

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEĞETSEL TORNALAMA-FREZELEME YÖNTEMİNDE İŞLEME**  
**PARAMETRELERİNİN TEORİK ve DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Çetin ÖZAY**

**Anabilim Dalı: Makine Eğitimi Bölümü**

**Programı : Talaşlı Üretim**

**KASIM-2009**

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEĞETSEL TORNALAMA-FREZELEME YÖNTEMİNDE İŞLEME  
PARAMETRELERİNİN TEORİK ve DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Çetin ÖZAY**

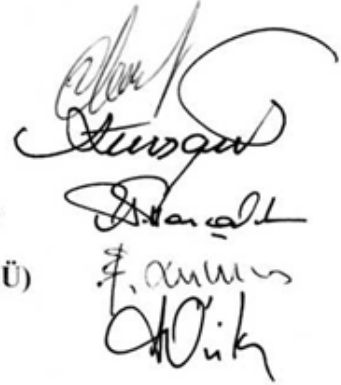
**(Enstitü No: 03219202)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Kasım 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 09 Aralık 2009**

**Tez Danışmanı:**  
**Diğer Jüri Üyeleri:**

**Doç. Dr. Vedat SAVAS (F.Ü)**  
**Prof. Dr. Aydın TURGUT (F.Ü)**  
**Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK (F.Ü)**  
**Yrd. Doç. Dr. Erol KILIÇKAP (D.Ü)**  
**Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK (F.Ü)**



**KASIM – 2009**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Vedat SAVAŞ'a teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü araştırma görevlilerinden Ali Kaya GÜR'e; Yapı Eğitimi Bölümü Öğretim Üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Erdiç ARICI'ya, Makine Eğitimi Bölümü Öğretim Görevlisi Ayla DURMUŞ' ve Ulaş ÇAYDAŞ'a teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca kendilerine zaman ayıramadığım, bana katlanan ve sabreden bütün güzellikleri hak eden aileme; manevi desteğini esirgemeyen hocalarıma, arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim biri tarafından maddi olarak desteklenen 1395 no'lu projemize katkıda bulunan bütün FÜBAP yönetici ve personellerine teşekkür ederim.

Çetin ÖZAY  
ELAZIĞ – 2009

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

|                                                                              |      |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                   | II   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                             | III  |
| ÖZET .....                                                                   | VII  |
| SUMMARY .....                                                                | VIII |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                                       | IX   |
| TABLolar LİSTESİ .....                                                       | XII  |
| 1. GİRİŞ.....                                                                | 1    |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....                                               | 3    |
| 3. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİ.....                                            | 7    |
| 3.1. Geleneksel İmalat Yöntemleri.....                                       | 7    |
| 3.1.1. Vargelleme ve Planyalama.....                                         | 7    |
| 3.1.2. Tornalama.....                                                        | 8    |
| 3.1.3. Frezeleme.....                                                        | 9    |
| 3.1.4. Delme.....                                                            | 9    |
| 3.1.5. Broşlama.....                                                         | 10   |
| 3.1.6. Taşlama.....                                                          | 11   |
| 3.2. Modern İmalat Yöntemler.....                                            | 12   |
| 3.2.1. Mekanik Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri.....            | 13   |
| 3.2.2. Kimyasal Enerji Kullanan Modern İmalat Yöntemleri.....                | 14   |
| 3.2. 3. Elektro Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış İmalat Yöntemleri.....  | 15   |
| 3.2. 4. Isı Enerjisi Kullanan Modern İmalat Yöntemleri.....                  | 16   |
| 3.3. Tornalama-frezeleme Yöntemi ve Çeşitleri.....                           | 18   |
| 3.3. 1. Ortogonal Tornalama-Frezeleme Yöntemi.....                           | 20   |
| 3.3. 2. Paralel Eksenli Tornalama-Frezeleme Yöntemi.....                     | 21   |
| 3.3. 3. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi.....                            | 22   |
| 3.3.4. Tornalama-Frezeleme Yönteminin Gelişimi.....                          | 23   |
| 3.4. Talaş Kaldırma Mekaniği ve Talaş Kaldırmayı Etkileyen<br>Faktörler..... | 25   |
| 3.4.1 Talaş Kaldırmada Kesme Çeşitleri.....                                  | 25   |

|           |                                                        |           |
|-----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.1.1.  | Dik Kesme.....                                         | 26        |
| 3.4.1.2.  | Eğik kesme.....                                        | 27        |
| 3.5.      | Talaş Şekilleri.....                                   | 27        |
| 3.5.1     | Sürekli Talaş.....                                     | 28        |
| 3.5.2     | Dilimli Talaş.....                                     | 29        |
| 3.5.3     | Süreksiz Talaş.....                                    | 29        |
| 3.5.4     | Kesici Takımda Yığıntı Talaş ( BUE-Built Up Edge)..... | 30        |
| 3.6.      | Talaş Kaldırmayı Etkileyen Parametreler.....           | 32        |
| 3.6.1.    | Kesme Hızı.....                                        | 33        |
| 3.6.2.    | İlerleme.....                                          | 33        |
| 3.6.3.    | Talaş Derinliği.....                                   | 34        |
| 3.6.4.    | Kesme Sıvısı.....                                      | 35        |
| 3.6.5.    | Titreşimin Etkisi.....                                 | 36        |
| 3.6.6.    | Takım Malzemesi.....                                   | 37        |
| 3.6.7.    | İş Parça Malzemesi.....                                | 38        |
| 3.7.      | Yüzey Pürüzlülüğü .....                                | 38        |
| 3.7.1     | Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar .....      | 40        |
| 3.7.2     | Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....          | 40        |
| 3.7.3     | Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri.....                | 41        |
| <b>4.</b> | <b>DENEY TASARIMI VE MODELLEME TEKNİKLERİ.....</b>     | <b>43</b> |
| 4.1.      | Taguchi Metodu .....                                   | 45        |
| 4.2.      | Taguchi Metodunun Gelişimi .....                       | 46        |
| 4.3.      | Taguchi Felsefesi .....                                | 46        |
| 4.4.      | Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi .....               | 47        |
| 4.4.1.    | Sistem Tasarımı .....                                  | 49        |
| 4.4.2.    | Parametre Tasarımı .....                               | 49        |
| 4.4.3.    | Tolerans Tasarımı .....                                | 50        |
| 4.4.3.1.  | En Büyük En İyi.....                                   | 50        |
| 4.4.3.2.  | En Küçük En İyi .....                                  | 50        |
| 4.4.3.3.  | Hedef Değer En İyi .....                               | 50        |
| 4.5.      | Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı.....              | 51        |
| 4.5.1.    | Temel Çalışma Biçimi .....                             | 51        |

|            |                                                                                             |           |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.5.2.     | Deney Tasarımı .....                                                                        | 53        |
| 4.5.2.1.   | Statik Sonuçlu Tasarım.....                                                                 | 54        |
| 4.5.2.2.   | Dinamik Sonuçlu Tasarım.....                                                                | 54        |
| 4.5.3.     | Uygulama İşlemleri .....                                                                    | 55        |
| 4.5.3.1.   | Problemin Belirlenmesi .....                                                                | 55        |
| 4.5.3.2.   | Hedeflerin Belirlenmesi .....                                                               | 56        |
| 4.5.3.3.   | Kalite Değişkenleri ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi .....                                  | 56        |
| 4.5.3.4.   | Kalite Değişkenlerini Etkileyen Faktörlerin Seçimi ve Seviyelerinin<br>Tespit Edilmesi..... | 57        |
| 4.5.3.5.   | Etkileşimlerin Belirlenmesi .....                                                           | 57        |
| 4.5.3.6.   | Uygun Ortogonal Dizin Seçimi .....                                                          | 57        |
| 4.5.3.6.1. | Ortogonal Diziler .....                                                                     | 57        |
| 4.5.3.6.2. | Ortogonal dizi seçimi .....                                                                 | 59        |
| 4.5.3.7.   | Kontrol Faktörleri ve Etkileşimlerin Sütunlara Atanması .....                               | 60        |
| 4.5.3.8.   | Deneylerin Yapılması ve Sonuçların Kaydedilmesi.....                                        | 60        |
| 4.5.3.8.1. | Deneylerin Yapılış Sırası .....                                                             | 60        |
| 4.5.3.8.2. | Deneylerin Tekrarlanma Sayısı .....                                                         | 61        |
| 4.5.3.9.   | Veri Analizi ve Kontrol Edilebilen Değişkenlerin En İyi Değerlerinin<br>Belirlenmesi.....   | 61        |
| 4.5.4.     | Varyans Analizi .....                                                                       | 62        |
| 4.5.4.1.   | Kareler Toplamı .....                                                                       | 63        |
| 4.5.4.2.   | Serbestlik Derecesi .....                                                                   | 64        |
| 4.5.4.3.   | Varyans .....                                                                               | 65        |
| 4.5.4.4.   | F Testi .....                                                                               | 66        |
| <b>5.</b>  | <b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>                                                             | <b>67</b> |
| 5.1.       | Çalışmanın Amacı.....                                                                       | 67        |
| 5.2.       | Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneyleri.....                                                 | 67        |
| 5.2.1.     | Deney Düzenekinin Tanıtılması.....                                                          | 68        |
| 5.2.2.     | Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Deney Düzenekine Bağlanması<br>.....                    | 68        |
| 5.2.3.     | Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler.....                                           | 69        |
| 5.2.4.     | Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Kesici Takımlar.....                                      | 71        |

|           |                                                                                                                              |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.5.    | Deneylerde Kullanılan Soğutma Araçları.....                                                                                  | 72         |
| 5.2.6.    | Deneysel Çalışmalarda Kullanılacak İşleme Parametrelerinin<br>Belirlenmesi ve Planlanması.....                               | 72         |
| 5.3.      | Yüzey Pürüzlülüğü ölçümleri.....                                                                                             | 77         |
| <b>6.</b> | <b>DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME.....</b>                                                                                      | <b>78</b>  |
| 6.1       | Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneylerinin Yüzey Pürüzlülüğünün<br>İstatistiksel Analizi .....                                | 78         |
| 6.1.1     | Ç1040 Çelik Malzemesinin Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi<br>ile İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları .....               | 78         |
| 6.1.2     | AISI 304 Paslanmaz Çelik Malzemesinin Teğetsel Tornalama-<br>Frezeleme Yöntemi ile İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları ..... | 83         |
| 6.1.3.    | MS58 Pirinç Malzemesinin Teğetsel Tornalama-Frezeleme ile<br>İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları.....                        | 88         |
| <b>7.</b> | <b>DENEY SONUÇLARININ MATEMATİKSEL<br/>MODELLENMESİ.....</b>                                                                 | <b>93</b>  |
| 7.1       | Teğetsel Tornalama-Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün<br>Matematiksel Modellemesi.....                                 | 93         |
| 7.2       | Teğetsel Tornalama-Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün<br>Matematiksel Modellerinin Varyans Analizi.....                | 98         |
| 7.3       | Teğetsel Tornalama-Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün<br>Matematiksel Modellerinin Artık Analizi.....                  | 100        |
| 7.4.      | Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yönteminde Teorik Olarak<br>Kuvvetlerin Hesaplanması.....                                       | 102        |
| <b>8.</b> | <b>GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER. ....</b>                                                                                      | <b>115</b> |
| 8.1.      | Genel Sonuçlar .....                                                                                                         | 115        |
| 8.2.      | Öneriler .....                                                                                                               | 116        |
|           | <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                                       | <b>117</b> |

## ÖZET

Genellikle endüstrinin birçok alanında, tornalama işlemine tabi tutulan silindirik iş parçaları, yüzey kalitesinin artırılması ve ölçü tamlığına getirilmesi için taşlama işlemlerine tabi tutulmaktadır. Dolayısı ile üretim yavaşlamakta ve maliyet artmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek amacı ile son zamanlarda tornalama-frezeleme yöntemi üzerinde yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Literatürde kullanılan tornalama-frezeleme yöntemlerinden farklı olarak; bu çalışmada, adı teğetsel tornalama-frezeleme olarak belirlenen yeni bir imalat yöntemi geliştirildi.

Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin tornalama ve frezeleme yöntemlerinin bir kombinasyonu olmasından dolayı kesme parametreleri de artmaktadır. Tam faktöryel deney tasarım yöntemi ile teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin kesme parametrelerinin incelenmesi hem çok zaman gerektireceğinden, hem de deneysel çalışmalardaki maliyeti arttıracığından deneysel tasarım yöntemi olarak Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanıldı.

Deneysel çalışmalar endüstrinin birçok alanında kullanılan ve üç farklı talaş şekli veren Ç1040 çelik, AISI 304 paslanmaz çelik ve pirinç (Ms 58 ) malzemeler seçilerek yürütüldü. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda işlenen parçaların yüzey pürüzlülükleri ölçüldü. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü için bir matematiksel model oluşturuldu. Sonuçlar varyans ve artık analiz yöntemleri ile analiz edildi. Kesmenin geometrik modellemesi belirlenerek kesme gücü bulundu.

Sonuç olarak; yeni bir imalat yöntemi olan teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin taşlama kalitesinde bir yüzey verdiği tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Teğetsel tornalama-frezeleme, Taguchi yöntemi, Varyans analizi

## **SUMMARY**

### **Theoretical and Experimental Investigation of the Cutting Parameters in Tangential Turn-Milling**

Cylindrical parts machined by turning are ground to obtain required surface quality and dimensional precision in many fields of industry. These processes increase the cost and slow down the production speed. The studies doing on turn-milling process have accelerated to eliminate the negativeness of these processes recently. A new production method, namely: tangential turn-milling method was developed in this study.

Since the new method is a combination of turning and milling processes, tangential turn-milling process has more cutting parameters. Taguchi method was implemented as the experimental design method since the investigation of cutting parameters of tangential turn-milling method requires both longer time and higher cost.

Three different materials C1040 steel, AISI 304 stainless steel and brass (MS58), giving different chip form, were used in experiments. The surface roughness of these materials was measured after machining. A mathematical model developed for surface roughness depending on the experimental surface roughness. The results were analyzed by variance and residual analysis methods. The cutting force was calculated by the geometrical model of cutting.

As a result; it was concluded that tangential turn-milling method provided a surface having grinding quality.

