilmelere neden olmamaktadır. Sert bir talaş kırma işlemi sonucunda kısa talaşın elde edildiği işlemler yüksek güç gerektiren, delik işleme takım tutucunun titreşimini arttıran işlemlerdir. Öte yandan uzun talaş, talaş boşaltmanın zor olması demektir. Talaş kırma işlemi seçilen uç geometrisi, köşe radyüsü, yanaşma açısı, talaş derinliği, ilerleme ve kesme hızı gibi faktörlere bağlıdır. Genel olarak azalan ilerleme ve/veya artan kesme hızı değerleri uzun talaş oluşumuna sebep olmaktadır. Oluşan talaşın yarıçapı talaş kırıcısının şeklinden etkilenir, herhangi bir yığılma kenar veya krater aşınması da talaş kırıcı görevi

görmektedir. Talaşların akış yönü ve oluşan spiral, yanaşma açısına ve talaş derinliği-köşe radyüsü kombinasyonuna bağlıdır.

Talaş kontrolüne etki eden parametreler aynı zamanda kesme kuvvetlerinin yönüne ve büyüklüğünü de etki ederler. Bu durumda iyi bir talaş kontrolünün sağlanması için seçilmiş işleme parametrelerine ek olarak kalite ve uç geometrisinin de belirlenmiş olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra tezgah, kater ve takım tutucunun oluşan kesme kuvvetlerini karşılayabilmesi için yeterince rijit olmaları şarttır [2].

İç tornalama esnasında özellikle derin delikler işleniyorsa, talaş akışı kritik hale gelebilmektedir. Delik içerisindeki talaşların tahliyesi zamanında yapılamaz ise sıkışan talaşlar işlenmiş yüzeye baskı yaparak yüzey kalitesine veya kesici uca zarar verebilirler. Talaş tahliyesi için iç tornalama işleminde soğutma sıvısı kullanılması talaşın delikten daha kolay dışarıya atılmasını kolaylaştırmaktadır. Bazı sistemlerde soğutma sıvısı yerine basınçlı hava kullanılmaktadır [10].

3.3.8. Delik işlemede takım seçimi

Üretim planı hazırlanırken kesme kuvvetlerinin en aza indirilmesi ve takımın maruz kaldığı gerilmelere dayanabilmesi için mümkün olan en büyük rijitliği sağlayacak koşulların oluşturulması gerekmektedir[10]. Delik işleme takım tutucu uzunluğu ve çapı takımın rijitliği için büyük önem taşımaktadır. İşlenecek delik ölçüleri ve profili seçilebilecek minimum efektif takım uzunluğunu ve maksimum takım çapını belirlemektedir. Mümkün olan en yüksek rijitliğin elde edilme şartları aşağıdaki gibi sıralanabilir [2]:

- Delik içi çap ve profiline göre talaş tahliyesine engel olmayacak en büyük gövde çapı seçilmelidir.
- $L/D < 4$ için çelik delik işleme katerleri seçilebilir. $L/D = 4-7 \times D$ olduğunda veya sıkı toleranslar gerektiğinde kısa ayarlı katerler veya sinterlenmiş karbür katerler tavsiye edilmektedir. Ayarlı katerler $L/D > 7 \times D$ olduğu durumlarda en uygun seçenektir. $L/D = 7-10 \times D$ için uzun ayarlı katerler tavsiye edilirken, $L/D > 10$ için

ise ayarlı karbür takviyeli katerler tercih edilmelidir ayrıca bu bağlama oranları için titreşim sönümleyici katerler oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

- İşlenecek delik boyuna göre mümkün olan en küçük delik işleme takım tutucu bağlama boyu seçilmelidir. Seçilen bağlama boyu $L=3xD$ den az olmamalıdır.
- Delik işlemede yanaşma açısı 75° ile 90° arasında seçilmelidir. Değiştirilebilir kesici uçlar düşük kesme kuvvetlerinin oluşumunu sağlayan, pozitif bir temel şekle sahip olmalıdırlar.
- Kesme derinliğinden daha küçük bir kesici uç köşe radyüsü seçilmelidir.
- Kaplamasız kesici uçlar kaplamalılara nazaran daha düşük kesme kuvvetlerinin oluşumuna neden oldukları için L/D oranının büyük olduğu durumlarda mümkün olduğunca kaplamasız uçlar seçilmelidir.

3.4. Titreşim oluşumunda temel etkenler

Titreşim, talaş kaldırma esnasında oluşan salınım hareketidir. Titreşimin başlaması için aşağıdaki koşulların oluşması gerekmektedir [10].

- Bağlama elemanlarında düzensizlik, tezgah elemanları arasındaki boşluklar veya düşük statik rijitliğe bağlı olarak takımda oluşan sehim nedeniyle sistemin hareket etme eğiliminin titreşimleri başlatması
- Talaş kaldırma anında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin sistemin denge konumunu bozarak titreşimleri ortaya çıkarması

Titreşimlerin oluşması karmaşık faktörlerden etkilenmektedir. Tezgahın kararlı ve rijit yapıda olma hali, kesici takım, takım tespit sistemi, takım montajı ve iş parçası titreşim oluşumunda rol oynayan etkenlerdir. Bu gibi durumlarda titreşimler normalde kendi kendine oluşacak, sistemin frekansı ile salınacaktır. Bu durum frekansın sisteme etkiyen kuvvetlerce (örneğin mildeki dengesizlikler veya darbeleri talaş kaldırma işlemleri) belirlendiği zorlanmış titreşimlerden farklıdır. Artan efektif takım uzunluğundan dolayı ortaya çıkan problemler şunlardır [10]:

- Takım tespit sistemine veya malafaya etkiyen büyük kuvvetler
- Aynı kesme kuvvetinde daha fazla sehim
- Genellikle artan titreşim eğilimi

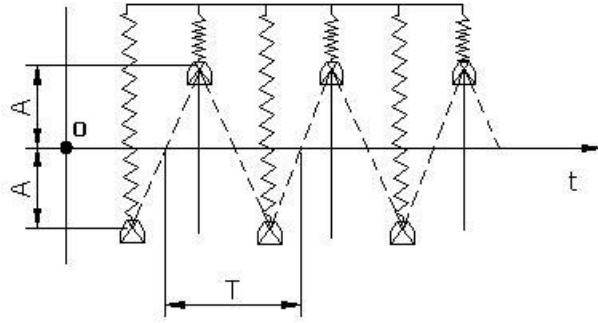
Statik rijitlik ve kesme kuvvetleriyle ilgili temel kurallar göz önüne alınırsa ayarlı takım kullanımı ile elde edilen sonuçlar ve performans iyileştirilebilir.

Delik işleme işlemlerinde kesme geometrisine, köşe radyüsüne ve uç şekline özellikle dikkat edilmelidir. Bu faktörler artan efektif takım uzunluğunda daha kritik bir hal almaktadırlar [2].

3.4.1. Titreşimlerin doğası

Titreşim veya titreşimli hareket bir cismin denge konumunun bir dış kuvvet tarafından bozulması halinde oluşmaktadır. Salınımın oluşması için sistemi denge konumuna geri döndürmeye çalışan bir tepki kuvveti de olmalıdır [2].

Bir yay denge konumunu (O) bozan bir dış kuvvet ile yüklendiğinde (Şekil 3.11) yay kuvveti sistemi denge konumuna geri döndürmeye çalışacak ve aynı zamanda eklenen ağırlığın kütesinden dolayı tepki kuvveti de oluşacaktır. Oluşan salınım hareketi iki sınır değer arasında zamanla (t) değişen bir yapıya sahiptir. T, 2T, 3T gibi belli bir zaman periyodunda gerçekleşen titreşimli hareket periyodik olarak adlandırılmaktadır. Denge konumundan olan maksimum sapmaya titreşim genliği (X_A) denir. Frekans salınım hareketinin zamanla nasıl değiştiğini göstermektedir (örneğin saniyede kaç salınım hareketinin yapıldığı veya kaç periyot olduğu gibi) [10].



Şekil 3.11. Periyodik titreşimli hareket [10]

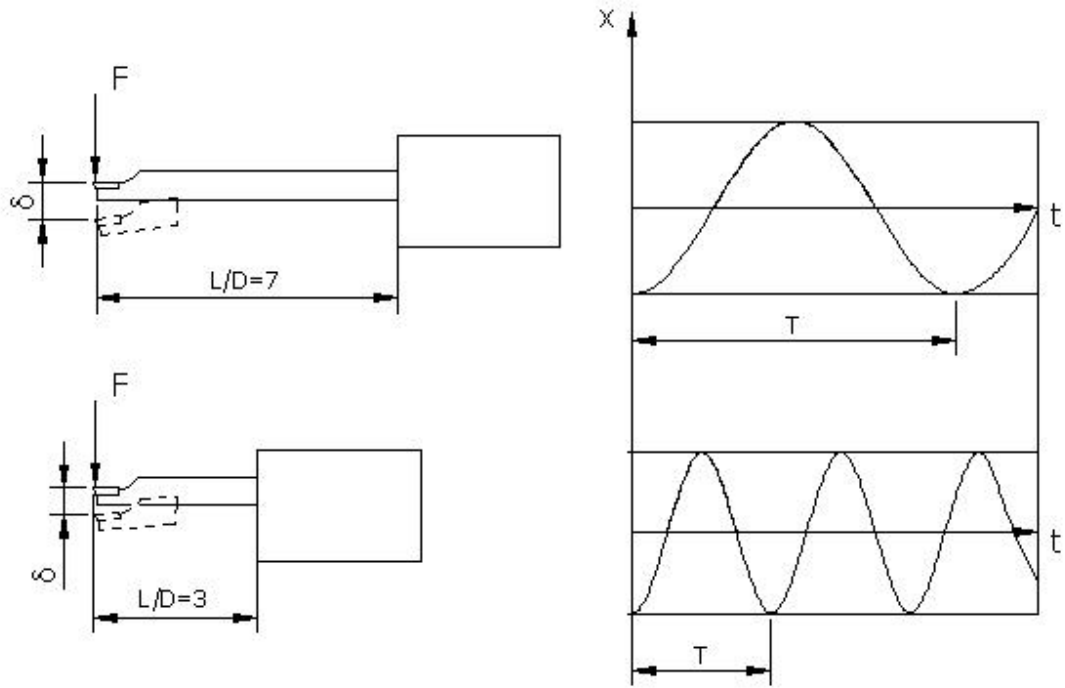
3.5. Dinamik rijitlik

Dinamik rijitlik cismin etkileşimli kuvvetlere (örneğin titreşim) dayanımıdır. Bu aynı zamanda sistemin titreşimleri sönmüleyebilmesi için geçen zaman olarak da tanımlanabilir [2].

Delik işleme takımında talaş kaldırma esnasında enerji(titreşim etkisi enerjisi) kayıplarının olmadığı ve titreşimli hareketin sönmelenmediği kabul edilirse, delik işleme takımının doğal frekansı çap ve malzemenin aynı olması koşuluyla sadece efektif takım uzunluğundan etkilenmektedir. Büyük sehimde genlik mutlaka artacaktır, ancak aynı zamanda hız ve frekans da artacak, yani saniyedeki titreşim değeri sabit kalacaktır. Bir sistemin doğal frekansı ile dinamik rijitliği doğru orantılıdır [2].

Frekans ve dinamik rijitlik arasındaki bağıntı şöyle açıklanabilir (Şekil 3.12): Delik işleme takım tutucu bağlama oranlarının (L/D) sırasıyla 7 ve 3 olarak alındığı delik işleme operasyonlarında kesici uç üzerine düşen bileşke kuvvetin her iki L/D oranı için de aynı olduğu kabul edildiğinde, $L/D=7$ oranında oluşan sehimin daha fazla olması periyodik titreşim hareketinin periyodunu daha büyük değere taşıyacaktır. Periyod ile frekans ters orantılı olduğu için periyodun artması frekansı azaltacaktır. $L/D=3$ bağlama oranında delik işleme takım tutucunda aynı bileşke kuvvet altında oluşan sehim daha az olacağından titreşim hareketinin periyodu daha az olacak ve

titreşim hareketinin birim zamanda artan periyod tekrarlamaşı yani frekansı artmış olacaktır. Bu açıklamaları şu şekilde özetlemek mümkündür: delik işleme takım tutucunun bağlama boyu, titreşim frekansını dolayısıyla dinamik rijitliği belirleyici en önemli etkindir. İşlenecek delik boyuna göre seçilen optimum delik işleme takım tutucu gövde boyu ile en kısa L/D bağlama oranlarında bağlanan takımın sehmindeki azalmaya oranla dinamik rijitliği artacaktır.



Şekil 3.12. Dinamik rijitlik [10]

3.6. Zorlanmış salınım

Kesme işlemi esnasında oluşan titreşim, enerji kayıplarından dolayı zamanla sönümlenecek ve cisim denge konumuna geri dönecektir. Titreşimin sönümlenmemesi için titreşim hareketinin devamını sağlayan ek bir enerji gerekmektedir. Bu durum zorlanmış salınım olarak adlandırılmaktadır. Zorlanmış titreşimde genlik statik rijitliğe, etki eden kuvvetin büyüklüğüne, frekansına ve sistemin doğal frekansına bağlıdır [10].

Zorlanmış salınımda frekans doğal frekansa eşit olduğunda rezonans oluşmaktadır. Bu koşullar altında kuvvetler salınım üzerine genliğin zaten maksimum olduğu konumunda etkide bulunurlar ve bunun sonucunda salınım hareketinde bir genlik artışı görülür. Pratikte bu, genliğin kırılma oluşuma neden olacak düzeye dek artması veya sönümlleme etkisinin artması ve tepki kuvvetinin doğması demektir. Son durumda genlik maksimum bir seviyede durur. Bu maksimum seviye sistemin sönümlleme derecesine ve etki kuvvetinin büyüklüğüne bağlıdır [2].

Dış kuvvetin doğal frekansı aşan bir frekans ile etkimesi halinde (genlikte negatif artış elde edilir) frekansın daha fazla artması genliği azaltacaktır. Frekans çok yüksek olduğundan etkiyen kuvvet aynı salınımda hem hareketi arttırmaya hem de harekete bir tepki yaratmaya çalışacaktır. Sonuç olarak salınım bütün olarak etkilenmeyecek ve dinamik rijitlikte bir artış meydana gelecektir [10].

Delik işleme takım tutucu malzemesi titreşim sönümlleme kapasitesini etkilemektedir. Büyük efektif takım uzunluklarında çelik ve karbür katerlerle yeterli sönümlleme elde edilememekte ve bu durum kesme sonunda yüzey kalitesi ile ölçü tamlığını olumsuz etkilemektedir.

4. TAGUCHI DENEY TASARIMI

4.1. Taguchi Felsefesi

Taguchi felsefesi şu üç ana tema altında ifade edilmiştir[59]:

- 1- Kalite ürüne göre tasarlanmalıdır.
- 2- Kalite hedeften en az sapma ile elde edilebilir ve ürün kontrol edilemeyen çevresel faktörlere karşı telafi edilebilecek şekilde tasarlanmalıdır.
- 3- Kalite maliyeti, standarttan sapmanın bir fonksiyonu olarak ölçülmeli ve kayıplar sistem geneline yayılarak değerlendirilmelidir.

Taguchi, deney tasarımı ile istenilen ürün kalitesine ulaşmak için üç aşamalı bir süreç tavsiye etmektedir[59].

- i. Sistem tasarımı
- ii. Parametre tasarımı
- iii. Tolerans tasarımı

Sistem tasarımı, tasarım faktörlerinin uygun çalışma seviyelerinin belirlenmesi üzerine odaklanmaktadır. Sistem tasarımı, güncel teknolojiye odaklanmış nominal ürün/süreç parametrelerini, bir sistemin mühendislerin seçtiği malzeme ve parçalara göre tasarım ve test edilmesi gibi prensipleri içermektedir. Tasarım faktörlerinin çalışma seviyelerinin belirlenmesinde sistem tasarımı kullanılırken, parametre tasarımı, çalışılan ürün/süreç için en iyi performansı üretecek faktör seviyelerini araştırmaktadır. Parametre tasarımında, gürültü faktörlerinin etkilerinin en az olduğu optimum şartın seçilmesi esastır. Tolerans tasarımı, ürün üzerinde önemli etkilere sahip faktörlerin toleranslarının daraltılması yoluyla parametre tasarımı sonuçlarının iyileştirilmesinde kullanılan bir adımdır [59].

Taguchi'nin ortaya koyduğu kalite kontrol yöntemi, birçok endüstride kaliteye bakış açısında köklü değişikliklere sebep olmuştur [60].

Taguchi, ürün kalitesinde belirlenen hedef değerlerden sapmalardaki değişimlerin kontrol altına alınarak en aza indirilmesini savunmaktadır. Taguchi deney tasarımlarında, deneylerin tasarım ve gerçekleştirilmesinde kullanılan özel olarak geliştirilmiş dikey dizimler (orthogonal arrays) kullanılmaktadır. Taguchi, gürültü faktörlerini ürün çıktılarına etki eden fakat ekonomik olarak kontrol edilemeyen faktörler olarak tanımlamıştır. Gürültü faktörleri; hava şartları, makine aşınması, ısı değişimleri v.b. kontrol edilemeyen ama çıktıları veya ürün kalitesini etkileyen faktörler olarak tanımlanabilmektedir [61].

4.2. Deney Tasarım Stratejisi

Taguchi, deney tasarımları için özel dikey dizimler (orthogonal arrays) geliştirmiştir. Dikey dizimler $L_N(s^r)$ ile gösterilmektedir. Bu gösterimde[61];

N : satır sayısı

r : sütun sayısı

s : düzey sayısıdır.

Dikey dizim(D.D)'in elemanları, oluşturulan matrisin içinde bulunan rakamlardır ve bu rakamlar s=2 ise 1,2; s=3 ise 1,2,3 ya da 0,1,2 değerlerini almaktadır. Taguchi D.D.'inin sütunlarında elemanların görülme sıklığı aynıdır.

Dikey dizim özelliğinden gelen ikinci şart, her bir sütun çiftinde elemanların birlikte görülme sıklıklarının aynı olmasıdır. Taguchi, kendine özgü algoritmalar ile standart D.D. olarak adlandırdığı 18 temel dikey dizim kümesi oluşturmuştur (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Taguchi'nin 18 temel dikey dizimi ile ilgili bilgiler [62]

Dikey Dizimler	Satır Sayısı	En çok Etken Sayısı	Bu Düzeyde En çok Bulunan Sütun Sayısı Düzey Sayısı			
			2	3	4	5
L_4	4	3	3	-	-	-
L_8	8	7	7	-	-	-
L_9	9	4	-	4	-	-
L_{12}	12	11	11	-	-	-
L_{16}	16	15	15	-	-	-
L'_{16}	16	5	-	-	5	-
L_{18}	18	8	1	7	-	-
L_{25}	25	6	-	-	-	6
L_{27}	27	13	-	13	-	-
L_{32}	32	31	31	-	-	-
L'_{32}	32	10	1	-	9	-
L_{36}	36	23	11	12	-	-
L'_{36}	36	16	3	13	-	-
L_{50}	50	12	1	-	-	11
L_{54}	54	26	1	25	-	-
L_{64}	64	63	63	-	-	-
L'_{64}	64	21	-	-	21	-
L_{81}	81	40	-	40	-	-

Örneğin, Taguchi tarafından geliştirilen standart dikey dizimlerden L_8 dikey dizimi (D.D.), $L_8(2^7)$ olarak gösterilmektedir. Bu gösterim ile L_8 D.D.'inin 8 satır ve 7 sütundan oluştuğu ve her biri 2 seviyeli 7 etkenin incelenmesine olanak veren bir tasarım cetveli olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge.4.2). Çizelge 4.2 incelendiğinde, her bir deney kombinasyonunun satırlarda bulunan faktör seviyeleri ile belirlendiği görülmektedir. Dikey kolonlar ise faktörlerin yerleştirilme yer ve sıralarını göstermektedir. Her bir kolon dört adet seviye1 ve dört adet seviye2 şartlarını içermektedir. Kolonların bu şekilde seviye şartlarını eşit sayıda tekrarladığı dizimlere dikey dizimler denilmektedir [62].

Çizelge 4.2. L_8 dikey dizimi [62]

FAKTÖRLER							
DENEY NO	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Dikey dizimler (DD) deney tasarım işlemini kolaylaştırmaktadır. Bir deney tasarımı için ilk önce en uygun standart DD'in seçilmesi daha sonra belirlenen etkenlerin (kesme parametreleri vb.) seçilen DD'de uygun kolonlara yerleştirilmesi ve son olarak deney kombinasyonlarının tanımlanması gerekmektedir. Tam faktöriyel ile $2^7=128$ deney yapılması gerekirken standart L_8 DD'i sayesinde 8 deney ile aynı deneysel sonuçların daha az zaman ve maliyetle elde edilmesi mümkün olmaktadır. Tormalamada uygun kesme parametrelerinin belirlenmesinde, kesme performansı ile kesme parametreleri arasındaki ilişkiyi kurmada istatistiksel regresyon teknikleri, sınır ağları hesaplamalarına dayanan birkaç matematiksel model geliştirilmiştir [63-68]. Tormalama operasyonlarında yüksek kesme performansı elde etmek için kesme parametrelerinin seçimi önemli bir aşamadır [69]. Temelde takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametreleri ile güçlü bir şekilde ilişkilidir bu sebeple seçim oldukça önemlidir [70-71].

4.3. Deney Sonuçlarının Analizi

Taguchi metodu, aşağıda verilen şartların bir ya da birkaçını elde etmek için deney sonuçlarını analiz etmektedir[59]:

- i. Bir ürün ya da süreç için en iyi veya optimum şartı oluşturmak,
- ii. Faktörlerin bireysel katkısını hesaplamak,
- iii. Optimum şartlarda ortaya çıkan sonuçları değerlendirmek.

Optimum şart, etkenlerin her birinin ana etkilerinin belirlenmesiyle tespit edilmektedir. Ana etkiler, faktör etkilerinin genel eğilimini göstermektedir.

4.3.1. Etkenlerin görelî katkıları

Etkenlerin görelî katkıları varyansları karşılaştırılarak belirlenmektedir. Bu teknik, varyans analizi (ANOVA) yöntemidir. Varyans analizi (ANOVA), deney sonuçlarında her bir etkenin yüzde olarak katkısını (etkisini) belirlemede kullanılan en genel istatistiksel uygulamadır. Varyans analiz tablosunda verilen analiz sonuçları ile hangi etkenlerin kontrol edilmesi gerektiği ve hangi etkenlerin etkisinin önemsiz olduğu belirlenebilmektedir. Varyans analizi; kareler ortalaması, kareler toplamı ve serbestlik derecesi gibi bilinen niceliklerle hesaplanmakta ve standart bir şekilde uygulanmaktadır [61].

Serbestlik derecesi: Bir etken için serbestlik derecesi düzey sayısının bir eksigidir. Örneğin, 4 düzeyli bir A etkeninin serbestlik derecesi 3'tür. Dikey dizimler için toplam serbestlik derecesi ise sütunlara yerleştirilen etkenlerin serbestlik derecelerinin toplamına eşittir [61].

Kareler Toplamı: Kareler toplamı, verilerin ortalama değerinden deneysel verilerin ayrılışlarının toplam ölçüsüdür[61].

$$KT_{GN} = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{ort})^2 \quad (4.1)$$

KT_{GN} : genel kareler toplamı

Y_i : deneysel veri

Yort : deneysel verilerin ortalama değeri

Veri dağılımının ölçüsü olan varyans ise Eş. 4.1'in serbestlik derecesine bölünmesinden elde edilmektedir[61].

$$KO = KT_{GN} / f_T \quad (4.2)$$

KO : kareler ortalaması (genel varyans)

f_T : toplam serbestlik derecesi

Her bir etken için kareler toplamı ise, etkeni içeren her bir denemenin toplam sonuçları ile tanımlanmaktadır. Etkenlerin kareler toplamının serbestlik derecesine bölümü ile varyans belirlenmektedir. Böylece herhangi bir A etkeninin kareler toplamı;

$$KT_A = (A_1^2 / N_{A1} + A_2^2 / N_{A2} + \dots + A_N^2 / N_{AN}) - D.T \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir [61]. Eş. 4.3'te verilenler;

KT_A : A etkeninin kareler toplamı

A_1 : A etkeninin 1. düzeyine ait değer

N_{A1} : A etkeninin 1. düzeyine ait toplam değer sayısı

D.T : düzey değerleri toplamı

olarak açıklanabilir [61]. Buradaki D.T. ifadesi Eş. 4.4'te verilmiştir.

$$D.T. = (Y_1 + \dots + Y_N)^2 / N \quad (4.4)$$

Y_1 : 1 nolu deneysel veri

N : toplam deney sayısı

Bu durumda A etkenine ait varyans Eş. 4.5'teki gibi hesaplanır[61].

$$V_A = K T_A / f_A \quad (4.5)$$

Eş. 4.5'te verilenler;

V_A : A etkeninin varyans değeri

$K T_A$: A etkeninin kareler toplamı

f_A : A etkeninin serbestlik derecesi

olarak açıklanabilir [61]. Benzer şekilde; B, C, D, ...etkenlerine ait varyans değerleri Eş. 4.5 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

4.3.2. Varyans oranları

Varyans oranı, etkenlere ait kareler ortalamasının, hata kareler ortalamasına bölümünden elde edilmektedir. Bir A etkeni için varyans oranı yazılacak olursa [61];

$$F_A = K O_A / K O_H \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eş. 4.6'da verilenler;

F_A : A etkenine ait varyans oranı

$K O_A$: A etkenine ait kareler ortalaması

$K O_H$: hata kareler ortalaması

olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde; B, C, D, ...etkenlerine ait varyans oranı değerleri Eş. 4.6 kullanılarak hesaplanabilmektedir[61].

$K O_H$ hata kareler ortalaması sıfır olduğunda bu oranlar belirsiz olur ve F istatistiği elde edilemez. Bu durumda araştırmacı ön bilgilerine dayanarak katkılarını önemsiz sayabileceği etkenlerin kareler toplamını toplayıp hata terimi olarak alabilir [61]. Bu işleme genellikle kareler toplamı en küçük olan etkenlerden başlanmaktadır. Yeni hata kareler toplamı ($K O_H^*$) eğer yalnızca B etkeni hataya eklenmiş ise;

$$KO^*_H = (KO_B + KO_H) / (f_B + f_H) \quad (4.7)$$

olur [61]. Eş. 4.7’de verilen serbestlik dereceleri;

f_B : B etkenine ait serbestlik derecesi

f_H : hataya ait serbestlik derecesidir.

4.3.3. Saf kareler toplamı

Deneyde toplanmış hata ile işlem yapıldığında, diğer etken ve etkileşimlere ait kareler toplamlarının yeni hata terimine göre düzeltme işlemleri yapılmalıdır. Böylece saf kareler toplamı adında yeni kareler toplamı elde edilecektir[61].

Örneğin, A etkeni için saf kareler toplamının hesaplanmasında kullanılan denklem Eş. 4.8’de verilmiştir [61].

$$KO^*_A = (KT_A - f_A \cdot KO^*_H) \quad (4.8)$$

4.3.4. Etkenlerin yüzde katkıları

Sonuçların yorumlanmasında kullanılan ve yorumlamada çok yararı olan bir başka terim de yüzde katkılarıdır.

Örneğin, A etkeninin yüzde katkısı P_A ile gösterilir. P_A , A etkeninin saf kareler toplamının (KO^*_A), genel kareler toplamı olan KT_{GN} içindeki yüzde payıdır. Bu durum Eş. 4.9’da verilmiştir[61].

$$P_A = (KT^*_A \cdot 100) / KT_{GN} \quad (4.9)$$

4.3.5. Sinyalin gürültüye oranı (S / N)

Deney tasarımıda amaç kalite değişkeninin ortalama değerini en iyi noktaya getirmektir. Deney tasarımıda başarımlı gücü (performans) olarak analizlerde kullanılmak üzere S / N oranı adı altındaki istatistik geliştirilmiştir [59].

S / N oranı kalite özelliğindeki değişimin duyarlılığını ölçmektedir. S / N oranını hesaplamada kullanılan denklem Eş. 4.10'da verilmiştir[59].

$$S / N = -10 \log (KO) \quad (4.10)$$

Optimum deney kombinasyonu belirlendikten sonra doğrulama deneyi (tekrar ile sonucun güvenilirliğini ölçme deneyi) yapmak oldukça pratik hale gelmektedir. Taguchi, analizlerde en optimum kombinasyonun belirlenmesinde sinyal-gürültü (S/N) oranının kullanılmasını önermektedir. S/N analizi, sonuçlardaki varyasyonlardan faydalanarak en sağlıklı operasyon şartlarını belirlemektedir. Sonuçlardaki en az varyasyonlar (değişimler-sapmalar) en yüksek S/N oranını vermektedir ki, deney kombinasyonları içinde en yüksek S/N oranına sahip deney kombinasyonu optimum şartların ve en iyi sonuçların elde edildiği deneyi ifade etmektedir.

4.4. Kalite Karakteristikleri

Ürün kalitesini belirlemede, en kaliteli ürünü veren sonuç için KO (kalite özelliklerinin hedef değerden sapmalarının ortalamasıdır)'ların hesaplanmasında üç farklı kalite ölçütü dikkate alınmaktadır[59].

- En büyük en iyi
- En küçük en iyi
- Belirlenen en iyi

Örneğin, bir pompa için en iyi tasarım parametreleri en çok akış oranını veren parametreler iken, kalite olarak sessizlik seçilmiş ise en az ses çıkaran tasarım parametreleri en iyi şartı belirlemede kullanılacaktır.

Taguchi, deney tasarımında kaliteyi artırmak için iki temel yaklaşım sunmaktadır[59].

- Ürün ya da süreç tasarımını optimize etmek
- Tasarımı kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerinden duyarsız hale getirmek

Maliyetlerin düşürülmesi, faktör seviyelerinin eşitlenmesi ve değişkenliğin azaltılması gibi işlemlerle mümkün olmaktadır bu işlemler ise parametre tasarımı aşamasında yapılmalıdır.

- En küçük en iyi kriteri seçilmiş ise, bu durumda Y kalite değişkeninin hedef değeri sıfırdır. Buna göre KO'sı;

$$KO=(y_1^2+y_2^2+\dots+y_n^2)/N \quad (4.11)$$

olarak hesaplanır[61]. Eş. 4.11 de;

y_1, y_2, y_n : gözlem değerleri
 N : gözlem sayısıdır.

- En büyük en iyi kalite kriteri ise kalite değişkeninin hedef değeri Y'nin sonsuz değeridir. Buna göre KO'sı;

$$KO=(1/y_1^2+1/y_2^2+\dots+1/y_n^2)/N \quad (4.12)$$

olarak hesaplanır[61].

- Belirlenen (Nominal) değer en iyi ise, Y kalite değişkeni için hedef değer verilmiştir. Bu durum için kareler ortalaması (KO);

$$KO = ((y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2) / N \quad (4.13)$$

olarak hesaplanır[61].

S / N oranının en yüksek değeri daima istenen en iyi durumu tanımladığı için yapılan bu çalışmada; delik içi yüzey pürüzlülüğü, ovalite (dairesellikten sapma) ve düzlemsellik (giriş-çıkış çapları arasındaki fark) olmak üzere üç ayrı kalite değişkenlerinin her biri için en küçük en iyi kriterine göre (Eş. 4.11) değerlendirme yapılmıştır.

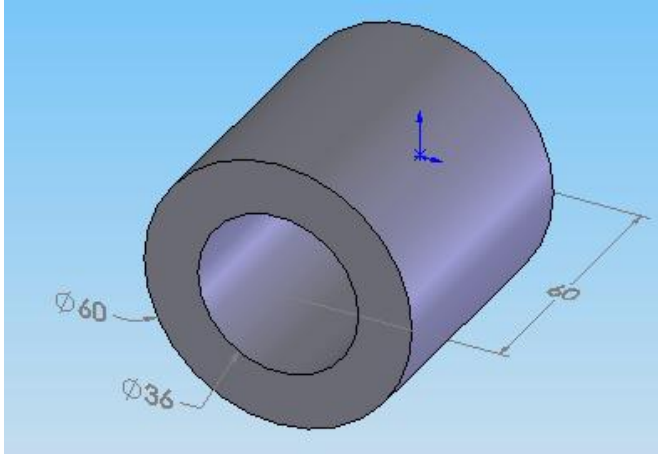
5. MALZEME VE METOT

5.1. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, delik tornalama işlemlerinde kesme parametrelerinin, kesici takım malzemesinin, takım bağlama boyu-kater çapı (L/D) oranının delik kalitesi üzerine etkileri araştırılmış ve yapılan deneylerden elde edilen bulguların yorumları yapılmıştır. Deneysel çalışmalar; imalat sanayinde delik işleme işlemlerinde yaşanan problemlerin tezgah, kullanılan aparatlar, kesici takımlar, takım tutucu sistemleri gibi sınıflandırmalar altında incelenmesinde gerçek kalite özelliklerinin ne derece etkilendiğine dair önemli pratik bilgiler kazandırmıştır. Mevcut delik işleme takım tutucu gövdelerini üç farklı bağlama oranlarında bağlamak için gerekli takım tutucu sistemlerin önemi anlaşılmıştır. CNC torna ve dik işleme merkezleri için delik işleme operasyonlarında kullanılmak üzere tasarlanmış standart VDI tipi takım tutucu sistemlerin deneyler için elverişli olmadığı görülmüştür. Titreşim ölçümlerinde net sonuçlar almanın, özdeş tüm işlemler için aynı oranda sağlıklı olarak gerçekleştirilemediği görülmüş daha sonra titreşim ölçüm cihazı probunun yerleşim yeri ve tespit şeklinin gerçek değerlerin ölçümünü engellemeyecek şekilde seçimine özen gösterilmiştir.