**Key Words:** Tangential Turn-Milling, Taguchi Method, Variance Analysis.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                   | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Şekil 3.1. Planyalama (a) ve vargelleme (b) Yöntemleri.....                       | 8                      |
| Şekil 3.2. Tornalama ve çeşitleri.....                                            | 8                      |
| Şekil 3.3. Frezeleme yönteminin çeşitleri .....                                   | 9                      |
| Şekil 3.4. Matkap ile delme.....                                                  | 10                     |
| Şekil 3.5. Broşlama .....                                                         | 11                     |
| Şekil 3.6. Taşlama çeşitleri.....                                                 | 11                     |
| Şekil 3.7. Su jeti kesme düzeneğinin şematik gösterimi.....                       | 14                     |
| Şekil 3.8. Kimyasal işleme yönteminin şematik gösterimi.....                      | 15                     |
| Şekil 3.9. Elektro – kimyasal işleme yöntemi.....                                 | 16                     |
| Şekil 3.10. Elektro Erozyon yöntemi.....                                          | 17                     |
| Şekil 3.11. Tornalama yönteminin hareket sistemi.....                             | 19                     |
| Şekil 3.12. Frezeleme yönteminin hareket sistemi.....                             | 19                     |
| Şekil 3.13. Tornalama-frezeleme çeşitleri ve hareket sistemleri.....              | 20                     |
| Şekil 3.14. Ortogonal tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi.....         | 20                     |
| Şekil.3.15. Ortogonal Tornalama-frezelemede simetriklik ve eksantriklik.....      | 21                     |
| Şekil 3.16. Paralel eksenli tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi.....   | 22                     |
| Şekil 3.17. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin sistematik gösterimi.....     | 23                     |
| Şekil 3.18. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi.....          | 23                     |
| Şekil 3.19. Dik kesme modelinin şematik gösterimi.....                            | 26                     |
| Şekil 3.20. Eğik kesme modeli şematik gösterimi.....                              | 27                     |
| Şekil 3.21. Sürekli talaş.....                                                    | 29                     |
| Şekil 3.22. Dilimli talaş.....                                                    | 29                     |
| Şekil 3.23. Süreksiz talaş.....                                                   | 30                     |
| Şekil 3.24. Yığıntılı Talaş ( BUE) .....                                          | 31                     |
| Şekil 3.25. Talaş kaldırılan malzemelerin cinsine göre oluşabilecek talaşlar..... | 32                     |
| Şekil 3.26 Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi ve yüzey profili.....     | 39                     |
| Şekil 4.1. Prosesin genel modeli [67] .....                                       | 43                     |
| Şekil 4.2. Taguchi’nin kalite kontrol sistemi.....                                | 47                     |

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 4.3. Taguchi metodunun sistematığı .....                                                                                                 | 48  |
| Şekil 5.1. Teğetsel tornalama-frezeleme deney düzeneği fotoğrafı.....                                                                          | 68  |
| Şekil 5.2. Deney numunelerinin fotoğrafı.....                                                                                                  | 69  |
| Şekil 5.3. Kesici takım.....                                                                                                                   | 71  |
| Şekil 5.4. Deneylerde kullanılan farklı açılardaki( 20, 30, 40 ) parmak freze<br>çakılarının fotoğrafı.....                                    | 72  |
| Şekil 5.5 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ve ölçüm düzeneği.....                                                                                | 77  |
| Şekil 6.1. Ç1040 malzemesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne<br>etkisi.....                                                       | 80  |
| Şekil 6.2. Ç1040 malzemesinin işlenmesinde İşleme parametrelerinin her bir<br>seviyesine karşılık gelen S/N oranı.....                         | 82  |
| Şekil 6.3. AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinde işleme parametrelerinin yüzey<br>pürüzlülüğüne etkisi.....                                    | 86  |
| Şekil 6.4. AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde İşleme<br>parametrelerinin her bir seviyesine karşılık gelen S/N oranı.....      | 87  |
| Şekil 6.5. MS58 pirinç malzemesinde işleme parametrelerinin yüzey<br>pürüzlülüğüne etkisi.....                                                 | 90  |
| Şekil 6.6. MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde işleme parametrelerinin her bir<br>seviyesine karşılık gelen S/N oranı.....                   | 91  |
| Şekil 7.1. Ç1040 çelik malzemenin işlenmesinde elde edilen ölçülen ve teorik<br>yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....                 | 97  |
| Şekil 7.2. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde elde edilen ölçülen<br>ve teorik yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....    | 97  |
| Şekil 7.3. MS58 pirinç malzemenin işlenmesinde elde edilen ölçülen ve teorik<br>yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması.....                 | 98  |
| Şekil 7.4. Ç1040 malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan<br>matematiksel modele ait artık analizi.....                    | 100 |
| Şekil 7.5. AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde yüzey<br>pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modele ait artık analizi..... | 101 |
| Şekil 7.6. MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için<br>oluşturulan matematiksel modele ait artık analizi.....              | 101 |

|                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 7.7. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde kesici takımın talaş kaldırma bölgesi..... | 103 |
| Şekil 7.8. Teğetsel tornalama- frezeleme işleminden çıkan talaşın katı modeli.....            | 103 |
| Şekil 7.9. Talaş genişliği boyunca talaş derinliği değişimi.....                              | 104 |
| Şekil 7.10. İş parçasında talaş ağırlık merkezinin gösterilmesi.....                          | 104 |
| Şekil 7.11. Ortalama talaş kalınlığının gösterilmesi.....                                     | 107 |
| Şekil 7.12. Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kuvvetler.....                          | 109 |
| Şekil 7.13. Teğetsel tornalama-frezeleme işleminde ortalama kesme kuvveti.....                | 114 |
| Şekil 7.14. Teğetsel tornalama-frezeleme işleminde kesme gücü.....                            | 114 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                                                                   | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Tablo 3.1 Modern talaş kaldırma metotları .....                                                                                                   | 12                     |
| Tablo 4.1 Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar.....                                                                               | 53                     |
| Tablo 4.2 Taguchi'nin Sinyal/Gürültü oranları.....                                                                                                | 54                     |
| Tablo 4.3 $2^k$ ve Taguchi dizaynı deney planları .....                                                                                           | 58                     |
| Tablo 5.1 Ç1040 çelik malzemenin kimyasal analizi .....                                                                                           | 70                     |
| Tablo 5.2 Ç1040 çelik malzemesinin mekanik özellikleri .....                                                                                      | 70                     |
| Tablo 5.3 AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin kimyasal analizi .....                                                                              | 70                     |
| Tablo 5.4 AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin mekanik özellikleri .....                                                                           | 70                     |
| Tablo 5.5 MS58 pirinç malzemenin kimyasal analizi .....                                                                                           | 71                     |
| Tablo 5.6 MS58 pirinç malzemenin mekanik özellikleri .....                                                                                        | 71                     |
| Tablo 5.7 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Parametreler.....                                                                                     | 73                     |
| Tablo 5.8 Ç1040 malzemesinin işlenmesinde kullanılan parametreler ve seviyeleri.....                                                              | 74                     |
| Tablo 5.9 MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde kullanılan parametreler ve<br>seviyeleri.....                                                     | 74                     |
| Tablo 5.10 AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde kullanılan<br>parametreler ve Seviyeleri.....                                       | 75                     |
| Tablo 5.11 $L_{27}$ ortagonal dizini.....                                                                                                         | 76                     |
| Tablo 6.1. Ç1040 malzemesinin işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülükleri.....                                                              | 79                     |
| Tablo 6.2 Ç1040 malzemesinde işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için her bir<br>seviyedeki faktörlerin etkisi ( S/N oranı).....                       | 81                     |
| Tablo 6.3 Ç1040 malzemesinin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin<br>ANOVA analizi.....                                               | 83                     |
| Tablo 6.4. AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesi sonucu elde edilen<br>yüzey pürüzlülükleri.....                                        | 85                     |
| Tablo 6.5 AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinde işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü<br>için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi ( S/N<br>oranı)..... | 86                     |
| Tablo 6.6 AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde elde edilen yüzey<br>pürüzlülüklerinin ANOVA analizi.....                            | 88                     |

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 6.7 MS58 pirinç malzemesinin işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülükleri.....                                                           | 89 |
| Tablo 6.8 MS58 pirinç malzemesinde işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi ( S/N oranı).....                      | 90 |
| Tablo 6.9 MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin ANOVA analizi.....                                              | 92 |
| Tablo7.1 Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile yapılan işlemede yüzey pürüzlülüğü matematiksel modellerine ait regresyon katsayıları.....        | 94 |
| Tablo7.2 Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenen üç farklı malzemenin ölçülen yüzey pürüzlülüğü ve teorik yüzey pürüzlülüğü değerleri..... | 96 |
| Tablo7.3 Ç1040 malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modelin varyans analizi sonuçları.....                     | 99 |
| Tablo7.4 AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modelin varyans analizi sonuçları.....  | 99 |
| Tablo7.5 MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modelin varyans analizi sonuçları.....               | 99 |

## 1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesine bağlı olarak endüstride taleplerin artması, üretim hızının artmasını gerektirmektedir. Bu sebepten dolayı mevcut olan imalat yöntemlerinin iyileştirilmesi ve yeni yöntemlerin ortaya çıkarmasını gerektirmektedir.

Endüstrinin birçok alanında kullanılan silindirik parçaların işlenmesinde genellikle tornalama işlemine tabii tutulan parçalar yüzey kalitesinin artırılması ve ölçü tamlığına getirilmesi için taşlama işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bu da üretimi yavaşlatmakta ve maliyeti arttırmaktadır. Üretimde maliyet, zaman ve yüzey kalitesi önemli faktörlerdir. Geleneksel olan tornalama, taşlama yöntemleri ile silindirik parçaların işlenmesi, maliyet dezavantajlarını ortaya çıkartmaktadır. Bunların giderilmesinde tornalama-frezeleme yönteminin hızlı gelişmesine imkân sağlamıştır. Bu yöntem eksantrik millerin, işlenmesinde tornalama ve frezeleme işlemlerinin yapıldığı kompleks iş parçalarının aynı tezgahta işlenmesini müsaade etmektedir. Elde edilen yüzey kalitesine bakılarak büyük bir ölçüde taşlamaya benzer bir yüzey kalitesi verdiğinden dolayı taşlama işlemleri de yapılmış sayılır.

Talaşlı imalatla, her türlü talaş kaldırma işleminde, istenilen kalitede bir yüzey elde edebilmek için bir çok kesme parametresinin optimum şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Freze tezgâhlarında yapılan imalatın yüzey pürüzlülüğü açısından kalitesi, iş parçası malzemesi ve kesici takımın yapısı ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca işlenecek malzeme ve kesme işleminde kullanılacak takımın cinsi, malzemesi ve geometrisine bağlı olarak kesme hızı, kesme derinlikleri ve ilerleme değerleri farklılık arz eder. Bu değerler arasındaki ilişkiler iyi bilinmez ve büyüklükleri doğru seçilmez ise, işleme sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerine bağlı olarak takım aşınması değerleri de değişme gösterir [1,2,3].

Yüzey pürüzlülüğü, yağlama sürtünme ve aşınma gibi tribolojik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmanın yanında, elektrik ve ısı iletimi, sızdırmazlık, hidrodinamik vb. farklı alanlarda da dikkate alınan önemli bir parametredir. Talaşlı imalatla en kısa zamanda istenilen yüzey pürüzlülüğü değerinin ve toleransının elde edilmesi, işleme zamanından tasarruf ve ürün maliyetinde azalma sağlar. Parçaların üzerinde bulunan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ancak kesme parametrelerinin iyi bir kombinasyonu neticesinde

elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu parametrelerin seçimi ancak tecrübe ve imalat kataloglarına göre yapılmaktadır. Bu yöntemlerle belirlenen kesme parametrelerinin kombinasyonu sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri kabul edilebilir olsa bile; bu pürüzlülük değerlerine daha kısa bir zamanda ulaşabilecek kesme parametreleri kombinasyonlarının bulunma ihtimali vardır. Bahsedilen en kısa zamanda istenilen yüzey pürüzlülüğü değerini veren kesme parametreleri kombinasyonları ancak bir dizi deney sonucunda kesin olarak tespit edilmektedir. Yapılan bu deneyler, harcanan zaman ve malzeme kayıpları açısından az sayıda bir üretim için maliyeti artırırsa da büyük hacimli üretimlerde zamandan sağladığı büyük tasarruf ile maliyeti çok aşağılara çekebilmektedir [4].

Optimum kesme şartlarını tanımlamak için gerçek sonuçlar veren matematiksel modellerin kurulması gerekmektedir. Modellerin verimliliğini uygunluğunu sağlamak için ise deneysel tasarım teknikleri kullanılarak, seçilen bir tezgâh üzerinde iş parçası-kesici takım kombinasyonlarını içeren işlenebilirlik deneylerinin yapılması ve elde edilen verilerin matematiksel olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Matematiksel modelin elde edilmesinden sonra ise modelin test edilmesi ve geçerliliğinin belirlenmesi gereklidir. Deneysel tasarım ve modelleme tekniklerini içeren bir çalışma yapmakla, deneysel çalışma sonucu elde edilen verilerden faydalanılarak optimal parametreler belirlenecek ve maliyetler azalacaktır [5, 6].

Bu çalışmada yeni bir yöntem olan teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda deneysel çalışmaların daha az deney sayısı ve kısa bir süre içinde yapılması için, Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca kesme geometrisi modellenerek teorik kesme kuvvetleri ve kesme gücü hesaplanmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tilgham, 1800 yılların son yarısında tornalama işleminde ısınan kesici takımın ısınısını azaltmak için torna kalemı yerine freze çakısı kullanarak tornalama-frezeleme işleminin temellerini atmıştır[7].

Schulz H. ve diğ, Tornalama ve frezeleme gibi klasik tezgahların birbirine entegre edilmesi ile oluşturulan yeni tezgahta; özellikle bağlama zamanını azaltarak imalat sürelerini kısaltması ve maliyeti düşürdüğünü belirtmişlerdir [8].

Shulz H., motorlarda kullanılan rulman yatak gövdelerini tornalama-frezeleme yöntemi ile işlemişlerdir. Yöntemin tornalama yönteminden daha düşük yüzey pürüzlülüğü değeri verdiğini gözlemlemiştir [9].

M. Pogacnik ve J. Kopac, işleme parametrelerinin tornalama-frezeleme yöntemindeki dinamik dengesizliği üzerindeki etkilerini incelemiş ve tornalama ile arasında kıyas yapmıştır. Yapmış olduğu çalışmada oluşan merkezkaç kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğündeki farklılığı araştırmıştır [10].

J. Kopac ve M. Pogacnik, yapmış oldukları çalışmada tornalama-frezeleme işleminde kesici ve iş parçası konumunun ve ayrıca titreşimin yüzey kalitesinin üzerindeki etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir [11].

S.K. Choudhury J.B. Bajpai, Ortogonal tornalama-frezeleme işleminde farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan incelemeler neticesinde ortogonal tornalama-frezeleme işleminde elde edilen yüzey pürüzlülüğünün klasik frezeleme işleminde elde edilen yüzey pürüzlülüğüne göre daha az olduğunu tespit etmişlerdir[12].

S.K. Choudhury K.S. Mangrulkar, silindirik iş parçaların işlenmesinde farklı iş parçası ve kesici takım kesme hızlarında ayrıca farklı ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerde tornalama ile ortogonal tornalama-frezeleme işlemlerini kıyaslamışlardır. Yapılan çalışmalar neticesinde ortogonal tornalama-frezelemenin tornalama işlemine kıyasla daha iyi bir yüzey kalitesi elde edildiğini tespit etmişlerdir [13].