5.1.1. İş parçası malzemesi

Delik tornalama işlemlerinde, imalat sanayinde oldukça geniş kullanım alanına sahip AISI 1040 alaşımsız imalat çeliği kullanılmıştır. AISI 1040 malzemenin seçilmesine en önemli gerekçe olarak, sonuçların daha yaygın olarak kullanılmasına imkan tanımak gösterilebilir. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan numunelere ait bir parça ve resmi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney numunesi (AISI 1040)

Deneylerde kullanılan AISI 1040 imalat çeliği malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Kimyasal bileşimin spektral analizi ASİL ÇELİK A.Ş. kimya laboratuvarında yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan AISI 1040 çeliğin spektral analizi

Element	%	Element	%
C	0,39160	Cu	0,16391
Si	0,25942	Nb	0,00025
Mn	0,65895	Ti	0,00119
P	0,00951	V	0,00281
S	0,00884	W	0,00198
Cr	0,15786	Pb	0,00111
Mo	0,03701	Sn	0,01258
Ni	0,13558	Sb	0,00218
Al	0,01435	Fe	98,1062
Co	0,00667	Mg	0,00016

5.1.2. Kesici uç ve takım tutucular

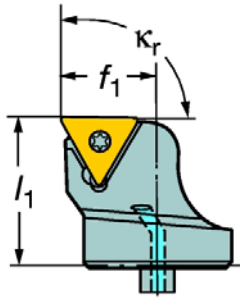
Deneylerde Sandvik Coromant firmasına ait TCMT 11 03 04-PM 4225 sipariş kodlu kesici uçlar kullanılmıştır [72]. Kesici uçlar yanaşma açısına (90°) göre seçilmiş olup üçgen geometriye sahip kaplamasız karbür uçlardır. Seçilen kesici uç radyüsü 0,4mm dir. Delik işleme operasyonlarında kesme derinlikleri önemli bir yere sahip olduğu için belirlenen kesme derinliklerinden daha küçük bir uç radyüsünün seçilmesine özen gösterilmiştir. Delik işlemede uç radyüsünün kesme derinliğinden büyük olması radyal kesme kuvvetlerini artırarak titreşimlere ve delik kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır [10]. Titreşim ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi ve titreşim ölçüm cihazında kaydedilebilmesi için standartlara uygun ilerleme ve delik işleme kesme derinlikleri iş malzemesine göre seçilmiştir. Belirlenen kesme derinliklerinden küçük olacak şekilde kesici uç radyüs yarıçapı 0,4 mm olarak seçilmiştir.

Delik işleme takım tutucu gövdeleri Sandvik Coromant firması ürün kataloglarından üç tip olacak şekilde seçilmiştir. Delik işlemede kater gövdelerine rijit şekilde monte edilen, sökölüp takılması pratik başlıklar kullanılmaktadır. Seçilen üç kater gövdesi için de kullanılabilecek bir başlık tercih edilmiştir. Kater gövdeleri olarak; çelik gövde, sert karbür gövde ve anti-vibrasyon gövdeli takımlar seçilmiştir. Kater gövde boyları deney tasarımında belirlenen L/D oranlarına uygun olacak şekilde seçilmiştir. Kater gövde çapı 25 mm, başlıkla birlikte işlenebilecek minimum çap 32 mm olacak şekilde seçilmiş ve iş parçaları önceden delik işlemeye hazır hale getirilmiştir.

Seçilen başlık ve gövdelere ait sipariş kodları aşağıya çıkarılmıştır.

a- Başlık için sipariş kodu:

570-STFCR -25-11-B1



Şekil 5.2. 570-STFCR -25-11-B1 kodlu başlık [72]

Şekil 5.2’de verilen başlığa ait ölçüler:

Kater gövde çapı : 25mm

Yanaşma açısı (κ_r) : 90°

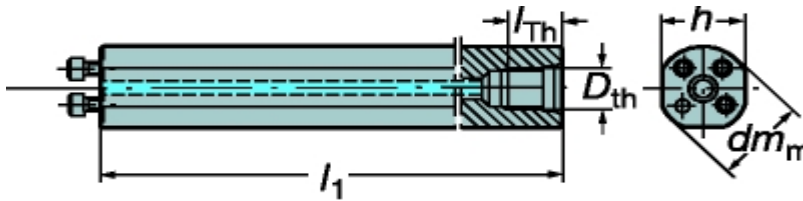
Minimum işleme çapı: 32mm

l_1 :20mm

f_1 :17mm

b-Baralar (Gövde) için sipariş kodları:

1-Çelik gövdeli takım için (T1), 570-2C 25 200 sipariş kodlu, 25 mm çapında ve 200 mm boyunda gövde seçilmiştir.



Şekil 5.3. 570-2C 25 200 kodlu çelik gövde [72]

Şekil 5.3’te verilen çelik gövdeye ait ölçüler:

d_{mm} :25mm

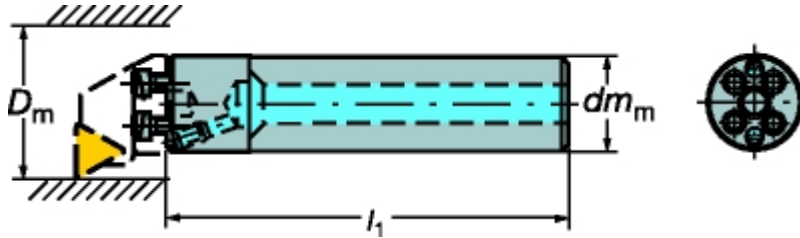
l_1 :200mm

h :23mm

D_{m_min} :32mm

l_{Th} :15mm

2-Sertleştirilmiş karbür gövdeli takım için (T2), 570-2C 25 250 CR sipariş kodlu, 25 mm çapında ve 250 mm boyunda gövde seçilmiştir.

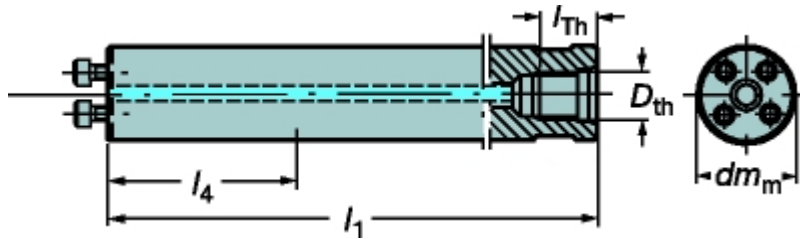


Şekil 5.4. 570-2C 25 250 CR kodlu sert karbür gövde [72]

Şekil 5.4'te verilen sert karbür gövdeye ait ölçüler:

dm_m	:25mm
Dm_min	:32mm
l_1	:250mm

3-Titreşim Sönümleyici (Anti-vibrasyon) gövdeli takım için (T3): 570-3C 25 255 sipariş kodlu, 25 mm çapında ve 255 mm boyunda gövde kullanılacaktır.



Şekil 5.5. 570-3C 25 255 kodlu anti-vibrasyonlu gövde [72]

Şekil 5.5'te verilen anti-vibrasyonlu gövdeye ait ölçüler:

dmm	:25mm
l_1	:255mm
Dm_min	:32mm
l_4	:75mm

5.1.3. Takım tezgahı

Deneylerde TAKISAWA EX 106 CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Bu tezgahlarda, taret takım dizimi taret yan yüzeyleri olduğu için kullanılan takım tutucular ile bir delik işleme takım tutucu gövdesinin farklı boylarda bağlanabilmesini mümkün olmaktadır. Kullanılan CNC torna tezgahının özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Yapılan deneylerde farklı L/D bağlama oranları kullanıldığı için bu tezgah tercih edilmiştir.

Çizelge 5.2. TAKISAWA 106 EX CNC torna tezgahının bazı özellikleri

X eksen	(mm)	140
Z eksen	(mm)	350
Tezgah gücü	(kW)	17
Devir sayısı	(rpm)	5000
Taret takım bağlama kapasitesi		12

5.1.4. Deneysel ölçümler

Yapılan çalışmada delik işleme operasyonları sırasında oluşan titreşim genlik değerleri, delik içi yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma (Ds) ve düzlemsellik (giriş-çıkış çapları arasındaki fark) verileri deney numunelerinin her biri için ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Titreşimlerin ölçümünde TV 300 Vibration Tester marka titreşim ölçüm cihazı kullanılmıştır. Titreşim ölçümleri 27 adet deney numune parçalarının her biri için ayrı ayrı yapılmıştır. Delik işleme sırasında delik işleme takım tutucunun pozisyonu delik başlangıcı, delik içi ortası ve delik sonu konumlarında iken titreşim ölçüm kayıtları alınmıştır ve bu yolla titreşimin seyri hakkında fikir elde edilmiştir. Titreşim ölçüm cihazının titreşim algılayıcı probu, kater bağlama boyu sonuna yerleştirilerek titreşim ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde kaydedilmesi sağlanmıştır.

Kullanılan titreşim ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. TV 300 titreşim ölçüm cihazı teknik özellikleri

Ölçüm aralığı	İvme (Acceleration): 0,1 m/s ² -392m/s ² (peak)
	Hız(Velocity): 0,01cm/s-80cm/s (RMS)
	Yerdeğiştirme(Displacement):0,001mm-18,1mm (peak-peak)
Frekans aralığı	Acceleration: 10-200Hz,10-500Hz,10Hz-1KHz,10Hz-10KHz
	Velocity: 10Hz-1KHz
	Displacement: 10Hz-500Hz
Tamlık	±5%
Display	LCD, 320×200 pixels

Delik işleme operasyonlarında kullanılan deney numune parçalarının her biri için kesme işlemlerinin sonunda delik içi yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümünde MITUTOYO SJ-301 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Mitutoyo SJ 301 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı teknik özellikleri

Uygulanabilir standartlar	JIS’82, JIS’94, JIS’01, DIN, ISO, ANSI
Değerlendirme parametreleri	Ra, Ry, Rz, Rt
Örnekleme uzunlukları	0,08, 0,25, 0,8, 2,5, 8mm
Ölçüm aralığı	350µm (-200 µm ile +150 µm)
Ölçüm hızı	0,25, 0,5mm/s

Dairesellikten sapma (Ds) ve düzlemsellik (X_L) verileri, MITUTOYO QM-MEASURE 353 (3D Ölçüm Cihazı) ile 20°C ortam sıcaklığında ve laboratuvar ortamında ölçülmüştür.

Üç boyutlu ölçüm cihazına ait teknik özellikler Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Üç boyutlu ölçüm cihazına ait teknik özellikler

Ölçüm aralığı	X eksen- 300mm
	Y eksen- 500mm
	Z eksen- 300mm
Konumlanma hassasiyeti	0,0005mm
Ölçüm hassasiyeti	3µm

5.1.5. Kesme parametreleri ve bağımsız değişkenler

Deney tasarımı Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılmıştır. Taguchi deney tasarım yönteminin kullanılmasının nedeni, uygulanacak deney sayısını azaltarak malzeme, enerji ve zamandan tasarruf ile güvenilir gerçek deney verilerini elde etmektir. Taguchi deneysel tasarım metodunda öncelikle kalite özelliklerini doğrudan etkileyecek olan etkenlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada seçilen kalite özellikleri; yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma (Ds)(daireellikten sapma) ve düzlemsellik (giriş ve çıkış çapları arasındaki fark) olarak belirlenmiş ek olarak titreşimlerin etkisi incelenmiştir. Bağımsız değişkenler kesme parametreleri, takım malzemesi ve takım bağlama boyu gibi etkenleri ifade etmektedir.

Deneylerde dikkate alınan etkenler (faktörler); kesme hızı (V_c -m/min), kesme derinliği (a_p -mm), ilerleme (f -mm/rev), takım malzemesi(T) ve bağlama boyu (L/D oranı) olarak belirlenmiştir. Belirlenen etkenler Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Deney tasarımı kullanılan etkenler ve düzeyleri

Düzye No	V_c (m/min)	f (mm/rev)	a_p (mm)	L/D	T
1	180	0,1	0,5	3 ^{**}	1 [*]
2	225	0,075	0,75	5 ^{**}	2 [*]
3	270	0,05	1	7 ^{**}	3 [*]

Çizelge 5.6 da (*) ile gösterilen 1 nolu takım: çelik gövde, 2 nolu takım: sert karbür gövde, 3 nolu takım: anti-vibrasyon gövdeli takımları temsil etmektedir.

(**) ile gösterimde, $L/D=3$ için bağlama boyu=75mm, $L/D=5$ için bağlama boyu=125mm, $L/D=7$ için bağlama boyu=175mm olduğu vurgulanmıştır.

Belirlenen etkenlerin düzeyleri, takım kataloglarında belirtilen malzeme ve takıma göre spesifik değerlere paralel olarak belirlenmiştir. Kesme derinliğine ait düzeylerin belirlenmesinde, seçilen en küçük kesme derinliği değerinin kesici uç radyüs yarıçapı değerinden daha büyük olmasına dikkat edilmiştir. Takım bağlama boylarının takım gövde çapına göre seçilmesi göz önünde bulundurularak siparişte yeteri uzunluklardaki takım gövdeleri seçilmiştir.

5.1.6. Deney Tasarımı ve Deneylerin yapılışı

Deneyler için en uygun CNC tezgahın seçimi, takım bağlama boylarını mümkün kılan taret yapısına sahip tezgahın tespiti ile gerçekleştirilmiştir. Kesici takım gövde boyları yine takım kataloglarından belirlenen L/D oranlarına uygun seçilerek gövde çapı belirlenmiştir. Gövde çapına uygun kesici bağlama başlığının seçimi ile birlikte iş parçası minimum delik çapı ortaya çıkarılmış daha sonra bu minimum delik çapına göre iş parçaları delinerek hazırlanmıştır. Ayrıca delik işlemede ortaya çıkacak radyal ve eksenel kuvvetleri en aza indirmek için yanaşma açısı 90° olan başlık seçilmiş ve bu başlığa göre üçgen geometrilili kaplamasız sert karbür uçlar tercih edilmiştir. Titreşimlerin sağlıklı bir şekilde kaydedilmesi için ilerleme oranlarına göre kesme süresi tespit edilmiştir. Titreşim cihazı kayıt zamanını dikkate alarak kesici ucun iş parçasına giriş, delik ortası ve çıkış anlarındaki titreşimlerin kaydedilebilirliği test edilmiştir. Ayrıca, titreşim cihazı probunun yerleştirme yeri ve sabitleme şekli belirlenmiştir.

Deneyler için gerekli iş parçası numunelerinin işlenmesi, takım, tezgah, aparat ve ölçüm cihazlarının temini gibi işlemler tamamlandıktan sonra Taguchi deney tasarım yöntemine göre deney tasarımı yapılarak hazırlık aşamaları oluşturulmuştur. Bu aşamaları şu şekilde özetlemek mümkündür:

Taguchi deney tasarımı ilk aşama kalite özelliklerinin (hangi kriterlere bakılacağı?) ve bağımsız değişkenlerin (faktörler) belirlenmesidir. Faktörlerin belirlenmesinden sonra faktör düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamalardan sonraki adım, Taguchi deney tasarımı kullanılabilecek dikey dizimin belirlenmesidir [61].

Taguchi'nin deney tasarım çalışmaları için geliştirdiği dikey dizimler (orthogonal arrays) sayesinde deney sayıları belirlenmektedir. Taguchi'nin belirlediği standart dikey dizimler, etken sayısı ve düzeylerine göre düzenlenmiştir [61]. Ana etkenler ve seviyelerine göre toplam serbestlik derecesi hesaplanmaktadır. Etken (faktör) seviyesinin bir eksiği o etkenin serbestlik derecesine eşittir. Eğer bir etken 3 seviyeli ise 2 serbestlik derecesine sahiptir.

Uygulayacağımız deneyde her biri 3 seviyeli 5 ayrı ana etken olduğundan toplam serbestlik derecesi $2 \times 5 = 10$ olacaktır. Toplam serbestlik derecesi ise Taguchi'nin oluşturduğu standart DD'leri seçmede yardımcı olmaktadır.

Deney sayısının azaltılması da bu standart dikey DD'ler sayesinde gerçekleşmektedir. Hazırlanan DD'ler satırlar ve etkenlerin yazılacağı sütunlardan oluşmaktadır. Uygun DD'i seçmek için; toplam serbestlik derecesi, kullanılacak DD'in sütun sayısından az veya sütun sayısına eşit olmalıdır. Yapılması planlanan deneyler için, her biri 3 düzeyli 5 etken (faktör) bulunmaktadır ve L_{27} dikey dizimi, 27 satır ve 13 sütuna sahiptir ve her biri 3 düzeyli olan 13 etken için kullanılabilecek en uygun dikey dizimdir, bu duruma göre L_{27} dikey dizimi seçilmiştir (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. L_{27} dikey dizimi ve etkenlerin kolonlara yerleştirilmesi

DENEY NO	KOLONLAR				
	Vc	f	a_p	L/D	Tt
	1	2	5	8	11
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2
3	1	1	3	3	3
4	1	2	1	2	3
5	1	2	2	3	1
6	1	2	3	1	2
7	1	3	1	3	2
8	1	3	2	1	3
9	1	3	3	2	1
10	2	1	1	1	1
11	2	1	2	2	2
12	2	1	3	3	3
13	2	2	1	2	3
14	2	2	2	3	1
15	2	2	3	1	2
16	2	3	1	3	2
17	2	3	2	1	3
18	2	3	3	2	1
19	3	1	1	1	1
20	3	1	2	2	2
21	3	1	3	3	3
22	3	2	1	2	3
23	3	2	2	3	1
24	3	2	3	1	2
25	3	3	1	3	2
26	3	3	2	1	3
27	3	3	3	2	1

Faktörlerin dikey dizimdeki sütunlara yerleşimi, etkenlerin önem sırasına göre ilk sütundan başlamak üzere sırası ile “Vc” 1.sütuna, “f” 2. sütuna, “ a_p ” 5. sütuna, “L/D” 8. sütuna ve “Tt” 11. sütuna gelecek şekilde yapılmıştır.

L_{27} dikey dizimi için düzey seviyelerine göre faktörlerin sütunlardaki yerleşimi yapıldıktan sonra boş kalan sütunlar çıkarılarak Çizelge 5.7 oluşturulmuştur. Etkenlerin düzey değerlerinin yerlerine yazılmış şekli Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Etkenlerin (faktörlerin) düzey değerlerinin yerleşimi

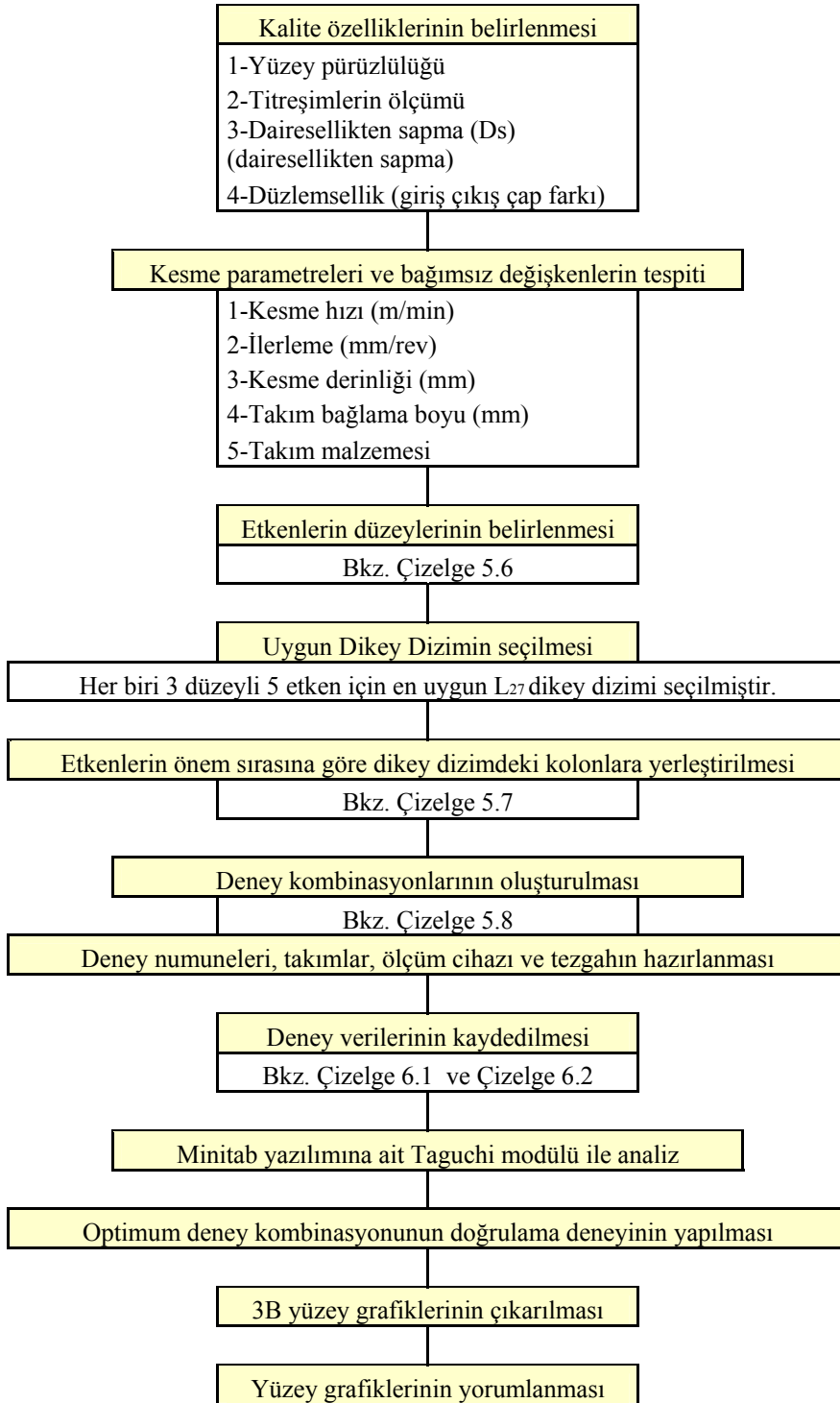
Deney No	DENEY PARAMETRELERİ (FAKTÖRLER)				
	V _c	f	a _p	L/D	Tt
1	180	0,1	0,5	3	1
2	180	0,1	0,75	5	2
3	180	0,1	1	7	3
4	180	0,075	0,5	5	3
5	180	0,075	0,75	7	1
6	180	0,075	1	3	2
7	180	0,05	0,5	7	2
8	180	0,05	0,75	3	3
9	180	0,05	1	5	1
10	225	0,1	0,5	3	1
11	225	0,1	0,75	5	2
12	225	0,1	1	7	3
13	225	0,075	0,5	5	3
14	225	0,075	0,75	7	1
15	225	0,075	1	3	2
16	225	0,05	0,5	7	2
17	225	0,05	0,75	3	3
18	225	0,05	1	5	1
19	270	0,1	0,5	3	1
20	270	0,1	0,75	5	2
21	270	0,1	1	7	3
22	270	0,075	0,5	5	3
23	270	0,075	0,75	7	1
24	270	0,075	1	3	2
25	270	0,05	0,5	7	2
26	270	0,05	0,75	3	3
27	270	0,05	1	5	1

Çizelge 5.8’de verilen her deney satır numarası bir deney kombinasyonunu ifade etmektedir. Deneylerin yapım sırası dikey dizimdeki sıradan farklıdır. Takım ve takımların bağlama oranları tekrar ettiği için tekrar durumunda sadece kesme parametreleri ve bağlama boyları değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Böylece aynı takım malzemesi için sadece bağlama oranları ve karşılık gelen kesme parametrelerini ifade eden deney numaraları farklı sıralarda gerçekleşmiştir.

Her bir deney kombinasyonu için yeni bir kesici uç kullanılmıştır böylece kesici uç takım aşınmasının yüzey kalitesine olumsuz etkilerinin önlenmesi amaçlanmıştır. Deneylerin yapımı sırasında titreşim genlik ölçümleri de yapılmıştır. Titreşim genliği ölçümleri; delik başlangıcı, ortası ve delik sonunda gerçekleştirilmiştir. Deney

numunelerine deney numarası yazılmıştır. Çizelge 5.9’de deney tasarımı, deneylerin yapım ve değerlendirilme aşamalarına ilişkin akış şeması verilmiştir.

Çizelge 5.9. Deney tasarımı akış şeması



6. DENEY/ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneylerden elde edilen değerler Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.1 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğüne ait verilerin ön ve arka olmak üzere iki sütun halinde verildiği görülmektedir. Buradaki ön ve arka ifadeleri delik giriş ve çıkışlarında ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerini belirtmektedir. Belirtilen sütunlara ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan R_a değeri yazılmıştır. Benzer şekilde dairesellikten sapma (D_s) değerleri delik giriş ve çıkışları için ölçülen değerler olarak yazılmıştır. Düzlemsellik, giriş ve çıkış çapları arasındaki fark alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.1. Yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma (D_s) ve düzlemsellik ölçümleri

Deney No	DENEY PARAMETRELERİ					ÖN	ARKA	ÖN		ARKA		FARK	KONİKLİK
	V_c	f	a_p	L/D	T	R_a		ÇAP	OVALLIK	ÇAP	OVALLIK		
1	180	0,1	0,5	3	1	0,75	1,17	39,513	0,005	39,535	0,012	-0,0225	0,0225
2	180	0,1	0,75	5	2	1,08	1,25	40,062	0,014	40,068	0,023	-0,006	0,006
3	180	0,1	1	7	3	1,1	1,71	39,492	0,006	39,51	0,013	-0,018	0,018
4	180	0,07	0,5	5	3	0,75	1,25	37,997	0,004	37,951	0,086	0,046	0,046
5	180	0,07	0,75	7	1	6,67	3,88	39,985	0,01	39,989	0,03	-0,0035	0,0035
6	180	0,07	1	3	2	0,74	0,88	39,516	0,0225	39,539	0,014	-0,0225	0,0225
7	180	0,05	0,5	7	2	4,1	7,05	37,577	0,118	37,393	0,203	0,184	0,184
8	180	0,05	0,75	3	3	0,75	2,22	37,764	0,008	37,796	0,019	-0,0315	0,0315
9	180	0,05	1	5	1	6,06	7,33	40,496	0,01	40,502	0,011	-0,0055	0,0055
10	225	0,1	0,5	3	1	1,2	1,13	39,537	0,005	39,563	0,014	-0,026	0,026
11	225	0,1	0,75	5	2	0,96	1,2	39,327	0,004	39,34	0,026	-0,013	0,013
12	225	0,1	1	7	3	1,08	1,71	38,486	0,006	38,501	0,032	-0,0155	0,0155
13	225	0,07	0,5	5	3	0,75	1,84	38	0,0145	37,963	0,142	0,037	0,037
14	225	0,07	0,75	7	1	4,94	3,08	38,426	0,106	38,396	0,096	0,0295	0,0295
15	225	0,07	1	3	2	0,72	0,76	39,555	0,005	39,555	0,02	0,0005	0,0005
16	225	0,05	0,5	7	2	5,37	6,23	37,509	0,005	37,457	0,199	0,052	0,052
17	225	0,05	0,75	3	3	2,03	1,34	38,283	0,006	38,303	0,022	-0,0205	0,0205
18	225	0,05	1	5	1	6,63	6,53	39,505	0,009	39,509	0,022	-0,0035	0,0035
19	270	0,1	0,5	3	1	2,15	1,84	39,531	0,006	39,553	0,014	-0,022	0,022
20	270	0,1	0,75	5	2	0,86	1,27	37,801	0,009	37,814	0,018	-0,0125	0,0125
21	270	0,1	1	7	3	1,51	1,57	39,476	0,01	39,491	0,0385	-0,0145	0,0145
22	270	0,07	0,5	5	3	0,67	0,92	37,999	0,008	37,921	0,165	0,078	0,078
23	270	0,07	0,75	7	1	4,29	3,03	38,267	0,17	38,054	0,089	0,2135	0,2135
24	270	0,07	1	3	2	0,96	1,25	39,516	0,008	39,527	0,01	-0,0105	0,0105
25	270	0,05	0,5	7	2	7,15	5,92	37,524	0,0215	37,446	0,215	0,078	0,078
26	270	0,05	0,75	3	3	0,73	0,72	38,287	0,0065	38,222	0,361	0,0645	0,0645
27	270	0,05	1	5	1	8,8	8,08	39,561	0,0265	39,532	0,021	0,029	0,029

Titreşim genliği ölçümlerine ait deneysel veriler Çizelge 6.2’de verilmiştir. Kesme işleminde net alınamayan titreşim ölçümleri için deney kombinasyonları tekrar edilmiştir.

Çizelge 6.2. Titreşim genliği ölçümlerine ait deney verileri

DENEY NO	TİTREŞİM GENLİKLERİ (X_A) (mm)		
	Delik girişi	Delik içi ortası	Delik sonu
	X_{A1}	X_{A2}	X_{A3}
1	0,0332	0,0197	0,0299
2	0,0416	0,0171	0,0238
3	0,0750	0,0830	0,0490
4	0,0072	0,0094	0,0111
5	1,5690	0,0124	0,0250
6	0,0106	0,0018	1,5620
7	0,0051	0,0125	0,0046
8	0,0043	0,0075	0,0069
9	0,0020	0,0083	0,0075
10	0,0016	0,0023	0,0018
11	0,0055	0,0035	0,0048
12	0,0168	0,0222	0,0290
13	0,0015	0,0037	0,0033
14	0,0045	0,0147	0,0038
15	0,0027	0,0014	0,0020
16	0,0032	0,0034	0,0026
17	0,0028	0,0016	0,0027
18	0,0011	0,0025	0,0027
19	0,0107	0,0034	0,0027
20	0,0031	0,0018	0,0034
21	0,0038	0,0019	0,0013
22	0,0017	0,0029	0,0024
23	0,0047	0,0033	0,0037
24	0,0050	0,0029	0,0037
25	0,0032	0,0018	0,0009
26	0,0022	0,0022	0,0019
27	0,0033	0,0032	0,0017

Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilen tüm deney verileri Minitab istatistiksel analiz programı ile analiz edilmiştir. Minitab, Microsoft® Windows® işletim sisteminde kullanılan ve kolon bazlı çalışan bir istatistiksel yazılımdır.

Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilen deney verileri Minitab istatistiksel analiz programına aktarılarak analiz çalışmaları başlatılmıştır. Minitab programı aynı zamanda Taguchi deney tasarımı modülü içerdiği için analiz programının işlem akışına göre deney tasarım aşamaları oluşturulmuştur. Değişkenlerin analizi (ANOVA) işleminin yapılması ile hangi etkenlerin ne derecede kalite özellikleri üzerine etki ettikleri belirlenmiştir. Etkenlerin önem sıraları, ortalama değerler, standart ortalama değerden sapmalar tespit edilerek değerlendirilmiştir. Her bir kalite özelliği için (yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma (Ds), düzlemsellik, titreşim) sinyal-gürültü oranları (S/N- signal to noise ratio) analiz yoluyla belirlenerek ilgili kalite özelliği için optimum deney şartı tespit edilmiştir. Tespit edilen deney tekrar edilerek doğrulama testi yapılmış ve %87 ile %93 oranları arasında değişen tutarlılıklar gözlemlenmiştir.

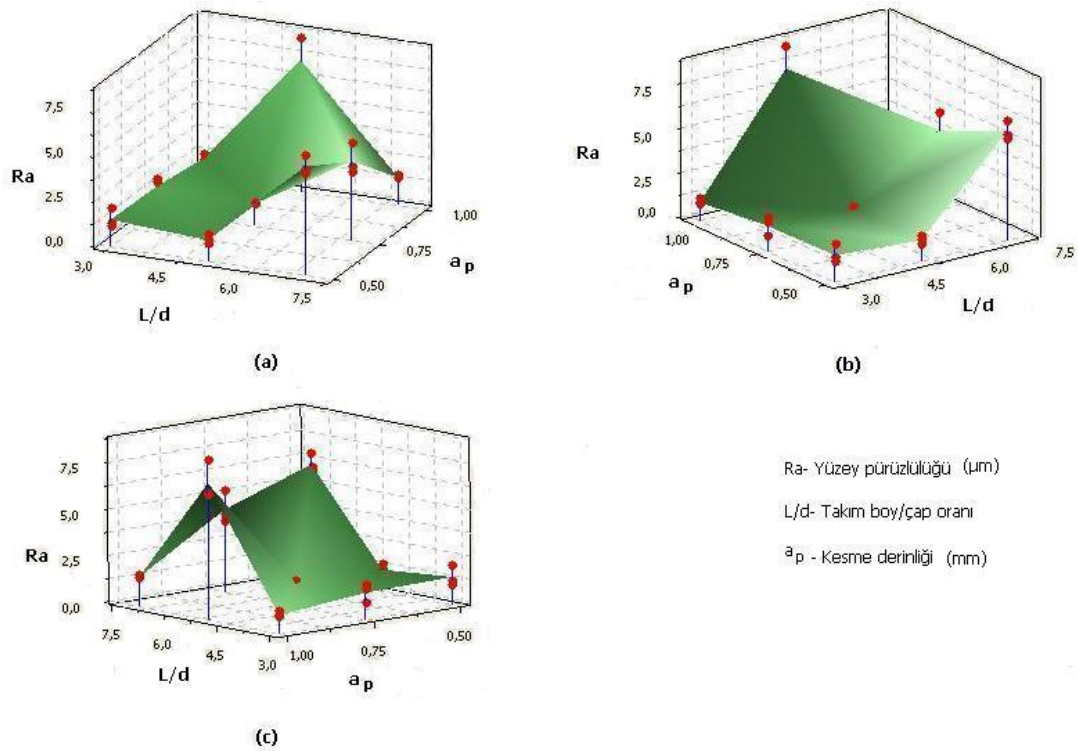
6.1. Yüzey Pürüzlülüğü Analizleri

Yüzey pürüzlülüğü analiz çalışmaları yedi aşamada incelenerek üç boyutlu (3B) grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Tüm kalite özellikleri için bu 7 aşama sırasına göre değerlendirmeler yapılacaktır. Bu aşamalar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- Kesme derinliği (a_p) ve Takım boy/çap oranı (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
- Kesme derinliği (a_p) ve Takım tutucu malzemesi (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
- İlerleme (f) ve Takım boy/çap oranı (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
- İlerleme (f) ve Takım tutucu malzemesi (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
- Takım tutucu malzemesi (Tt) ve Takım boy/çap oranı (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
- Kesme hızı (V_c) ve Takım boy/çap oranı (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
- Kesme hızı (V_c) ve Takım tutucu malzemesi (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

6.1.1. Kesme derinliği ve boy/çap oranı ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili analiz çalışmalarının 3B grafiklere aktarılması her bir 3B grafikte ayrıntıların ve yüzey sapmalarının daha net anlaşılması amacıyla üç bakış açısında değerlendirilmiştir.