Vedat savaş ve Çetin Özay, genetik algoritma yöntemini kullanarak teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmış ve optimizasyonunu yapmışlardır. Çalışmalarında kesici takım ve iş

parçası devrinin artırılmasının belirli bir değere kadar yüzey kalitesini arttırdığını o değerden daha da fazla arttırıldığında yüzey kalitesinin düştüğünü ifade etmişlerdir [14].

Vedat savaş ve Çetin Özay geliştirdikleri yeni bir yöntem olan teğetsel tornalama-frezeleme işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan araştırmalar neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin taşlama kalitesine yakın olduğunu tespit etmişlerdir [15].

Yuan-Shin Lee, Chuang-Jang Chiou, yapmış oldukları çalışmada tornalama-frezeleme yöntemi ile eş eksenli olmayan iş parçaları işlemişlerdir. Bu parçaların işlenmesinde uygun kesme şartlarını araştırmışlardır. Eş eksenli olamayan iş parçalarının işlenmesinde tornalama-frezeleme yönteminin tornalamaya göre daha üstün olduğunu belirtmişlerdir[16].

Susana K. Lia-Yuen ve Yuan- Shin Lee, eş eksenli olmayan iş parçalarının tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesindeki takım yolunu ve maliyetini hesaplamaya çalışmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda bu iş parçaların tornalama-frezeleme tezgâhı ile işlenmesinin klasik frezeleme ve tornalamaya göre daha ekonomik olduğunu belirlemişlerdir [17].

Sabahudin Ekinovic , Edin Begovic ve Amira Silajdzija, yapmış oldukları çalışmada tornalama-frezeleme ve kaba tornalama yöntemlerinde bahsetmişlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda tornalama-frezeleme yönteminin tornalama nazaran daha etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir [18].

Zhu ve arkadaşları, tornalama-frezeleme tezgahını tasarlamak için 3 boyutlu bir simülasyon programı geliştirmişlerdir. Bu program ile tornalama-frezeleme yönteminin model ve hareket sistemini görüntülenmesini sağlamışlardır [19].

Zhu ve arkadaşları, tornalama-frezeleme sisteminin mekanik dizaynı ve motor parametrelerinin seçilmesindeki problemlerin çözülmesi için sanal prototip teknolojisi ile işleme sisteminin kinematik ve dinamik simülasyonunu yapmışlardır. Bu program ile prototip üretmeden önce motor uygunluğu ve kontrol ve mekanik sistemin uygunluğu kontrol edilerek üretim zamanı ve maliyeti azaltmayı amaçlamışlardır [20].

Zhu ve arkadaşları, tornalama-frezeleme yöntemi için NC işleme tekniğı ve sanal imalat teknolojisi ile sistemin işlemlerini ele almışlardır. Tornalama ve frezelemenin matematiksel fonksiyonlarını kullanarak tornalama-frezeleme sisteminin işleme sistemini düzenlemişlerdir. Pratik uygulamalara referans ve teorik esasları belirlemeyi sağladığını belirtmişlerdir [21].

Zhu ve arkadaşları, VR sanal tornalama-frezeleme yöntemi ile üç boyutlu uygulama çalışmaları bu program vasıtası ile yaparak işleme gerçekleştirilmeden sonuçlarını görme imkânı verdiğini belirtmişlerdir [22].

E. Altan, M Kiyak, O. Çakır, M. Ayan, yapmış oldukları çalışmada tornalama-frezeleme konusunda gerçekleştirilen çalışmaları literatür olarak araştırmış alışılmış imalat yöntemlerinden üstünlüklerini dile getirmiştir [23].

Kiyak M. ve diğ., Fe37 kalitesindeki çelik malzemeyi ortagonal tornalama-frezeleme yöntemi ile işlemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ortagonal tornalama-frezeleme işleminin klasik frezeleme ve tornalama işlemine göre daha iyi bir yüzey kalitesi verdiğini tespit etmişler [24].

J. Paul Dawim, Taguchi deney tasarımı yöntemini kullanarak tornalama işleminde kesme parametrelerinin elde edilen yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır [25].

Yang ve Tarng, yapmış oldukları çalışmada Taguchi yöntemini kullanarak tornalama işleminde kesme parametrelerin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçları S/N oranı ve varyans analizine göre değerlendirmişlerdir [26].

Tsann-Rong Lin, TiN kaplı freze çakısı kullanarak paslanmaz çelik malzemesinde yüzey frezeleme yapmıştır. Deneylerin yapılmasında Taguchi deneysel tasarım yöntemini kullanmıştır. Talaş kaldırma oranını incelemişlerdir. S/N oranı ve Varyans Analizini kullanarak sonuçları analiz etmişlerdir [27].

U. A. Dabade, S.S. Joshi, N, Ramakrishnan, yapmış oldukları çalışmada Taguchi yöntemini kullanarak kendi kendine dönen freze çakısı ile kesme işlemi yapmışlardır. Sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında S/N oranı ANOVA varyans analizinden yararlanmışlardır [28].

J. A. Ghani, I.A. Choudhury, H.H. Hassan, Taguchi deneysel tasarım yöntemini kullanarak parmak frezeleme işleminde kullanılan parametrelerin optimizasyonunu ortagonal dizin kullanarak yapmıştır. Elde edilen sonuçların analizlerini S/N oranı ve varyans analizi ile yapmışlardır [29].

Puneet Sharma, Amitabh Verma, R.K. Sidhu, O. P. Pandey, Sinterlemiş Stronsiyum ferrit mıknatıslarının işleminde L9 ortagonal dizin ile Taguchi deneysel dizayn metodundan yararlanmışlardır. Sonuçların analiz edilmesinde S/N oranı ve Anova' dan yararlanmışlardır[30].

Zhang, Chen, E. Daniel Kirby, Taguchi yöntemini kullanarak parmak frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü incelemiştir. Deney tasarımı L9 ortagonal dizin kullanmıştır. Sonuçların analizini Anova ile yapmışlar [31].

Cevdet Goloğlu, Nazim Sakarya, Taguchi yöntemini kullanarak 1.2738 çeliğinde cep frezeleme işleminde kesme yolunun yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Deney sonuçlarını varyans analizi ile analiz etmişlerdir[32].

Yang ve Tarng, Taguchi yöntemini kullanarak tornalama işlemleri için kesme parametrelerinin optimizasyonunu elde etmeye çalışmışlardır. Bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne ve takım ömrüne etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçları performans istatistiği olarak S/N oranını kullanarak değerlendirmişlerdir. Deneylerden elde edilen sonuçları varyans analizi kullanarak analiz etmişlerdir [33].

Motorcu ve Şahin, Taguchi yöntemini kullanarak sertleştirilmiş AISI 1040 çeliğinin seramik kesici takım ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme koşullarını araştırmışlardır [34].

Nazim Sakarya, yüksek lisan tezinde Taguchi yöntemini kullanarak DIN 1,2738 kalıp çeliğinin farklı takım yolları kullanarak cep işleme yapmıştır. Bu işleme sonucunda takım yollarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini S/N oranı ve ANOVA analiz yöntemi ile analiz etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranlarını belirlemişlerdir[35].

Yapılan literatür araştırmasında tornalama-frezeleme yöntemleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu görüldü. Yapılan çalışmalarda genellikle ortagonal ve paralel tornalama-frezeleme işlemlerinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkileri araştırıldığı ve tornalama yöntemleri ile kıyaslandığı görüldü. Yapılan literatür araştırmasında teğetsel tornalama-frezeleme ile ilgili yeteri kadar çalışma olmadığı tespit edildi. Bu çalışmada farklı malzemelerin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkileri araştırılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır.

### **3. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİ**

Talaş kaldırma, önceden geometrisi, ölçüleri ve yüzey kalitesi belli olan parçaların kesici takım kullanılarak fiziksel temas ile veya belli enerjileri ( mekanik, ısı veya kimyasal ) kullanılarak parça üzerinden malzeme kaldırması ve şekillendirmesi olarak tanımlanabilir. Bu yöntemler temas durumlarına, kesme şekillerine ve kullanım alanlarına göre belli sınıflara ayrılmaktadır. Geleneksel imalat yöntemleri ve modern imalat yöntemleri olarak iki gruba ayrılır.

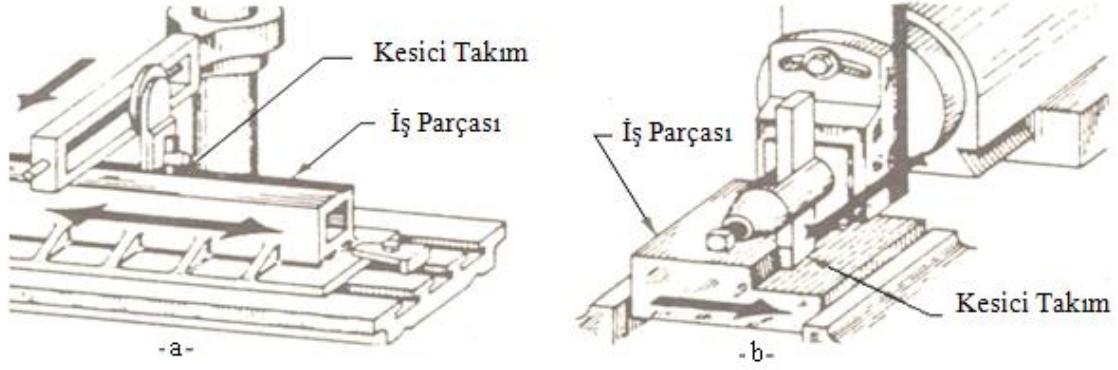
#### **3.1. Geleneksel İmalat Yöntemleri**

Geleneksel yöntemler kesici uç, matkap ucu veya taşlama taşı gibi takımlar kullanarak ve malzemenin takım ile fiziksel teması sonucu talaş kaldıran yöntemlerdir. Bu yöntemler için takım ile iş parçası arasında sürekli temas ve göreceli hareket gerekmektedir [36].

##### **3.1.1. Vargelleme ve Planyalama**

Metal malzemelerin düz, eğrisel ve eğimli yüzeylerin tek ağızlı bir takım ile işlenmesinde vargelleme ve planyalama talaş kaldırma yöntemleri kullanılmaktadır. Her iki işlemde de dairesel hareket doğrusal bir harekete çevrilir. Vargelleme de takım gidip gelme hareketine sahip ve kesme hareketi kesici yüzeyin temas halinde olduğu ileri gidiş doğrultusunda gerçekleşirken, geri gelme esnasında takımın iş parçasına zarar vermemesi için serbest kalır. İş parçası tabla ilerleme hareketi ile yatay veya dikey yönde ilerleyerek hareket ettiği zaman daha sonraki ilerleme ile kesme hareketi gerçekleşir. Planyalama da vargellemeye benzer bir işlemdir. Fakat planyalama işleminde takım sabit ve kesme hareketi iş parçasının hareketi ile elde edilir. Bu işlemde kesme hızlarının oldukça düşük olması fakat yüksek ilerleme hızı kullanılarak daha fazla miktarda talaş kaldırma miktarı sağlanabilmektedir. Aralıklı kesme hareketi her kesme uzunluğu mesafesinde kesici ucun aşırı darbe yüklemesini gerektirir ve kesme uzunluğu genellikle planyalama işleminde vargellemeden daha uzundur. Gidip-gelme aralıkları arasında kesme süreleri frezelemeden daha uzundur; fakat çoğu tornalama işleminden daha kısadır. Bu işleme metodu düz, eğik, kademeli, profilli, kırlangıçkuyruğu gibi çeşitli profillere sahip parçalar ve kanalların

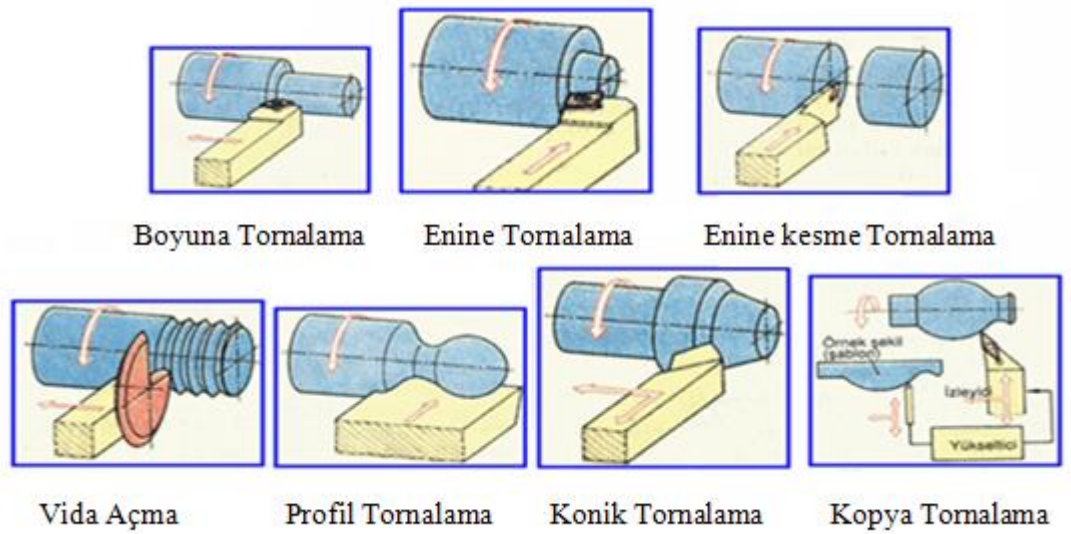
işlemesinde tercih edilir. Düşey işlem ile de kama kanalları ve iç dişliler yapılabilir. Vargelleme ve planyalama işlemlerinin hareket sistematığı Şekil 3,1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Planyalama(a) ve vargelleme (b) Yöntemleri

### 3.1.2. Tornalama

Tornalama işlemi, talaşlı imalat ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarda en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemidir. Etkin bir talaşlı imalat işlemi olan tornalama işlemi dairesel iş parçalarının işlenmesinde kullanılır. İşlenecek olan iş parçası genelde bir aynaya bağlanarak döndürülür. Bir takım tutucu üzerine rijit olarak bağlanmış kesici takım dönen iş parçası eksenine paralel veya açılı ilerletilerek ve iş parçasından bir katman kaldırılarak, dairesel veya daha karmaşık profilli yüzeyler oluşturulur. Şekil 3.2’de tornalama çeşitleri ve tornalama işleminin şematik şekli gösterilmektedir[37 ].