Şekil 6.1. (a_p) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

L/D oranlarının düzey sırasına göre 3, 5 ve 7 olarak, kesme derinliği (a_p) düzey değerlerinin sırasıyla 0,5mm, 0,75mm ve 1mm olarak alındığı görülmektedir. Delik işleme takım tutucu gövde çapı 25mm olduğundan L/D oranlarının uzunluk karşılık değerleri sırasıyla 75mm, 125mm, 175mm olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 6.1.(a)'da, L/D oranı 3, 5 ve kesme derinliği 0,5 mm olan şartlarda ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu saptanmıştır (ortalama 1,2 μm). Özellikle $L/D=7$ iken ortalama yüzey pürüzlülük değerinin (R_a) 4 kat artarak 5 μm 'e ulaştığı görülmüştür. Kesme derinliği (a_p) 0,75 mm için R_a değeri

yaklaşık $3,5 \mu\text{m}$ ve $a_p=1 \text{ mm}$ için yaklaşık $R_a= 1,25 \mu\text{m}$ olarak gerçekleşmiştir. Şekil 6.1.(a)' ya göre en düşük R_a değerleri; $a_p=0,5 \text{ mm}$, $L/D=3$ ve $L/D=5$ bağlama boyları için oluşturulan kesme şartlarında elde edilmiştir.

Şekil 6.1.(b), Şekil 6.1.(a)'daki üç boyutlu grafiğin döndürülmesi ile ayrıntıların ve yüzey sapmalarının gözden kaçmasını engellemek amacıyla verilmiştir.

Şekil 6.1.(b)'de kesme derinliklerindeki artışlar $L/D=3$ ve $L/D=5$ bağlama boylarında R_a 'da önemli bir değişime neden olmazken, özellikle $a_p=1 \text{ mm}$ ve $L/D=5$ şartı için R_a değeri yaklaşık 5,5 kat artarak ortalama $6,8 \mu\text{m}$ 'e ulaşmıştır.

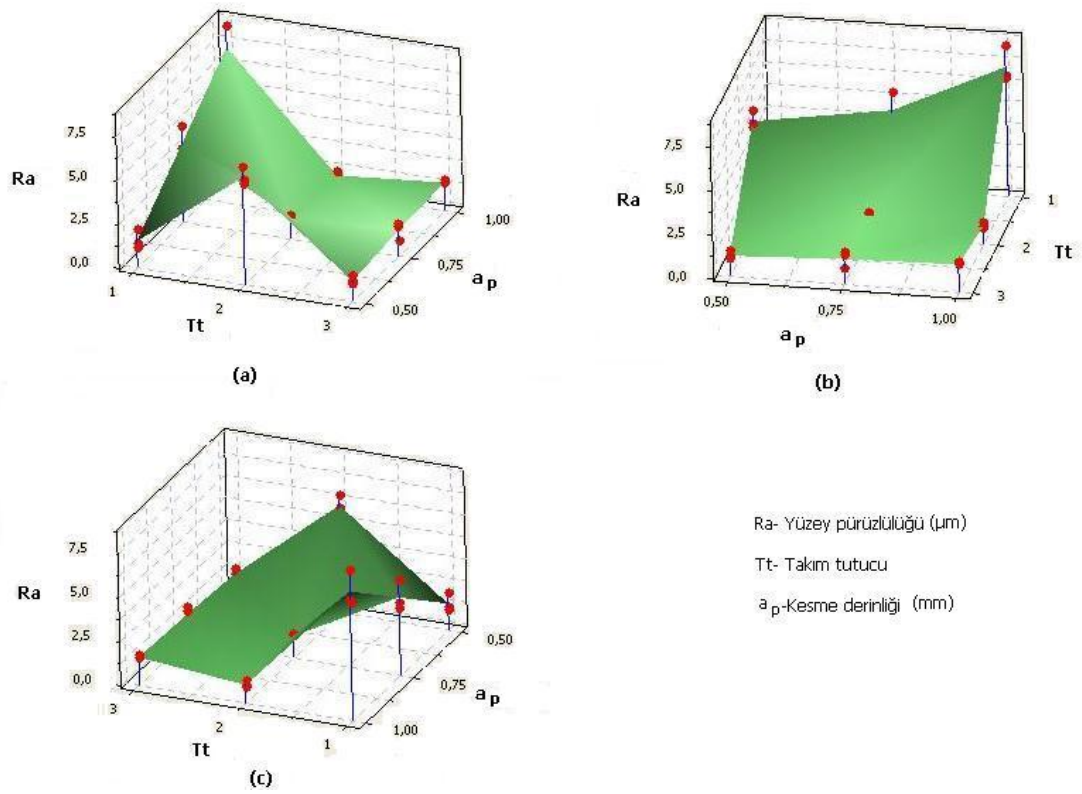
$a_p=0,5 \text{ mm}$ ve $L/D=7$ şartı için R_a değeri yaklaşık $5 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.1.(c) incelendiğinde kesme derinliğinin (a_p) en büyük değeri ($a_p=1 \text{ mm}$) ve L/D oranının en küçük seviyesinde ($L/D=3$) elde edilen R_a değerinin yaklaşık $1 \mu\text{m}$ ile en küçük değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

6.1.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin R_a 'ya etkisi

Kesme derinliği (a_p) ve takım tutucu malzemesi (Tt) ilişkisinin ortalama yüzey pürüzlülüğüne (R_a) etkisi Şekil 6.2' de verilmiştir.

Şekil 6.2.(a) incelendiğinde takım tutucu malzemesi (Tt) faktörünün düzeylerinin 1,2,3 olduğu görülmektedir. Deney tasarımı oluşturulurken Tt faktörü, delik işleme takım tutucu gövde malzemesi olarak belirlenirken çelik gövde (1) ile sert karbür gövde (2) ile ve anti-vibrasyon gövdeli kater (3) ile ifade edilmiştir.



Şekil 6.2. (a_p) ve (T_t) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.2.(a)'ya göre $a_p=0,5$ mm düzeyinde en yüksek R_a değeri $6,25 \mu m$ ile 2 no'lu takımla (sert karbür gövde) yapılan kesme işlemi sonucu elde edilmiştir. En küçük R_a değeri yaklaşık $1,25 \mu m$ ile 3 no'lu takımdan (anti-vibrasyonlu gövde) elde edilmiştir. İkinci küçük değer ise 1 no'lu takım (çelik gövdeli) ile elde edilmiş ve yaklaşık $1,5 \mu m$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.2.(a)'ya göre 3 no'lu takımda (anti-vibrasyonlu gövde) kesme derinliği (a_p) değerlerindeki artışın ortalama yüzey pürüzlülüğünde (R_a) önemli bir değişime yol açmadığı görülmektedir. Grafik incelendiğinde 3 no'lu takım için üç kesme derinliği için elde edilen R_a değerleri yaklaşık $1,25 \mu m$ civarında olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.2.(b) bir başka açıdan grafik incelemesine olanak tanımaktadır. Farklı açılarla en doğru yorumların ve değerlendirmelerin yapılması amaçlanmıştır.

Şekil 6.2.(b) incelendiğinde $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm değerlerinin 2 ve 3 no'lu takımlar için Ra değerinde önemli bir değişim meydana getirmediği (yaklaşık $Ra=1,25$ μm), artan a_p değerleri ile birlikte Ra değerlerinin 2 no'lu takımından 1 no'lu takıma yaklaşık 5 kat artış gösterdiği tespit edilmiştir.

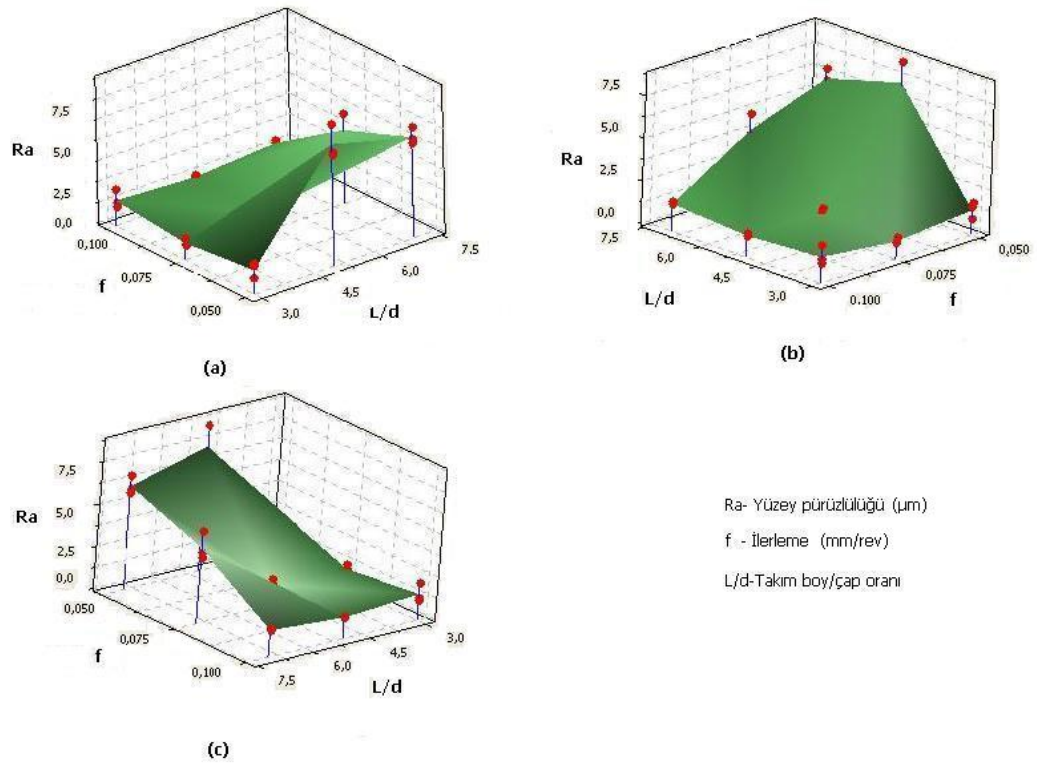
Şekil 6.2.(c) üçüncü bir bakış açısı sunmaktadır. Şekil 6.2.(c)'de verilen grafikte ilk göze çarpan durum 1 no'lu (çelik gövdeli) takım ile elde edilen en büyük Ra değerinin yine en büyük kesme derinliği değerinde ($a_p=1$ mm) ortaya çıkmış olmasıdır (yaklaşık $Ra=6,25$ μm). 1 no'lu takım için 0,75 mm kesme derinliği değerinde yaklaşık 3,75 μm yüzey pürüzlülüğü ve $a_p=0,5$ mm için Ra değeri yaklaşık 1 μm olarak ölçülmüştür. Buradan çelik gövdeli delik katerlerinde kesme derinliği değerlerinin 1 mm den 0,5 mm'e düşürülmesi ile yüzey pürüzlülüğünde 6 kata varan iyileşmeler elde etmenin mümkün olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Şekil 6.2.(c)'de 2 no'lu (sert karbür gövdeli) takım için düşük kesme derinliğinin Ra değerinde artışa sebep olduğu, $a_p=1$ mm de ise Ra değerinin 1 μm 'e gerilediği görülmüştür. Genel olarak delik işlemede, sert karbür gövdeli takımlar büyük kesme derinliklerinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü vermektedir.

6.1.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Delik işleme operasyonları için yüzey pürüzlülüğüne etki eden kesme parametrelerinden biri de ilerleme (mm/rev) değeridir. İlerleme değerinin hangi oranlarda etki ettiğine dair sonuç değerlendirmeleri çeşitli kombinasyonlarla birlikte yapılmıştır. Bu kombinasyonlar sıra ile ilerleme-bağlama boyu ilişkisi ve ilerleme-takım malzemesi ilişkisinin değerlendirmesinden ibarettir.

Şekil 6.3.(a) delik işleme deneylerinde ilerleme ve takım bağlama boyu ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini ilk bakış açısından incelemeye fırsat vermektedir.



Şekil 6.3. (f) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
 a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.3.(a)'da en küçük L/D oranında ($L/D=3$), artan ilerleme değerlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğünde (Ra) önemli bir değişime yol açmadığı görülmektedir (yaklaşık $1 \mu\text{m}$). İlerleme değeri (f) $0,05 \text{ mm/rev}$ ve $L/D=3$ için ortalama Ra değeri yaklaşık $1 \mu\text{m}$ iken, $L/D=5$ de yaklaşık 6 kat artarak ortalama $Ra=6,8 \mu\text{m}$ 'e ulaşmıştır. $L/D=7$ değerinde aynı ilerlemede ($f=0,05 \text{ mm/rev}$) Ra değeri yaklaşık $5,5 \mu\text{m}$ 'e gerilediği görülmüştür.

Şekil 6.3.(a)'ya göre ilerlemenin en küçük değeri ile artan L/D oranlarında yüzey pürüzlülüklerinde önemli artışlara sebep olmaktadır. L/D oranının en küçük değerinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık $1 \mu\text{m}$ ile birbirine yakın çıkmıştır.

Şekil 6.3.(b)' de ikinci bir bakış yönü ile grafik ele alınmaktadır. Şekil 6.3.(b)'e göre L/D oranlarının tümünde, $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin yaklaşık $1,25 \mu\text{m}$ olduğu görülmektedir.

Şekil 6.3.(b)'de diğer dikkati çeken diğer bir husus ise $L/D=3$ oranında ilerleme değerlerinin her üç seviyesi için de ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli bir artış görülmemesidir.

Şekil 6.3.(c)'de ilerleme-takım bağlama boyu ilişkisini gösteren grafiğe üçüncü bir bakış açısı verilmiştir. Verilen bu bakış açısına göre (Şekil 6.3.c) $L/D=7$ ve $f=0,05$ mm/rev ilerlemede $R_a=5,5 \mu\text{m}$ iken aynı L/D oranında ilerleme $f=0,075$ mm/rev değerine artırıldığında R_a değerinin yaklaşık $3 \mu\text{m}$ 'e düştüğü görülmektedir. L/D oranı değişmeden ilerleme değeri en yüksek değerine ($f=0,1$ mm/rev) ulaştığında ise ortalama yüzey pürüzlülüğünün $1 \mu\text{m}$ 'e kadar düştüğü tespit edilmiştir.

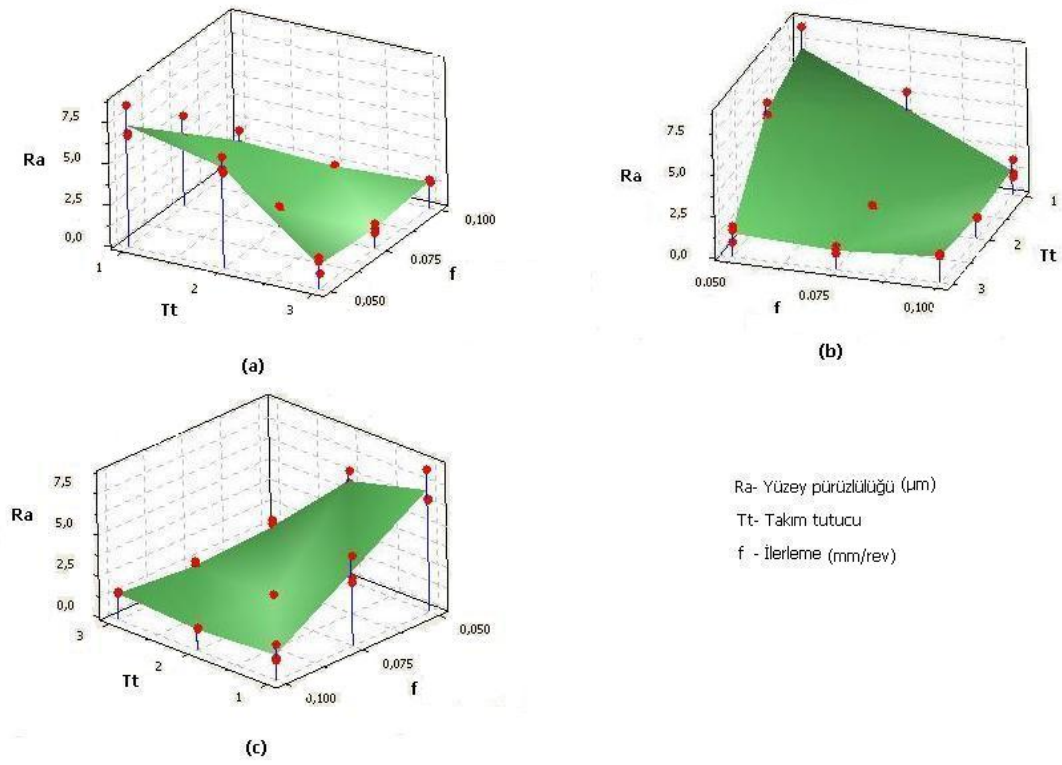
Genel olarak ilerleme-takım bağlama boyu ilişkisine bakılacak olursa; ilerleme değerlerindeki artışlar yüzey pürüzlülüğünde önemli oranlarda (yaklaşık 5 kat) iyileşmelere sebep olmaktadır.

6.1.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

İlerleme ve takım tutucu malzemesi (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla verilerin 3B grafiklere dökülmüş üç bakış açısından birincisi Şekil 6.4.(a)'da verilmiştir.

Şekil 6.4.(a)'da $f=0,05$ mm/rev ilerleme değerinde 1 no'lu takım ile elde edilen R_a değerinin yaklaşık $6,8 \mu\text{m}$, 2 no'lu takım ile elde edilen R_a değerinin $5,5 \mu\text{m}$ ve 3 no'lu takım ile elde edilen ortalama R_a değerinin $1 \mu\text{m}$ olarak ölçüldüğü görülmektedir.

Şekil 6.4.(a)'ya göre $f=0,05$ mm/rev için 3 no'lu takım (anti-vibrasyon gövdeli) 1 no'lu (çelik gövde) takıma göre %85, 2 no'lu (sert karbür gövde) takıma göre %75 daha iyi yüzey pürüzlülüğü vermiştir.



Şekil 6.4. (f) ve (Tt) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
 a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.4.(b) incelendiğinde ise 3 no'lu takım için $f=0,05$ mm/rev ilerlemede ortalama $Ra=1,298 \mu\text{m}$, $f=0,075$ mm/rev ilerlemede ortalama $Ra=1,028 \mu\text{m}$ ve $f=0,1$ mm/rev ilerlemede ortalama $Ra=1,445 \mu\text{m}$ olarak ölçüldüğü görülmektedir.

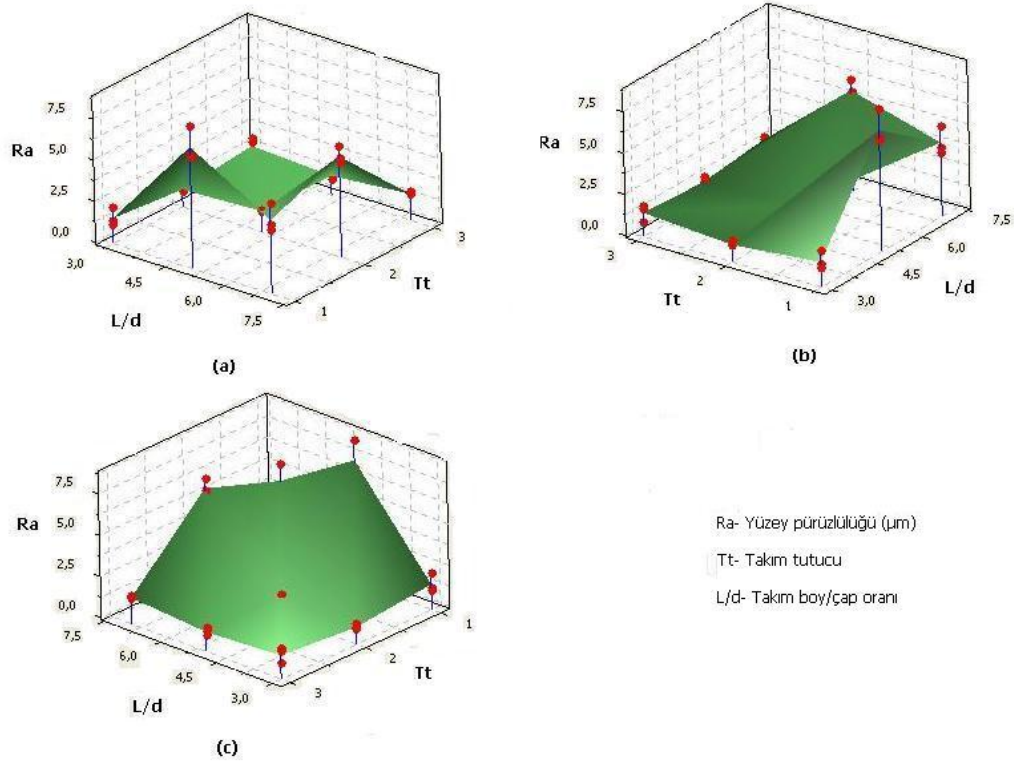
Elde edilen bu değerler ortalama değerler olup farklı bağlama boylarında elde edildikleri için doğru orantı içermemektedir. Buradan anti-vibrasyon gövdeli takımın artan ilerleme değerlerine rağmen yüzey kalitesinde önemli değişiklikler meydana getirmediği yorumu yapılabilir.

$f=0,1$ mm/rev ilerleme değerinde 1 no'lu takım ile ortalama $Ra=1,206 \mu\text{m}$, 2 no'lu takım ile ortalama $Ra=1,103 \mu\text{m}$ ve 3 no'lu takım ile ortalama $Ra=1,445 \mu\text{m}$ olarak her üç takım ile da kabul edilebilir düzeylerde yüzey kalitesi elde edildiği görülmüştür.

Şekil 6.4.(c)'de 1 no'lu takım ile $f=0,1$ mm/rev ilerlemede ortalama $Ra=1,206$ μm , $f=0,075$ mm/rev ilerlemede ortalama $Ra=4,315$ μm ve $f=0,05$ mm/rev ilerlemede ise ortalama $Ra=7,238$ μm yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü gösterilmiştir. Bu durum çelik gövdeli delik işleme takımlarının düşük ilerleme değerlerinde ($f=0,05$ mm/rev) daha kötü yüzey çıkardıklarını diğer bir ifade ile çelik gövdeli delik katerleri ile iyi derecede yüzey kalitesi elde edebilmek için yüksek ilerleme miktarlarının seçilmesi gerektiği sonucu çıkmıştır. İlerleme değerinin 2 kat artırılması yüzey kalitesini 6 kat iyileştirmiştir.

6.1.5. Takım tutucu malzemesi ve boy/çap oranı ilişkisinin Ra 'ya etkisi

Takım tutucu malzemesi ve takım bağlama boyu ilişkisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla elde edilen 3B grafiklerin birincisi Şekil 6.5.(a)'da verilmiştir.



Şekil 6.5. (Tt) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.5.(a)'ya göre 1 no'lu takım ile, $L/D=3$ için ortalama $R_a=1,206 \mu\text{m}$, $L/D=5$ için ortalama $R_a=7,238 \mu\text{m}$ ve $L/D=7$ için ortalama $R_a=4,315 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü ölçüldüğü görülmektedir. $L/D=7$ için çelik gövdeli delik işleme takım tutucu, kesme işlemi sırasında titreşim ve sehimlerin etkisi ile kesici uçları kırıdığı için gerçek yüzey pürüzlülükleri ölçülemedi ve ölçülebilen değerlerin ortalaması alındığından olması gerekenden daha küçük bir değer ortaya çıkmıştır.

Çelik gövdeli delik işleme katerleri $L/D=7$ bağlama oranında kesmeye elverişli değildir. Çelik gövdeli katerle $L/D=7$ bağlama oranında deney kombinasyonları üç kez tekrar edilmesine rağmen üçünde de uç kırılmıştır.

Şekil 6.5.(b)'de $L/D=3$ için 1 no'lu takım ile ortalama $R_a=1,206 \mu\text{m}$, 2 no'lu takım ile ortalama $R_a=0,883 \mu\text{m}$ ve 3 no'lu takım ile ortalama $R_a=1,298 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü gösterilmiştir.

Kısa bağlama oranlarında en iyi yüzey pürüzlülüğü, 2 no'lu sert karbür gövdeli takım ile elde edilmiştir. Aynı şartlardaki çelik gövdeli ve anti-vibrasyon gövdeli takımlar birbirine oldukça yakın yüzey pürüzlülük değerleri vermiştir.

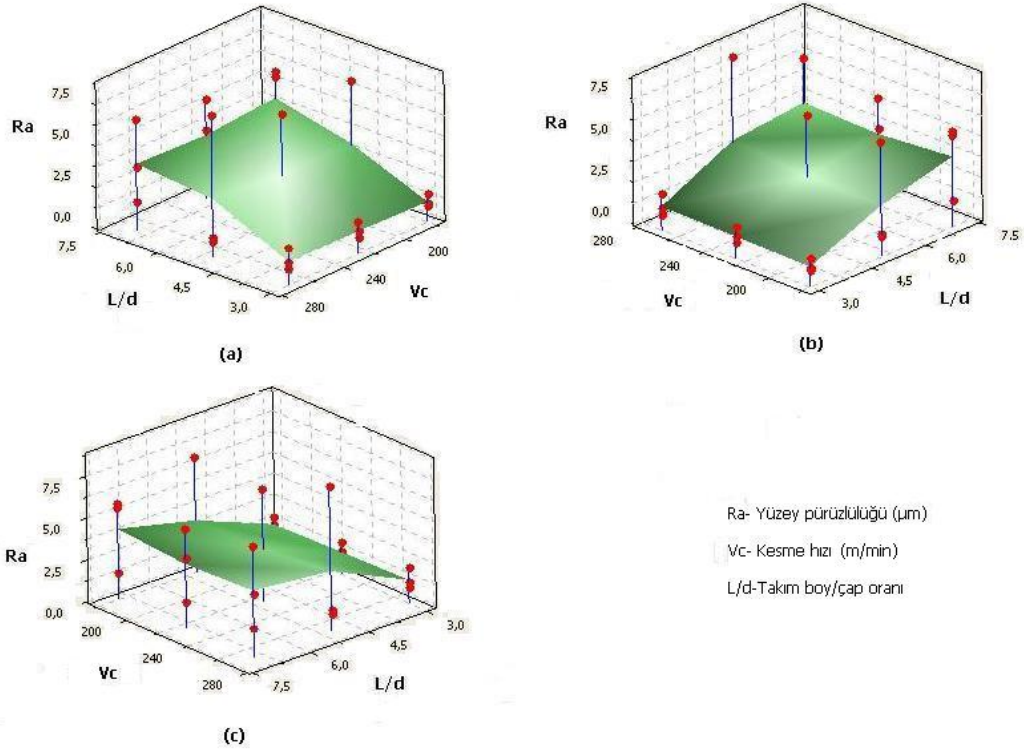
Şekil 6.5.(c) iki açıdan değerlendirilecek olursa birincisi, 3 no'lu takım ile $L/D=3$ için ortalama $R_a=1,298 \mu\text{m}$, $L/D=5$ için ortalama $R_a=1,028 \mu\text{m}$ ve $L/D=7$ için ortalama $R_a=1,445 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülükleri ölçüldüğü görülmektedir.

Artan L/D oranları anti-vibrasyon gövdeli delik katerlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli bir farklılık yaratmamaktadır. İkinci olarak, $L/D=7$ oranı için çelik gövdeli takım ile kesme yapılamadığı belirtilmişti bunun yanında 2 no'lu takım ile $L/D=7$ oranında ortalama $R_a=5,968 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Anti-vibrasyon gövdeli delik katerleri $L/D=7$ bağlama oranında sert karbür gövdeli katerlere göre yaklaşık 4 kat daha küçük yüzey pürüzlülüğü vermektedir.

6.1.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Kesme hızı ve takım boy/çap oranı ilişkisinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini belirlemek amacıyla çıkarılan 3B grafiklerden birincisi Şekil 6.6.(a)'da verilmiştir.



Şekil 6.6. (Vc) ve (L/D) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.6.(a)'da $V_c=270$ m/min ve $L/D=7$ bağlama oranı için ortalama $R_a=3,91$ μm , $L/D=5$ için ortalama $R_a=3,433$ μm ve $L/D=3$ için ortalama $R_a=1,106$ μm olarak tespit edildiği gösterilmiştir.

$V_c=270$ m/min kesme hızında $L/D=7$ 'den $L/D=5$ 'e yüzey pürüzlülüğünde %14 oranında bir iyileşme sağlanırken, $L/D=7$ 'den $L/D=3$ 'e 3,5 kat daha iyi bir yüzey pürüzlülük değeri elde edilmektedir.

Şekil 6.6.(b)'e göre $L/D=3$ oranı için $V_c=180$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=1,085$ μm , $V_c=225$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=1,196$ μm ve $V_c=270$ m/min kesme hızında ise ortalama $R_a=1,106$ μm olarak ölçülmüştür.

$L/D=3$ oranı için artan kesme hızlarına göre yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli bir değişme gözlenmemiştir. $V_c=180$ m/min kesme hızında $L/D=3$ için ortalama $R_a=1,085$ μm , $L/D=5$ için ortalama $R_a=2,953$ μm ve $L/D=7$ için ortalama $R_a=4,083$ μm olarak tespit edilmiştir.

$V_c=225$ m/min kesme hızında $L/D=3$ için ortalama $R_a=1,196$ μm , $L/D=5$ için ortalama $R_a=2,983$ μm ve $L/D=7$ için ortalama $R_a=3,735$ μm olarak belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan üç kesme hızı için de artan L/D oranları ile birlikte elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde de artış gözlenmiştir.

Şekil 6.6.(c)'e göre $L/D=7$ oranı için $V_c=180$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=4,083$ μm , $V_c=225$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=3,735$ μm ve $V_c=270$ m/min kesme hızında elde edilen ortalama $R_a=3,91$ μm yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.

$L/D=7$ için artan kesme hızları için yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli sapmalar meydana gelmemektedir. Bu durum $L/D=3$ ve $L/D=5$ bağlama oranları için elde edilen değerlerle paralellik göstermektedir.

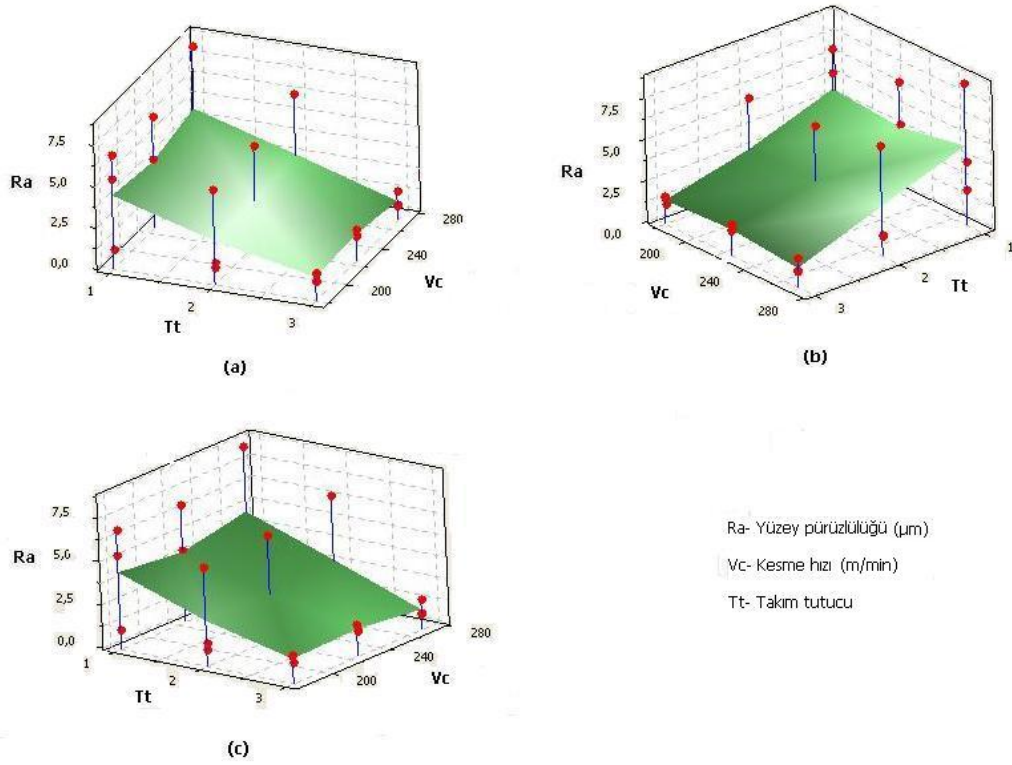
Özetlenecek olursa, aynı kesme hızında artan L/D oranı ile birlikte yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olarak artarken, aynı L/D oranlarında artan kesme hızları yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir değişime sebep olmamaktadır.

6.1.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin R_a 'ya etkisi

Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisi Şekil 6.7'de verilmiştir.

Şekil 6.7.(a)'da $V_c=180$ m/min kesme hızı için 1 no'lu takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri $R_a=4,31$ μm , 2 no'lu takım ile ortalama $R_a=2,516$ μm ve 3 no'lu takım ile ortalama $R_a=1,295$ μm olarak ölçüldüğü gösterilmiştir.

$V_c=180$ m/min kesme hızı için 2 no'lu sert karbür gövdeli delik işleme takım tutucu ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü 1 no'lu çelik gövdeli delik işleme takım tutucune göre %42 daha iyi gerçekleşmektedir. Anti-vibrasyon gövdeli kater ile çelik gövdeli katerlerin yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki oran ise %70 ile anti-vibrasyon gövdeli delik işleme takım tutucu lehinedir.



Şekil 6.7. (V_c) ve (T_t) ilişkisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.7.(b)'de 3 no'lu takım için $V_c=180$ m/min kesme hızında elde edilen ortalama $R_a=1,295$ μm , $V_c=225$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=1,456$ μm ve $V_c=270$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=1,02$ μm olarak ölçülmüştür.

3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım için kesme hızlarının küçükten büyüğe doğru sıralamasına karşılık gelen yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki oranlarda belli bir paralellik ve anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir. Ancak titreşim absorbe etme özelliğinin diğer takımlara göre yüzey pürüzlülüğünde önemli oranlarda iyileşmeye sebep olduğu ortaya çıkmaktadır.

2 no'lu sert karbür gövdeli delik işleme takım tutucu ile yapılan delik işleme kesme deneylerinde, $V_c=180$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=2,516$ μm , $V_c=225$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=2,54$ μm ölçülmüştür. $V_c=270$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=2,898$ μm olarak ölçülmüştür.

3 no'lu kater 2 no'lu katere göre yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %100 oranında daha iyi sonuçlar vermiştir.

1 no'lu takım için $V_c=180$ m/min kesme hızında elde edilen ortalama $R_a=4,31$ μm , $V_c=225$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=3,918$ μm ve $V_c=270$ m/min kesme hızında ortalama $R_a=4,531$ μm olarak ölçülmüştür.

1 no'lu takımdan elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin belli bir paralellik içermediği saptanmıştır. Diğer bir ifade ile artan kesme hızları 1 no'lu takımda yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde önemli bir varyasyona sebep olmamaktadır. Yine de 1 no'lu çelik gövdeli kater için en iyi yüzey pürüzlülük değerlerine $V_c=225$ m/min kesme hızında ulaşıldığı söylenebilir.

Taguchi deney tasarım modülü kullanılarak yapılan varyans analizi sonucunda her bir kalite özelliği için (yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma (Ds), titreşim, düzlemsellik) en küçük en iyi kriterine göre elde edilen S/N (signal to noise ratio) oranları en optimum deney kombinasyonunun bulunmasında belirleyici olmaktadır.

Varyans analizi (ANOVA) sonucu yüzey pürüzlülüğü ile ilgili elde edilen veriler Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelge 6.1'de seçilen dikey dizime yerleştirilen etkenler ve etkenlerin düzey numaralarına göre değerlerinin yerlerine yerleştirilmesi ile oluşan deney kombinasyonları görülmektedir. Deneylerden elde edilen yüzey

pürüzlülük değerlerine ait ortalama Ra, S/N oranı ve standart sapma değerleri Çizelge 6.3'te gösterilmiştir. Çizelge 6.3'te yüzey pürüzlülüğü için verilen çıktılar incelendiğinde en yüksek S/N oranının 2,793 ile 26 no'lu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür. Analizlerde çıkan en yüksek S/N oranını veren deney kombinasyonu istenen şartları sağlayan denemeyi ifade etmektedir. Elde edilen en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğünün bu deney kombinasyonuna ait olduğu belirlenmiştir (Ortalama Ra=0,725 μ m). Aynı zamanda en küçük standart sapmaya sahip kombinasyon 26 no'lu deney kombinasyonu olmuştur.

Çizelge 6.3. Yüzey pürüzlülüğü analiz verileri

D.No	Vc	f	a _p	L/D	Tt	Ort.Ra	S/N	St.Sapma
1	180	0,1	0,5	3	1	0,960	0,1516	0,29698
2	180	0,1	0,75	5	2	1,165	-1,3496	0,12021
3	180	0,1	1	7	3	1,405	-3,1535	0,43134
4	180	0,075	0,5	5	3	1,000	-0,2633	0,35355
5	180	0,075	0,75	7	1	5,275	-14,7380	1,97283
6	180	0,075	1	3	2	0,810	1,7980	0,09899
7	180	0,05	0,5	7	2	5,575	-15,2187	2,08597
8	180	0,05	0,75	3	3	1,485	-4,3861	1,03945
9	180	0,05	1	5	1	6,695	-16,5539	0,89803
10	225	0,1	0,5	3	1	1,165	-1,3304	0,04950
11	225	0,1	0,75	5	2	1,080	-0,7218	0,16971
12	225	0,1	1	7	3	1,395	-3,1075	0,44548
13	225	0,075	0,5	5	3	1,295	-2,9536	0,77075
14	225	0,075	0,75	7	1	4,010	-12,2904	1,31522
15	225	0,075	1	3	2	0,740	2,6122	0,02828
16	225	0,05	0,5	7	2	5,800	-15,2924	0,60811
17	225	0,05	0,75	3	3	1,685	-4,7103	0,48790
18	225	0,05	1	5	1	6,580	-16,3648	0,07071
19	270	0,1	0,5	3	1	1,995	-6,0250	0,21920
20	270	0,1	0,75	5	2	1,065	-0,7050	0,28991
21	270	0,1	1	7	3	1,540	-3,7521	0,04243
22	270	0,075	0,5	5	3	0,795	1,8866	0,17678
23	270	0,075	0,75	7	1	3,660	-11,3964	0,89095
24	270	0,075	1	3	2	1,105	-0,9414	0,20506
25	270	0,05	0,5	7	2	6,535	-16,3432	0,86974
26	270	0,05	0,75	3	3	0,725	2,7930	0,00707
27	270	0,05	1	5	1	8,440	-18,5347	0,50912

Çizelge 6.4'te deneylerde kullanılan etkenlerin S/N oranını etkileme sıraları verilmiştir.

Çizelge 6.4'e göre optimum deney kombinasyonunu belirlemede en etkili etkenin (L/D) bağlama oranı olduğu görülmektedir. 2. sırada ise ilerleme (f) değerinin geldiği tespit edilmiştir. 3. sırayı takım tutucu malzemesi (Tt) alırken kesme derinliği değerinin (a_p) 4. sıra ve kesme hızının (V_c) 5. sırada yer alması ile S/N (sinyal-gürültü) oranı üzerinde en az katkıları olan etkenler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.4'te 1.sırada etkili bağlama oranı (L/D) faktörünün düzeylere göre aldıkları S/N oranlarına ilişkin ortalama değerler incelendiğinde bu faktörün ilk düzey değeri ile 3. düzey değeri arasındaki fark 9,473 ile tüm faktörler arasında en fazla değere sahip faktör olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.4. Yüzey pürüzlülüğü için faktörlerin S/N oranına etkileri

Düzyey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	-5,968	-11,623	-6,154	-1,115	-10,787
2	-6,018	-4,032	-5,278	-6,173	-5,129
3	-5,891	-2,221	-6,444	-10,588	-1,961
Fark	0,127	9,402	1,166	9,473	8,826
Sıra	5	2	4	1	3

Çizelge 6.5. Faktörlerin (etkenler) ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkileri

Düzyey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	2,708	4,836	2,791	1,186	4,309
2	2,639	2,077	2,239	3,124	2,653
3	2,873	1,308	3,190	3,911	1,258
Fark	0,234	3,528	0,951	2,725	3,051
Sıra	5	1	4	3	2

Çizelge 6.5'te etkenlerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri üzerine etkileri net bir şekilde gösterilmiştir. Çizelge 6.5'e göre yüzey pürüzlülüğünü en fazla etkileyen faktörün ilerleme (f) olduğu görülmüştür. 2.sıradaki etkenin (Tt) takım tutucu malzemesi olduğu saptanmıştır. Bağlama oranı (L/D) 3.sırada yer alırken kesme derinliği(a_p) ve kesme hızının (V_c) en az etkilere sahip faktörler oldukları tespit edilmiştir.

Çizelge 6.5'te düzeylere göre her bir etken için alınan yüzey pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalamaları görülmektedir. Aritmetik ortalamalarda meydana gelen sapmalar (fark) ise etkenlerin sıralamadaki yerlerini belirlemektedir.

Çizelge 6.6'da her bir faktörün yüzey pürüzlülüğü standart sapma değerleri üzerine etkileri ve sıralamaları verilmiştir. Buna göre standart sapmalar üzerinde 1. sırada etkili faktör L/D bağlama oranıdır. 2. sırada ilerleme (f) miktarı etkili olmuştur.

Çizelge 6.6. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü standart sapma değerine etkileri

Düzyey	V _c	f	a _p	L/D	Tt
1	0,8108	0,7307	0,6034	0,2703	0,6914
2	0,4384	0,6458	0,6993	0,3732	0,4973
3	0,3567	0,2294	0,3033	0,9625	0,4172
Fark	0,4541	0,5013	0,3960	0,6922	0,2742
Sıra	3	2	4	1	5

Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.6'da en etkili faktörlerden ikisinin sırasıyla L/D oranı ve ilerleme değeri olduğu göze çarpmaktadır. Diğer bir deyişle faktörlerin S/N oranına etkisi ve standart sapmalara etkisi dikkate alındığında göz önüne alınması gereken etkenlerin takım bağlama boyu ve ilerleme faktörleri olduğu ortaya çıkmıştır.

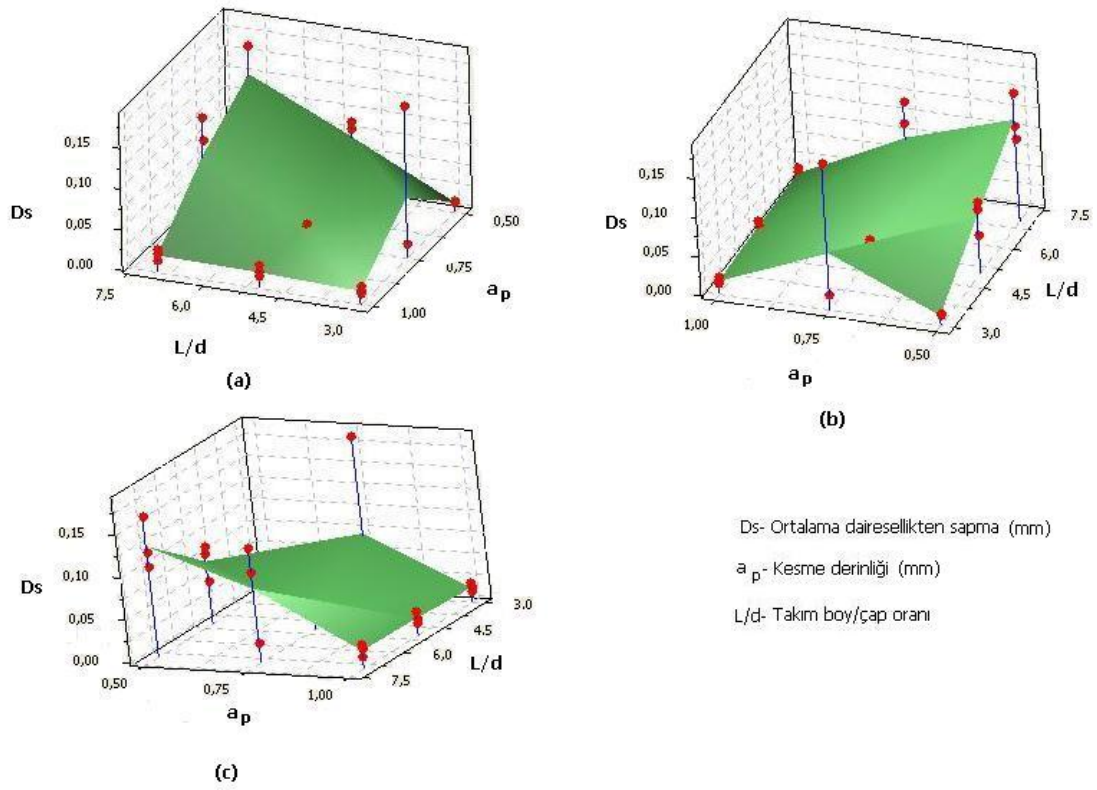
Çizelge 6.5'e göre ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkide ilerleme (f) değerinin yanı sıra takım tutucu malzemesi (Tt) faktörünün de dikkate alınması gerektiği saptanmıştır.

6.2. Dairesellikten Sapma (Ds) Analizleri

Dairesellikten sapma (Ds) ile ilgili analiz çalışmaları yüzey pürüzlülüğü analizlerinde uygulanan yedi aşamada incelenerek üç boyutlu (3B) grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir.

6.2.1. Kesme derinliği ve boy/çap oranı ilişkisinin dairesellikten saptmaya etkisi

Dairesellikten sapma (Ds) üzerine yapılan analizlerin değerlendirmesine ilişkin ilk aşamada kesme derinliği ve takım bağlama boyu ilişkisinin etkisi incelenecektir.



Şekil 6.8. (a_p) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten saptmaya etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.8.(a)'da verilen yüzey grafiği incelendiğinde $a_p=1$ mm kesme derinliğinde, $L/D=3$ için $D_s=0,0132$ mm, $L/D=5$ için $D_s=0,0099$ mm ve $L/D=7$ takım bağlama oranı için $D_s=0,0176$ mm olarak kaydedilmiştir.

Şekil 6.8.(a)'ya göre kesme derinliğinin 1 mm olduğu durum ve L/D oranının 5 olduğu şartta en az D_s ölçülmüştür. Ölçülen D_s değerlerinin birbirine oldukça yakın olmasının yanında en fazla sapmanın $L/D=7$ oranında ölçüldüğü görülmüştür. Kesme derinliğinin fazla olması D_s değerleri arasındaki farkları azaltıcı etki yapmıştır.

Şekil 6.8.(b)'de $L/D=3$ bağlama oranı ve $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,0093$ mm, $a_p=0,75$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,0704$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,0132$ mm olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.8.(b)'de $L/D=3$ için $a_p=0,75$ mm kesme derinliği kritiktir. Kesme derinliği değerinin 1 mm'e çıkması D_s değerinde 5,33 kat azalmaya sebep olmuştur.

Şekil 6.8.(c)'de $L/D=7$ bağlama oranı ve kesme derinlikleri $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm için D_s değerleri sırası ile 0,1269 mm, 0,0835 mm ve 0,0176 mm dir.

Şekil 6.8.(c)'de $L/D=7$ ve $a_p=0,5$ mm kesme derinliği değerinde ölçülen D_s değeri oldukça dikkat çekicidir. Çünkü çapta dairesellikten sapma olarak 0,1269 mm oldukça büyük bir değerdir ve uzun bağlama oranlarında kesme derinliklerinin az verilmemesi gerektiğini ispatlar niteliktedir. Kesme derinliğinin 0,25 mm artarak 0,75 mm'e ulaşması dairesellikten sapmada %40 oranında azalmaya sebep olmuştur. Kesme derinliğinin 1 mm olması durumunda ise D_s , 0,75 mm kesme derinliğine göre 5 kat azalmıştır. Kesme derinliğinin 0,5 mm'den 1 mm'e çıkmasıyla D_s değerinde 7 kat azalma gözlemlenmiştir.

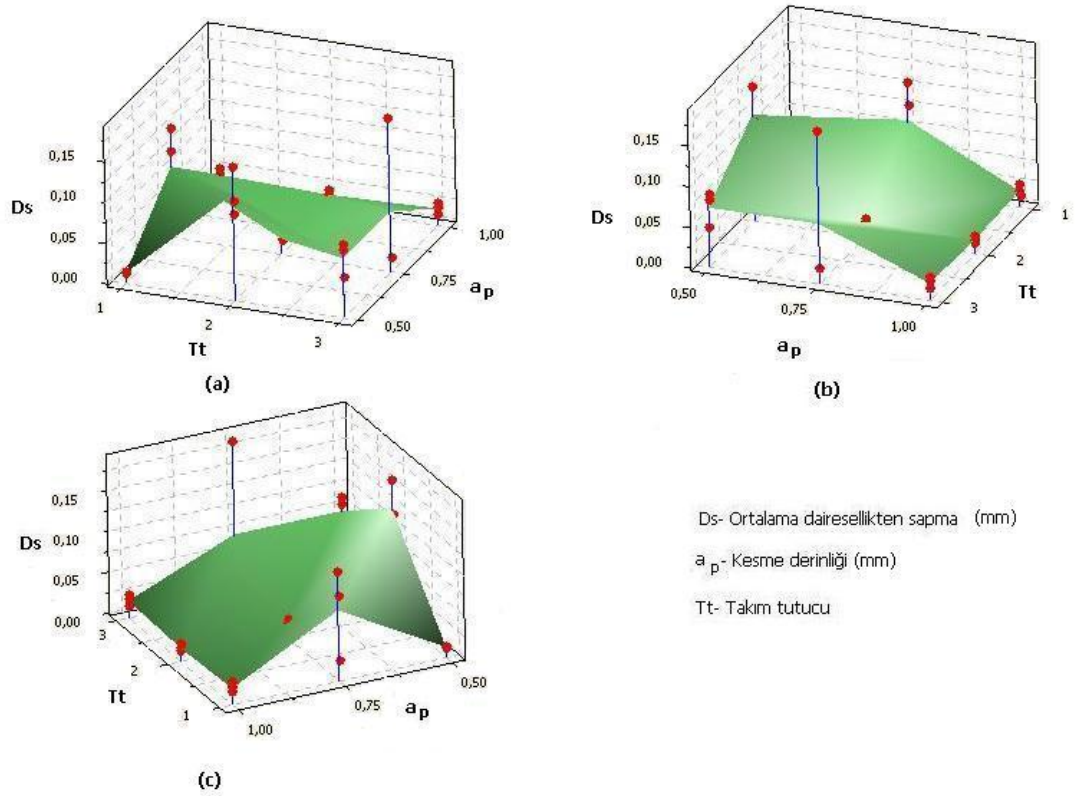
Şekil 6.8.(c)'e göre $L/D=5$ bağlama oranı ve kesme derinlikleri $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm için ölçülen dairesellikten sapma değerleri sırası ile 0,0699 mm, 0,0156 mm ve 0,0099 mm dir.

Özetle, kesme derinliğinin az verilmemesi ve en az bağlama oranlarının seçilmesi dairesellikten sapma (D_s) için en iyi sonuçları vermektedir. Çünkü delik işleme sırasında oluşan radyal ve eksenel kuvvetler kesici uçta sehimler meydana getirmektedir. Oluşan sehimlerin etkisi dinamik titreşim hareketi ile zorlanmış

salınım üretmekte ve azalan kesme derinliğinin sonucunda çapta dairesellikten sapmalar meydana gelmektedir.

6.2.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin D_s 'ye etkisi

Kesme derinliği (a_p) ve takım tutucu malzemesi (Tt) ilişkisinin dairesellikten sapma üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla 3B yüzey grafik incelemelerinin birincisi Şekil 6.9.a'da verilmiştir.



Şekil 6.9. (a_p) ve (Tt) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi
 a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.9.(a)'da görüldüğü üzere $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde 1 no'lu takım (çelik gövdeli) ile yapılan delik işlemede elde edilen $D_s=0,0093$ mm dir. 2 no'lu takım ile 0,1269 mm maksimum D_s değeri ortaya çıkmıştır. 3 no'lu takım ile elde edilen D_s değeri ise 0,0699 mm olarak tespit edilmiştir.

$a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde en küçük D_s değeri 1 no'lu çelik gövdeli delik işleme takım tutucu ile elde edilmiştir. Bu değer, 2 no'lu sert karbür gövdeli takım tutucuya göre 12 kat, 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım tutucuya göre ise 7 kat daha küçüktür.

Şekil 6.9.(b)'de 3 no'lu takım ile $a_p=1$ mm kesme derinliğinde ölçülen $D_s=0,0176$ mm iken $a_p=0,75$ mm kesme derinliğinde ölçülen $D_s=0,0704$ mm ve $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde ölçülen $D_s=0,0699$ mm dir.

3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takımla en büyük kesme derinliğinde ($a_p=1$ mm) en küçük dairesellikten sapma elde edilmiş, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=0,5$ mm kesme derinliklerinde ölçülen D_s 'ler birbirine oldukça yakın olmakla birlikte (sırasıyla 0,0704 mm ve 0,0699 mm) en büyük kesme derinliğine göre yaklaşık 4 kat artış gözlenmiştir.

2 no'lu sert karbür gövdeli takım ile $a_p=1$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,0132$ mm iken $a_p=0,75$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,0156$ mm ve $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,1269$ mm değerlerinde ölçülmüştür. 2 no'lu takımda artan kesme derinlikleri ile birlikte D_s değerinde azalmalar tespit edilmiştir. Kesme derinliği $a_p=1$ mm den $a_p=0,5$ mm'e düşüşte D_s değerindeki artış yaklaşık 9 kat fazladır. Yine 2 no'lu takım için $a_p=1$ mm den $a_p=0,75$ mm'e düşüşte D_s değerinde tespit edilen artış 2 kat olarak ölçülmüştür.

2 no'lu sert karbür gövdeli takım tutucun dinamik rijitliği çelik gövdeli katere göre daha fazla olduğu için D_s değerlerinde daha küçük değerler elde edilebilirken düşük kesme derinliklerinde ise oranın bozulduğu görülmüştür. 2 no'lu takım $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde istenen performans ve verimliliği gösterememektedir.

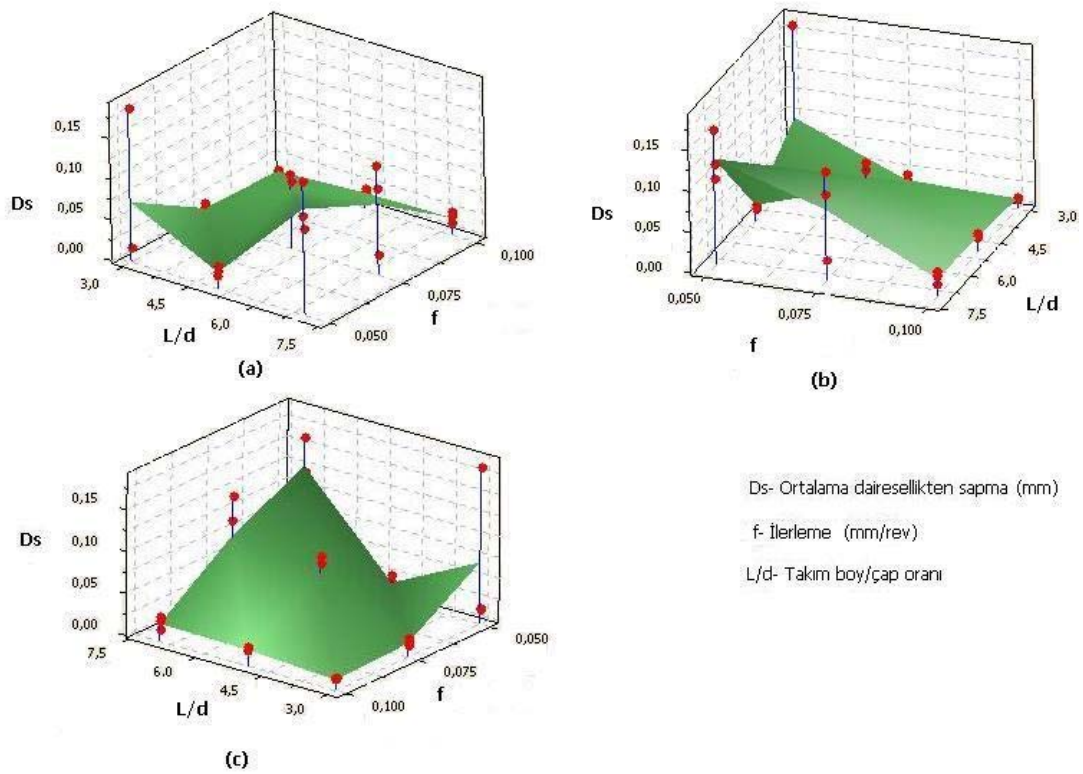
Şekil 6.9.(c)'de 1 no'lu takım ile yapılan delik işleme kesme deneylerinde $a_p=1$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,0099$ mm, $a_p=0,75$ mm kesme derinliğinde $D_s=0,0835$ mm ve $a_p=0,5$ mm de ise $D_s=0,0093$ mm olarak tespit edilmiştir.

1 no'lu çelik gövdeli takım ile yapılan delik işleme kesme deneylerinde $a_p=0,75$ mm kesme derinliğinde D_s değeri yaklaşık 8 kat artış göstermiştir. Diğer iki kesme derinliği düzeyinde ise birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Delik işleme kesme deneylerinde kullanılan üç takım için de $a_p=0,75$ mm kesme derinliği değeri dairesellikten sapma için kritik bir değer olmakla birlikte elverişli değildir.

6.2.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi

Şekil 6.10 ilerleme ve takım boy/çap oranı ilişkisinin D_s 'e etkisi verilmiştir.



Şekil 6.10. (f) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.10.(a)'da $f=0,05$ mm/rev ve $L/D=3$ takım bağlama boyu için $D_s=0,0704$ mm, $L/D=5$ takım bağlama boyu için $D_s=0,0166$ mm ye düşmekte (4,24 kat). $L/D=7$ takım bağlama boyu için D_s , 0,1269 mm ye çıkmaktadır. $L/D=5$ için D_s 'de düşüş

olmasının sebebi, 9 no'lu deney kombinasyonunda çelik gövdeli takım tutucu ile $a_p=1$ mm kesme derinliğinde kesme işleminin kesici ucun kırılmasından dolayı yapılamamasıdır. Kesici uç kırıldığından (üç denemede de kırılmıştır) sağlıklı Ds ölçümleri alınamamıştır.

Şekil 6.10.(b)'de $L/D=7$ için $f=0,05$ mm/rev ilerleme değerinde Ds'nin 0,1269 mm olduğu belirtilmişti. $f=0,075$ mm/rev ilerlemede ortalama Ds 1,5 kat azalarak 0,0835 mm değere düşmüştür. $f=0,1$ mm/rev ilerlemede ise Ds, 0,0176 mm değere gerilemektedir. İlerlemenin en küçük ve en büyük değerlerinde ölçülen ortalama Ds değerleri arasında 7 kat fark vardır.

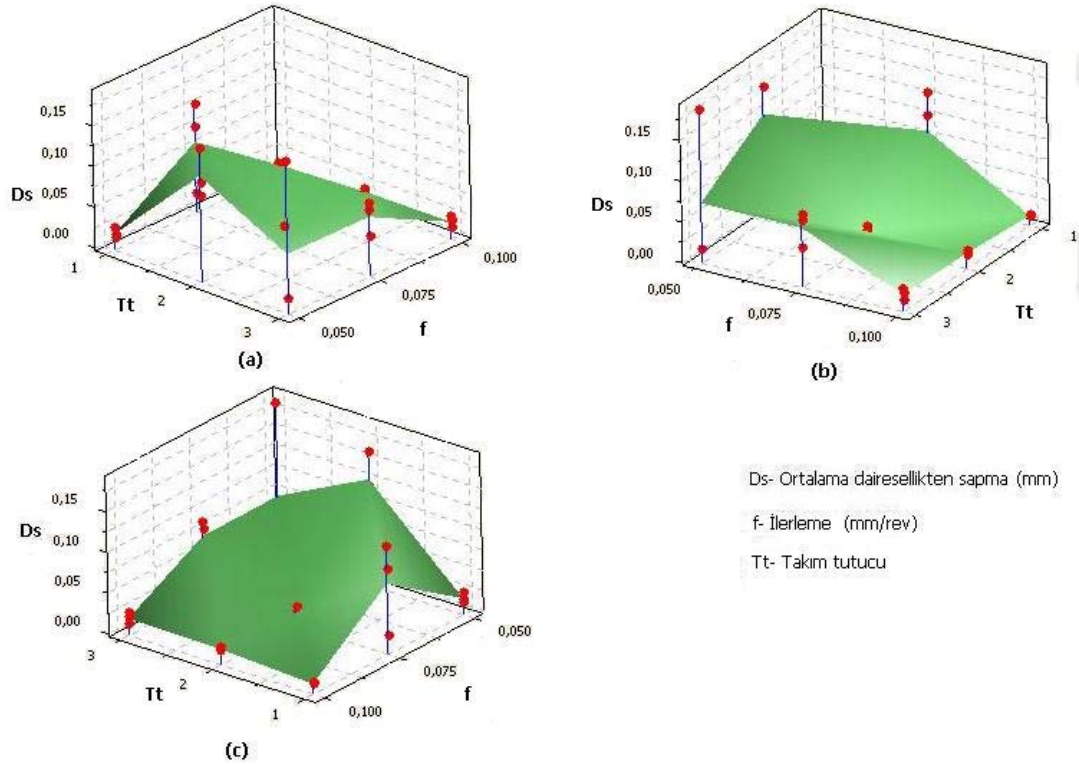
Aynı L/D bağlama oranı için ilerleme değeri arttıkça ölçülen ortalama Ds değerleri azalmaktadır. Şekil 6.10.(c)'de verilen yüzey grafiğinde $L/D=5$ için $f=0,075$ mm/rev ilerlemede $D_s=0,0699$ mm ve $f=0,1$ mm/rev ilerlemede ise $D_s=0,0156$ mm ile yaklaşık 4,5 kat düşmektedir.

$L/D=5$ için artan ilerleme miktarları ile birlikte Ds'de önemli azalmalar görülmüştür. $L/D=3$ bağlama oranında, $f=0,05$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerleri için ölçülen ortalama Ds değerleri sırasıyla 0,0704 mm, 0,0132 mm ve 0,0093 mm olarak kayda geçmiştir. $L/D=3$ için artan ilerleme değerleri ile birlikte yaklaşık 7 kat azalan ortalama Ds değerleri tespit edilmiştir.

Genel olarak, her üç bağlama oranı için de geçerli olmak üzere ilerleme miktarlarının artması ortalama dairesellikten sapma değerlerinde önemli düşüslere sebep olmaktadır.

6.2.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin Ds'ye etkisi

İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin Ds üzerine etkilerini tespit etmek için verilen 3B yüzey grafiklerinden birincisi Şekil 6.11.(a)'da görülmektedir.



Şekil 6.11. (f) ve (Tt) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.11.(a)'da $f=0,05$ mm/rev ilerleme için 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla elde edilen ortalama Ds değerleri sırasıyla 0,0166 mm, 0,1269 mm ve 0,0704 mm olarak ölçülmüştür. 1 no'lu takım ile daha önceden belirtilen sebeple kesme işlemi yapılamadığından ölçülen değer gerçek değeri yansıtmamaktadır.

2 no'lu sert karbür gövdeli takım ile elde edilen Ds değeri, 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım ile elde edilen ortalama Ds değeri ile karşılaştırıldığında 1,8 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

Şekil 6.11.(b)'de 3 no'lu takım için $f=0,05$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerleri için ölçülen ortalama Ds değerleri sırasıyla 0,0704 mm, 0,0699 mm ve 0,0176 mm olarak kayda geçmiştir. Anti-vibrasyon gövdeli (3 no'lu) takım ile artan ilerleme değerleri ile birlikte ortalama Ds değerlerinde 4 kata varan azalmalar tespit edilmiştir.

3 no'lu takım ile ilerlemenin $f=0,05$ mm/rev den $f=0,075$ mm/rev değerine çıkması D_s değerlerinde önemli bir fark yaratmamıştır. Kırılma noktasının ilerleme değerinin $f=0,1$ mm/rev değerine ulaştığı nokta olduğu görülmüştür.

Şekil 6.11.(c)'de $f=0,1$ mm/rev ilerleme değeri için 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla elde edilen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0093 mm, 0,0156 mm ve 0,0176 mm dir. Bu değerlerin belirtilen şartlarda birbirine oldukça yakın değerler olduğu görülmektedir.

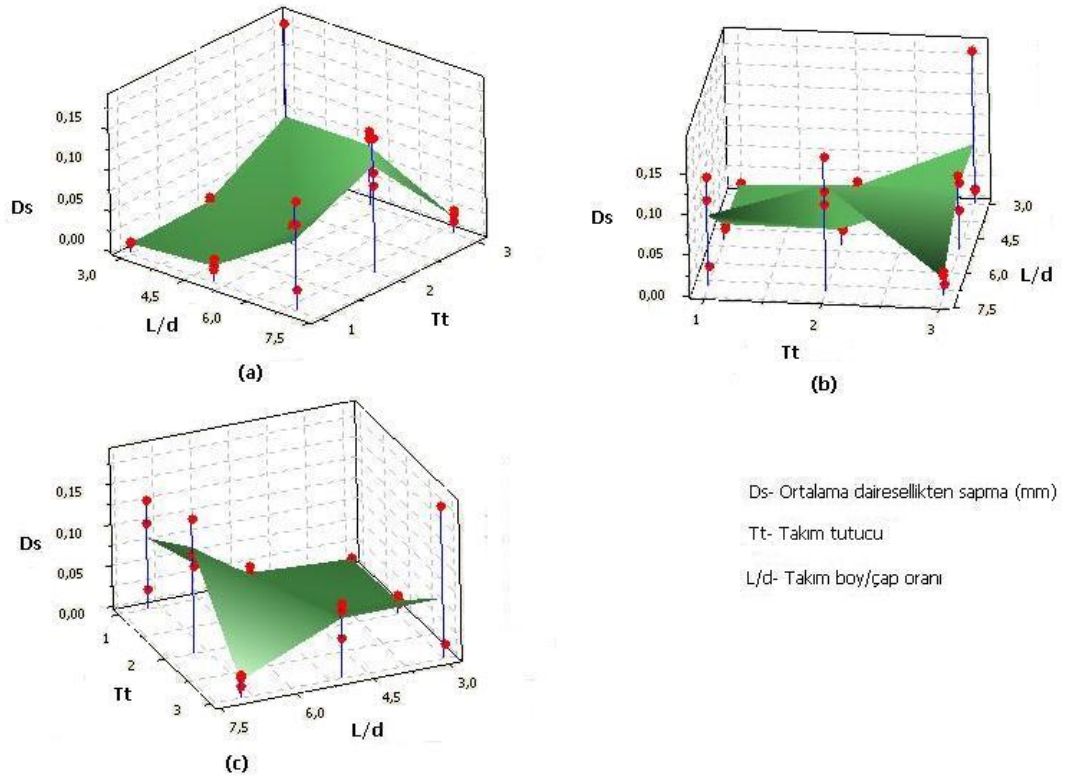
2 no'lu sert karbür gövdeli takım ile $f=0,05$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerleri için ölçülen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,1269 mm, 0,0132 mm ve 0,0156 mm dir.

Her üç takım için geçerli olmak üzere artan ilerleme miktarları D_s üzerine azaltıcı etki yapmaktadır. İlerleme miktarlarının küçük seçilmesi teğetsel yatay yönlü kesme kuvvetini azaltırken talaş kesitine ait kayma düzleminde kesici uç üzerine etki eden radyal kuvvet frekansını artırdığı için çapta sapmaları artırıcı etki meydana getirmektedir. Böylece kesici uç üzerinde oluşan radyal sehim ve dinamik zorlanmış salınım kaynaklı titreşimler ile değişken hissedilen kuvvetlerin etkimesi sonucu dairesellikten sapma (D_s) oluşumu açıklanabilir.

6.2.5. Takım tutucu malzemesi ve boy/çap oranı ilişkisinin D_s 'ye etkisi

Takım tutucu malzemesi ve takım bağlama boyu ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkilerini göstermek için verilen 3B yüzey grafiklerinden birincisi Şekil 6.12.(a)'da gösterilmektedir.