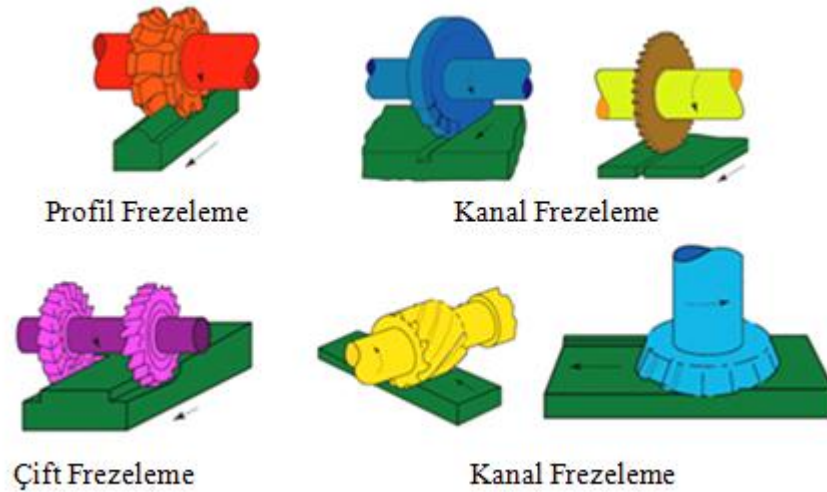
Şekil 3.2. Tornalama ve çeşitleri

### 3.1.3. Frezeleme

Endüstride talaşlı imalatın yapılabilmesi için çeşitli takım tezgâhları ve kesici takımlar kullanılmaktadır. Talaş kaldırma yöntemlerinden frezeleme işlemi, talaşlı imalatta geniş uygulama alanına sahiptir.

Frezeleme, tabla adı verilen bağlayıcıya tespit edilen belirli bir ilerleme hareketi ile ilerleyen iş parçası üzerinden dönen ve çevresinde birçok kesici takım aracılığı ile talaş kaldırma yöntemidir. Şekil 3,3'te frezeleme yönteminin çeşitleri ve hareket sistemleri görülmektedir.

Frezeleme işleminde farklı geometrideki iş parçalarının talaşlı işlenebilmesi, freze tezgâhının X, Y, Z eksenlerinde hareket edebilme kabiliyetine bağlıdır. Bu işleme tekniğinde, çok eksenli takım tezgâhlarının kullanımının mevcut olması, farklı geometrilerdeki iş parçalarının talaşlı işlenmesini mümkün kılmaktadır.

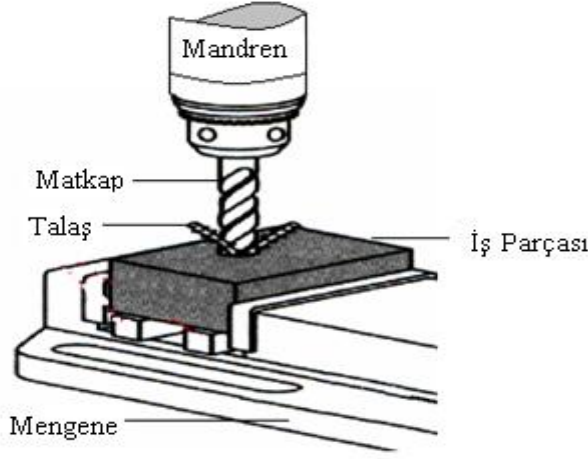


Şekil 3.3. Frezeleme yönteminin çeşitleri

### 3.1.4. Delme

Delme işlemi, kendi eksenini etrafında dönen ve eksenini doğrultusunda ilerleyen bir kesici takım yardımı ile iş parçası üzerinden talaş kaldırma yöntemidir. Delme işlemi torna tezgâhında veya matkap tezgâhında yapılabilir.

Delme işlemi; delik genişletme, vida açma, raybalama ve broslama gibi talaş kaldırma veya şekillendirme yöntemlerinin bir ön işlemidir. Şekil 3,4.'de matkapla delik delme işlemi gösterilmektedir.

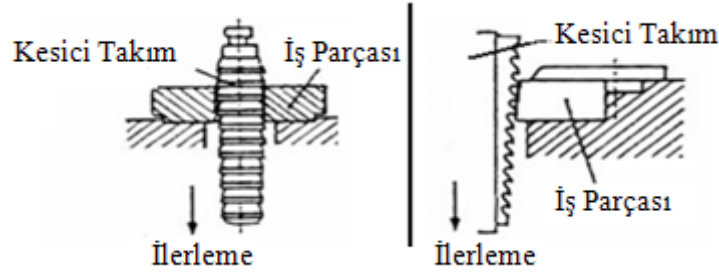


Şekil 3.4. Matkap ile delme

### 3.1.5. Broslama

Çok sayıda enine kesici uçlara sahip bir takım ile yüzey üzerine veya delik içerisine itme ve çekme ile yapılan ince talaş kaldırma işlemidir. Özellikle özdeş parçaların işlenmesinde kullanılır. Broslama hareketinde biri birini takip eden her kesici diş bir miktar malzeme kaldırır. Her diş bir öncekinden 0.07 mm daha büyüktür. Son üç diş genellikle aynı derinliğe sahip olup bunlar bitirme yüzeyine sahip olup bunlar bitirme yüzeyine gerekli son şekli verirler. Bu işlemle üretilen şekiller düz yüzeyli fakat çok sık olarak dişliler veya türbin disklerinin diplerindeki çıkıntılar gibi yivli parçalar veya değişik şeklindeki delikler olabilir. Başlangıç deliği matkapla delinebilir veya dökümle elde edilmiş delikler olabilir ve bitirme deliği yuvarlak, kare, dikdörtgen ve düzensiz şekilli bir geometri olabilir. Ancak bu işlemde uygulanan kesme hızları ve ilerleme miktarları düşük olup kâfi derecede yağlamanın yapılması gereklidir.

Diğer benzer pek çok işlemde mevcut olanlardan bazıları testere, vidalama, raybalama gösterilebilir. Her bir işlemin diğerlerine göre farklılıkları ve zorlukları mevcuttur. Bu aşamada bahsedilmesi gereken bir diğer değişken de kesici ucun ortam şartıdır. Kesme işlemi çoğu zaman kuru şartlarda yapılır. Birçok işlemde iş parçası veya takımın ısınmasını önlediği ve yağlama görevi yerine getirdiği için soğutma sıvısının kullanılması gereklidir. Genellikle soğutma sıvısı olarak mineral yağ veya su esaslı sıvılar kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te broslama işlemi görülmektedir.

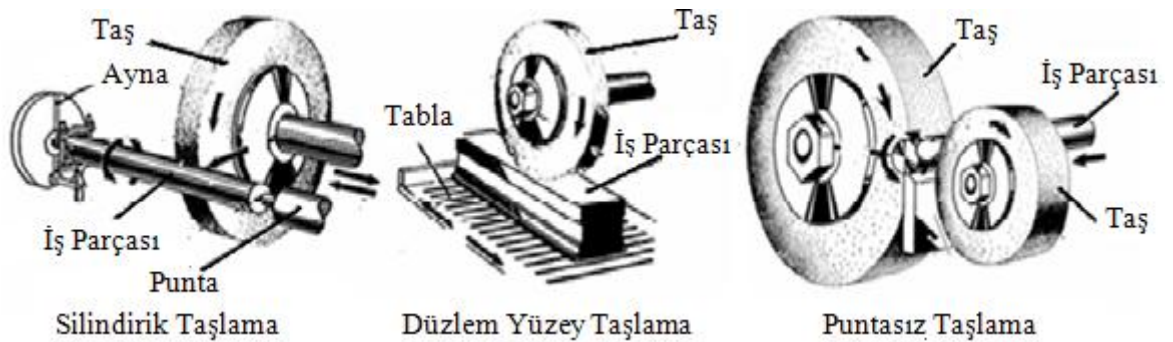


Şekil 3.5. Broşlama

### 3.1.6. Taşlama

Aşındırıcı özelliğe sahip taneler ve bunları birbirine bağlayan malzemeden yapılmış zımpara taşı denilen takımın dönme hareketi ile hem dönme hem de ilerleme hareketi yapan iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemidir. Sath, silindirik ve puntasız taşlama olmak üzere üçe ayrılır. Taşlama işlemleri genellikle ile işlenmiş yüzeylerin yüzey kalitesini artırmak ve iş parçalarını ölçüsüne getirmek için yapılan bitirme işlemleridir. Taşlama işlemi sonucunda 0,01 mm ile 0,002 mm arasında ölçü tamlığı ve 6,3  $\mu$ m ile 0,05  $\mu$ m ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra) elde etmek mümkündür [38].

Taşlamacılık, iş parçası yüzeylerinde yüksek ölçü tamlığı ve iyi bir yüzey pürüzlülüğü kalitesi sağlaması yönünden endüstride büyük önem taşır. Hassas makine parçalarının üretimi, öncelikle çeşitli takım tezgâhlarında işlenerek belirli bir ölçüye getirilir; sonra tamamlama işlemi olarak, taşlama işlemi yapılarak gerçekleştirilir Şekil 3,6'da taşlama yönteminin çeşitleri ve hareket sistemi gösterilmiştir [39].

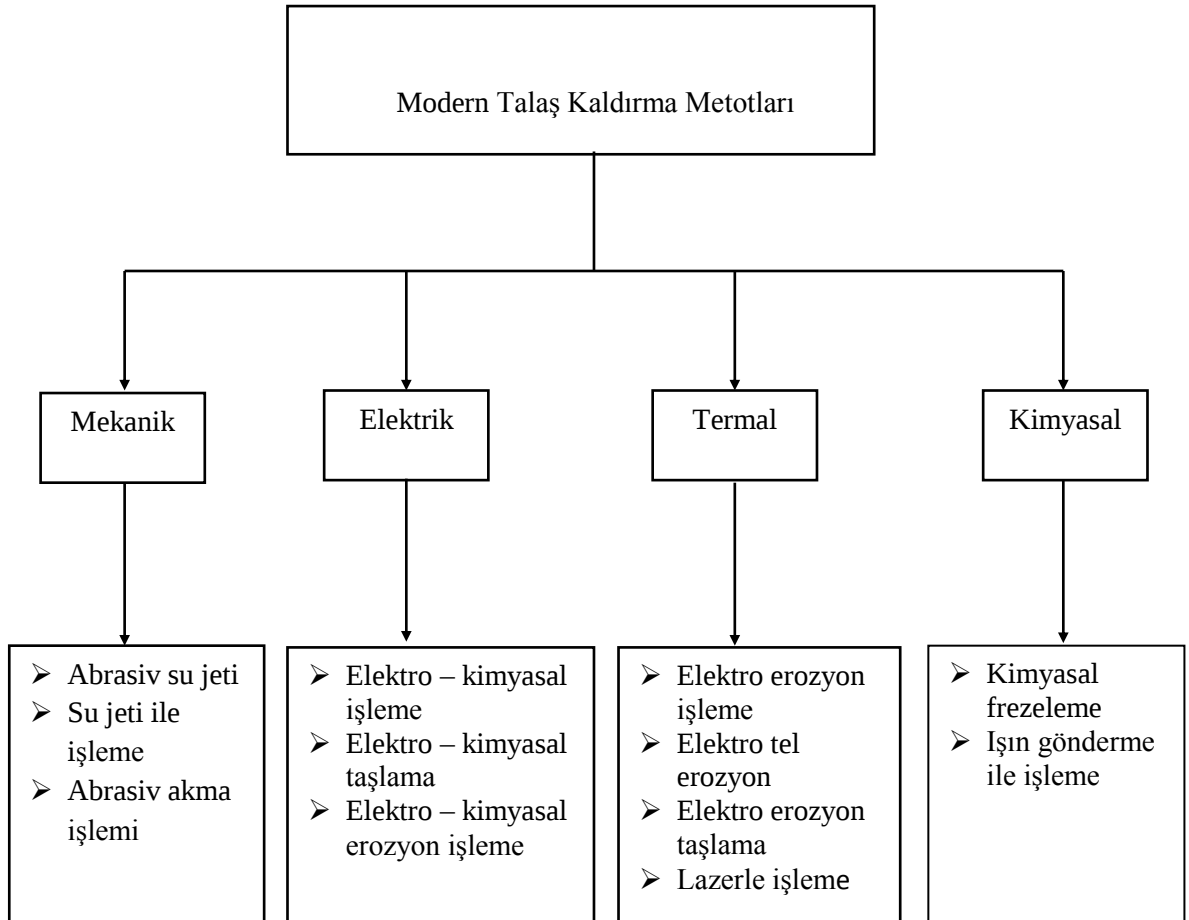


Şekil 3.6. Taşlama çeşitleri

### 3.2. Modern İmalat Yöntemleri

Modern imalat yöntemleri özellikle ikinci dünya savaşından sonra gelişmiş ve çağdaş teknolojide yaygın uygulama alanı bulmuş yöntemlerdir. Bu yöntemler geleneksel yöntemlerden farklı olarak temas ve göreceli hareket yerine mekanik kuvvet uygulanmadan çeşitli enerji türlerini kullanarak malzeme işleyen, aşındıran veya şekillendiren yöntemlerdir. Genellikle kullanılan düşük yoğunluklu enerjiyi dar bir alanda odaklayarak ve denetleyerek işleme olayını gerçekleştirmek için uygun bir takım veya odaklayıcı düzen kullanılır. Bu yöntemin yeni bir yöntem olarak kabul görmesi için işleme tekniklerden farklı olması ve endüstride veya laboratuvarlarda kullanılması gerekir. Son yıllarda özel amaçlar için 70- 80 dolaylarında alışılmamış imalat yöntemi ortaya çıkmıştır. Bunların hepsinden söz etmek yerine kullandıkları enerji türlerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi gruplandırılabilir.

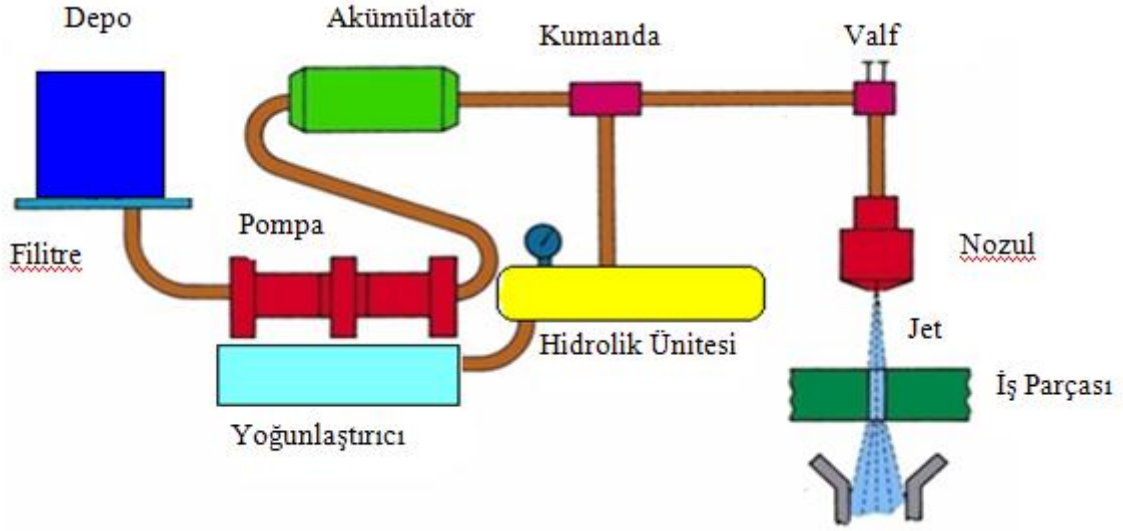
**Tablo 3.1.** Modern Talaş Kaldırma Metotları



### 3.2. 1. Mekanik Enerji Kullanan Modern İmalat Yöntemleri

İş parçası üzerinden talaş kaldırmak için mekanik enerji kullanan yöntemlerdir. Çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile gerilme yaratması ve bu gerilmelerin malzeme işleme amacı ile kullanılması ilkesine dayanır. Ortak işleme ortamı su veya havadır. Tüm mekanik enerjili yöntemler malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız olarak işleme olanağı sağlar. Bu özellik, mekanik enerjili yöntemlerinin, elektriksel işleme yöntemlerine göre önemli bir üstünlüğüdür. Mekanik enerjili yöntemlerin içinde en geniş endüstriyel uygulama alanı bulmuş yöntemler USM (UAM), AWJM, WJM, AJM yöntemleridir. Bunlardan birkaç tanesi hakkında aşağıda kısaca bilgi verilmiştir.