Şekil 6.12.(a)'da 1 no'lu takım ile $L/D=3$ bağlama oranında $D_s=0,0093$ mm, $L/D=5$ bağlama oranında 0,0166 mm ve $L/D=7$ oranında 0,0835 mm D_s değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 6.12. (Tt) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

1 no'lu çelik gövdeli takım için artan L/D oranlarında ölçülen ortalama Ds değerlerinde 8 kate varan artışlar tespit edilmiştir. 1 no'lu takım için L/D=7 oranı verimli değildir.

2 no'lu takım için L/D=3 bağlama oranında Ds=0,0132 mm, L/D=5 ve L/D=7 bağlama oranlarında ölçülen Ds değerleri sırasıyla 0,0156 mm ile 0,1269 mm dir. 2 no'lu takım için L/D=7 oranı kritik Ds değerleri vermektedir ve uygun değildir.

Şekil 6.12.(b)'de L/D=7 bağlama oranı için 1, 2 ve 3 no'lu takımlar ile yapılan delik işleme kesme deneylerinde ölçülen ortalama Ds değerleri sırasıyla 0,0835 mm, 0,1269 mm ve 0,0176 mm olarak tespit edilmiştir.

Dikkat edilirse L/D=7 bağlama oranı delik işlemede çapta optimum değere göre varyasyonların meydana geldiği kritik bir orandır. 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli

takım ise ortalama D_s değeri olarak, 1 no'lu takımdan 4,7 kat ve 2 no'lu takımdan 7,2 kat daha küçük sonuç vermiştir.

Şekil 6.12.(c)'de 3 no'lu takım ile $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında elde edilen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0704 mm, 0,0699 mm ve 0,0176 mm dir.

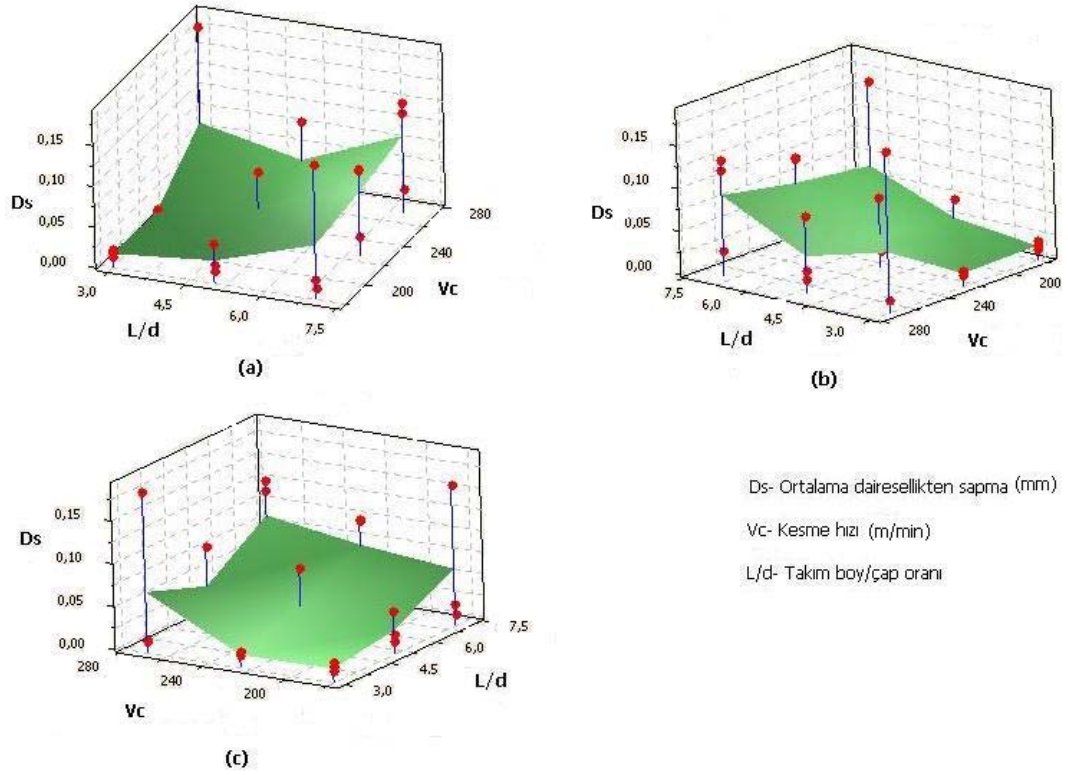
3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım ile $L/D=3$ ve $L/D=5$ bağlama oranlarında ölçülen ortalama D_s değerlerinde önemli bir değişim gözlenmez iken $L/D=7$ bağlama oranında 4 kat azalma tespit edilmiştir. Bu analizle birlikte anti-vibrasyon gövdeli takımda $L/D=3$ ve $L/D=5$ bağlama boylarında elde edilen ortalama D_s değerleri çelik gövdeli ve sert karbür gövdeli takımlarla elde edilen ortalama D_s değerlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Titreşim emici takımlar $L/D=7$ ve daha fazla olan takım bağlama boyu oranlarında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Uzun bağlama boyları ile delik işlemede titreşim emici delik katerleri tercih edilmelidir. $L/D=7$ den daha az bağlama oranları söz konusu ise titreşim emici delik katerleri kullanmak performans, delik kalitesi ve ekonomik açılarından uygun değildir.

6.2.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi

Kesme hızı ve takım bağlama boyu ilişkisinin D_s üzerine etkisini gösteren 3B yüzey grafiklerinden ilki Şekil 6.13.(a)'da verilmiştir.

Şekil 6.13.(a)'da $V_c=180$ m/min kesme hızı ile $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında elde edilen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0389 mm, 0,0247 mm ve 0,0633 mm dir. Buna göre $V_c=180$ m/min kesme hızı ve $L/D=3$ bağlama oranında ölçülen ortalama D_s değerinde, $L/D=5$ bağlama oranında 1,5 kat azalma görülürken bu oran $L/D=7$ de 1,6 kat artmıştır.



Şekil 6.13. (V_c) ve (L/D) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

$V_c=225$ m/min kesme hızı ile $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında elde edilen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0120 mm, 0,0362 mm ve 0,0740 mm dir. $V_c=225$ m/min kesme hızında ölçülen ortalama D_s değerlerinin artan L/D oranlarıyla doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir.

Şekil 6.13.(b)'de $V_c=270$ m/min kesme hızı ile $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında elde edilen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0676 mm, 0,0412 mm ve 0,0910 mm dir. Buna göre sadece $L/D=5$ bağlama oranında $L/D=3$ oranına göre 1,6 kat bir azalma görülürken, $L/D=7$ oranında $L/D=3$ oranına göre 1,3 kat artma gözlenmiştir. Bu artış $L/D=5$ oranına göre ise 2,2 kat daha fazla gerçekleşmiştir.

Şekil 6.13.(c)'de $L/D=3$ için $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızı değerlerinde ölçülen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0389 mm, 0,0120 mm ve

0,0676 mm dir. Buradan $L/D=3$ bağlama oranı en iyi (en küçük) D_s değerini $V_c=180$ m/min kesme hızında ölçülen D_s 'nin 3 kat azaldığı $V_c=225$ m/min kesme hızında vermiştir. Bunun dışında kesme hızının $V_c=270$ m/min değerine çıkması D_s 'de 5,5 kat artışa sebep olmuştur.

$L/D=5$ için $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızı değerlerinde ölçülen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0242 mm, 0,0412 mm ve 0,0362 mm dir. $L/D=5$ bağlama oranında artan kesme hızların ortalama D_s değerlerini artırıcı etki yapmıştır.

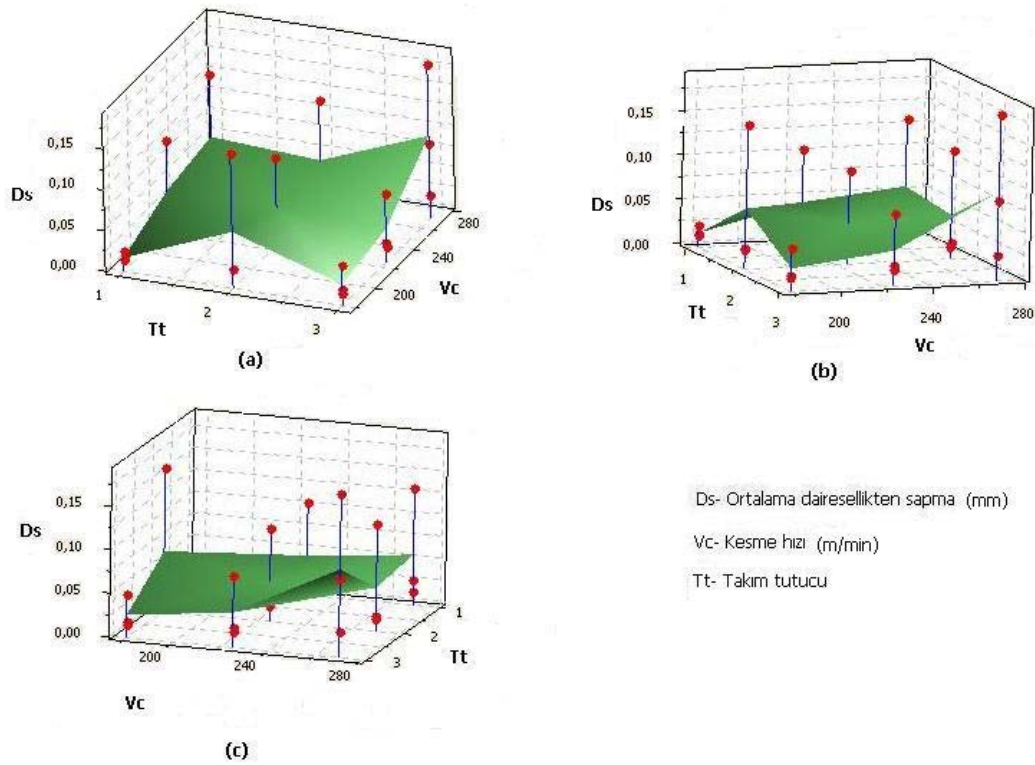
Genel olarak verilen üç bakış açısından da şu sonuçlar çıkarılmıştır. Delik işleme kesme deneylerinde ölçülen en iyi (en küçük) ortalama D_s değerleri $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min kesme hızlarında ve $L/D=3$, $L/D=5$ takım bağlama boylarında elde edilmiştir.

6.2.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin D_s 'ye etkisi

Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin D_s üzerine etkisini gösteren 3B yüzey grafiklerinden ilki Şekil 6.14.(a)'da verilmiştir.

Şekil 6.14.(a)'da $V_c=180$ m/min kesme hızı ile 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla elde edilen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0385 mm, 0,0657 mm ve 0,0227 mm dir.

$V_c=180$ m/min kesme hızında en küçük D_s değeri 3 no'lu takım ile elde edilmiştir. 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım ile elde edilen D_s değeri, 1 no'lu çelik gövdeli takıma göre 1,7 kat, 2 no'lu sert karbür gövdeli takıma göre yaklaşık 2,9 kat daha küçüktür.



Şekil 6.14. (V_c) ve (T_t) ilişkisinin dairesellikten sapmaya etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.14.(b)'de 3 no'lu takım ile $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızı değerlerinde ölçülen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0227 mm, 0,0371 mm ve 0,0981 mm dir.

3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli delik katerlerinde artan kesme hızlarına paralel olarak elde edilen ortalama D_s değerleri de artmaktadır.

Şekil 6.14.(c)'de 2 no'lu takım için $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızı değerlerinde ölçülen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0657 mm, 0,0432 mm ve 0,0469 mm dir.

$V_c=225$ m/min kesme hızı için 2 no'lu takımında ölçülen ortalama D_s değerleri $V_c=180$ m/min kesme hızına göre 1,5 kat azalmıştır. Ancak $V_c=270$ m/min kesme hızına çıkıldığında ölçülen ortalama D_s değerlerinde %8 oranında bir artış

gözlenmiştir. 1 no'lu takım için $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızı değerlerinde ölçülen ortalama D_s değerleri sırasıyla 0,0385 mm, 0,0420 mm ve 0,0544 mm dir. Bu durumda $V_c=180$ m/min ve $V_c=225$ m/min kesme hızlarında en küçük D_s değerlerini 3 no'lu takım vermiştir. $V_c=270$ m/min kesme hızında en küçük D_s değerini 2 no'lu takım daha sonra 1 no'lu takım vermiştir. Genel olarak her üç takım için de artan kesme hızları ortalama D_s değerlerini artırıcı etki göstermiştir.

Çizelge 6.7. Dairesellikten sapma (D_s) analiz sonuçları

D.No	V_c	f	a_p	L/D	T_t	Ort.Dairesellikten sapma (D_s)	S/N	St.Sapma
1	180	0,1	0,5	3	1	0,00850	40,7314	0,004950
2	180	0,1	0,75	5	2	0,01850	34,4069	0,006364
3	180	0,1	1	7	3	0,00950	39,8928	0,004950
4	180	0,075	0,5	5	3	0,04500	24,3109	0,057983
5	180	0,075	0,75	7	1	0,02000	33,0103	0,014142
6	180	0,075	1	3	2	0,01825	34,5454	0,006010
7	180	0,05	0,5	7	2	0,16050	15,5962	0,060104
8	180	0,05	0,75	3	3	0,01350	36,7264	0,007778
9	180	0,05	1	5	1	0,01050	39,5664	0,000707
10	225	0,1	0,5	3	1	0,00950	39,5664	0,006364
11	225	0,1	0,75	5	2	0,01500	34,6092	0,015556
12	225	0,1	1	7	3	0,01900	32,7572	0,018385
13	225	0,075	0,5	5	3	0,07825	19,9195	0,090156
14	225	0,075	0,75	7	1	0,10100	19,9029	0,007071
15	225	0,075	1	3	2	0,01250	36,7264	0,010607
16	225	0,05	0,5	7	2	0,10200	17,0305	0,137179
17	225	0,05	0,75	3	3	0,01400	35,8503	0,011314
18	225	0,05	1	5	1	0,01550	35,4898	0,009192
19	270	0,1	0,5	3	1	0,01000	39,3554	0,005657
20	270	0,1	0,75	5	2	0,01350	36,9357	0,006364
21	270	0,1	1	7	3	0,02425	31,0175	0,020153
22	270	0,075	0,5	5	3	0,08650	18,6504	0,111016
23	270	0,075	0,75	7	1	0,12950	17,3493	0,057276
24	270	0,075	1	3	2	0,00900	40,8619	0,001414
25	270	0,05	0,5	7	2	0,11825	16,3183	0,136825
26	270	0,05	0,75	3	3	0,18375	11,8587	0,250669
27	270	0,05	1	5	1	0,02375	32,4289	0,003889

Çizelge 6.7’de verilen D_s değerleri incelendiğinde en yüksek S/N oranının 40,861 ile 24 no’lu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür. Elde edilen en düşük ortalama D_s değerinin 1 no’lu deney kombinasyonuna ait olduğu belirlenmiştir

(Ortalama 0,0085 mm). En küçük standart sapmaya sahip deney kombinasyonu yine 24 no'lu deney kombinasyonu olmuştur.

Çizelge 6.8'de deneylerde kullanılan etkenlerin S/N oranını etkileme sıraları verilmiştir. Çizelge 6.8'e göre optimum deney kombinasyonunu belirlemede en etkili etkenin (L/D) bağlama oranı olduğu görülmektedir. 2. sırada ise kesme derinliği (a_p) değerinin geldiği tespit edilmiştir. 3. sırayı ilerleme (f) değeri alırken kesme hızı değerinin (V_c) 4. sıra ve takım malzemesinin (Tt) 5. sırada yer alması ile S/N (sinyal-gürültü) oranı üzerinde en az katkıları olan etkenler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.8'de 1.sırada etkili bağlama oranı (L/D) faktörünün düzeylere göre aldıkları S/N oranlarına ilişkin ortalama değerler incelendiğinde bu faktörün ilk düzey değeri ile 3. düzey değeri arasındaki fark 10,37 ile tüm faktörler arasında en fazla değere sahip faktör olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.8. Dairesellikten sapma için faktörlerin S/N oranına etkileri

Düzyey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	33,20	26,76	25,72	35,14	33,04
2	30,21	27,25	28,96	30,70	29,67
3	27,20	36,59	35,92	24,76	27,89
Fark	6,00	9,82	10,20	10,37	5,16
Sıra	4	3	2	1	5

Çizelge 6.9. Faktörlerin ortalama dairesellikten sapma değerlerine etkileri

Düzyey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	0,03381	0,07131	0,06872	0,03100	0,03647
2	0,04075	0,05556	0,05653	0,03406	0,05194
3	0,06650	0,01419	0,01581	0,07600	0,05264
Fark	0,03269	0,05711	0,05292	0,04500	0,01617
Sıra	4	1	2	3	5

Çizelge 6.9'da etkenlerin ortalama Ds değerleri üzerine etkileri gösterilmiştir. Çizelge 6.9'a göre Ds değerlerini en fazla etkileyen faktörün ilerleme (f) olduğu görülmüştür. 2.sıradaki etkenin (a_p) kesme derinliği olduğu saptanmıştır. Bağlama

oranı (L/D) 3.sırada yer alırken, kesme hızı (V_c) ve takım tutucu malzemesi (Tt) en az etkilere sahip faktörlerdir.

Çizelge 6.9’da düzeylere göre her bir etken için alınan Ds değerlerinin aritmetik ortalamaları görülmektedir. Aritmetik ortalamalarda meydana gelen sapmalar (fark) ise etkenlerin sıralamadaki yerlerini belirlemektedir.

Çizelge 6.10’da her bir faktörün Ds standart sapma değerleri üzerine etkileri ve sıralamaları verilmiştir. Buna göre standart sapmalar üzerinde 1. sırada etkili faktör (a_p) kesme derinliğidir. 2. sırada ilerleme (f) miktarı etkili olmuştur. Takım tutucu malzemesi (Tt) 3. sırada, kesme hızı (V_c) 4. sırada ve son olarak takım bağlama oranı 5. sırada yer almıştır.

Çizelge 6.10. Faktörlerin Ds standart sapma değerlerine etkileri

Düzyey	V_c	f	a_p	L/D	T
1	0,018110	0,068629	0,067804	0,033863	0,012139
2	0,033980	0,039519	0,041837	0,033470	0,042269
3	0,065918	0,009860	0,008367	0,050676	0,063600
Fark	0,047808	0,058768	0,059436	0,017206	0,051462
Sıra	4	2	1	5	3

6.3. Düzlemsellik Analizleri

Düzlemsellik (X_L) ile ilgili analiz çalışmaları yedi aşamada incelenerek üç boyutlu (3B) grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir.

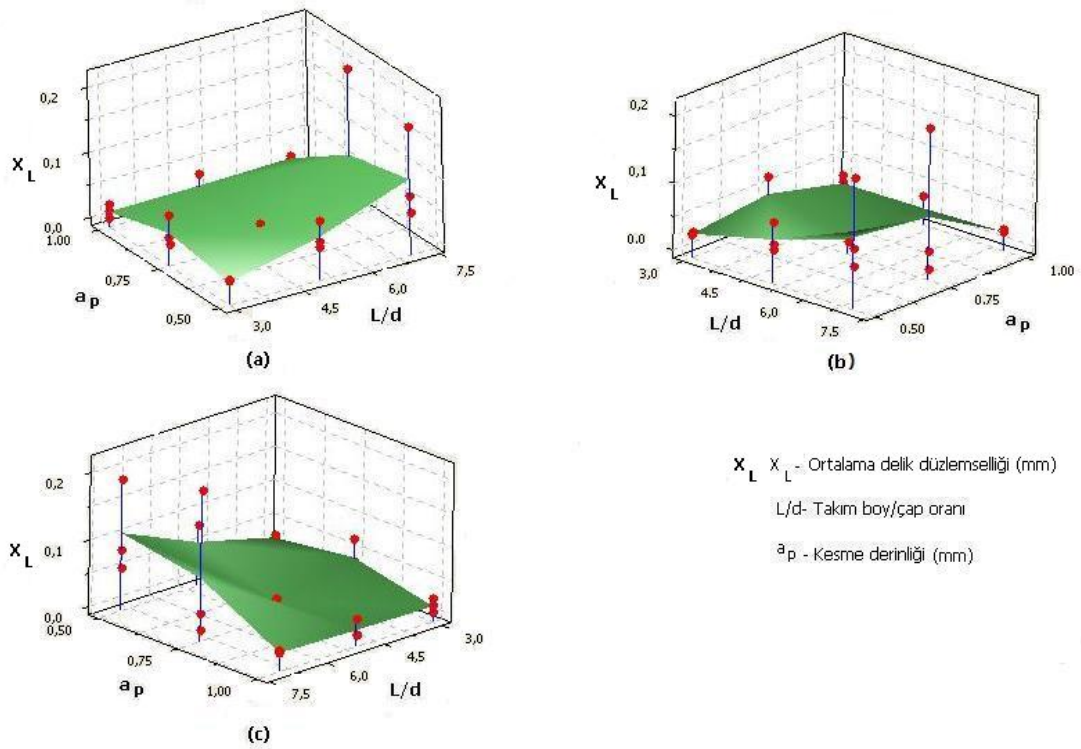
6.3.1. Kesme derinliği ve boy/çap ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

Düzlemsellik (X_L) üzerine yapılan analizlerin değerlendirmesine ilişkin ilk aşamada kesme derinliği ve takım bağlama boyu ilişkisinin etkisi incelenecektir.

Düzlemsellik, delik giriş ve çıkış çapları arasındaki fark olarak ele alınmıştır. Delik içi düzlemsellik kontrolü de denebilir. Radyal sehimlerin etkisi ile kesme derinliğinde meydana gelen azalmaların çap farklılıkları oluşturduğu bilinmektedir.

Delik çaplarındaki dairesellikten sapma (D_s) ve düzlemsellik verileri (X_L), üç boyutlu ölçüm cihazı ile laboratuvar ortamında 2 mikron hassasiyetle yapılan ölçümlerden elde edilen verilerdir.

Şekil 6.15 kesme derinliği ile takım bağlama boyu ilişkisinin X_L zerine etkisini 3B yüzey grafiği üzerinde inceleme olanağı sunmaktadır.



Şekil 6.15. (a_p) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi
a) yn 1 b) yn 2 c) yn 3

Şekil 6.15.(a)'da $L/D=3$ için $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinliklerinde oluşan X_L 'ler sırasıyla 0,0235 mm, 0,0388 mm ve 0,0112 mm olduğu yüzey grafiğinde gösterilmiştir.

Kesme derinliği değerinin $a_p=0,5$ mm den %50 artarak $a_p=0,75$ mm'ye ulaşmasıyla X_L 1,65 kat artmıştır. Kesme derinliğindeki %100 artış ($a_p=0,5$ mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması) X_L 'de 2,09 kat azalmaya sebep olmuştur. Kesme derinliği değerinin $a_p=0,75$

mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması ise ölçülen ortalama X_L değerinde 3 kattan fazla bir düşüş meydana getirmiştir.

Şekil 6.15.(b)'de $a_p=0,5$ mm kesme derinliği için $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ takım bağlama boyu oranları ile yapılan delik işleme kesme deneylerinden elde edilen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0235 mm, 0,0537 mm ve 0,1047 mm dir.

Sabit $a_p=0,5$ mm kesme derinliği için artan L/D oranları ile birlikte ortalama X_L değerlerinde de artış gözlenmiştir. Bu artışlar $L/D=3$ ve $L/D=5$ arasında 2,28 kat iken, $L/D=5$ ve $L/D=7$ arasında 1,94 kat ve $L/D=3$ ve $L/D=7$ arasında 4,45 kat olarak tespit edilmiştir. Kesme derinliğinin en düşük seviyesinde ($a_p=0,5$ mm) L/D bağlama oranlarının ciddi etkilere sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

$L/D=5$ ve $L/D=7$ takım bağlama boyu oranlarının ayrı ayrı ele alınarak incelenmesi için üçüncü bir bakış açısına ihtiyaç vardır. Bu amaçla Şekil 6.15.c'de ilişkiyi veren 3B yüzey grafiği üçüncü bakış açısıyla yoruma hazır olacak şekilde gösterilmiştir.

Şekil 6.15.(c)'de $L/D=7$ için, $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinliklerinde oluşan X_L değerleri sırasıyla 0,1047 mm, 0,0822 mm ve 0,0160 mm dir. $L/D=7$ için artan kesme derinlikleri ile birlikte ölçülen ortalama X_L miktarlarında kritik azalmalar tespit edilmiştir. $L/D=7$ için, $a_p=0,5$ mm ve $a_p=0,75$ mm kesme derinliklerinde ölçülen X_L 'ler arası oran 1,27 kat azalma şeklindedir. Bu bağlama oranında kesme derinliğinin %100 artarak $a_p=0,5$ mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması ile X_L 'ler arasındaki oranın 6,54 kat düştüğü görülmüştür.

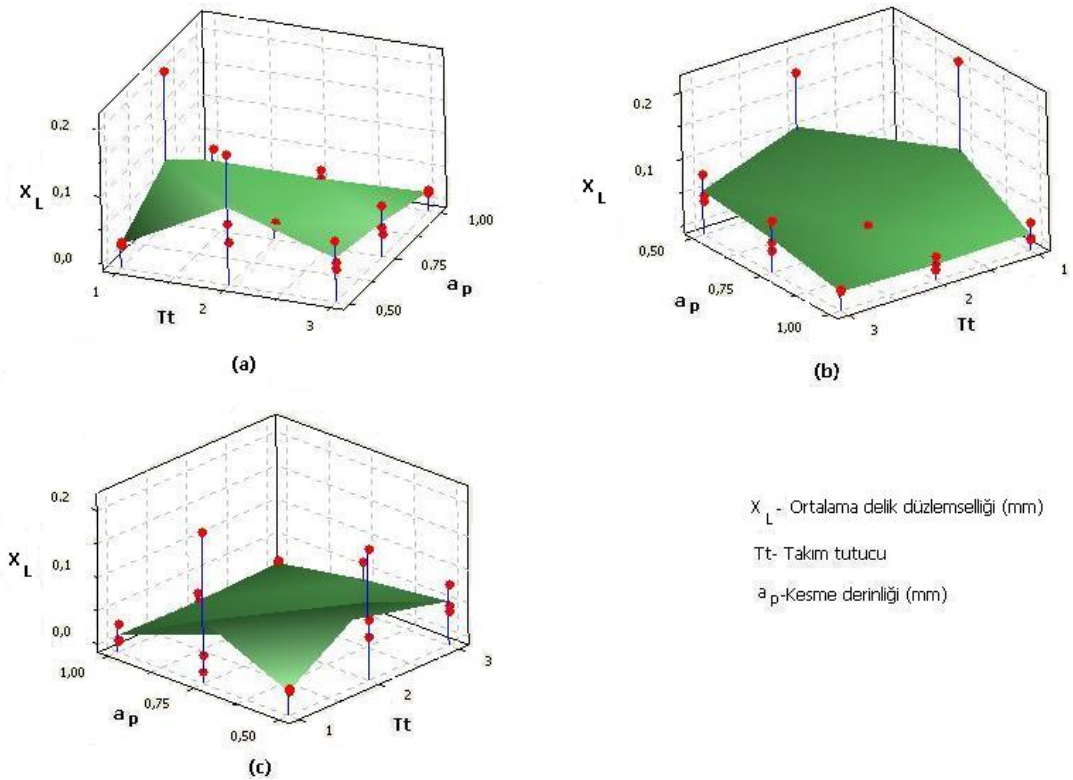
$L/D=5$ için, $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinliklerinde oluşan X_L değerleri sırasıyla 0,0537 mm, 0,0105 mm ve 0,0127 mm dir. $L/D=5$ için yine artan kesme derinliği ile ölçülen X_L değerlerinde bir azalma görülmektedir. Kesme derinliğinin $a_p=0,5$ mm den $a_p=0,75$ mm'ye çıkması ile X_L 'de 5.11 kat azalma

görülürken, kesme derinliğinin $a_p=0,5$ mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması ile 4,22 kat azalma tespit edilmiştir.

Genel olarak; aynı L/D bağlama oranında artan kesme derinlikleri, ölçülen ortalama X_L değerlerine önemli ölçüde olumlu katkılar sağlamış ve düzlemselliklerde iyileşme gözlenmiştir.

6.3.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

Şekil 6.16.(a)'da kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisini gösteren yüzey grafiğinin ilk bakış açısıyla görünümü verilmiştir.



Şekil 6.16. (a_p) ve (Tt) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.16.(a)'da kesme derinliği $a_p=0,5$ mm için, 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla yapılan delik işleme kesme deneylerinden elde edilen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0235 mm, 0,1047mm ve 0,0537 mm dir.

1 no'lu takım (çelik gövdeli) ile 2 no'lu sert karbür gövdeli takıma göre yaklaşık 4,5 kat daha az X_L değeri ölçülmüştür.

Anti-vibrasyon gövdeli 3 no'lu takım ile 2 no'lu sert karbür gövdeli takıma göre yaklaşık 2 kat daha az X_L elde edilmiştir.

Kesme derinliğinin en düşük seviyesinde en küçük X_L değerleri 1 no'lu çelik gövdeli delik takımı ile elde edilmiştir.

Şekil 6.16.(b)'de 3 no'lu takım ile yapılan delik işleme kesme deneylerinde $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinliklerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0537 mm, 0,0388 mm ve 0,0160 mm dir.

3 no'lu takım ile yapılan deneylerde artan kesme derinliği değerleriyle birlikte ölçülen X_L değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu azalma oranları; $a_p=0,5$ mm ve $a_p=0,75$ mm arasında 1,38 kat, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm arasında 2,42 kat ve $a_p=0,5$ mm ve $a_p=1$ mm arasında 3,35 kat olarak hesaplanmıştır.

2 no'lu takım ile yapılan delik işleme kesme deneylerinde $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinliklerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,1047 mm, 0,0105 mm ve 0,0112 mm dir. 2 no'lu takım için $a_p=0,5$ mm kesme derinliği elverişli sonuçlar vermemektedir. Sert karbür takım ile düşük kesme derinliği değerlerinde delik işleme yapılmamalıdır, kesme derinliğinin mümkün olduğunca fazla tutulması delik kalitesini ve ölçü tamlığını artıracaktır.

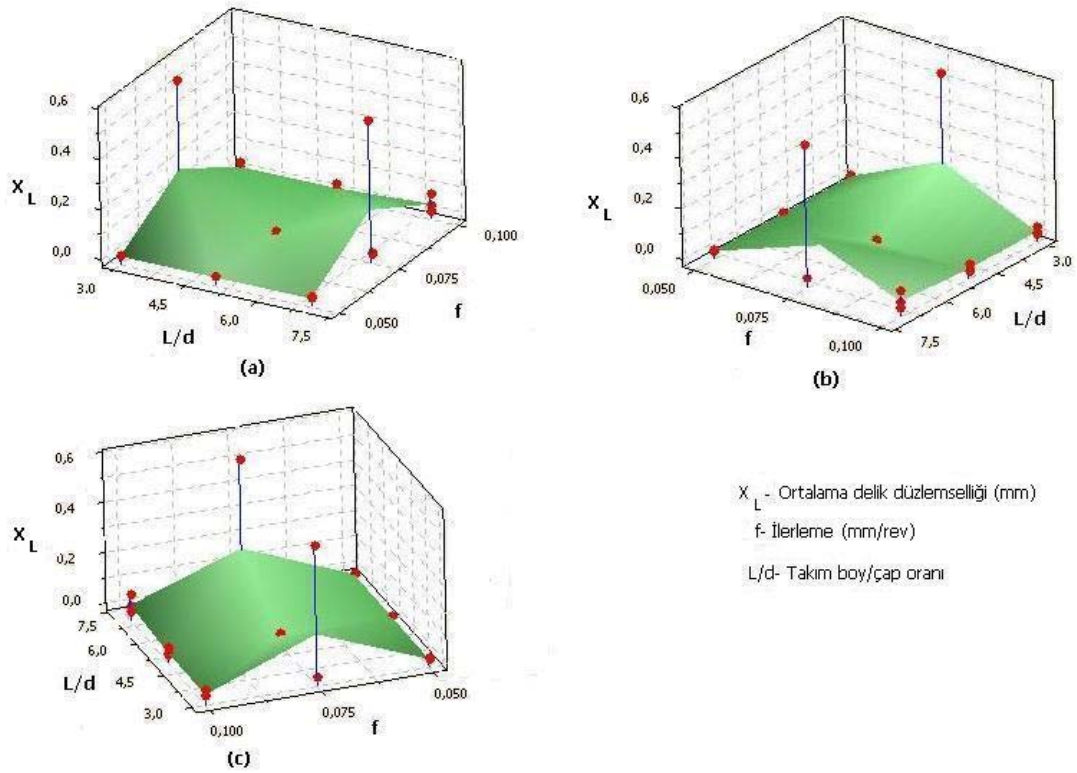
Şekil 6.16.(c)'de 1 no'lu takım ile $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinliklerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0235 mm, 0,0822 mm ve 0,0127 mm dir.

1 no'lu takımda kesme derinliğinin $a_p=0,5$ mm den $a_p=0,75$ mm'ye çıkması ile X_L değerlerinde 3,5 kat artış görülürken, kesme derinliğinin $a_p=0,5$ mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması ile yaklaşık 2 kat azalma tespit edilmiştir. Çelik gövdeli takımda düşük

kesme derinliğinde iyi sonuçlar elde edilirken yüksek kesme derinliklerinde yüksek sehim ve titreşim sebebiyle sağlıklı veriler elde edilememektedir.

6.3.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

İlerleme miktarı ve takım bağlama boyu ilişkisinin X_L 'e etkisine ait ilk bakış açısı Şekil 6.17.(a)'da verilmiştir.



Şekil 6.17. (f) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.17.(a)'da $L/D=3$ takım bağlama boyu için $f=0,1$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,05$ mm/rev ilerleme miktarlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0235 mm, 0,0117 mm ve 0,0388 mm dir. $L/D=3$ bağlama oranında ölçülen X_L değerleri arası çok büyük farklılıklar görülmemekle birlikte ilerlemenin $f=0,075$ mm/rev değerinde azalma göze çarpmaktadır. Düşük ilerlemede oluşan X_L 'nin arttığı gözlenmiştir.

Düşük ilerleme ile kesme, yüksek titreşim frekansına sebep olmakta böylece değişen kesme kuvvetleri vasıtasıyla radyal kuvvette değişiklik yaratarak ölçü değişimlerini ortaya çıkarmaktadır.

$L/D=5$ takım bağlama boyu için $f=0,1$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,05$ mm/rev ilerleme miktarlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0105 mm, 0,0537 mm ve 0,0127 mm dir. $L/D=5$ bağlama boyu oranında ilerleme değerlerinin en küçük ve en büyük değerlerinde ölçülen X_L değerlerinin birbirine oldukça yakın değerler olduğu göze çarpmaktadır. İlerlemenin $f=0,075$ mm/rev olduğu durumlarda ise düzlemsellikte kritik artışlar görülmüştür (yaklaşık 5 kat).

Şekil 6.17.(b)'de $f=0,05$ mm/rev ilerleme ile $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama boylarında elde edilen X_L değerleri sırasıyla 0,0388 mm, 0,0127 mm ve 0,1047 mm ölçülmüştür. $L/D=7$ oranı X_L değerini önemli ölçüde artırmıştır.

Şekil 6.17.(c)'de $L/D=7$ takım bağlama boyu için $f=0,05$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme miktarlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,1047 mm, 0,0822 mm ve 0,0160 mm dir.

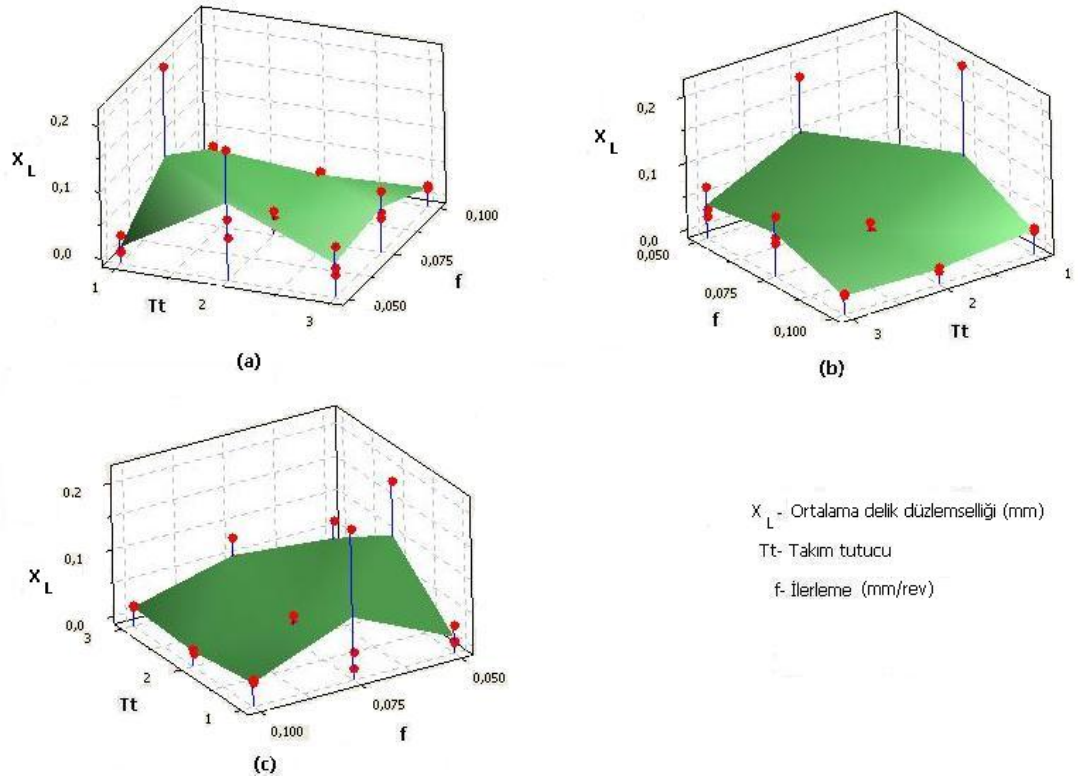
$L/D=7$ oranı için ilk göze çarpan husus, ilerleme değerinin %100 artırılması ile ($f=0,05$ mm/rev den $f=0,1$ mm/rev'e) X_L değerlerinde 9 kata varan azalmaların görülmesidir.

Genel olarak, artan ilerleme değerleri ile birlikte düşük L/D oranlarında oldukça küçük X_L değerleri elde edilmiştir.

İlerlemenin artması, titreşim oluşum frekansını azaltarak çap farklılıklarındaki varyasyonları düşürücü etki yapmaktadır. Özellikle Şekil 6.17.c'de açıkça görülen $L/D=3$ ve $L/D=5$ ile $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev değerleri arasında kalan yüzey alanında hesaplanan X_L değerlerinin düşük miktarlarda olduğu dikkati çekmektedir.

6.3.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

İlerleme miktarı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin X_L 'e etkilerini incelemek için ilk bakış açısı Şekil 6.18.(a)'da verilmiştir.



Şekil 6.18. (f) ve (Tt) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.18.(a)'da $f=0,05$ mm/rev ilerlemede 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla elde edilen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0127 mm, 0,1047 mm ve 0,0388 mm dir. En küçük ilerlemede en iyi (en küçük) X_L değeri 1 no'lu çelik gövdeli delik işleme takım tutucu ile elde edilmiştir.

2 no'lu sert karbür gövdeli takım tutucuda ise kritik büyüklükte X_L değeri ölçülmüştür.

3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım tutucu, 1 no'lu çelik gövdeli takıma göre 3 kat daha büyük ortalama X_L değeri vermiştir. Anti-vibrasyon gövdeli delik işleme takım tutucu düşük ilerlemelerde çelik gövdeli katerlere tercih edilmemelidir.

Şekil 6.18.b’de 3 no’lu takım ile $f=0,05$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerlerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0388 mm, 0,0537 mm ve 0,0160 mm olarak kaydedilmiştir.

3 no’lu takım ile $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerinde elde edilen X_L değerleri $f=0,05$ mm/rev ilerlemedeki değere göre 2,42 kat, $f=0,075$ mm/rev ilerlemedeki değere göre ise 3,35 kat daha küçüktür. Buradan titreşim sönümleyici özelliğe sahip delik katerlerinde yüksek ilerleme değerlerinin seçilmesinin daha uygun olacağı sonucu çıkmaktadır.

2 no’lu takım ile $f=0,05$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerlerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,1047 mm, 0,0117 mm ve 0,0105 mm dir. Sert karbür gövdeli takımlarda da titreşim emici takımlarda olduğu gibi artan ilerlemelerle birlikte X_L değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir.

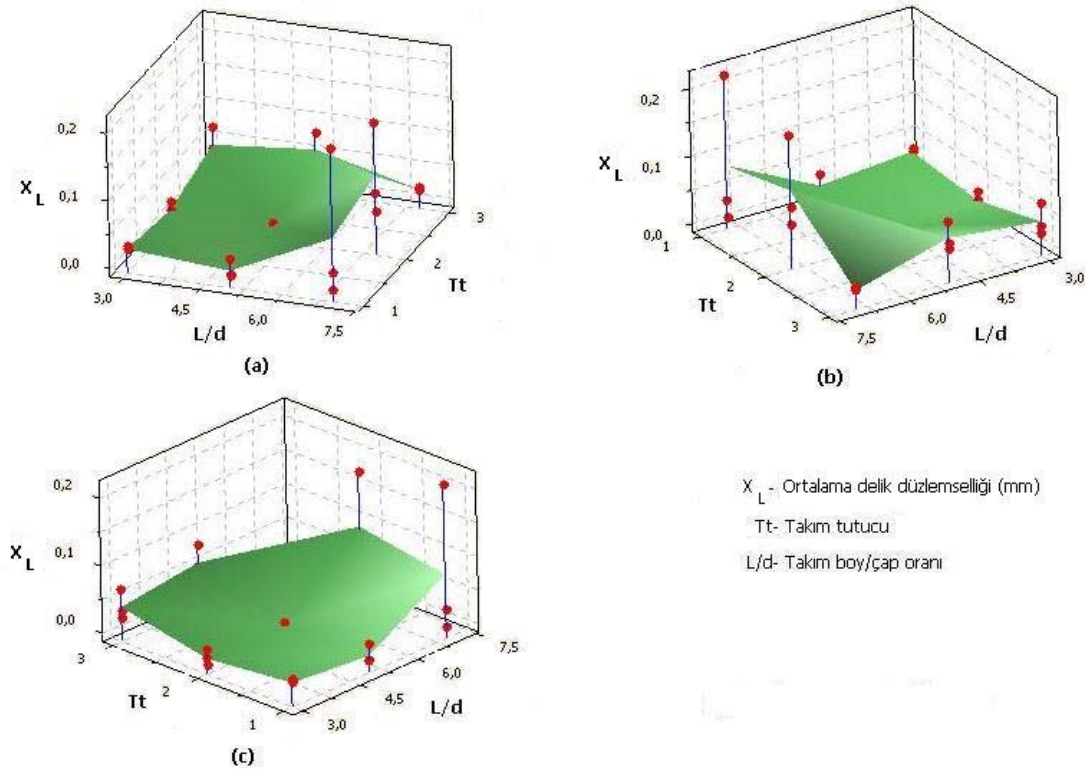
Şekil 6.18.c’de $f=0,1$ mm/rev ilerlemede 1, 2 ve 3 no’lu takımlarla elde edilen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0235 mm, 0,0105 mm ve 0,0160 mm dir.

İlerlemenin en üst seviyesinde 1 no’lu takımla elde edilen X_L değerinin en yüksek değerde olması çelik gövdeli delik katerlerinin yüksek ilerlemelerde iyi sonuç vermediğinin göstergesidir. Yüksek ilerleme değerlerinde en iyi (en küçük X_L değerleri) sonucu sert karbür gövdeli delik işleme takım tutucu vermiştir.

Genel olarak, ilerlemenin artması ile ölçülen ortalama X_L değerleri azalma eğilimi göstermiştir.

6.3.5. Takım tutucu malzemesi ve boy/çap oranı ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

Takım tutucu malzemesi ve takım boy/çap oranı ilişkisinin ortalama X_L değerinde ne gibi etkiler meydana getirdiğini incelemek amacıyla ilk bakış açısı Şekil 6.19.(a)’da verilmiştir.



Şekil 6.19. (Tt) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi
 a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.19.(a)'da 1 no'lu takım ile $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında yapılan delik işleme kesme deneylerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0235 mm, 0,0127 mm ve 0,0822 mm dir.

Çelik gövdeli delik işleme takım tutucu $L/D=7$ bağlama boyu oranında yüksek X_L değerleri verdiği için elverişli değildir. Bu sonuç katalog bilgilerini doğrular niteliktedir. Yüksek bağlama boyunda çelik gövdeli delik işleme takım tutucu ile sağlıklı kesme işlemleri yapılamamıştır çünkü yüksek oranda titreşim ve tırlama söz konusudur.

2 no'lu takım ile $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında yapılan delik işleme kesme deneylerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0117 mm, 0,0105 mm ve 0,1047 mm dir. $L/D=3$ ve $L/D=5$ oranları sert karbür gövdeli takımlarla delik işlemede oldukça verimli sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. $L/D=7$ oranı ise

çelik gövdeli takımda olduğu gibi sert karbür gövdeli takımda da kötü sonuçlar vermektedir.

Şekil 6.19.(b)'de $L/D=7$ oranında 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla elde edilen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0822 mm, 0,1047 mm ve 0,0160 mm dir.

3 no'lu takımın $L/D=7$ oranında 1 ve 2 no'lu takımlara göre sırasıyla 5,13 kat ve 6,54 kat daha küçük X_L değerleri verdiği hesaplanmıştır. Buradan, titreşim sönümleyici özelliğe sahip delik katerlerinin $L/D=7$ bağlama oranında oldukça iyi sonuçlar verdiği çıkmaktadır. Bu sonuçlar da kataloglarda verilen oranların deneylerle bir kez daha doğrulandığını göstermektedir.

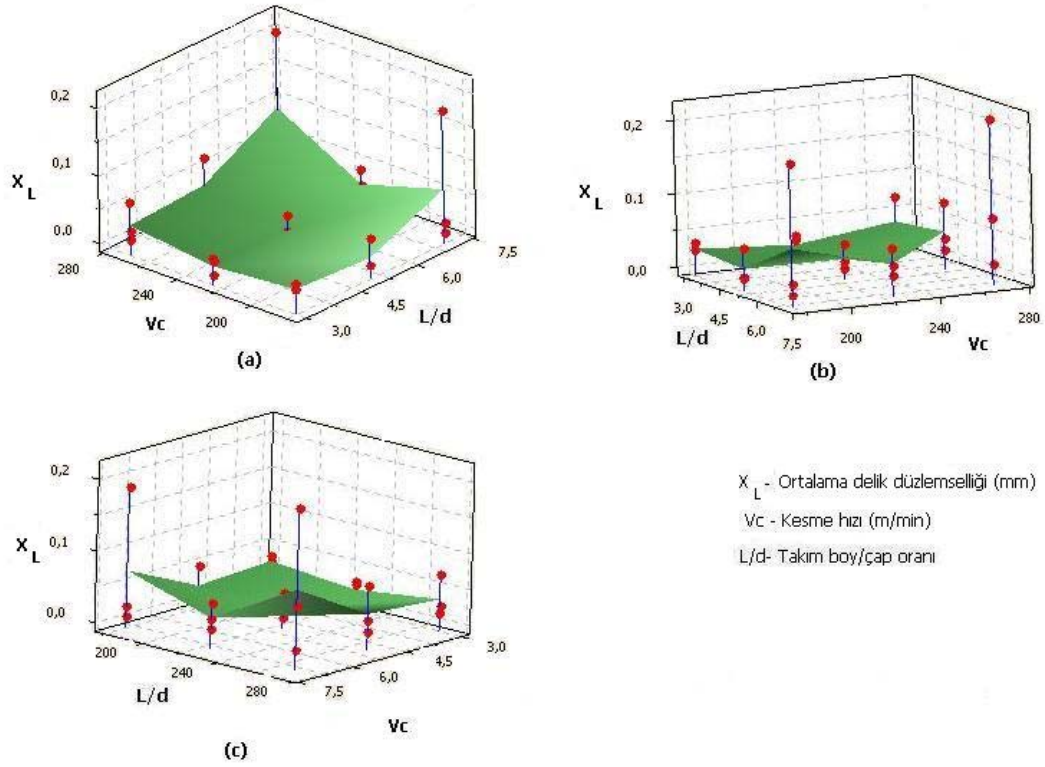
Şekil 6.19.(c)'de $L/D=3$ oranında 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla elde edilen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0235 mm, 0,0117 mm ve 0,0388 mm dir. $L/D=3$ bağlama oranında en küçük X_L değerini sert karbür gövdeli takım tutucu vermektedir.

Şekil 6.19.(c)'de dikkat edilirse 1 ve 2 no'lu takımlarla $L/D=3$ ve $L/D=5$ oranlarında yapılan deneylerde ölçülen X_L değerlerinin en küçük değerler olduğu görülmektedir.

6.3.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

Kesme hızı ve takım boy/çap oranı ilişkisinin X_L 'e etkilerine ait ilk grafik Şekil 6.20'de verilmiştir.

Şekil 6.20.(a)'da $L/D=3$ oranında $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0255 mm, 0,0157 mm ve 0,0323 mm dir.



Şekil 6.20. (V_c) ve (L/D) ilişkisinin düzlemselliğe etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

$L/D=3$ oranında kesme hızının $V_c=180$ m/min'dan $V_c=225$ m/min'ya çıkması ile birlikte X_L değeri 1,62 kat azalmıştır. Kesme hızı $V_c=270$ m/min'ya çıktığında ise ölçülen X_L değerinin $V_c=180$ m/min kesme hızına göre 1,26 kat arttığı gözlenmiştir. $L/D=3$ oranı için ölçülen ortalama X_L değerleri incelendiğinde en ideal (en küçük X_L değerleri) sonucun $V_c=225$ m/min kesme hızı ile elde edildiği görülmektedir.

$L/D=5$ oranında $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0192 mm, 0,0178 mm ve 0,0398 mm dir. Bu bağlama oranında en küçük ve en büyük kesme hızlarında ölçülen X_L değerleri arasında 2 kat artış tespit edilmiştir. $L/D=5$ oranı için ölçülen ortalama X_L değerleri incelendiğinde en ideal sonucun $L/D=3$ oranında olduğu gibi $V_c=225$ m/min kesme hızı ile elde edildiği görülmektedir.

Şekil 6.20.(b)'de $V_c=180$ m/min kesme hızında $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında yapılan delik işleme kesme deneylerinde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0255 mm, 0,0192 mm ve 0,0685 mm dir. $V_c=180$ m/min kesme hızında en ideal X_L değeri $L/D=5$ oranında elde edilmiştir. $V_c=180$ m/min kesme hızında $L/D=7$ oranında $L/D=5$ oranına göre 3,56 kat daha fazla X_L değeri ölçülmüştür.

$L/D=7$ oranı için $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0685 mm, 0,0323 mm ve 0,1020 mm dir. $L/D=7$ oranı için en ideal X_L değerinin $V_c=225$ m/min kesme hızında alınmıştır.

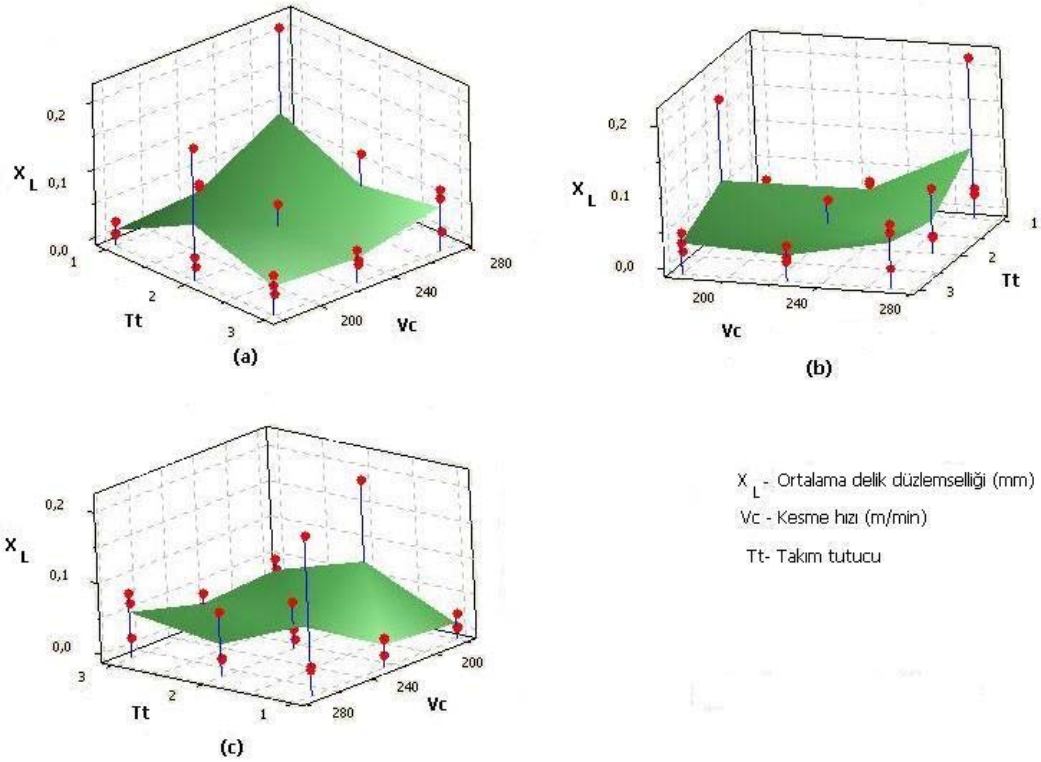
Şekil 6.20.(c)'de $V_c=270$ m/min kesme hızında $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0323 mm, 0,0398 mm ve 0,1020 mm dir. $V_c=270$ m/min kesme hızı için $L/D=3$ ve $L/D=5$ oranları en küçük X_L değerlerini vermiştir.

6.3.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin düzlemselliğe etkisi

Şekil 6.21'de kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisi verilmiştir. $V_c=180$ m/min kesme hızında 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla yapılan deneylerde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0105 mm, 0,0708 mm ve 0,0318 mm dir.

$V_c=180$ m/min kesme hızı için en ideal X_L değerleri 1 no'lu takım ile elde edilmiştir. 3 no'lu takımla 1 no'lu takıma göre 3 kat daha fazla X_L değeri ölçülmüştür. 2 no'lu takımla 1 no'lu takıma göre 6,74 kat daha fazla X_L değeri ölçülmüştür. İkinci en küçük X_L değeri titreşim sönmüleyici gövdeye sahip takımla elde edilmiştir. Bu kesme hızında sert karbür gövdeli takımlar ile uygun şartlar oluşmamaktadır.

Şekil 6.21.a'da $V_c=225$ m/min kesme hızında 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla yapılan deneylerde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0197 mm, 0,0218 mm ve 0,0243 mm dir. Bu kesme hızında üç takımla da birbirine oldukça yakın sonuçlar tespit edilmiştir.



Şekil 6.21. (V_c) ve (T_t) ilişkisinin düzenselliğe etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Genel olarak $V_c=225$ m/min kesme hızı en ideal X_L değerini yakalamada en başarılı kesme hızı olmuştur. Buradan, oluşan sehim ve titreşimler için optimum aralığın bu kesme hızı içerisinde olduğu görülmektedir.

Şekil 6.21.(b)'de 3 no'lu takımla $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min kesme hızlarında ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0318 mm, 0,0243 mm ve 0,0523 mm dir. 3 no'lu takımla yapılan kesme işlemlerinde elde edilen X_L değerlerine göre en ideal kesme hızının $V_c=225$ m/min olduğu görülmüştür. 2 no'lu takımla aynı sıradaki kesme hızlarında ölçülen X_L değerleri sırasıyla 0,0708 mm, 0,0218 mm ve 0,0337 mm dir. $V_c=225$ m/min kesme hızı 2 no'lu takım için de en ideal kesme hızı olmuştur. 2 no'lu takımın $V_c=225$ m/min kesme hızında verdiği ortalama X_L değeri 3 no'lu takım ile ölçülen değerden 0,0025 mm daha küçüktür. $V_c=270$ m/min kesme hızında ise bu takımlarla elde edilen sonuçların farkı 0,0186 mm olarak hesaplanmıştır. Şekil 6.21.(c)'de $V_c=270$ m/min kesme hızında 1, 2 ve 3

no'lu takımlarla yapılan deneylerde ölçülen ortalama X_L değerleri sırasıyla 0,0882 mm, 0,0337 mm ve 0,0523 mm dir. $V_c=270$ m/min kesme hızında en küçük X_L değeri 2 no'lu takımla elde edilmiştir ve bu değer 3 no'lu takımla ölçülen değerden 1,55 kat daha küçüktür. 2 no'lu takıma ait X_L değeri 1 no'lu takımla elde edilen değerle karşılaştırıldığında 2,61 kat daha küçük olduğu görülmüştür. Kesme hızlarına göre genel bir değerlendirme yapıldığında $V_c=225$ m/min kesme hızının üç takım için ideal olduğu genellemesi yapılabilir.

Çizelge 6.11. Düzlemsellik (X_L) analiz sonuçları

D.No	V_c	f	a_p	L/D	Tt	X_L	S/N
1	180	0,1	0,5	3	1	0,0225	32,9563
2	180	0,1	0,75	5	2	0,0060	44,4370
3	180	0,1	1	7	3	0,0180	34,8945
4	180	0,075	0,5	5	3	0,0460	26,7448
5	180	0,075	0,75	7	1	0,0035	49,1186
6	180	0,075	1	3	2	0,0225	32,9563
7	180	0,05	0,5	7	2	0,1840	14,7036
8	180	0,05	0,75	3	3	0,0315	30,0338
9	180	0,05	1	5	1	0,0055	45,1927
10	225	0,1	0,5	3	1	0,0260	31,7005
11	225	0,1	0,75	5	2	0,0130	37,7211
12	225	0,1	1	7	3	0,0155	36,1934
13	225	0,075	0,5	5	3	0,0370	28,6360
14	225	0,075	0,75	7	1	0,0295	30,6036
15	225	0,075	1	3	2	0,0005	66,0206
16	225	0,05	0,5	7	2	0,0520	25,6799
17	225	0,05	0,75	3	3	0,0205	33,7649
18	225	0,05	1	5	1	0,0035	49,1186
19	270	0,1	0,5	3	1	0,0220	33,1515
20	270	0,1	0,75	5	2	0,0125	38,0618
21	270	0,1	1	7	3	0,0145	36,7726
22	270	0,075	0,5	5	3	0,0780	22,1581
23	270	0,075	0,75	7	1	0,2135	13,4120
24	270	0,075	1	3	2	0,0105	39,5762
25	270	0,05	0,5	7	2	0,0780	22,1581
26	270	0,05	0,75	3	3	0,0645	23,8088
27	270	0,05	1	5	1	0,0290	30,7520

Çizelge 6.11'de X_L için verilen bulgular incelendiğinde en yüksek S/N oranının 66,0206 ile 15 no'lu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür. En küçük ortalama X_L değerinin 0,0005 mm ile 15 no'lu deney kombinasyonu vermiştir.

Çizelge 6.12’de deneylerde kullanılan etkenlerin S/N oranını etkileme sıraları verilmiştir.

Çizelge 6.12’e göre optimum deney kombinasyonunu belirlemede en etkili etkenin (a_p) kesme derinliği olduğu görülmektedir. 2. sırada ise kesme hızı (V_c) değerinin geldiği tespit edilmiştir. 3. sırayı takım bağlama boyu (L/D) oranı alırken ilerleme değerinin (f) 4. sıra ve takım tutucu malzemesinin (Tt) 5. sırada yer aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 6.10’da 1.sırada etkili (a_p) kesme derinliği faktörünün düzeylere göre aldıkları S/N oranlarına ilişkin ortalama değerler incelendiğinde bu faktörün ilk düzey değeri ile 3. düzey değeri arasındaki fark 14,84 ile tüm faktörler arasında en fazla değere sahip faktör olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.12. Düzlemsellik (X_L) için faktörlerin S/N oranına etkileri

Düzyey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	34,56	30,58	26,43	36,00	35,11
2	37,72	34,36	33,44	35,87	35,70
3	28,87	36,21	41,28	29,28	30,33
Fark	8,84	5,63	14,84	6,71	5,37
Sıra	2	4	1	3	5

Çizelge 6.13’de etkenlerin ortalama düzlemsellik değerleri üzerine etkileri gösterilmiştir. Çizelge 6.11’e göre konikliği en fazla etkileyen faktörün (a_p) kesme derinliği olduğu görülmüştür. 2.sıradaki etkenin bağlama oranı (L/D) olduğu saptanmıştır. Kesme hızı (V_c) 3.sırada yer alırken, ilerleme (f) ve takım tutucu malzemesi (Tt) en az etkilere sahip faktörlerdir.

Çizelge 6.11’de düzeylere göre her bir etken için alınan X_L değerlerinin aritmetik ortalamaları görülmektedir. Aritmetik ortalamalarda meydana gelen sapmalar (fark) ise etkenlerin sıralamadaki yerlerini belirlemektedir.

Çizelge 6.13. Faktörlerin ortalama X_L değerlerine etkileri

Düzyey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	0,03772	0,05206	0,06061	0,02450	0,03944
2	0,02194	0,04900	0,04383	0,02561	0,04211
3	0,05806	0,01667	0,01328	0,06761	0,03617
Fark	0,03611	0,03539	0,04733	0,04311	0,00594
Sıra	3	4	1	2	5

6.4. Titreşim Analizleri

Titreşim ile ilgili analiz çalışmaları diğer kalite özelliklerinde olduğu gibi yedi aşamada incelenerek üç boyutlu (3B) grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu çalışmada titreşim ile ilgili ölçülen değerler, titreşim genliği deplasman aralığının en yüksek değerleridir. Genlik olarak titreşim, tepe değerleri ortalama titreşim genliğini (X_A) ifade etmektedir.

6.4.1. Kesme derinliği ve boy/çap oranı ilişkisinin titreşime etkisi

Titreşim ölçümleri TV 300 titreşim ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihazın probu mıknatıslı olup kater bağlama boyunun takım tutucu ile birleştiği noktaya yerleştirilmiştir. Tüm deneyler boyunca farklı L/D oranları test edildiği için standart olması ve zorlanmış salınım başlangıç noktası olması sebebiyle bu nokta prop yerleştirme noktası için uygun görülmüştür.

Deneyler esnasında artan ve değişen X_A değerlerinin etkisi ile prop ucunun salınarak yerleşim yerinden uzaklaştığı gözlenmiştir. Bunu önlemek için probun ucu yerleşim yerine X_A değerlerinin ölçümüne engel olmayacak şekilde sabitlenmiştir. Titreşim ölçüm cihaz probunun radyal ve teğetsel aşağı yönlü tüm sehimlerden kaynaklanabilecek X_A değerlerinin algılamasını mümkün kılacak konumda yerleştirilmesine özen gösterilmiştir. Cihazın kayıt için geçen bir-iki saniye süreleri ile delik boyu ve işleme süreleri dikkate alınarak test amaçlı kesme pasoları verilmiştir. Böylece delik başlangıcı, delik ortası ve delik sonu X_A değerlerinin ölçümlerinin alınabileceği de test edilmiştir. Tüm bu ayarlamalar yapıldıktan sonra

her bir takım için deney kombinasyonlarında yer alan L/D oranlarında kesme parametrelerine göre kesme deneyleri yapılmış, kesme sırasında oluşan X_A değerleri cihazın hafızasına kaydedilmiştir.

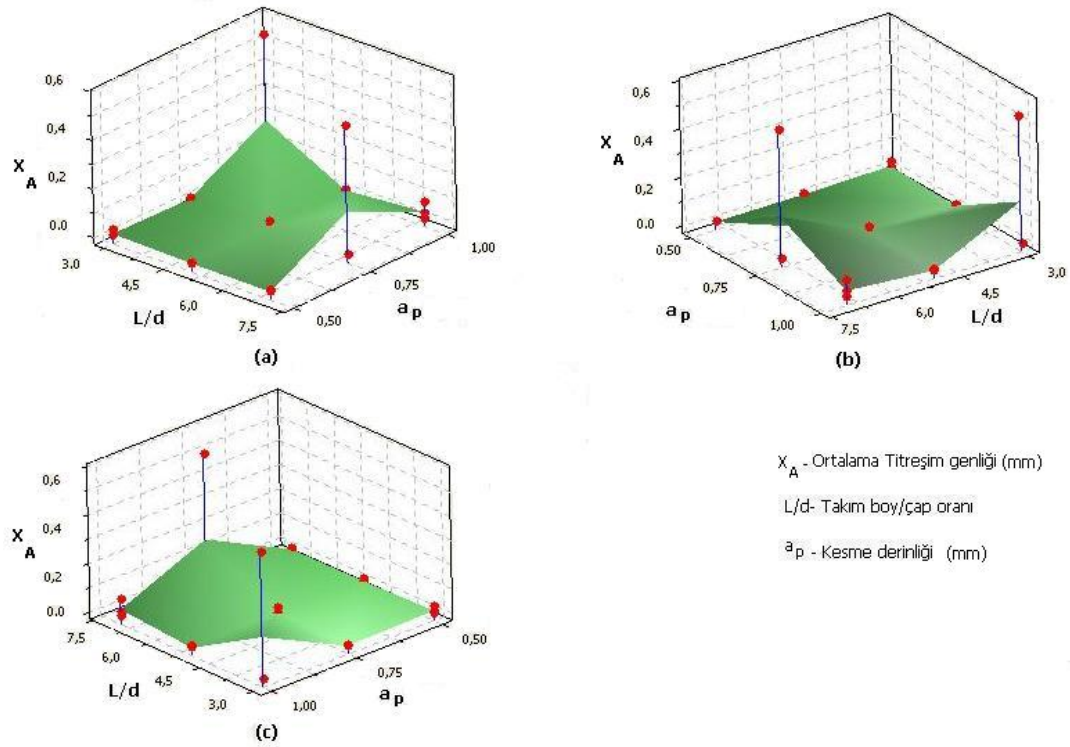
Kesme derinliği ve takım bağlama boyu ilişkisinin X_A değerleri üzerine etkilerini incelemek için üç adet bakış açısı ile 3B yüzey grafikleri verilmiştir. Bunlardan birincisi Şekil 6.22.(a)'da gösterilmektedir. Şekil 6.22.(a)'ya bakıldığında kesme derinliği $a_p=0,5$ mm ve $L/D=3$ için ortalama X_A değerleri 0,117 mm, $L/D=5$ için 0,0047 mm ve $L/D=7$ için 0,0041 mm olarak ölçülmüştür.

Kesme derinliğinin en küçük değeri için X_A değerlerinin $L/D=5$ ve $L/D=7$ oranlarında birbirine oldukça yakın değerler oldukları görülmüştür. $L/D=3$ için bu oran yaklaşık 3 kat daha fazla olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.22.(b)'de yüzey grafiği ikinci bir bakış açısı ile verilmiştir. Buna göre $L/D=7$ bağlama oranı ve $a_p=0,5$ mm kesme derinliği için ölçülen ortalama X_A değeri 0,0041 mm iken $a_p=0,75$ mm kesme derinliğine çıkıldığında 0,1823 mm'e ulaştığı görülmüştür. $L/D=7$ ve $a_p=1$ mm kesme derinliği için ortalama X_A değeri 0,0313 mm olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.22.(b)'de $L/D=7$ oranı ve kesme derinliğinin 0,75 mm değerinde ölçülen X_A değerinin $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde ölçülen X_A değerine göre oldukça fazla olduğu (yaklaşık 40 kat) göze çarpmaktadır.

X_A değerlerindeki bu dikey yükseliş $a_p=1$ mm kesme derinliğinde önemli ölçüde azalarak $a_p=0,5$ mm kesme derinliğinde ölçülen X_A değerinin 8 katı olmuştur. Ölçülen bu X_A değerleri aynı bağlama oranındaki ortalama değerlerdir. Bu ortalama değerler deney kombinasyonlarındaki kesme parametreleri ve her üç takımla yapılan deney kombinasyonlarından elde edilen değerlerdir.