Su jeti ile kesme işlemi, hidrodinamik işleme metodu olarak da adlandırılan bu işleme, kesici takım olarak yüksek basınçlı suyun bir lüleden geçirilerek yüksek hızlara çıkartılması ile oluşturulan suyun kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile kesme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem esnasında kesilecek parça üzerine su hüzmelerinin hızı 600 – 800 m/s hızla 0.1 – 0.2 mm'lik bir noktaya püskürtülmesi ile hamlaç alevi gibi kesme etkisi yaparak talaş kaldırma işlemi yapılır. Bu işlemde jet sıvısı olarak sadece suyun kullanılması halinde yalnızca metalik olmayan malzemelerin pürüzsüz şekilde kesilmesi ile sınırlı olup bunlara örnek ise tekstil malzemeleri olarak yün ve kumaş yanında paketleme malzemesi olarak da karton, elektronik sanayinde de baskı devreleri gibi malzemeler gösterilebilir. Ancak su buharı içine sert aşındırıcı (abrasiv) parçacıklar enjekte edildiği zaman daha sert ve daha tok malzemelerin kesilmesi gerçekleştirilir. Abrasiv su jeti ile işleme metodu ile metaller, seramikler, camlar ve mermerlerin işlenmesi mümkün olmaktadır. Şekil 3,7'de su jeti düzeneği şematik olarak görülmektedir.



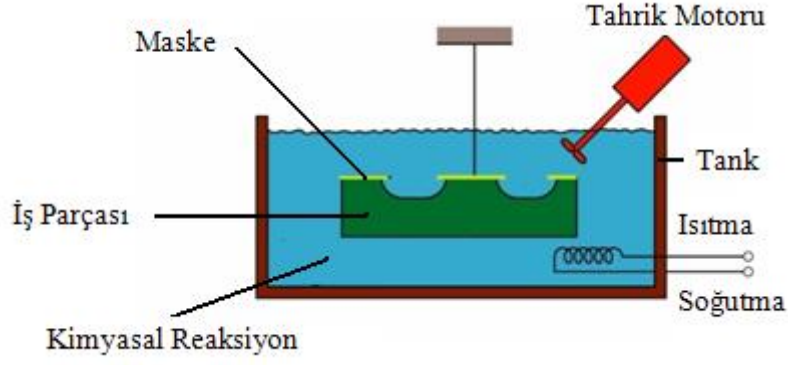
Şekil 3.7. Su jeti kesme düzeneğinin şematik gösterimi

### 3.2. 2. Kimyasal Enerji Kullanan Modern İmalat Yöntemleri

Kimyasal enerji kullanan modern imalat yöntemlerinin ortak özelliği, kontrollü kimyasal aşınma ile hassas şekilde malzeme işlenebilmesidir. Genellikle, aşınması istenmeyen yüzeyler uygun bir koruyucu madde (maske) ile kaplanır. Açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür veya iş parçası bu sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarı ve/veya derinliğini belirler. İşleme hızı genellikle sıvı özelliklerine bağlı olmakla birlikte sıvı yoğunluğu tipik olarak 0.025 mm/dak doğrusal işleme hızları verecek şekilde ayarlanır. Bu grup imalat yöntemlerine giren başlıca 4 işleme yöntemi vardır:

- Kimyasal İşleme
- Fotokimyasal İşleme
- Kimyasal Parlatma
- Isıl Kimyasal İşleme

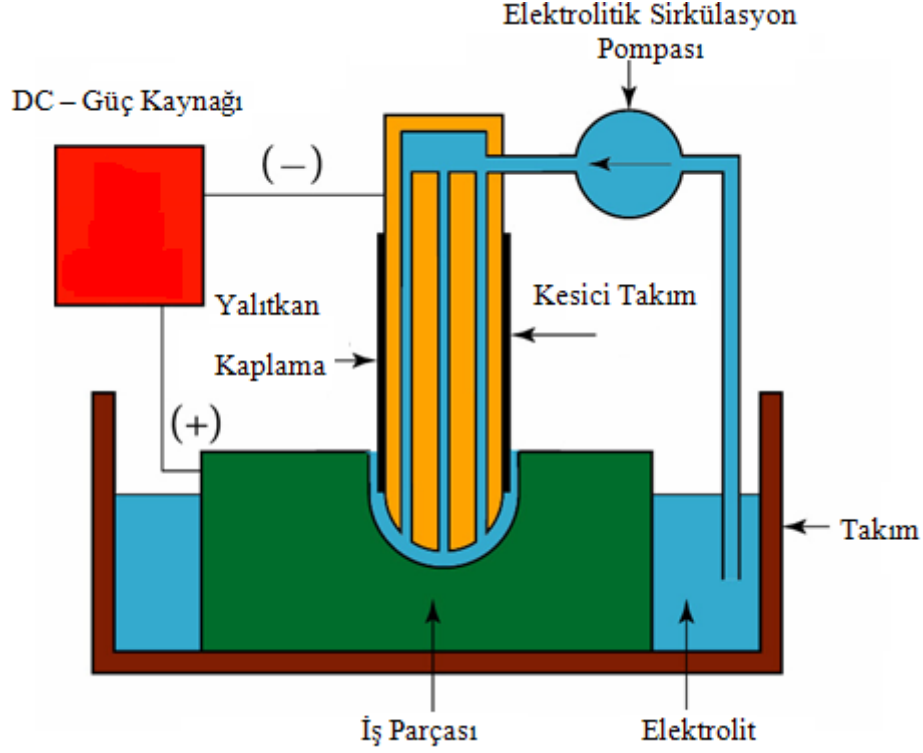
Şekil 3.8 'de kimyasal işleme yönteminin şematik gösterimi gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kimyasal işleme yönteminin şematik gösterimi

### 3.2. 3. Elektro Kimyasal Enerji Kullanan Modern İmalat Yöntemleri

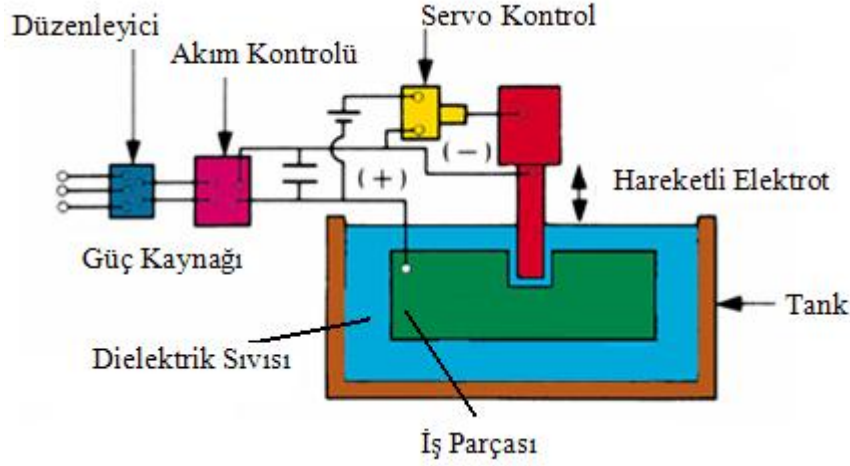
Bu yöntemler elektrolitik bir sıvı içinde bulunan iki iletken elektrodun farklı elektromanyetik alan özelliklerine göre aşındırılması ilkesine dayanır. Bu yöntemde takım(katot) ve iş parçası (anot), elektrolit batarya elemanı içinde anodun ergimesi ile metalden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. İş parçasını eritmek için doğru akım düşük voltajda batarya elemanı içine gönderilirken iş parçası ve takım arasındaki kesme aralığına elektrolitik sıvı pompalanır. Bu yöntem ile geleneksel işleme metotları ile işlenmesinde zaman kaybı olan, üretimi imkânsız sertleştirilmiş çelikler veya ısıya dirençli alaşımlı malzemeler işlenir. Şekil 3.9 'da elektro-kimyasal işleme yönteminin şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.9. Elektro – kimyasal işleme yöntemi

### 3.2. 4. Isı Enerjisi Kullanan Modern İmalat Yöntemleri

İş parçasından malzeme kaldırmak için yoğunlaştırılmış ısı enerjisi kullanan yöntemlerdir. Isıl enerji kaynağı olarak elektrik boşalımı, elektron ışını ve lazer ışını gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Bütün yöntemlerde malzeme yüzeyinde oluşan odak noktasında ulaşılan sıcaklıklar, bilinen bütün malzemelerin erime ve buharlaşma sıcaklıklarının çok üzerindedir. Bu nedenle ısı enerjisi kullanan yöntemlerle bilinen bütün malzemeleri işlemek mümkündür. Bu gruba giren yöntemler, işleme mekanizması bakımından diğer gruplara göre daha fazla çeşitlilik gösterirler. Grup içinde özellikle Elektro-Erozyon (EDM) ve Lazer ile İşleme (LBM) çağdaş teknolojiye çok önemli bir yer almıştır. Aşağıdaki şekilde bu yöntemlerden biri olan Elektro-Erozyon (EDM) yönteminin işleme şekli gösterilmektedir. Şekil 3.10 'da EDM yönteminin şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.10. Elektro Erozyon yöntemi

Talaş kaldırma yöntemlerine yukarıda kısaca bahsedildikten sonra bu yöntemlerin özellikleri ve birebirlerine göre avantaj ve dezavantajları aşağıda değerlendirilmiştir.

Geleneksel imalat yöntemlerinin özellikleri ve sınırlılıkları:

- Geleneksel imalat yöntemlerinde kesici takım kullanılarak iş parçası ile kesici takım arasındaki izafi hareketlerin sonucunda talaş kaldırılır.
- Talaş kaldırma olayı mekanik kuvvetlerin etkisi ile malzeme üzerinde plastik deformasyon ve kayma gerilmesi oluşması ile meydana gelir.
- İşlenen malzemenin mekanik özelliklerine bağlı olarak maliyeti yüksek kesici takımlar kullanılabilir.
- Takım ile parçanın birbirine göre hareketleri doğrusal ya da dairesel olacak şekilde sınırlanabilir.
- Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak bilgisayar destekli tezgâhlar imal edilerek seri imalata geçilerek kullanım alanları artmıştır.
- Kesici takımın özellikleri işlenecek malzemeye nazaran daha sert ve ısıya karşı daha dayanıklı olmalıdır.
- Talaş kaldırma işlemi sırasında kesme koşullarından veya tezgâhtan kaynaklanan nedenlerden dolayı titreşim oluşabilmektedir.
- Takım aşınması büyük sınırlılıklarından biridir.
- Oluşan talaşlar çalışan kişiye ve yüzeye zarar verebilir.
- Küçük boyuttaki talaş kaldırma işlemleri yapılamayabilir.
- İşleme hassasiyeti mekanik zorlamaya bağlı olarak düşebilir.

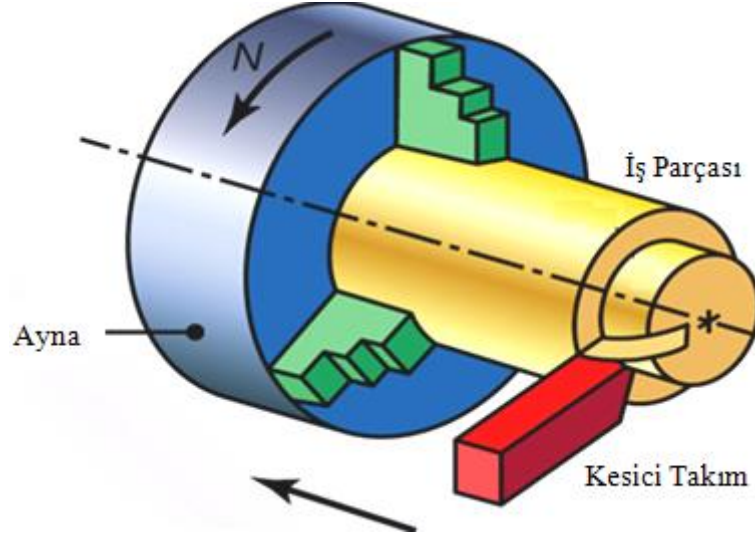
Modern imalat yöntemlerinin özellikleri ve sınırlılıkları:

- Modern imalat yöntemlerinde talaş kaldırma olayında kesici takım yerine mekanik, kimyasal veya ısı enerjisi gibi enerjiler kullanılmaktadır.
- Talaş kaldırma işleminde geleneksel yöntemlerde olduğu gibi kesicinin mekanik özelliklerinin işlenen malzemeye göre daha sert olması gerekmez. Burada talaş kaldırma işlemini yapan ya bir elektron demeti ya bir kimyasal çözücü ya da basınçlı bir akışkandır.
- Çok küçük boyuttaki iş parçaları kolayca işlenebilmektedir.
- Farklı şekil ve boyuttaki işlemler işlenebilmektedir.
- Bazı yöntemlerde aşındırıcı parçacıklar hızlandırılarak bunlara kinetik enerji kazandırılarak gerilme yırtılması ile malzeme işlenebilmektedir.
- Geleneksel imalat yöntemleri ile işlenmesi güç malzemeler modern imalat yöntemleri ile rahatlıkla işlene bilmektedir.
- İşleme hassasiyeti çok yüksektir.
- Sistemin kurulum maliyeti yüksek olabilir.
- Yapılan işleme bağlı olarak farklı enerji ve kesme elektrotları kullanılmalıdır.

### 3.3. Tornalama-frezeleme Yöntemi ve Çeşitleri

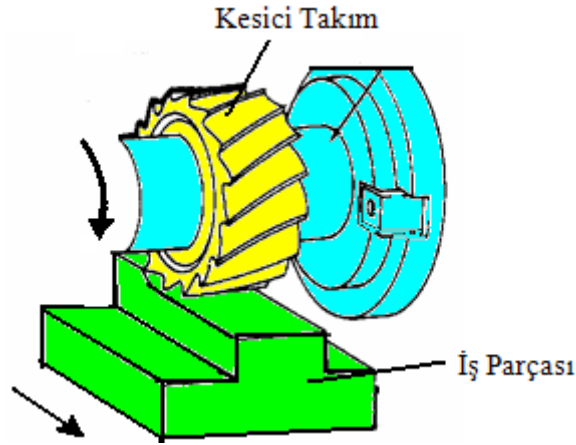
Tornalama –frezeleme yöntemi, simetrik ve eksantrik iş parçalarının işlenmesinde kullanılan hem iş parçasının hem de kesici takımın döndüğü tornalama ve frezeleme işleme yöntemlerinin birleşimi gibi düşünülebilen bir imalat yöntemidir. Bu yöntem talaş kaldırma mekanizması olarak geleneksel imalat yöntemleri grubunda görülmesine rağmen yapılan işlemlere ve gelişme sürecine bakıldığında modern imalat yöntemleri grubunda düşünülebilir. Bu yöntemin iyi anlaşılabilmesi için öncelikle tornalama ve frezeleme işlemlerinin tanımının ve hareket sistemlerinin iyi bir şekilde kavranması gerekmektedir.