Şekil 6.22. (a_p) ve (L/D) ilişkisinin titreşime etkisi
 a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

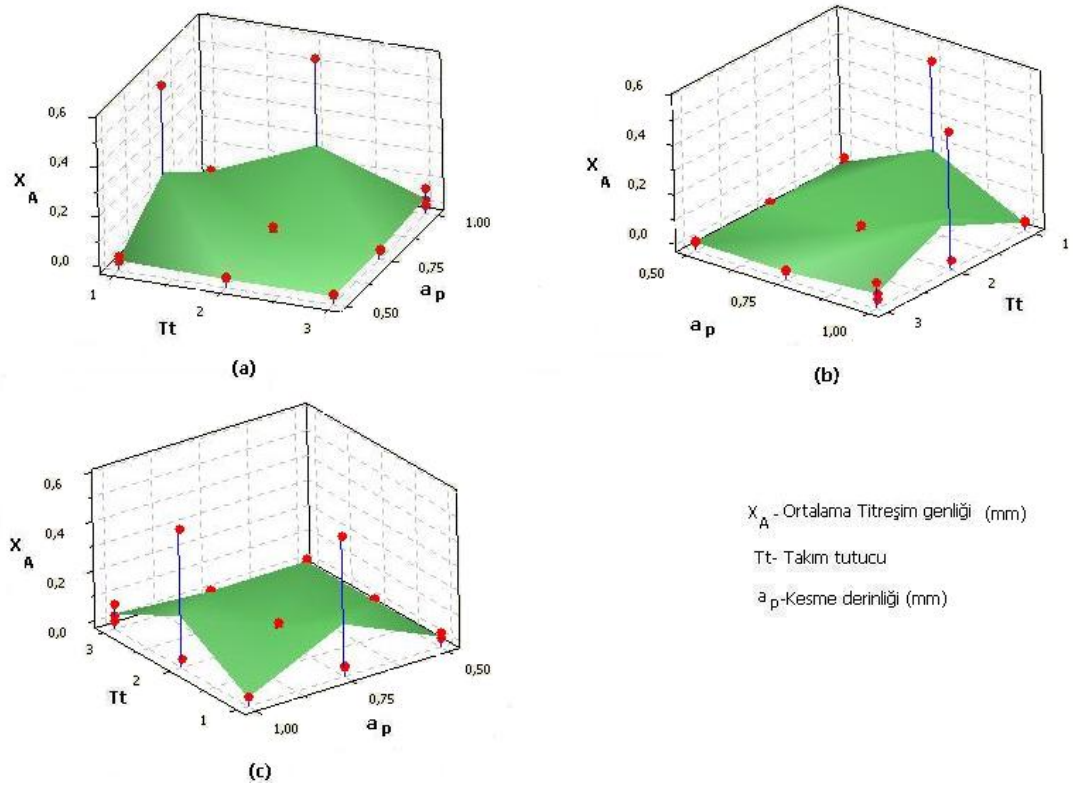
Şekil 6.22.(c)'de $a_p=1$ mm kesme derinliğinde $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ oranlarında ölçülen ortalama X_A değerleri sırasıyla 0,1776 mm, 0,0036 mm ve 0,0313 mm dir. Bu değerlere göre $L/D=3$ ve $L/D=5$ bağlama oranları arasındaki orantı 49,3 tür. $L/D=7$ ve $L/D=5$ bağlama oranları arasındaki orantı ise 8,7 dir. Hesaplanan bu orantılara göre X_A değerlerinde önemli varyasyonlar bulunmaktadır.

$L/D=3$ oranı için $a_p=0,5$ mm ve $a_p=0,75$ mm kesme derinliklerinde X_A değerleri sırasıyla 0,0117 mm ve 0,0035 mm olarak kaydedilmiştir.

Şekil 6.22.(c)'de de görüldüğü üzere $L/D=3$ ve $a_p=1$ mm bölgesi (0,1776 mm) ile $L/D=7$ ve $a_p=0,75$ mm bölgesi (0,1823 mm) X_A değerleri için kritik bölgelerdir. Belirtilen bu kritik bölgelere ilişkin kesme parametreleri ve takımlara ait geniş değerlendirmelere ihtiyaç vardır. Bu sebeple her yönüyle grafik analiz yorumları yapılmıştır.

6.4.2. Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin titreşime etkisi

Kesme derinliği ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin X_A değerlerine etkilerini belirlemek amacıyla Şekil 6.23 verilmiştir.



Şekil 6.23. (a_p) ve (Tt) ilişkisinin titreşime etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.23.(a)'da görülen $a_p=0,5$ mm kesme derinliği ve 1 no'lu takım ile ölçülen X_A değeri 0,0117 mm, 2 no'lu takım ile ölçülen X_A değeri 0,0041 mm ve 3 no'lu takım ile ölçülen X_A değeri 0,0047 mm dir. Küçük kesme derinliğinde ($a_p=0,5$ mm) çelik gövdeli delik işleme takım tutucu, sert karbür gövdeli ve anti-vibrasyon gövdeli katerlerden 3 kat fazla X_A değeri vermiştir. Bu sonuca göre kater malzemesinin önemi açıkça ortaya çıkmıştır.

3 no'lu titreşim sönümleyici özelliğe sahip takım tutucu ile $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm ve $a_p=1$ mm kesme derinlikleri için ölçülen X_A değerleri sırasıyla 0,0047 mm,

0,0035 mm ve 0,0313 mm dir. Deney kombinasyonları incelendiğinde bu şartlar için değişen sadece kesme parametresi olurken X_A değerlerinin seyri açıklanabilmektedir.

Şekil 6.23.(b)'de $a_p=1$ mm kesme derinliği için 1, 2 ve 3 no'lu takımlarla yapılan deneylerde ölçülen ortalama X_A değerleri sırasıyla 0,0036 mm, 0,1776 mm ve 0,0313 mm dir.

1 no'lu takım ile özellikle yüksek bağlama oranlarında $a_p=1$ mm kesme derinliğinin delik işlemede uygun şartlar olmadığı görülmüştür. Yüzey grafiğinde 1 no'lu takım ile $a_p=1$ mm kesme derinliği şartı için görülen X_A değerleri gerçek değeri yansıtmamaktadır. Kesme işlemi uygun olmayan şartlarda yapıldığı için X_A değerleri olması gerekenden düşük çıkmıştır.

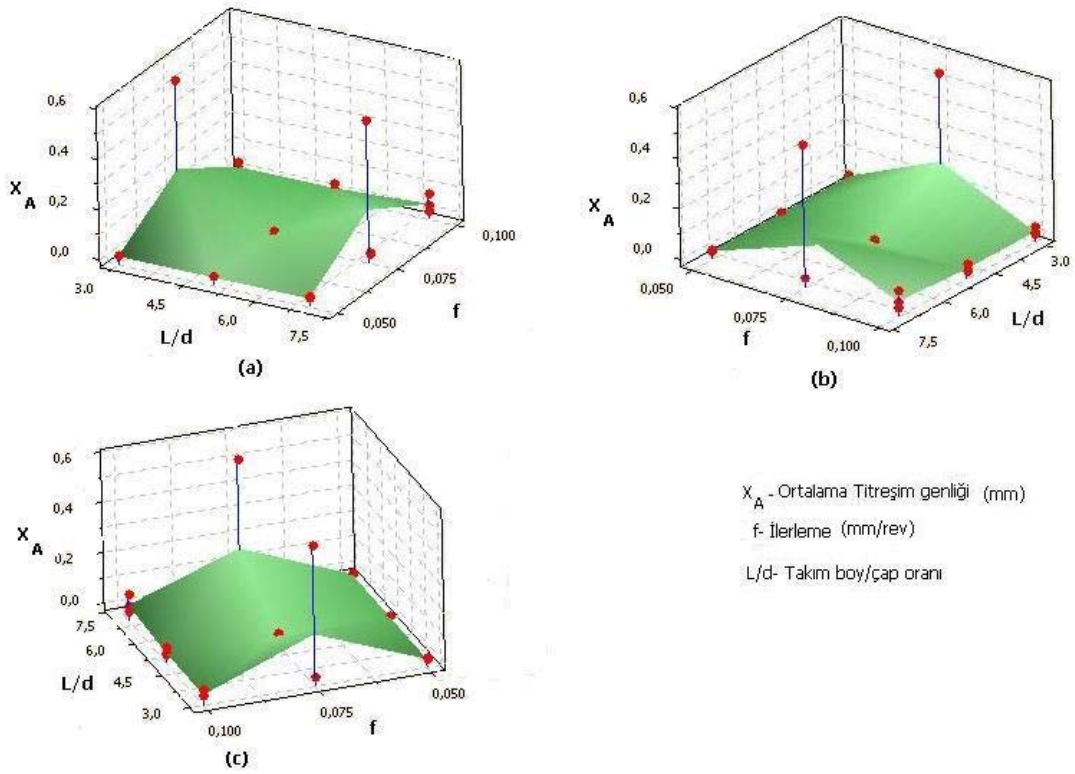
Şekil 6.23.(c)'de 1 no'lu takım $a_p=0,75$ mm ve $a_p=0,5$ mm kesme derinliği değerleri için elde edilen X_A değerleri 0,1823 mm ve 0,0117mm olarak ölçülmüştür.

$a_p=0,75$ mm kesme derinliğinde ölçülen X_A değeri, $a_p=1$ mm için titreşimde ölçülemeyecek şartların habercisi olmuştur.

Şekil 6.23 genel olarak değerlendirilirse en uygun takım malzemesinin 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım olduğu görülecektir. Titreşim sönümleyici özelliği sayesinde 3 no'lu takım ile elde edilen X_A değerlerinde büyük oranlarda azalmalar sağlanmıştır. Titreşim değerlerinin minimize edilmesi ise deliklerin yüzey kalitesinde önemli iyileşmeler sağlamıştır. Çelik gövdeli delik katerleri X_A değerleri yönünden elverişli sonuçlar vermemektedir. Sert karbür gövdeli katerler ise çelik gövdeye nazaran X_A değerlerinde daha başarılı ise de uygun değerleri vermemektedir.

6.4.3. İlerleme ve boy/çap oranı ilişkisinin titreşime etkisi

İlerleme ve takım boy/çap oranı ilişkisinin X_A değerlerine etkisini yorumlamak amacıyla Şekil 6.24 incelenecektir.



Şekil 6.24. (f ve (L/D) ilişkisinin titreşime etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.24.(a)'ya göre $f=0,05$ mm/rev ilerleme ve $L/D=3$ bağlama oranı için ortalama X_A değeri 0,0042 mm, $L/D=5$ bağlama oranı için 0,0036 mm ve $L/D=7$ bağlama oranı için ortalama 0,0041 mm olarak ölçülmüştür. İlerlemenin $f=0,05$ mm/rev değerinde üç L/D oranında da birbirine oldukça yakın X_A değerleri tespit edilmiştir. Bu durum $f=0,05$ mm/rev ilerleme değerinin X_A üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Şekil 6.24.(b)'de $L/D=7$ bağlama oranı ve $f=0,075$ mm/rev ilerleme değerinde ölçülen X_A değeri 0,1823 mm ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerinde 0,0313 mm dir. İlerleme değerindeki %30 artış ile birlikte X_A değerleri 6 kat azalmıştır.

İlerlemenin $f=0,1$ mm/rev değeri için $L/D=3$, $L/D=5$ ve $L/D=7$ bağlama oranlarında ölçülen X_A değerleri sırasıyla 0,0117 mm, 0,0116 mm ve 0,0313 mm dir. İlerleme değerlerinin en yüksek seviyesinde ölçülen X_A değerlerinde önemli azalmalar saptanmıştır. Özellikle $L/D=7$ ve $L/D=5$ bağlama oranları için X_A değerleri hemen hemen aynı değerlere sahip iken $L/D=3$ oranında 2,67 kat artış gözlenmiştir.

Şekil 6.24.(c)'de $f=0,075$ mm/rev ilerleme ve $L/D=3$ bağlama oranı için ölçülen X_A değeri 0,1776 mm, $L/D=7$ bağlama oranı için 0,1823 mm ve aynı ilerleme değerinde $L/D=5$ bağlama oranı için X_A değeri 0,0051 mm dir. $L/D=5$ ve $f=0,075$ mm/rev ilerleme değerinde diğer L/D oranlarından yaklaşık 30 kat daha az X_A değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.24.(c)'de görüldüğü gibi en küçük ilerlemede L/D oranlarının tümü için birbirlerine çok yakın X_A değerleri elde edilirken ilerleme değerlerinin artması ile farklı L/D oranları için bu denge bozulmaktadır.

6.4.4. İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin titreşime etkisi

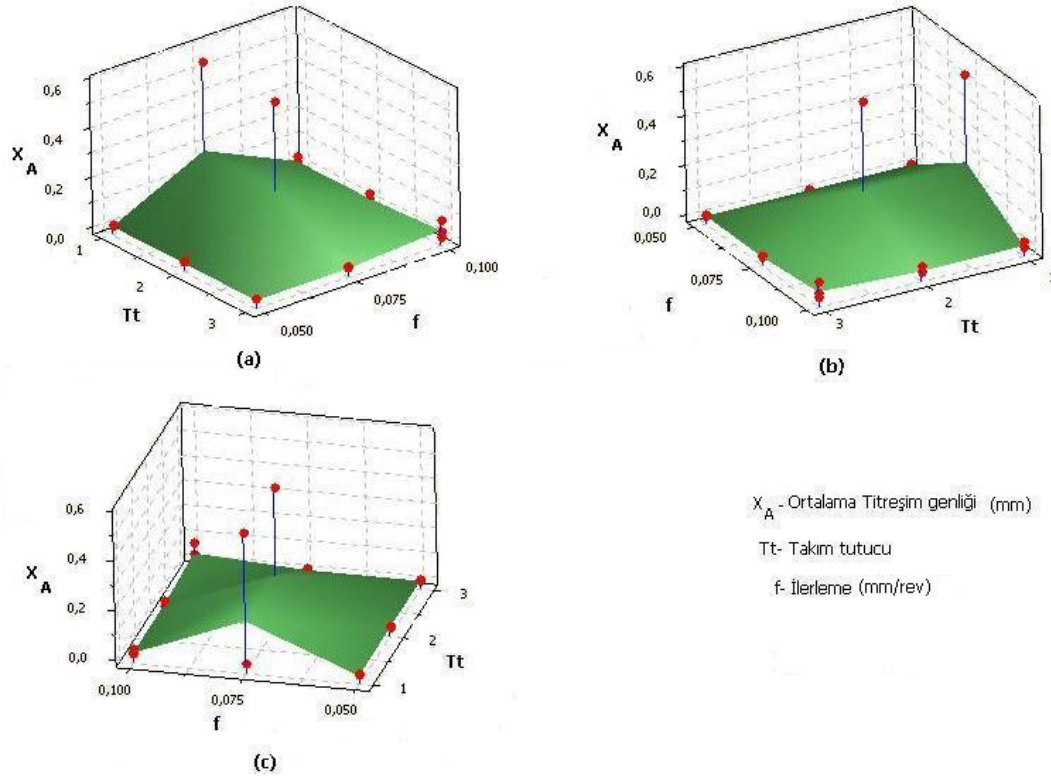
İlerleme ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin X_A değerlerine etkilerini tespit etmek amacıyla incelenecek yüzey grafiklerinden birincisi Şekil 6.25.(a)'da verilmiştir.

Şekil 6.25.(a)'da $f=0,05$ mm/rev ilerleme ve 1 no'lu takım için ölçülen X_A değeri 0,0036 mm, 2 no'lu takım için 0,0041 mm ve aynı ilerleme değerinde 3 no'lu takım için ölçülen X_A değeri 0,0035 mm dir. İlerlemenin $f=0,05$ mm/rev değeri için üç takımda da birbirine çok yakın X_A değerleri ölçülmüştür.

3 no'lu takım ile $f=0,05$ mm/rev, $f=0,075$ mm/rev ve $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerlerinde ölçülen X_A değerleri sırasıyla 0,0035 mm, 0,0041 mm ve 0,0313 mm dir. 3 no'lu takım ile 0,1 mm/rev ilerlemede ölçülen X_A değerleri beklenen değer üzerinde gerçekleşmiştir.

Deney kombinasyonları incelendiğinde 3 no'lu takım ile $f=0,1$ mm/rev ilerleme değerlerinin 3, 12 ve 21 no'lu deney kombinasyonlarında geçerli olduğu anlaşılmaktadır. Bu deney kombinasyonlarındaki parametreler incelendiğinde ise

sadece kesme hızlarındaki artışın X_A değerlerinde önemli değişikliklere sebep olduğu görülmüştür.



Şekil 6.25. (f) ve (Tt) ilişkisinin titreşime etkisi
a) yön 1 b) yön 2 c) yön 3

Şekil 6.25.(b)'de $f=0,075$ mm/rev ilerleme ve 1 no'lu takım için ölçülen X_A değeri 0,1823 mm ile en büyük ortalama değerdir. 2 no'lu takımda ise 0,1778 mm X_A değeri elde edilmiştir. Bu değer 3 no'lu takımda ise en küçük değerde gerçekleşmiştir (0,0041 mm). Bu oran ise 1 ve 2 no'lu takımlarla elde edilen X_A değerlerinden yaklaşık 45 kat daha küçüktür.

Titreşim sönümleyici takım tutucunun sönümleme kapasitesi de böylece test edilmiş ve oldukça başarılı bulunmuştur. 3 no'lu kater üç ilerleme değerinde de önemli iyileşmeler (X_A değerlerinde düşüşler) sağlamıştır. Titreşim sönümleyici özelliğe sahip delik katerleri yüksek ilerleme ve bağlama oranlarında düşük X_A değerleri ile dikkat çekmiştir ve tercih sebebi olduğunu ispatlamıştır.

1 no'lu çelik gövdeli takımın yüksek bağlama oranlarında yüksek X_A değerleri verdiği tespit edilmiştir.

Şekil 6.26.(b)'de ise $L/D=7$ bağlama oranında 2 ve 3 no'lu takımlarda ölçülen ortalama X_A değerleri sırasıyla 0,0041 mm ve 0,0031 mm olduğunu gösteren yüzey grafiğine ait ikinci bir bakış açısı verilmiştir.

Sert karbür gövdeli takım tutucu yüksek L/D oranlarında ($L/D=5$) iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sert karbür gövdeli takım tutucunun $L/D=3$ bağlama oranında daha çok titreşim değeri verdiği gözlenmiştir.

Şekil 6.26.(c)'de 2 no'lu takımın $L/D=3$ oranında ortalama X_A değerinin 0,1778 mm olduğu görülmektedir. X_A değerlerinin artmasında ilerlemeden kaynaklanan kesme frekansının yanında talaş sıkışmalarının da etkisi bulunmaktadır.

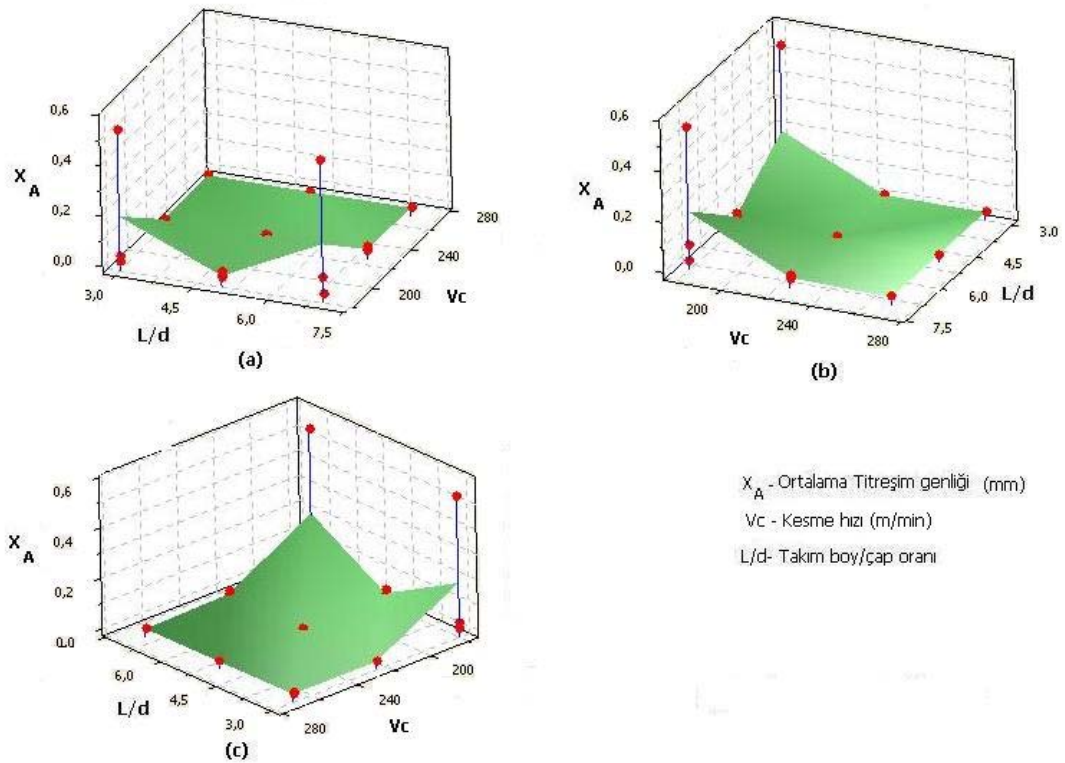
Bu çalışmada kuru kesme şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Soğutma sıvısının etkilerini görmek için deney tasarımına ait kombinasyonlar tekrar edilmelidir.

6.4.6. Kesme hızı ve boy/çap oranı ilişkisinin titreşime etkisi

Kesme hızı ve takım boy/çap oranı ilişkisinin X_A değerlerine etkilerini tespit etmek amacıyla incelenecek yüzey grafiklerinden birincisi Şekil 6.27.(a)'da verilmiştir. Şekil 6.27.(a)'da $V_c=180$ m/min kesme hızında $L/D=3$ bağlama boyu oranında 0,1869 mm ortalama X_A değeri ölçülmüştür ki bu değer oldukça büyük bir değerdir.

$V_c=180$ m/min kesme hızında bağlama oranı $L/D=5$ iken ölçülen X_A değeri 0,0079 mm'ye düşmektedir. Bu değer $L/D=3$ oranına göre yaklaşık 23,6 kat daha küçüktür.

Şekil 6.27.(a)'da $V_c=180$ m/min kesme hızında $L/D=7$ bağlama boyu oranında 0,2039 mm ortalama X_A değeri ölçülmüştür. Bu değer ölçülen en yüksek ortalama X_A değeridir.



Şekil 6.27. (V_c) ve (L/D) ilişkisinin titreşime etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

L/D oranındaki artışın titreşim miktarını artırdığı sonucu ortaya çıkmıştır. Şekil 6.27.(b)'de yüzey grafiği ikinci bir bakış açısıyla verilmiştir. Şekil 6.27.(b)'de $L/D=7$ bağlama boyu oranında $V_c=225$ m/min kesme hızına çıkıldığında ölçülen ortalama X_A değerlerinin 0,0111 mm'ye gerilediği görülmektedir. Buradan kesme hızındaki 45 m/min artışın ortalama X_A değerini 18,36 kat düşürdüğü tespit edilmiştir.

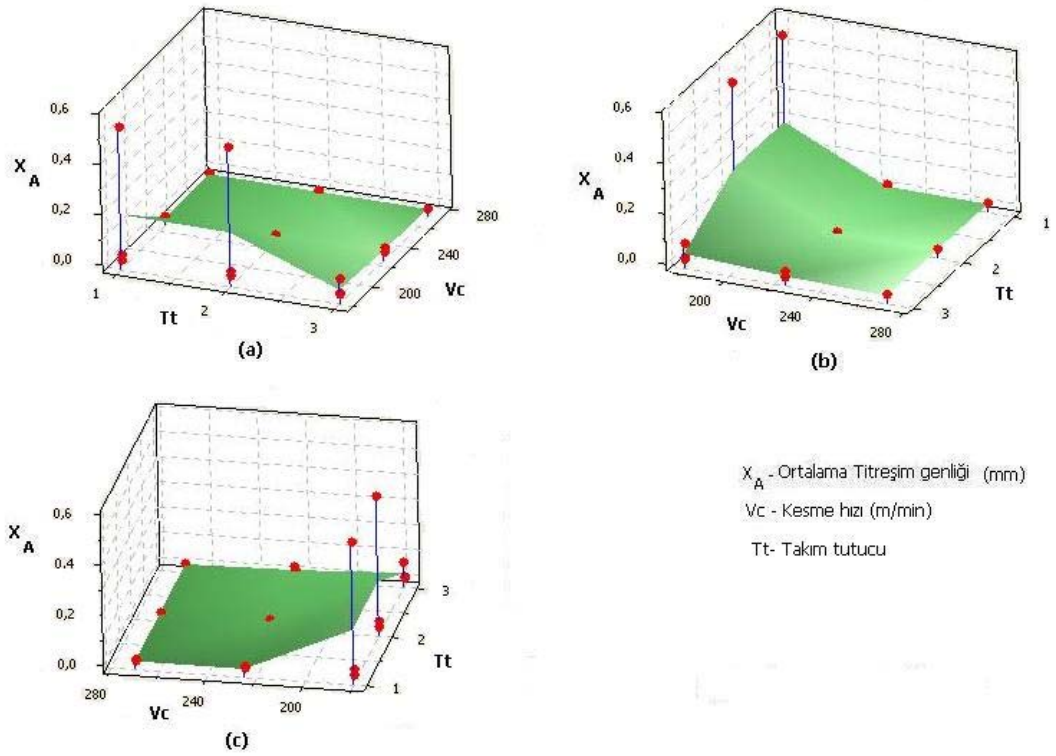
$L/D=7$ bağlama boyu oranı için $V_c=270$ m/min kesme hız değerinde ölçülen X_A değeri ortalama olarak 0,0027 mm ile en iyi değerdir.

Şekil 6.27.(b)'de kesme hızı değerlerinin $V_c=225$ m/min ve $V_c=270$ m/min olduğu ve üç bağlama boyu oranının kesiştiği dikdörtgensel yüzey alanında elde edilen ortalama X_A değerlerinin en küçük değerler olduğu görülmektedir. Şekil 6.27.(c)'de $V_c=270$ m/min kesme hızında $L/D=5$ bağlama oranı için ölçülen ortalama X_A değeri 0,0026 mm dir. Bu değer aynı kesme hızında $L/D=7$ oranındaki değer ile hemen

hemen aynıdır (0,0027 mm). Genel olarak aynı bağlama oranları için artan kesme hızları ile birlikte X_A değerlerinde önemli oranlarda azalmalar tespit edilmiştir. Kesme hızının tanımı, kesici ucundaki bir noktanın dakikada metre cinsinden keserek aldığı mesafe olduğuna göre kesme hızının artmasıyla kesme momenti de artmakta esas kesme kuvveti azalmakta böylece oluşan X_A değerlerinde de önemli ölçüde düşüşler meydana gelmektedir. Elde edilen yüzey grafiği bu yorumu destekler nitelikte sonuçlar vermiştir.

6.4.7. Kesme hızı ve takım tutucu malzemesi ilişkisinin titreşime etkisi

Yapılan analiz çalışmalarında X_A değerine etki eden faktör ilişkilerinin sonuncusu kesme hızı ile takım tutucu malzemesi arasında olan etkileşimin incelenmesidir. Kesme hızı ve takım bağlama boyu ilişkisinin titreşime etkilerini tespit etmek amacıyla incelenecek yüzey grafiklerinden birincisi Şekil 6.28.(a)'da verilmiştir.



Şekil 6.28. (V_c) ve (T_t) ilişkisinin titreşime etkisi

a) yön 1

b) yön 2

c) yön 3

Şekil 6.28.(a)'da $V_c=180$ m/min kesme hızında 1 no'lu takım ile yapılan kesme işleminde ölçülen ortalama X_A değeri 0,1896 mm olmuştur. Aynı kesme hızında 2 no'lu takım 0,1876 mm ve 3 no'lu takım 0,0281 mm X_A değerleri ölçülmüştür.

Çelik gövdeli takım ile sert karbür gövdeli takımın $V_c=180$ m/min kesme hızında birbirine oldukça yakın değerlerde X_A değerleri verdikleri ortaya çıkmıştır. Anti-vibrasyon gövdeli takım tutucu ise titreşim sönümlerme özelliği sayesinde diğer iki takımdan 6,7 kat daha küçük X_A değeri verdiği saptanmıştır.

Şekil 6.28.(b)'de $V_c=225$ m/min kesme hızında 1 no'lu takım ile yapılan kesme işleminde ölçülen ortalama X_A değeri 0,0038 mm olmuştur. Aynı kesme hızında 2 no'lu takım 0,0032 mm ve 3 no'lu takım 0,0092 mm X_A değerleri ölçülmüştür.

Kesme hızında 45 m/min değerindeki artış ortalama X_A değerlerini 1 no'lu takım 49 kat, 2 no'lu takım 58 kat ve 3 no'lu takım ise 3 kat azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Şekil 6.28.(c)'de $V_c= 270$ m/min kesme hızında 1, 2 ve 3 no'lu takımlarda ölçülen X_A değerleri sırasıyla 0,0041 mm 0,0028 mm ve 0,0022 mm olarak kaydedilmiştir.

$V_c= 225$ m/min kesme hızında takımlarda ölçülen ortalama X_A değerleri $V_c= 270$ m/min kesme hızındaki değerler ile karşılaştırıldığında 1 no'lu takım 0,0003 mm değerinde artış, 2 no'lu takım 0,0004 mm değerinde azalmaya ve 3 no'lu takım ise yaklaşık 4,5 kat azalmaya sebep olduğu saptanmıştır.

Genel olarak, artan kesme hızı değerleri ortalama X_A değerlerinde büyük oranlarda azalmalar meydana getirmektedir. Takım tutucu malzemesi kesme hızı ilişkisine göre en küçük X_A değerleri 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım ile elde edilmiştir.

X_A değerleri için bulgular incelendiğinde, en yüksek S/N oranının 54,321 ile 10 nolu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür (Çizelge 6.14). Elde edilen en düşük ortalama X_A değerinin bu deney kombinasyonuna ait olduğu belirlenmiştir (Ortalama

0,0019 mm). En küçük standart sapmaya sahip kombinasyon 26 nolu kombinasyon olmuştur.

Çizelge 6.14. Titreşim genliği (X_A) değeri analiz sonuçları

D.No	Vc	f	a_p	L/D	Tt	X_A	S/N	St.Sapma
1	180	0,1	0,5	3	1	0,027600	30,9975	0,007038
2	180	0,1	0,75	5	2	0,027500	30,6392	0,012662
3	180	0,1	1	7	3	0,069000	23,0350	0,017776
4	180	0,075	0,5	5	3	0,009233	40,5649	0,001955
5	180	0,075	0,75	7	1	0,535467	0,8579	0,895088
6	180	0,075	1	3	2	0,527133	0,8585	0,902294
7	180	0,05	0,5	7	2	0,007400	41,6873	0,004424
8	180	0,05	0,75	3	3	0,006233	43,8952	0,001701
9	180	0,05	1	5	1	0,005933	43,6606	0,003430
10	225	0,1	0,5	3	1	0,001900	54,3219	0,000361
11	225	0,1	0,75	5	2	0,004600	46,6061	0,001015
12	225	0,1	1	7	3	0,022667	32,6866	0,006113
13	225	0,075	0,5	5	3	0,002833	50,4850	0,001172
14	225	0,075	0,75	7	1	0,007667	40,7783	0,006101
15	225	0,075	1	3	2	0,002033	53,5491	0,000651
16	225	0,05	0,5	7	2	0,003067	50,2136	0,000416
17	225	0,05	0,75	3	3	0,002367	52,2939	0,000666
18	225	0,05	1	5	1	0,002100	53,0833	0,000872
19	270	0,1	0,5	3	1	0,005600	43,5216	0,004431
20	270	0,1	0,75	5	2	0,002767	50,8955	0,000850
21	270	0,1	1	7	3	0,002333	51,8177	0,001305
22	270	0,075	0,5	5	3	0,002333	52,4514	0,000603
23	270	0,075	0,75	7	1	0,003900	48,0808	0,000721
24	270	0,075	1	3	2	0,003867	48,0410	0,001060
25	270	0,05	0,5	7	2	0,001967	53,2209	0,001159
26	270	0,05	0,75	3	3	0,002100	53,5360	0,000173
27	270	0,05	1	5	1	0,002733	50,9655	0,000896

Çizelge 6.15'te X_A değerlerine etki eden faktörlerin sinyal-gürültü oranını (S/N) hangi sırada etkiledikleri verilmiştir. Çizelge 6.15'e göre X_A değeri için optimum deney kombinasyonunu belirleyen S/N oranı üzerinde en fazla etkiye sahip faktörün kesme hızı (V_c) olduğu, 2. sırada ilerleme miktarının (f) geldiği tespit edilmiştir. 3. sırada takım bağlama boyu (L/D) etkili iken kesme derinliğinin (a_p) 4. sırada etkilediği belirlenmiştir. Titreşim yerdeğiştirme analizinde S/N oranı üzerinde en az etkiye sahip faktör takım tutucu malzemesi(T_t) faktörüdür.

Çizelge 6.15. X_A değeri için faktörlerin S/N oranına etkileri

Düzey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	28,47	49,17	46,38	42,33	40,70
2	48,22	37,30	40,84	46,59	41,75
3	50,28	40,50	39,74	38,04	44,53
Fark	21,81	11,88	6,64	8,55	3,83
Sıra	1	2	4	3	5

Çizelge 6.16’da ise faktörlerin deneylerde ölçülen ortalama X_A değerleri üzerine etki sıraları verilmiştir. Bu sıralar incelendiğinde, faktörlerin S/N oranını etkileme sıralarının ortalama X_A değerleri için de geçerli olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. 16. Faktörlerin ortalama X_A değerlerine etkileri

Düzey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	0,135056	0,003767	0,006881	0,064315	0,065878
2	0,005470	0,121607	0,065844	0,006670	0,064481
3	0,003067	0,018219	0,070867	0,072607	0,013233
Fark	0,131989	0,117841	0,063985	0,065937	0,052644
Sıra	1	2	4	3	5

Çizelge 6.17’de faktörlerin X_A değeri standart sapma değerlerini etkileme sıraları verilmiştir. X_A değerleri üzerinde en fazla etkiye sahip faktörün kesme hızı (V_c) olduğu, 2. sırada ilerleme miktarının (f) geldiği tespit edilmiştir. 3. sırada kesme derinliği (a_p) etkili iken takım bağlama boyunun (L/D) 4. sırada etkilediği belirlenmiştir. Titreşim genliği standart sapma değerleri üzerinde en az etkiye sahip faktör takım tutucu malzemesi(Tt) faktörüdür.