Tornalama, dönen iş parçası üzerinden sabit konumda bağlanan takımın ilerleme hareketi ile talaş kaldırma yöntemidir. Şekil 3.11’de tornalama yönteminin hareket sistemi görülmektedir.



Şekil 3.11. Tornalama yönteminin hareket sistemi

Frezeleme, dönen ve çevresinde birçok kesici ağız bulunan bir takım aracılığı ile tabla adı verilen bağlayıcıya tespit edilen belirli bir ilerleme hareketi ile ilerleyen iş parçası üzerinden talaş kaldırma yöntemidir. Şekil 3.12 'de frezeleme yönteminin hareket sistemi görülmektedir.



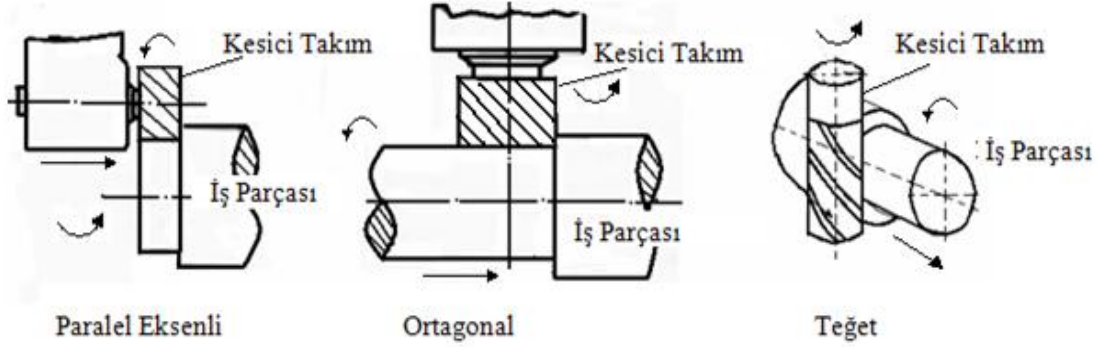
Şekil 3.12. Frezeleme yönteminin hareket sistemi

Tornalama- frezeleme, kendi eksenini etrafında dönen bir iş parçası üzerinden; etrafında birden fazla kesici ağız bulunan ve kendi eksenini etrafında dönen bir kesici takım vasıtası ile talaş kaldırma işlemi yapan bir yöntemdir.

Tornalama ve frezeleme yöntemlerinde sınırlı işlemler yapılırken; tornalama-frezeleme yöntemi ile tornalama ve frezeleme ayrıca delme gibi birçok işlem aynı tezgâh

üzerinde yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra işlem kalitesi göz önüne alındığında taşlama yöntemini aratmayacak şekilde bir yüzey kalitesi ortaya çıkmaktadır.

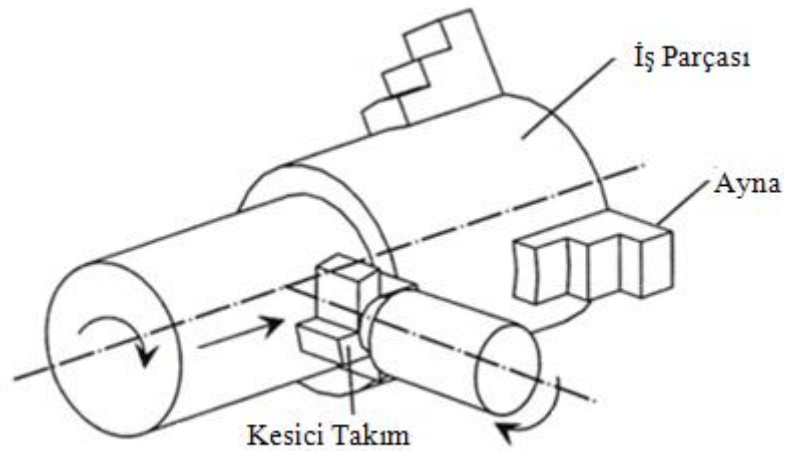
Tornalama-frezeleme yöntemi kesici takım ile iş parçasının dönme eksenlerine ve temas durumuna bağlı olarak üç farklı tip olarak incelenebilir. Bu yöntemlerin sistematik hareket ve temas durumları Şekil 3.13’de gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Tornalama-frezeleme çeşitleri ve hareket sistemleri

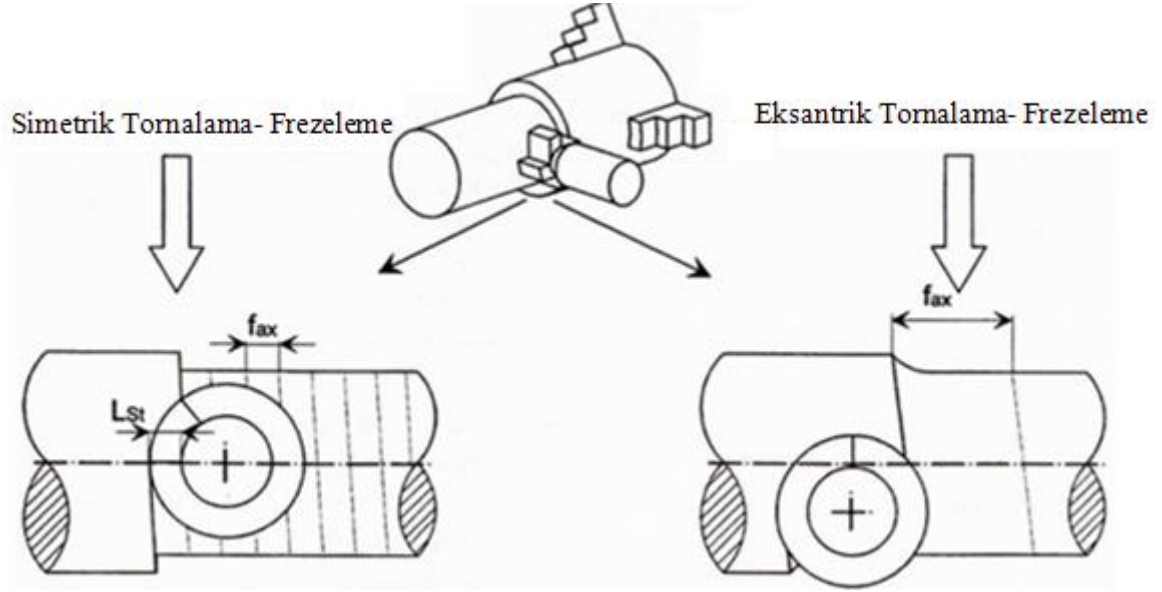
### 3.3. 1. Ortogonal Tornalama-Frezeleme Yöntemi

Ortogonal tornalama-frezeleme, kesici takımın eksen ile iş parçası ekseninin bir birine dik olduğu şartlardaki tornalama-frezeleme yöntemidir. Bu yöntemdeki hareket yönleri ve çakının temas durumu Şekil 3.14’de görülmektedir. Ortogonal tornalama-frezeleme yöntemindeki kesici takımın dönmesi kesme hareketi olarak; ayrıca iş parçasının dönmesi ile kesici takımın iş parçası eksenine paralel hareket etmesi de ilerleme hareketi olarak adlandırılır.



Şekil 3.14. Ortogonal tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi

Kesici takım iş parçası üzerindeki temas etme noktası, ortagonal tornalama-frezeleme yönteminin işleme durumundaki bir özelliktir. Kesici takım eksenini ile iş parçası eksenini arasındaki kesişim noktası eş ise simetrik ortagonal tornalama-frezeleme olarak tanımlanır. Her iki dönel eksen bir birini kesmiyor ise; kayık eksenli ortagonal tornalama-frezeleme veya eksantrik ortagonal tornalama-frezeleme olarak adlandırılır. Şekil 3.15'te bu gösterilmektedir. Bu yöntemdeki ilerleme hareketi silindirik iş parçası üzerinde bir helezona benzer [40].

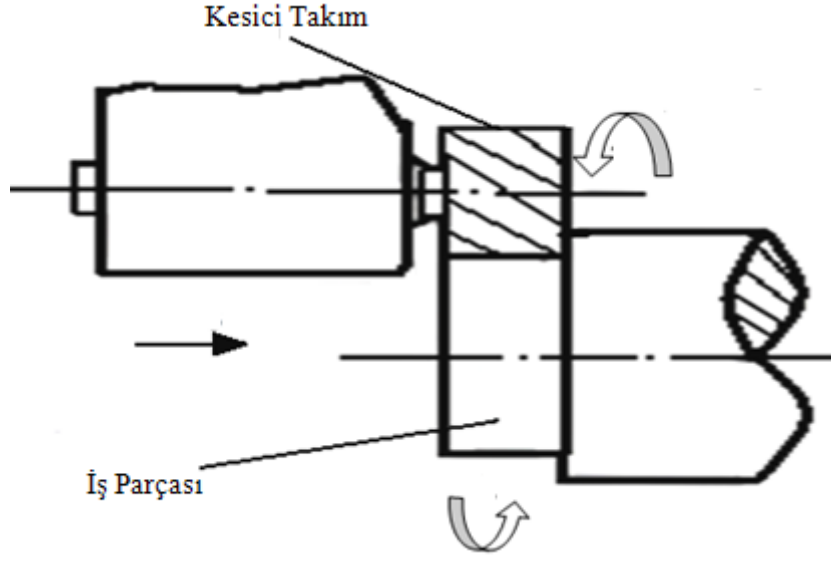


Şekil 3.15. Ortagonal Tornalama-frezelemede simetriklik ve eksantriklik

Ortagonal tornalama-frezelemede kesici takımın iş eksenine dik pozisyonda olduğundan dolayı iç yüzey işleme yapılamaz. İşleme uzunluğu ile ilgili bir sınırlama yoktur. Kesici takımın ve iş parçasının temas anındaki dönme yönlerine göre frezelemede ki gibi eş yönlü ve zıt yönlü olarak da ayrılabilir.

### 3.3. 2. Paralel Eksenli Tornalama-Frezeleme Yöntemi

Paralel eksenli tornalama-frezeleme, kesici takımın eksenini ile iş parçası ekseninin aynı doğrultuda olduğu şartlardaki tornalama-frezeleme yöntemidir. Bu yöntemdeki hareket yönleri ve çakının temas durumu Şekil 3.16 'da görülmektedir. Paralel eksenli tornalama-frezeleme yöntemindeki kesici takımın dönmesi kesme hareketi olarak; ayrıca iş parçasının dönmesi ile kesici takımın iş parçası eksenine paralel hareket etmesi de ilerleme hareketi olarak adlandırılır.

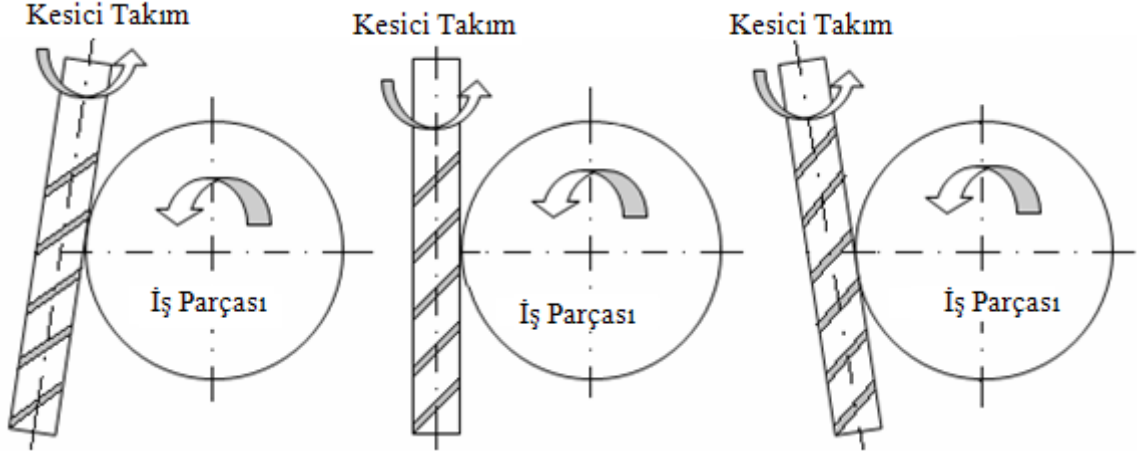


**Şekil 3.16.** Paralel eksenli tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi

Paralel eksenli tornalama-frezeleme iş parçasının hem içini hem de dış yüzeyinin işlenmesine imkân sağlamaktadır. Genellikle bu düzende işleme uzunluğu sınırlıdır. İşleme uzunluğu en fazla kesici takım kesme boyu kadardır.

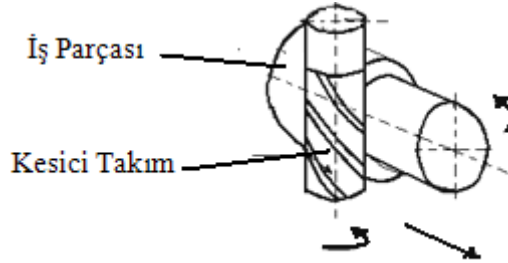
### 3.3. 3. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi

Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi, Ortogonal ve paralel eksenli tornalama-frezelemedeki hareket sisteminden farklı bir yapıya sahip olduğu için bu ayrı bir grup olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde kesici takım ile iş parçası eksenleri ne birbirleri ile kesişir ne de birbirleri ile paraleldir. Kesici takım iş parçasının dış yüzeyine teğet olarak temas etmektedir. Şekil 3.17’ de bu yöntemdeki kesici takım ile iş parçasının farklı temas durumları gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin sistematik gösterimi

Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kesici takımın dönmesi kesme hareketi olarak; ayrıca iş parçasının dönmesi ile kesici takımın iş parçası eksenine paralel hareket etmesi de ilerleme hareketi olarak adlandırılır. Bu yöntemin hareket sistemi Şekil 3.18’de gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminin hareket sistemi

### 3.3.4. Tornalama-Frezeleme Yönteminin Gelişimi

Tornalama- frezeleme yöntemi, Tilghman tarafından 1800 yılların sonlarında tornalama işleminde ısınan kesici takımın ısınıp azaltmak amacı ile çevresel freze çakısını kullanılması ile başlamıştır[7]. 1900 yılların ilk yarısında motor imalatındaki manivela eksantrik millinin işlenmesinde ve daha sonra spiral, salyangoz, helezon şeklindeki parçaların işlenmesinde kullanılmıştır.

70 li ve 80 li yıllarda seri imalatın artması ile tornalamada uzun malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan spiral, birbirine dolanımlı ya da küme şeklindeki talaşların

oluşması; bir yandan çalışan kişiyi tehlikeye sokarken diğer yandan da işlenen yüzeyleri tahrip eder. Bu olumsuzluklar silindirik iş parçaların işlenmesinde kesik talaş oluşturan tornalama- frezeleme yönteminin gelişmesine bir sebep oluşturmıştır.

80'li yılların başında akademik çevrelerde tornalama-frezeleme teknolojisinin teorik temelleri araştırılmıştır. König tornalama-frezeleme çalışmasında işleme pürüzlülüğü ile kinematik yüzey pürüzlülüğünü araştırmıştır[41]. König 1985 yılında tornalama-frezeleme yöntemini anlatan bir proje yayınlamıştır. Bu projede ortogonal tornalama- frezeleme yöntemi simetrik olamayan dönel iş parçalarının işlenmesi için tavsiye edilmiştir[42].

1989 yılında Svennigsson Ortogonal tornalama-frezeleme yöntemi ile ilgili araştırmalar yapmıştır[43]. Lehmann doktora tezinde yüksek hızlarda Ortogonal tornalama-frezeleme yöntemini incelemiştir. Talaş kaldırma geometrisinin belirlenmesinin karışık olduğunu belirtmiştir. Tornalamada, temasın sürekliliği yönünden kesici takım sabit talaş oluşturmaktadır. Frezelemede kesik kesme işleminden dolayı sabit uzunlukta fakat farklı kalınlıklarda virgül şeklinde talaşlar oluşmaktadır. Tornalama-frezelemede bindirme ilerleme hareketinden dolayı kesici takım alın ve çevresel kesme işlemi gibi iki taraflı bir talaş oluşur. Bu talaşın her iki yanındaki yükseklik ve genişliği değişken bir talaş oluşur[44].

Tornalama-frezeleme yönteminin tornalamaya göre avantajları:

- Kesik kesme özeliğinden dolayı uygun talaş kaldırma yapılabilir, talaşın temizleme problemi ve seri çalışmayı engelleme gibi sorunları yoktur.
- Talaş kırıcısının kullanılması ya da kesici takıma benzer konstrüksiyonların yapılmasına gerek yoktur.
- İş parçasının devrinden bağımsız olarak kesme hızının optimum değere ulaşması kesik kesme işlemi ile iş parçasındaki ( talaş ile ısı dışarı atılır) ısı değeri düşük olur ve kesici takımda soğutma işlemi de yapar.
- İstenilen değerlerde düşük iş parçası devri ve kesici takım devri elde edilebilir.
- Krank mili gibi eksantrik iş parçalarında merkezkaç kuvveti azaltılır.
- Tornalamada yapılan alın yüzey işleme, dış silindirik işleme, konik işleme, iç yüzey işleme işlemleri bu yöntemle yapılabilir.

- Frezelemede yapılan kanal açma, yüzeyden talaş kaldırma, vida açma, kademeli delik işleme gibi işlemler bu yöntem ile yapılabilmektedir[40].

Tornalama-frezeleme yönteminin kullanım alanları:

1. Düzensiz bir yapıya sahip 500 mm çapında olan alçak basınç silindirlerin imalatında kullanılır.
2. İşlenmiş malzemelerin düzeltilmesinde kullanılan çapı 300 mm ile 600 mm, uzunlukları 12 m ve ayrıca ağırlıkları 60 tona kadar çıkabilen ruloların işlenmesinde
3. Eksantrik millerin işlenmesinde
4. Boyutları büyük ağır silindirik iş parçalarının işlenmesinde
5. Kam ve krank mili ve benzeri farklı geometrilere sahip iş parçaların işlenmesinde
6. Kam milleri, radial kam ve kontrol kamları konveks yada basit konkav profil şekillerin işlenmesinde
7. Dönel iş parçaların karmaşık işlemlerinin işlenmesinde [40].

### **3.4. Talaş Kaldırma Mekanizması ve Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler**

#### **3.4.1 Talaş Kaldırmada Kesme Çeşitleri**

Talaş kaldırma, belirli şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip bir parçayı meydana getirmek için ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak iş parçası üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Kesici takımın talaş kaldırma esnasında iş parçasından elastik ve plastik deformasyon sonucu ayırmış olduğu malzemeye talaş denir.

Talaş kaldırma, fiziksel bakımdan kesici takım ile iş parçası arasındaki kesme ve ilerleme hareketi sonucunda elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması gibi olayların meydana geldiği karmaşık bir olaydır.

İş parçası üzerinden talaş kaldırılması için gerekli olan temel gereksinimler temel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir.

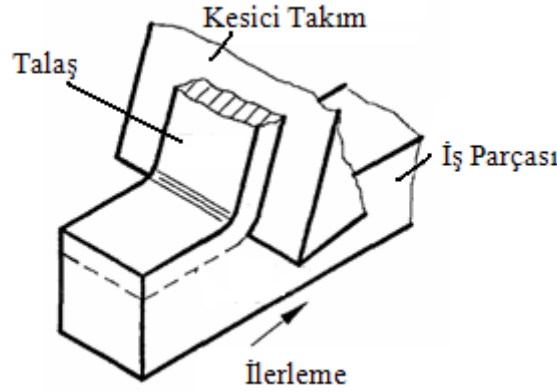
- Takım işlenecek malzemeye tesir etmelidir.
- Takım iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır.
- Kesici uç geometrisi kesmeyi kolaylaştıracak şekilde olmalıdır.

- Takımın malzeme direncini yenmesi için uygulanan kuvvetlerin yeterli olması gerekir.

Talaş kaldırma olayı incelenmek için üç boyutlu kesmeden ziyade iki boyutlu kesmeye dönüştürülerek modellenir. Kesme olayı iki şekilde meydana gelmektedir[45] .

#### 3.4.1.1.Dik Kesme( Ortogonal)

Talaş kaldırma alanında ilk büyük gelişme Merchant'ın çalışmaları sayesinde olmuştur. Merchant dik ( Ortogonal) kesme adını taşıyan bir model oluşturmuştur. Talaş kaldırma işleminin fiziksel ve teorik analizi genelde bu model esas alınarak yapılır. Burada kama şeklinde ve kesme ağı kesme hız vektörüne dik olan takım, talaş yüzeyi ve serbest yüzey ile sınırlıdır. Talaş yüzeyi talaşın temas ettiği yüzeydir. Serbest yüzey ise parçanın işlenmiş yüzeyine dönük yüzeydir. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir. Şekil 3.19 'da dik kesme modelinin şematik şekli görülmektedir.

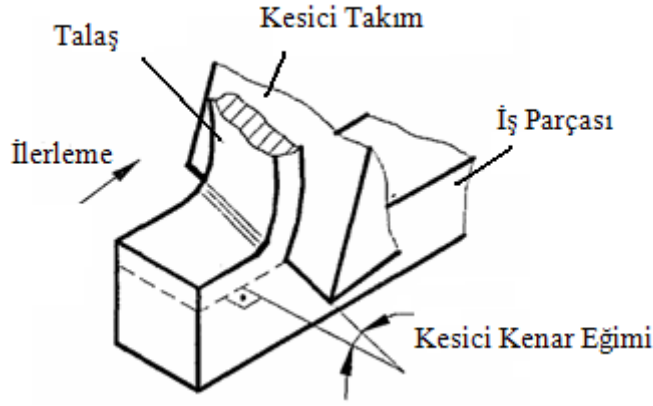


Şekil 3.19. Dik kesme modelinin şematik gösterimi

Talaş parçadan kayma düzleminde ayrılır. Kayma düzleminin yönü kayma açısı tarafından belirlenir. Talaşta meydana gelen şekil değiştirmeleri ve bunlara bağlı talaş boyutları kayma açısından önemli şekilde etkilenir. Kayma açısının azalması talaş kalınlığının artmasına, kayma açısının artması ise talaş kalınlığının azalmasına neden olmaktadır.

### 3.4.1.2.Eğik kesme

Talaş kaldırma teorisinde dik modelin yanı sıra; takımın kesme kenarı kesme hız vektörüne eğik olan eğik modelde kullanılmaktadır. Şekil 3.20’ de eğik kesme modeli görülmektedir. Talaş, takımla parçadan kaldırılan malzeme tabakasıdır. Teorik hesaplamalarda şekil değiştirmemiş talaş kalınlığı ve genişliği esas alınır. Parçadan ayrılan talaş ile teorik talaş boyutları birbirinden farklıdır. Parçadan ayrılan talaş daha kalın ve daha kısadır.



Şekil 3.20. Eğik kesme modeli şematik gösterimi [46 ]

Talaşlı imalat kesme kuvvetlerine ait ilk çalışmalar ve matematiksel ifadeleri Merchant tarafından 1940 yılında geliştirilmiştir. Merchant talaş kaldırma olayını fiziksel yönden incelemiş ve talaşın nasıl meydana geldiğini açıklamaya çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda dik bir modeli ortaya atmış ve takımın etkisi altında kaldırılacak malzemenin önce elastik ve sonra plastik bir şekil-değiştirme göstererek; takımın kesme yönü ile belirli bir açı yapan bir düzlemde talaş olarak ana malzemeden ayrıldığını varsaymıştır [47].

### 3.5. Talaş Şekilleri

Talaşlı imalat işleminde talaşların biçimi, işleme şekli, işlenen malzeme ve işleme parametrelerine göre değişir. Oluşan talaşların şekli önemli derecede iş parçasının bitirme yüzeyini ve talaşlı imalat işlemini ( takım ömrü, titreşim ) etkiler.

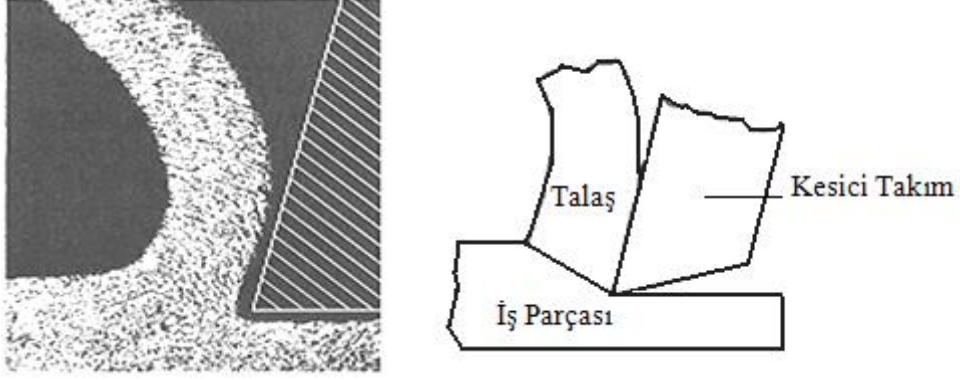
Talaşlı imalat işlemlerinde oluşan talaşlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sürekli talaş,
2. Dilimli veya parçalı talaş,
3. Süreksiz talaş,
4. Kesici takımda yığıntı talaş (built -up-edge ) olması durumunda talaş

Talaş kaldırma olayında oluşan talaşın esas olarak iki yüzeyi vardır; bir tanesi kesici takım ile temasta olan yüzey ve diğeri de orijinal iş parçası yüzeyinden gelen kısımdır. Kesici takım talaş yüzeyi ile temas eden yüzey parlaktır ve yanmıştır. Bu parlaklık ve yanma, takım yüzeyinden talaş geçerken sürtünme sonucu oluşur. Diğer yüzey ise takımla veya herhangi bir yüzeye temas halinde değildir. Kayma mekanizması sonucu gerçekleşen kaba bir yüzeye sahiptir

### 3.5.1 Sürekli Talaş

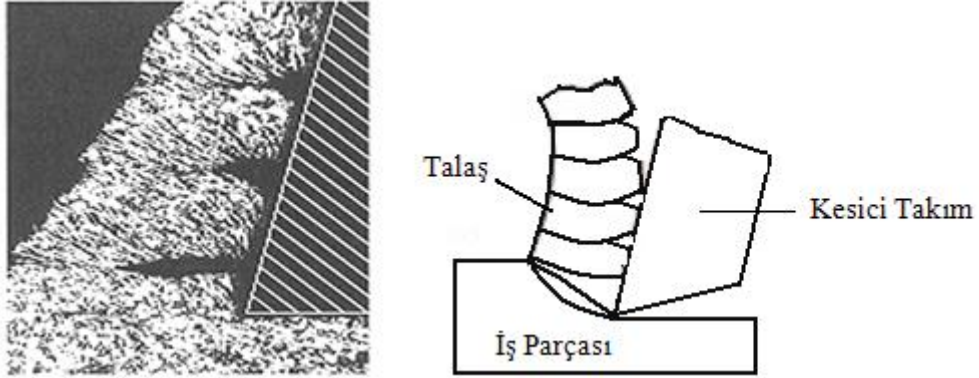
Sürekli talaş, yüksek kesme hızları ve talaş açılarında sünek malzemelerin işlenmesinde oluşur. Genellikle iyi bir bitirme yüzeyi bırakmasına rağmen, her zaman istenmez. Özellikle, günümüzde yaygın olarak kullanılan CNC takım tezgâhları ve otomatik işleme yapan tezgâhlarda sürekli talaş, takım tutucu, bağlama sistemi ve iş parçası etrafında ve aynı zamanda talaşı uzaklaştırma sistemleri etrafında kıvrılarak karmaşık hale gelir ve dolayısıyla talaşların temizlenmesi için işlem durdurulur. Bu durumda imalat zamanının ve dolayısıyla maliyetin artmasına neden olur. Talaşın işlenen malzeme üzerine sarılması ve talaşı temizlemek için işlemin durdurulması iş parçasının yüzey kalitesini bozar. Bu problem, talaş kırıcılarla kesme hızı ve ilerleme gibi işleme parametreleri ve soğutma sıvıları ile azaltılabilir. Şekil 3.21’ de sürekli talaş örneği gösterilmiştir [48].