Çizelge 6.17. Faktörlerin titreşim standart sapma değerlerine etkileri

Düzey	V_c	f	a_p	L/D	Tt
1	0,205152	0,001526	0,002395	0,102041	0,102104
2	0,001930	0,201072	0,102109	0,002606	0,102726
3	0,001244	0,005728	0,103822	0,103678	0,003496
Fark	0,203908	0,199545	0,101427	0,101072	0,099230
Sıra	1	2	3	4	5

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, delik işlemede takımlama sistemi, takım malzemesi ve kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Delik işleme operasyonları CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin parametre kombinasyonlarını ve sayılarını belirlemek amacıyla Taguchi metoduna göre deney tasarımı yapılmıştır.

Analiz çalışmaları; yüzey pürüzlülüğü, dairesellikten sapma (D_s), düzlemsellik ve titreşim genliği (X_A) değeri olmak üzere dört kalite özelliğine göre yapılmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili varyans analizlerinden elde edilen bulgular şöyle özetlenebilir:

- 3B yüzey grafiklere göre, $L/D=3$, $L/D=5$ ve $a_p=0,5$ mm, $a_p=0,75$ mm kesme şartlarında en küçük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.
- Kesme derinliği ile takım tutucu malzemesi ilişkisinde en iyi yüzey pürüzlülüğü sonuçları 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takımla elde edilmiştir. Sert karbür gövdeli takımın büyük kesme derinliklerinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü verdiği saptanmıştır. 1 no'lu çelik gövdeli takımların yüksek kesme derinliği değerlerinde elverişli olmadığı görülmüştür.
- $L/D=3$ bağlama oranında ilerleme değerlerindeki değişimlerin yüzey pürüzlülüğünde önemli bir varyasyon yaratmadığı tespit edilmiştir. İlerleme değerinin $f=0,05$ mm/rev olduğu şart için artan L/D oranları ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde 6 kata varan artışlar görülmüştür. Bağlama oranlarının artması ile ilerleme değerlerinin de arttığı durumlarda yüzey pürüzlülük değerlerinde yaklaşık 5 kat daha küçük değerler saptanmıştır.
- Çelik gövdeli delik işleme katerleri $L/D=7$ bağlama oranında kesmeye elverişli değildir. $L/D=3$ oranında en iyi pürüzlülük değeri sert karbür gövdeli takımla

elde edilmiştir. Bu bağlama oranında çelik gövdeli ve titreşim sönümleyici takımlarla birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek L/D oranında titreşim sönümleyici takım ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü çelik gövdeli takıma göre yaklaşık 5 kat, sert karbür gövdeli takıma göre ise yaklaşık 4 kat daha iyidir.

- L/D=3 oranı için artan kesme hızlarına göre yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli bir değişme gözlenmemiştir. Üç kesme hızında da artan L/D oranlarıyla birlikte yüzey pürüzlülükleri de artmıştır. L/D=7 bağlama oranı için kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı görülmüştür.
- Artan kesme hızları 1 no'lu takımda yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde önemli bir varyasyona sebep olmamaktadır. Kesme hızının tüm düzeylerinde en iyi pürüzlülük değerleri 3 no'lu takımla elde edilmiştir. Kesme hızı-takım ilişkisinde 3 no'lu takım 2 no'lu takıma göre yüzey pürüzlülüğünde yaklaşık %100 oranında daha iyi sonuçlar vermiştir. En kötü sonuçlar çelik gövdeli takım ile yapılan kesme işlemlerinde ölçülmüştür.
- Yüzey pürüzlülüğü için yapılan analizlerde en yüksek S/N oranının 2,793 ile 26 no'lu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür. En yüksek S/N oranını veren deney kombinasyonu istenen şartları sağlayan deneyi ifade etmektedir. Elde edilen en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğünün bu deney kombinasyonuna ait olduğu belirlenmiştir (ort. $R_a=0,725 \mu m$). Aynı zamanda en küçük standart sapmaya sahip kombinasyon 26 no'lu deney kombinasyonu olmuştur. Doğrulama deneyinde %97 yaklaşık sonuç görülmüştür (ort. $R_a=0,705 \mu m$).

Dairesellikten sapma (D_s) ile ilgili varyans analizlerinden elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kesme derinliği-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, L/D=3 için kesme derinliğinin 0,75 mm değeri yüksek dairesellikten sapma (D_s) sonucu vermiştir. L/D=7 oranında kesme derinliklerinin artması D_s 'de azalmalara sebep olmuştur.

Kesme derinliğinin az verilmemesi ve en az bağlama oranlarının seçilmesi D_s için en küçük değerleri vermektedir.

- Kesme derinliği-takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, çelik gövdeli takım ile en küçük kesme derinliği değerinde en küçük D_s elde edilmiştir. 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım ile en büyük kesme derinliğinde ($a_p=1$ mm) en küçük D_s değeri tespit edilmiştir. 2 no'lu takım ile artan kesme derinlikleri ile birlikte D_s 'de azalmalar görülmüştür. Delik işleme kesme deneylerinde kullanılan üç takım için de $a_p=0,75$ mm kesme derinliği değeri D_s için kritik bir değer olmakla birlikte elverişli değildir.
- İlerleme-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, aynı L/D bağlama oranı için ilerleme değeri arttıkça ölçülen ortalama D_s azalmaktadır.
- İlerleme-takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, en küçük ilerleme değerinde 2 no'lu sert karbür gövdeli takım ile elde edilen D_s değerinin 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım ile elde edilen ortalama D_s değerinden 1,8 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Anti-vibrasyon gövdeli takım ile artan ilerleme değerleri ile birlikte ortalama D_s değerlerinde 4 kata varan azalmalar ölçülmüştür. Her üç takım için geçerli olmak üzere artan ilerleme miktarları elde edilen D_s 'de azaltıcı etki yapmaktadır.
- Takım tutucu malzemesi-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, 1 no'lu çelik gövdeli takım için artan L/D oranlarında ölçülen ortalama D_s değerlerinde 8 kata varan artışlar tespit edilmiştir. 1 no'lu ve 2 no'lu takımlar için $L/D=7$ oranı verimli değildir. Titreşim emici takımlar $L/D=7$ takım bağlama boyu oranında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. $L/D=7$ den daha az bağlama oranları söz konusu ise titreşim emici delik katerleri kullanmak performans ve ekonomik yönlerden uygun değildir.
- Kesme hızı-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, $V_c=225$ m/min kesme hızında ölçülen ortalama D_s değerlerinin artan L/D oranlarıyla doğru orantılı olarak

arttığı gözlenmiştir. $V_c=270$ m/min kesme hızı ve $L/D=5$ bağlama oranında, $L/D=3$ oranına göre 1,6 kat bir azalma görülürken, $L/D=7$ oranında $L/D=3$ oranına göre 1,3 kat artma gözlenmiştir. Bu artış $L/D=5$ oranına göre ise 2,2 kat daha fazla gerçekleşmiştir. Deneylerde ölçülen en iyi ortalama D_s değerleri $V_c=180$ m/min, $V_c=225$ m/min kesme hızlarında ve $L/D=3$, $L/D=5$ takım boy/çap oranında elde edilmiştir.

- Kesme hızı-takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, $V_c=180$ m/min kesme hızında en küçük D_s değeri 3 no'lu takımla elde edilmiştir. Aynı kesme hızında 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takımla elde edilen D_s değeri 1 no'lu çelik gövdeli takıma göre 1,7 kat, 2 no'lu sert karbür gövdeli takıma göre yaklaşık 2,9 kat daha küçüktür. 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takımda artan kesme hızlarına paralel olarak elde edilen ortalama D_s değerleri de artmaktadır. $V_c=225$ m/min kesme hızı için 2 no'lu takımda ölçülen ortalama D_s değerleri $V_c=180$ m/min kesme hızına göre 1,5 kat azalmıştır. Ancak $V_c=270$ m/min kesme hızına çıkıldığında ölçülen ortalama D_s değerlerinde %8 oranında bir artış gözlenmiştir. $V_c=180$ m/min ve $V_c=225$ m/min kesme hızlarında en küçük D_s değerlerini 3 no'lu takım vermiştir. $V_c=270$ m/min kesme hızında en küçük D_s değerini 2 no'lu takım daha sonra 1 no'lu takım vermiştir. Genel olarak her üç takım için de artan kesme hızları D_s değerlerini artırıcı etki göstermiştir.
- D_s için yapılan analizlerde en yüksek S/N oranının 40,861 ile 24 no'lu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür (ort. $D_s=0,0090$ mm). En küçük standart sapmaya sahip deney kombinasyonu yine 24 no'lu deney kombinasyonu olmuştur. Doğrulama deneyinde %95 yaklaşık sonuç görülmüştür (ort. $D_s=0,0094$ mm).

Düzlemsellik (X_L) ile ilgili varyans analizlerinden elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kesme derinliği-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, $L/D=3$ için kesme derinliği değerinin $a_p=0,5$ mm den %50 artarak $a_p=0,75$ mm'ye ulaşmasıyla X_L 1,65 kat

artmıştır. Kesme derinliğindeki %100 artış ($a_p=0,5$ mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması) X_L 'de 2,09 kat azalmaya sebep olmuştur. Kesme derinliği değerinin $a_p=0,75$ mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması ise ölçülen ortalama X_L değerinde 3 kattan fazla bir düşüş meydana getirmiştir. Sabit $a_p=0,5$ mm kesme derinliği için artan L/D oranları ile birlikte ortalama X_L oranlarında da artış gözlenmiştir. Bu artışlar $L/D=3$ ve $L/D=5$ arasında 2,28 kat iken, $L/D=5$ ve $L/D=7$ arasında 1,94 kat ve $L/D=3$ ve $L/D=7$ arasında 4,45 kat olarak tespit edilmiştir. $L/D=7$ için artan kesme derinlikleri ile birlikte ölçülen ortalama X_L miktarlarında kritik azalmalar tespit edilmiştir. $L/D=7$ için, $a_p=0,5$ mm ve $a_p=0,75$ mm kesme derinliklerinde ölçülen X_L arası oran 1,27 kat azalma şeklindedir. Bu bağlama oranında kesme derinliğinin %100 artarak $a_p=0,5$ mm den $a_p=1$ mm'ye çıkması ile X_L arasındaki oranın 6,54 kat düştüğü görülmüştür. $L/D=5$ için yine artan kesme derinliği ile ölçülen X_L değerlerinde bir azalma görülmektedir. Genel olarak; aynı L/D bağlama oranında artan kesme derinlikleri, ölçülen ortalama X_L değerlerine önemli ölçüde olumlu katkılar sağlamış ve X_L 'lerde azalmalar gözlenmiştir.

- Kesme derinliği- takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, kesme derinliği $a_p=0,5$ mm için 1 no'lu takım (çelik gövdeli) ile 2 no'lu sert karbür gövdeli takıma göre yaklaşık 4,5 kat daha az X_L değeri ölçülmüştür. Anti-vibrasyon gövdeli 3 no'lu takım ile 2 no'lu sert karbür gövdeli takıma göre yaklaşık 2 kat daha az X_L elde edilmiştir. Kesme derinliğinin en düşük seviyesinde en küçük X_L değerleri 1 no'lu çelik gövdeli delik takımı ile elde edilmiştir. 3 no'lu takım ile yapılan deneylerde artan kesme derinliği değerleriyle birlikte ölçülen X_L 'lerde azalma gözlenmiştir. 2 no'lu sert karbür gövdeli takım için $a_p=0,5$ mm kesme derinliği elverişli sonuçlar vermemektedir. Çelik gövdeli takımda düşük kesme derinliğinde iyi sonuçlar elde edilirken yüksek kesme derinliklerinde elde edilen X_L değerleri uygun değildir.
- İlerleme miktarı-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, $L/D=3$ bağlama oranında ölçülen X_L 'ler arası çok büyük farklılıklar görülmemekle birlikte ilerlemenin $f=0,075$ mm/rev değerinde azalma göze çarpmaktadır. Düşük ilerlemede oluşan konikliğin arttığı gözlenmiştir. $L/D=5$ bağlama boyu oranında ilerleme

değerlerinin en küçük ve en büyük değerlerinde ölçülen X_L 'lerin birbirine oldukça yakın değerler olduğu göze çarpmaktadır. İlerlemenin $f=0,075$ mm/rev olduğu durumlarda ise X_L 'te kritik artışlar görülmüştür (yaklaşık 5 kat). İlerlemenin $f=0,05$ mm/rev değeri $L/D=7$ oranında konikliği önemli ölçüde artırmıştır. Genel olarak, artan ilerleme değerleri ile birlikte düşük L/D oranlarında oldukça iyi X_L değerleri elde edilmiştir.

- İlerleme miktarı-takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, en küçük ilerlemede en iyi X_L değeri 1 no'lu çelik gövdeli delik işleme takım tutucu ile elde edilmiştir. 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli delik işleme takım tutucu, 1 no'lu çelik gövdeli katere göre 3 kat daha büyük ortalama X_L vermiştir. Anti-vibrasyon gövdeli delik işleme takım tutucu düşük ilerlemelerde çelik gövdeli katerlere tercih edilmemelidir. Sert karbür gövdeli takımlarda da titreşim emici takımlarda olduğu gibi artan ilerlemelerle birlikte X_L 'te azalmalar tespit edilmiştir. İlerlemenin en üst seviyesinde 1 no'lu takım ile elde edilen konikliğin en yüksek değerde olması çelik gövdeli delik katerlerinin yüksek ilerlemelerde iyi sonuç vermediğinin göstergesidir. Yüksek ilerleme değerlerinde ortalama X_L 'te en iyi sonucu sert karbür gövdeli delik işleme takım tutucu vermiştir. Genel olarak, ilerlemenin artması ile ölçülen ortalama X_L değerleri azalma eğilimi göstermiştir.
- Takım malzemesi-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, çelik gövdeli takım tutucu $L/D=7$ bağlama boyu oranında yüksek miktarda X_L verdiği için elverişli değildir. $L/D=3$ ve $L/D=5$ oranları sert karbür gövdeli takımlarla delik işlemede oldukça verimli sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. $L/D=7$ oranı ise çelik gövdeli takımda olduğu gibi sert karbür gövdeli takımda da iyi sonuçlar vermemektedir. 3 no'lu takımın $L/D=7$ oranında 1 ve 2 no'lu takımlara göre sırasıyla 5,13 kat ve 6,54 kat daha küçük X_L verdiği hesaplanmıştır. $L/D=3$ bağlama oranında en küçük X_L değerini sert karbür gövdeli takım tutucu vermiştir.
- Kesme hızı-takım bağlama boyu ilişkisine göre, $L/D=3$ oranında kesme hızının $V_c=180$ m/min'dan $V_c=225$ m/min'ya çıkması ile birlikte X_L değeri 1,62 kat azalmıştır. Kesme hızı $V_c=270$ m/min'ya çıktığında ise ölçülen konikliğin

$V_c=180$ m/min kesme hızına göre 1,26 kat arttığı gözlenmiştir. $L/D=3$ oranı için ölçülen ortalama X_L değerleri incelendiğinde en ideal sonucun $V_c=225$ m/min kesme hızı ile elde edildiği görülmüştür. $L/D=5$ oranı ve $L/D=7$ oranında en ideal ortalama X_L değerleri $V_c=225$ m/min kesme hızı ile elde edilmiştir.

- Kesme hızı-takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, $V_c=180$ m/min kesme hızı için en ideal sonuç 1 no'lu takım ile elde edilmiştir. 3 no'lu takım ile 1 no'lu takıma göre 3 kat daha fazla X_L ölçülmüştür. 2 no'lu takım ile 1 no'lu takıma göre 6,74 kat daha fazla X_L ölçülmüştür. En küçük ikinci X_L değeri titreşim sönümleyici gövdeye sahip takım ile elde edilmiştir. Bu kesme hızında sert karbür gövdeli takımlar ile uygun şartlar oluşmamaktadır. Genel olarak $V_c=225$ m/min kesme hızı en ideal sonuçları yakalamada en başarılı kesme hızı olmuştur. 3 no'lu takım ile yapılan kesme işlemlerinde elde edilen X_L sonuçlarına göre en ideal kesme hızının $V_c=225$ m/min olduğu görülmüştür. 2 no'lu takımın $V_c=225$ m/min kesme hızında verdiği ortalama X_L değeri 3 no'lu takım ile ölçülen değerden 0,0025 mm daha küçüktür. $V_c=270$ m/min kesme hızında en ideal sonuç 2 no'lu takım ile elde edilmiştir ve bu sonuç 3 no'lu takım ile ölçülen sonuçtan 1,55 kat daha küçüktür. 2 no'lu takıma ait X_L sonucu 1 no'lu takım ile elde edilen sonuçla karşılaştırıldığında 2,61 kat daha küçük olduğu görülmüştür. Kesme hızlarına göre genel bir değerlendirme yapıldığında $V_c=225$ m/min kesme hızının üç takım için ideal olduğu genellenmesi yapılabilir.
- X_L için yapılan analizlerde en yüksek S/N oranının 66,0206 ile 15 no'lu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür. En küçük ortalama X_L değeri 0,0005 mm ile 15 no'lu deney kombinasyonu vermiştir. Doğrulama deneyinde %83 yaklaşık sonuç görülmüştür (ort. $X_L=0,006$ mm).

Titreşim genlikleri (X_A) ile ilgili varyans analizlerinden elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kesme derinliği- takım boy/çap oranı ilişkisine göre, kesme derinliğinin en küçük değeri için X_A miktarlarının $L/D=5$ ve $L/D=7$ oranlarında birbirine oldukça yakın

değerler oldukları görülmüştür. $L/D=3$ için bu oran yaklaşık 3 kat daha fazla olarak ölçülmüştür. $L/D=3$ ve $a_p=1$ mm bölgesi (0,1776 mm) ile $L/D=7$ ve $a_p=0,75$ mm bölgesinin (0,1823 mm) X_A değerleri için kritik bölgeler olduğu saptanmıştır.

- Kesme derinliği-takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, en küçük kesme derinliğinde ($a_p=0,5$ mm) çelik gövdeli takım tutucu, sert karbür gövdeli ve anti-vibrasyon gövdeli katerlerden 3 kat fazla X_A değeri vermiştir. 1 no'lu takım ile özellikle yüksek bağlama oranlarında $a_p=1$ mm kesme derinliğinin delik işlemede uygun şartlar olmadığı görülmüştür. Ölçülen X_A değerlerine göre en uygun takımın 3 no'lu takım olduğu belirlenmiştir.
- İlerleme-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, ilerlemenin $f=0,05$ mm/rev değerinde üç L/D oranında da birbirine oldukça yakın X_A değerleri tespit edilmiştir. İlerleme değerlerinin en yüksek seviyesinde ölçülen X_A değerlerinde önemli azalmalar saptanmıştır.
- İlerleme- takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, ilerlemenin $f=0,05$ mm/rev değeri için üç takım da birbirine çok yakın X_A değerleri ölçülmüştür. Titreşim sönümleyici özelliğe sahip takım tutucu yüksek ilerleme ve bağlama oranlarında düşük X_A değerleri ile dikkat çekmiştir.
- Takım tutucu malzemesi-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, 1 no'lu çelik gövdeli takımın yüksek bağlama oranlarında yüksek X_A değerleri verdiği tespit edilmiştir. Sert karbür gövdeli takımın $L/D=5$ oranında iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Kesme hızı-takım boy/çap oranı ilişkisine göre, L/D oranındaki artışın X_A değerini artırdığı sonucu ortaya çıkmıştır. Genel olarak aynı bağlama oranları için artan kesme hızları ile birlikte X_A değerlerinde önemli oranlarda azalmalar tespit edilmiştir.

- Kesme hızı-takım tutucu malzemesi ilişkisine göre, çelik gövdeli takım ile sert karbür gövdeli takımın $V_c=180$ m/min kesme hızında birbirine oldukça yakın X_A değerleri verdikleri görülmüştür. Anti-vibrasyon gövdeli takımın ise titreşim sönümleme özelliği sayesinde diğer iki takımdan 6,7 kat daha küçük X_A verdiği saptanmıştır. Kesme hızında 45 m/min değerindeki artış ortalama X_A değerlerini 1 no'lu takımda 49 kat, 2 no'lu takımda 58 kat ve 3 no'lu takımda ise 3 kat azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, artan kesme hızı değerleri ortalama X_A değerlerinde büyük oranlarda azalmalar meydana getirmektedir. Takım tutucu malzemesi-kesme hızı ilişkisine göre en küçük X_A değerleri 3 no'lu anti-vibrasyon gövdeli takım ile elde edilmiştir.
- X_A değerleri için yapılan analizlerde, en yüksek S/N oranının 54,321 ile 10 nolu deney kombinasyonuna ait olduğu görülmüştür. Elde edilen en düşük ortalama yerdeğiştirme değerinin bu deney kombinasyonuna ait olduğu belirlenmiştir (ort. 0,0019 mm). Doğrulama deneyinde %86 yaklaşık sonuç görülmüştür. En küçük standart sapmaya sahip kombinasyon 26 nolu kombinasyon olmuştur.

Yapılan bu çalışmadan sonra soğutma sıvısının etkisini belirleyecek deneysel çalışmalar yapılarak karşılaştırma olanağı sunulabilir. Delik işleme takımı tasarımı ile etkileri test edilebilir. Ayrıca farklı uç geometrilerine sahip kesici uçların kalite özelliklerine etkisi gözlemlenebilir. Kaplamalı uç kullanarak farklı kaplamaların etkileri ölçülebilir. Bağlama tipi kombinasyonlarının titreşime etkileri tespit edilebilir. Takım boy/çap oranlarının sayısı artırılarak matematiksel model oluşturulabilir.

Deney tasarımında etkileşimli faktörler ile karışık farklı düzeyli faktörlerin hesaba katıldığı kompleks durumlara göre oluşturulacak deney kombinasyonları deneysel olarak gerçekleştirilip sonuçları analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Korkut, İ., Şeker, U., Dönertaş, M.A., “Three-dimensional dynamometer design and production”, Karabük Technical Education Faculty, *Journal of Technology*, 2 (1-2) 115-129 (1999).
2. Çakır, M.C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, *VİPAŞ A.Ş.*, Bursa, 73-113 (2000).
3. Thomas, T.R., “Rough Surface”, **Longman**, New York, 50-108 (1982).
4. Kopac, J., Bahor, M., “Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product”, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93 (1999).
5. Yuan, Z.J., Zhou, M., Dong, S., “Effect of diamond tool sharpness on minimum cutting thickness and cutting surface integrity in ultraprecision machining” *,Journal of Materials Processing Technology*, 62: 327-330 (1996).
6. Eriksen, E., “Influence from production parameters on the surface roughness of a machined short fibre reinforced thermoplastic”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39: 1611-1618 (1998).
7. Bever, M.B., Marshall, E.R., “The energy stored in metal chips during orthogonal cutting”, *Journal of Applied Physics*, 24: 1176 (1953).
8. Shaw, M.C., “Metal Cutting Principles”, **Oxford University Press**, London, 92-251 (1984).
9. Korkut, İ., Şeker, U., “Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel”, *Materials and Design*, 25: 303-305 (2004).
10. Modern Metal Cutting- A practical Handbook, **Sandvik Coromant Co. Inc.**, Sweden, 280 (1997).
11. Ezugwu, E.O., Tang, S.H., “Surface abuse when machining cast iron (G-17) and nickel-base superalloy (Inconel 718) with ceramic tools”, *Journal of Material Process Technology*, 55-63 (1995).
12. Lee, D.G., Hwang, H.Y., Kim, J.K., “Design and manufacture of a carbon fiber epoxy boring bar”, *Composite Structures*, 60:115-124 (2003).
13. Atabey, F., Lazoğlu, İ., Altıntaş, Y., “Dynamics of boring processes : part3-time domain modeling”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 477-484 (2003).

14. Pasek, Z., Koren, Y., "A smart boring tool for process control", *Mechatronics*, 12: 1097-1114 (2002).
15. Gao, D., Chiu, W.M., "Accuracy enhancement of a small overhung boring bar servo system by real-time error compensation", *Precision Engineering*, 26: 456-459 (2002).
16. Gao, D., Chiu, W.M., "An overhung boring bar servo system for on-line correction of machining errors", *Journal of Materials Processing Technology*, 122: 286-292 (2002).
17. O'Neal, G., Koren, Y., "Cutting process diagnostics utilising a smart cutting tool", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 16: 475-486 (2002).
18. Katsuki, A., Onikura, H., "Development of a high-performance laser-guided deep-hole boring tool: optimal determination of reference origin for precise guiding", *Precision Engineering*, 24: 9-14 (2000).
19. Chiu, W.M., Chan, K.W., "Design and testing of piezoelectric actuator-controlled boring bar for active compensation of cutting force induced errors", *International Journal of Production Economics*, 51: 135-148 (1997).
20. Maropoulos, P.G., Alamin, B., "Integrated tool life prediction and management for an intelligent tool selection system", *Journal of Materials Processing Technology*, 61: 225-230 (1996).
21. Ema, S., Marui, E., "Damping characteristics of an impact damper and its application", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36: 293-306 (1996).
22. Tewani, S.G., Rouch, K.W., Walcott, B.L., "A study of cutting process stability of a boring bar with active dynamic absorber", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 35: 91-108 (1995).
23. Dhage, S., "Computer-aided tool selection for turning and boring", *Computers & Industrial Engineering*, 25: 207-210 (1993).
24. Chen, S.J., Hinduja, S., "Checking for tool collisions in turning", *Computer-Aided Design*, 20: 281-289 (1988).
25. Katsuki, A., Sajima, T., "Development of a deep-hole boring tool guided by laser", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 41: 83-87 (1992).
26. Nickols, F.M., Martin, K.F., "A programmable boring head with a bore diameter measuring tool tip", *Precision Engineering*, 13: 17-26 (1991).

27. Koren, Y., Szuba, P., "Design of a Precision Agile Line Boring Station" *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 48: 313-316 (1999).
28. Kuster, F., Gygax, P.E., "Cutting Dynamics and Stability of Boring Bars" *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 39: 361-366 (1990).
29. Nagano, S., Koizumi, T., "Development of a composite boring bar", *Composite structures*, 38: 531-539 (1997).
30. Rivin, E.I., Kang, H.L., "Improving Dynamic Performance of Cantilever Boring Bars", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 38: 377-380 (1989).
31. Lee, D.G., Suh, N.P., "Manufacturing and Testing of Chatter Free boring Bars", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 37: 365-368 (1984).
32. Schulte, T., Schulz, M.H., "Tooling structure: Interface between cutting edge and machine tool", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 49: 591-634 (2000).
33. Pepelnjak, T., Kuzman, K., "Adaptable tooling sets for metal forming of geometrically similar products", *Journal of Materials Processing Technology*, 80-81: 413-420 (1998).
34. Jörgensen, G., Lahres, M., Karner, J., "Suitability of mechanical characterization methods for diamond-coated cemented carbide tools with regard to tooling applications", *Surface and Coatings Technology*, 97: 238-243(1997).
35. Tolio, T., Colosimo, B.M., "A method for tooling configuration in integrated manufacturing systems", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 46: 411-414 (1997).
36. Yeo, S.H., Rahman, M., "Performance evaluation of shank type tooling and modular tooling for lathes", *Journal of Materials Processing Technology*, 62: 335-340 (1996).
37. Weck, M., Hennes, N., Krell, M., "Spindle and Toolsystems with High Damping", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 48: 297-302 (1999).
38. Atabey, F., Lazoğlu, İ., Altıntaş, Y., "Mechanics of boring processes-part 1", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43: 463-476 (2003).
39. Atabey, F., Lazoğlu, İ., Altıntaş, Y., "Dynamics of boring processes : part3-time domain modeling", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42: 1567-1576 (2002).

40. Li, C-J., Ulusoy, A.G., "High-precision measurement of tool-tip displacement using strain gauges in precision flexible line boring", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 13: 531-546 (1999).
41. Correa, D.C., Sales, W.F., Santos, S.C., Palma, E.S., "Machinability of bimetallic bearings using cemented carbide tools : evaluation of the wear mechanisms", *Journal of Materials Processing Technology*, 159: 435-444 (2005).
42. Du, R., Yeung, K., "Fuzzy transition probability: A new method for monitoring progressive faults. Part 1: The theory", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17: 457-467 (2004).
43. Du, R., Yeung, K., "Fuzzy transition probability: A new method for monitoring progressive faults. Part 2: Application examples", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19: 145-155 (2006).
44. Katsuki, A., Onikura, H., "Development of a deep-hole, laser-guide boring tool: the boring of workpieces with a thin wall and inclined prebored hole", *Precision Engineering*, 16: 296-301 (1994).
45. Taglia, A.D., Tani, G., "A method for measuring cutting force in boring operations", *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 22: 23-30 (1982).
46. Ebrahimi, A., Moshksar, M.M., "Study of machinability in boring operation of microalloyed and heat-treated alloy steels", *Materials Science and Engineering: A*, 460-461: 314-323 (2007).
47. Mei, C., "Active regenerative chatter suppression during boring manufacturing process", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21: 153-158 (2005).
48. Gao, C.H., Cheng, K., Kirkwood, D., "The investigation on the machining process of BTA deep hole drilling", *Journal of Materials Processing Technology*, 107: 222-227 (2000).
49. Andren, L., Hakansson, L., Brandt, A., Claesson, I., "Identification of dynamic properties of boring bar vibrations in a continuous boring operation", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 18: 869-901 (2004).
50. Andren, L., Hakansson, L., Brandt, A., Claesson, I., "Identification of motion of cutting tool vibration in a continuous boring operation-correlation to structural properties", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 18: 903-927 (2004).
51. Edhi, E., Hoshi, T., "Stability of high frequency machining vibration by extended chatter model", *Precision Engineering*, 26: 204-213 (2002).

52. Edhi, E., Hoshi, T., “Stabilization of high frequency chatter vibration in fine boring by friction damper”, *Precision Engineering*, 25: 224-234 (2001).
53. Ema, S., Marui, E., “Suppression of chatter vibration of boring tools using impact dampers”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40: 1141-1156 (2000).
54. Chern, G.-L., Jia-Ming Liang, “Study on boring and drilling with vibration cutting”, *Inter. Jo. of Machine Tools and Manufacture*, 47: 133-140 (2007).
55. Rigal, J.F., Pupaza, C., Bedrin, C., “A Model for Simulation of Vibrations During Boring Operations of Complex Surfaces”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 47: 51-54 (1998).
56. Moradi, H., Bakhtiari-Nejad, F., Movahhedy M.R., “Tuneable vibration absorber design to suppress vibrations: An application in boring manufacturing process”, *Journal of Sound and Vibration*, In Press, Corrected Proof, (2008).
57. Beauchamp, Y., Thomas, M., Youssef, Y.A., Masounave, J., “Investigation of cutting parameter effects on surface roughness in lathe boring operation by use of a full factorial design”, *Computers & Industrial Engineering*, 31: 645-651 (1996).
58. Mendi, F., “Takım Tezgahları Teori ve Hesapları”, *Gazi kitabevi*, Ankara, ISBN: 975-6009-53-5 (2006).
59. Roy, R.K., “A primer on the Taguchi method”, *Van Nostrand Reinhold*, New York, 1-28, 40-155, 211 (1990).
60. Abraham, B., Mackay, J., “Variation Reduction and Designed Experiments”, *International Statistical Review*, 121-129 (1993).
61. Muluk, Z., ve diğ., “Taguchi Üzerine Araştırma”, *DPT tarafından desteklenen 94K120340/2 Nolu Proje Raporu*, Ankara, 47-57, 71-93, 111-123, 127-134 (1998).
62. American Supplier Institute inc. “Taguchi Methods-Orthogonal Arrays and Linear Graphs”, (1987).
63. Abuelnaga, A.M., El-Dardiry, M.A., “Optimization methods for metal cutting”, *Inter. Jo. of Machine Tool Design and Research*, 24: 1-18 (1984).
64. Oxley, P.L.B., “Modelling machining processes with a view to their optimization and the adaptive control of metal cutting machine tools”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 4: 103-119 (1988).

65. Chryssolouris, G., Guillot, M., "A comparison of statistical and AI approaches to the selection of process parameters in intelligent machining", *ASME Journal of Engineering for Industry*, 112: 122-131 (1990).
66. Yao, Y., Fang, X.D., "Modelling of multivariate time series for tool wear estimation in finish turning", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32: 495-508 (1992).
67. Zhou, C., Wysk, R.A., "An integrated system for selecting optimum cutting speeds and tool replacement times", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 32: 695-707 (1992).
68. Chua, M.S., Rahman, M., Wong, Y.S., Loh, H.T., "Determination of optimal cutting conditions using design of experiments and optimization techniques", *International Journal of Machine Tools and Man.*, 33: 297-305 (1993).
69. Yang, W.H., Tarng, Y.S., "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 122-129 (1998).
70. Shaw, M.C., "Metal Cutting Principles", *Oxford University Press*, New York, (1984).
71. Boothroyd, W., "Fundamentals of Machining and Mach. Tools", *Marcel-Dekker*, New York, (1989).
72. Sandvik Coromant kesici takım el klavuzu (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KÜÇÜK, Yılmaz
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.12.1975-Lübeck/Almanya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (224) 470 21 72
 Faks : 0 (224) 261 58 55
 e-mail : yilmaz_kucuk@yahoo.com.tr

Eğitim Durumu

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı	2002
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1999-(.....)	Ali Osman Sönmez A.T.L. ve E.M.L. Osmangazi/ BURSA	Teknik Öğretmen

Yayınları

1. Küçük, Y., Korkut, İ., “Dik İşleme Merkezi İçin Bilgisayar Destekli Kullanıcı Etkileşimli CNC Parça Programı Tasarımı”, **3. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, (2003)
2. Küçük, Y., Korkut, İ., Şeker, U., “Frezeleme İşlemlerinde CNC Parça Programının Türetilmesi”, Balıkesir Üniv. TİMAK Kongresi, (2006)

3. Küçük, Y., Yıldız, Y., Korkut, İ., Dönertaş, M.Ali, “Dik İşleme Merkezi İçin Bilgisayar Destekli Kullanıcı Etkileşimli CNC Parça Programı Tasarımı”, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Sayı:2, Cilt:11, 199-204, (2005).

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Futbol