Şekil 3.21. Sürekli talaş

### 3.5.2 Dilimli Talaş

Dilimli (parçalı veya homojen olmayan ) talaşlar düşük ve yüksek kayma deformasyonuna uğramış bölgelere sahip yarı sürekli talaşlardır. Isıl iletkenliği düşük ve dayanımı sıcaklık artışı ile hızlı bir şekilde azalan metallerde, örneğin titanyumda bu davranış görülür. Bu talaşlar testere dişi şeklinde ki bir görünüme sahiptir. Şekil 3.22’ de dilimli talaş gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Dilimli talaş

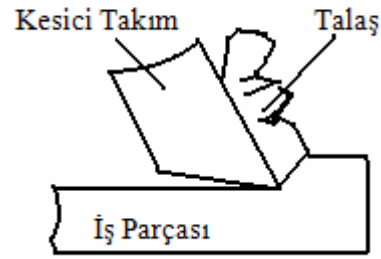
### 3.5.3 Süreksiz Talaş

Talaş oluşumundaki süreksiz yapıdan dolayı talaşlı imalat esnasında sürekli olarak kuvvetler değişir. Sonuç olarak takım tutucunun bağlama elemanlarının ve takım tezgâhının rijitliği dilimli ve süreksiz talaş oluşan kesme işlemlerinde önemlidir. Bunlar, yeterince rijit değilse, takım tezgâhı titreşime maruz kalır ve bu da iş parçası yüzeyini bozar ve boyutlarının istenilen toleranslar dışına çıkmasına neden olur. Aynı zamanda

takım aşınmasını da hızlandırır. Talaşlı imalat işlemlerinde çoğunlukla helis biçiminde uzunluğu kısa (1 cm) talaşlar tercih edilir. Şekil 3.23'te süreksiz talaş görülmektedir [48].

Süreksiz talaşlar çoğunlukla aşağıdaki şartlarda oluşurlar:

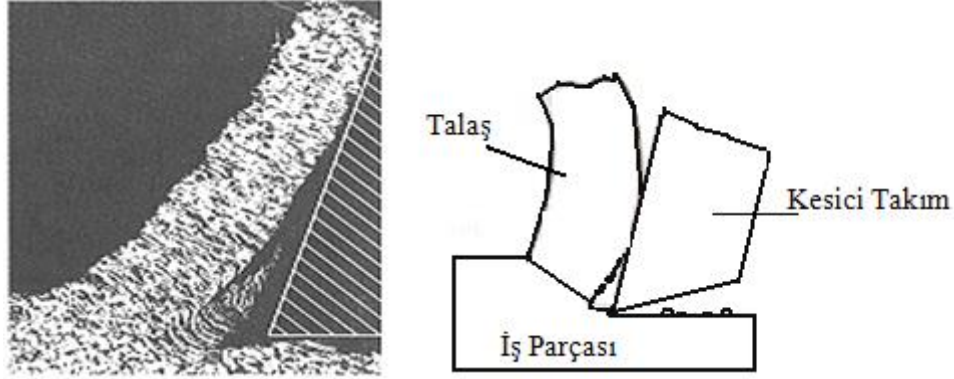
- Gevrek iş parçası malzemeleri işlenirken,
- Çok düşük veya çok yüksek kesme hızlarında,
- Fazla talaş derinliği,
- Düşük talaş açısı,
- Etkin bir soğutma sıvısının olmaması,
- Takım tezgâhının rijitliğinin yetersiz olması.



Şekil 3.23. Süreksiz talaş

#### 3.5.4 Kesici Takımda Yığıntı Talaş ( BUE-Built Up Edge)

Talaşlı imalat işlemi esnasında iş parçası malzemesinin kesici takım üzerinde katmanlar şeklinde birikmesi ile oluşan yığıntı talaş ( BUE), talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ucunda oluşabilir. Şekil 3.24 'te BUE oluşumu gösterilmektedir. BUE kesici kenar geometrisinde negatif (olumsuz ) bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçimindeki kaynaklanmış malzemeyle birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de BUE oluşumunda önemli rol oynar.



Şekil 3.24. Yığıntılı Talaş ( BUE)

Yığıntı talaş büyüdükçe kararsız hale gelir ve sonunda devam eden talaşlı kaldırma işlemi sonucu maruz kaldığı gerilmelere dayanamaz ve kırılarak kesici takımdan ayrılır. Çoğunlukla BUE' nin bir kısmı, kesici takıma temas eden talaş yüzeyi ile uzaklaştırılır, kalan kısımda iş parçası yüzeyinde kalır. Yüzey dokusu (pürüzlülüğü) BUE oluşumunda genellikle ilk zarar gören unsurdur. Ancak bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse çok çabuk kesici kenar kırılması hatta takım kırılması riski vardır. Ancak bazı durumlarda kesici takım aşınması yerini kesici uçta hızlı kırılmalar olabilir.

Deformasyon sertleşmesi ve katmanların sıra ile birikmesi sonucu oluşan BUE 'nin sertliği iş parçası malzemesine göre önemli derecede yüksektir. BUE çoğunlukla istenmemesine rağmen, kararlı ve ince bir BUE takımın talaş yüzeyini koruyarak aşınmayı azalttığı için çoğunlukla faydalı kabul edilir. Kesme hızı arttıkça BUE küçülür ve oluşumu engellenebilir. BUE oluşma eğilimi aşağıdakilerle de azaltılabilir:

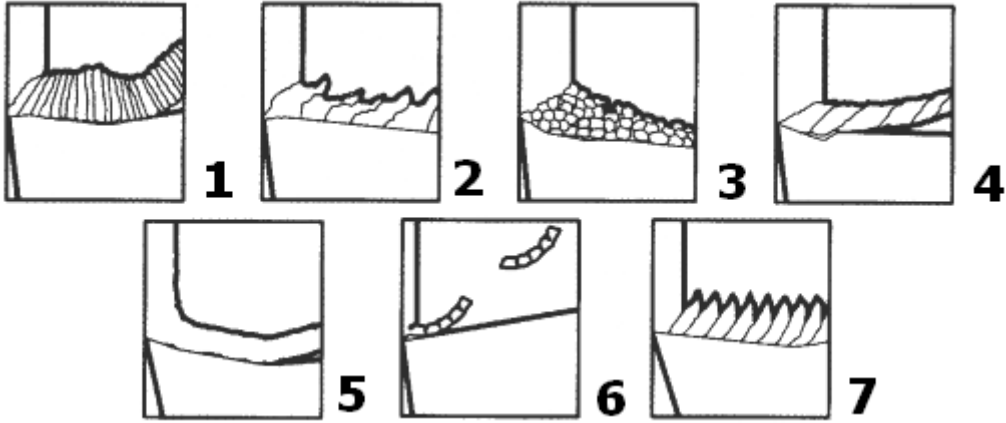
- Talaş derinliği azaltılarak,
- Talaş açısı arttırılarak,
- Keskin bir takım kullanılarak,
- Etkin bir soğutma sıvısı kullanılarak.

Genelde, iş parçası ve kesici takımın birleşme eğilimi yüksek olursa BUE oluşumu için eğilim de artar [48, 49].

Bunun yanı sıra talaş kaldırılan malzemelere göre farklı şekillerde talaşlar ortaya çıkabilmektedir. Talaşlı imalat alanında en genel halde yedi farklı talaş tipi mevcuttur (Şekil 3.25). Bu tipler;

- 1) Birçok çeliklerde olduğu gibi sürekli, uzun talaş

- 2) Paslanmaz çeliklerde olduğu gibi lameller halindeki talaş
- 3) Dökme demirlerde olduğu gibi kısa talaş
- 4) Süper alaşımlarda olduğu gibi değişken, yüksek mukavemetli talaş
- 5) Alüminyumda olduğu gibi yumuşak, düşük mukavemetli talaş
- 6) Sert çeliklerde olduğu gibi yüksek sıcaklık / basınca dayanıklı talaş
- 7) Titanyumda olduğu gibi parçacıklar halindeki talaş



Şekil 3.25. Talaş kaldırılan malzemelerin cinsine göre oluşabilecek talaşlar [50]

### 3.6. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Parametreler

Talaş kaldırma işleminde, kesici takım iş parçası üzerinde belirli kuvvetlerle temas ettiğinde ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği zaman takım ucunun temas ettiği malzeme katmanında, önce elastik daha sonrada plastik şekil değişiklikleri oluşarak malzeme tabakasında akmalar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını geçtiği anda “talaş” olarak adlandırılan belirli bir yüzey tabakası, iş parçası boyunca parçadan ayrılır. Bu parçanın ayrılış biçimi, parça malzemesinin mekanik özelliklerine ve kesme şartlarına bağlı olarak değişik bir şekilde gerçekleşir ve farklı talaş tipleri meydana gelir. Bu nedenle, talaş kaldırma işlemine etki eden faktörlerin bilinmesi ve birbirine etkilerinin dikkate alınması gereklidir

### 3.6.1. Kesme Hızı

Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında kesici takımın dönerek iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yol olup, tornalama ve frezelemede aynı formül kullanılmaktadır.

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000} \left( \frac{\text{m}}{\text{dak}} \right) \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir.

Burada V kesme hızı ( m/dak), n: iş parçası / kesici takım devri ( dev/dak ), D: iş parçası / kesici takım çapı ( mm ) ‘ nı göstermektedir.

Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı aşağıdaki faktörlere göre değişmektedir:

- İşlenecek malzeme
- Kesici takım malzemesi
- Talaş derinliği
- İlerleme miktarı
- Soğutma sıvısı
- Tezgâhın rijitliği ve tipi v.b.

Her iki kesme konumunda kesme hızı dış çapa göre verilir. Kesme hızları ideal seçilmelidir. Kesme hızı oldukça düşük seçilirse az iş parçası üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda talaş sıvanması meydana gelir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılar. Ancak kesme hızı çok yüksek ise takım hızla bozulacak sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle herhangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir [51].

### 3.6.2. İlerleme

İlerleme, takımın iş parçası üzerinde bir tam devrindeki temasına karşılık gelen ilerleme miktarıdır. İlerleme değerinin temelde iki etkisi vardır: işlenen yüzeyin kalitesini ve talaş oluşum karakteristiğini belirler. İlerleme değerinin düşük tutulması, kesici takımın

işlenmiş yüzeye bakan kenarında meydana gelen serbest yüzey aşınmasına sebep olur ve takım ömründe düşüş yaşanır. Çok yüksek ilerleme değerlerinde ise, kesme sıcaklığı artmakta ve serbest yüzey aşınması daha etkili olmaktadır. Yine de, kesme hızının artırılmasına göre ilerlemenin artırılması takım ömrün üzerinde daha az etkili olmaktadır. İlerleme kontrollü bir şekilde artırıldığında, yapılan işlemin verimi artacaktır. Bunun yanında, ilerleme arttıkça, oluşan talaş kısaltmaktadır, bir başka deyişle uzun – sürekli talaş oluşunun takım aşınmasına sebep olduğu durumlarda ilerleme artırılmalıdır [ 52 .]

### 3.6.3. Talaş Derinliği

Talaş kaldırmak üzere kesici takımın kesilecek malzemeye battığı derinliğe “paso” veya talaş derinliği (a - mm) denilmektedir. Tornalamanın dönel bir işlem olması dolayısıyla kesme işlemi iş parçasının tüm çevresinde gerçekleşmekte ve çaptaki değişim pasonun iki katı kadar olmaktadır. Talaş derinliği, ilerleme yönüne dik olacak şekilde ölçülmektedir

Talaş derinliği; iş parçasından kaldırılacak talaş miktarına, iş parçasının şekline, tezgahın gücüne ve rijitliğine, ayrıca kesici takımın rijitliğine göre belirlenir. Talaş derinliğinin değişimi takım ömrünü çok fazla etkilememektedir. Düşük talaş derinliklerinde, iş parçasının sertleştirilmiş yüzeyi işleniyorsa, sürtünmeye ve sonuçta takım ömrünün azalmasına sebep olur. Daha önce kesilmemiş yüzeyleri veya dökme demir malzemeleri işlerken, homojen olmayan sert yüzeyi kesici ucun en uç kısmıyla işlememek ve dökülme gibi takım aşınması problemlerinin önüne geçmek için, talaş derinliği mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır [52] .

Yüksek dik kesme derinlikleri kullanıldığı zaman oluşan mekanik yüklemeler, takım aşınmasının kötüleşmesi eğilimini arttırmaktadır. Çünkü kesme sırasında kesme derinliğinden dolayı sıcaklık olayı gözlenecek ve özellikle frezelemede aralıklı kesmelerde ısı şoktan dolayı takım aşınması hızlanacaktır. Ayrıca yüksek mekanik yüklemeler titreşim meydana getirecek, titreşimden dolayı da takımın iş parçasına vurması gerçekleşecek ve bu etkiden dolayı aşınma artacaktır. Bu titreşimlerden dolayı iş parçası yüzey kalitesi de olumsuz etkilenecek, boyutsal ölçülerde sapmalar meydana gelecektir. Kesme derinliği düşük değerlerde tutulduğu zaman yapılan çalışmalarda, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri düşük sonuçlar vermiştir. Yüksek kesme derinlikleri takım ömrünü kısaltmaktadır [ 53, 54].

### 3.6.4. Kesme Sıvısı

Kesme sıvıları, sahip oldukları yağlama ve soğutma özellikleriyle kesici takım-iş parçası kesişim ara yüzeyindeki sıcaklığı ve sürtünmeden kaynaklanan kuvvetleri düşürürler [55]. Düşük hızda işlemlerde, kesme sıvısının yağlama özelliği önemlidir. Soğutma ana fonksiyon değildir. Çünkü oluşan ısının büyük bir kısmı talaşla uzaklaştırılır. Orta kesme hızlarında kesme sıvısının hem soğutma hem de yağlama özellikleri önemlidir. Yüksek hızda işlemlerde ise, soğutma kesme sıvısının ana fonksiyonudur. Çünkü talaş, ısıyı uzaklaştıracak kadar zaman bulamaz. Keza, yüksek hızlı operasyonlarda kesme sıvısının yağlama etkisi de sınırlanır. Kesme sıvısının kesici takım iş parçası kesişim ara yüzüne ulaşması kılcal akış şeklinde gerçekleşir. Yüksek hızda işlemede, sıvının ara yüzeye ulaşması için zaman yeterli gelmez. Yağlama etkisinin azalması sebebiyle daha fazla ısı oluşur. Bu da kesme sıvısının soğutma fonksiyonunu daha önemli hale getirir [56]. Ayrıca yüksek hızlarda, sıcaklığın çok yükselmesi sebebiyle kesme sıvısı içindeki yağlayıcı maddeler bozulabilirler [55].

Tornalama operasyonunda kesme sıvısının talaş yüzeyine ulaşması zaman zaman kesintiye uğrarken, serbest yüzey ve oluşan talaş, kesme sıvısı tarafından akıcı olarak ıslatılır. Kesme esnasında takımın, ilerleme yönünde, ilerleme miktarının iki katı büyüklükte titreşime uğratılmasıyla, kesme işleminin kesintiye uğrayacağından kesme sıvısının talaş yüzeyine ulaşması sağlanır. Frezelemede, talaş yüzeyine periyodik olarak kesme sıvısının ulaşması mümkündür. Fakat frezeleme operasyonunun kesikli bir işlem olması sebebiyle takımda anormal sıcaklık değişimleri meydana gelecek ve kesme sıvısı bu değişimleri daha fazla arttıracaktır. Matkapla delme operasyonunda ise, kesme bölgesine kesme sıvısının ulaşması çoğu zaman zordur. Ayrıca, kesme bölgesinde biriken talaş kesme sıvısına engel olur [55].

Kesme sıvılarının fonksiyonlarını özetlemek gerekirse, şu özelliklere sahip olmak zorundadırlar:

- Yüksek basınç altında yağlayıcılık sağlamak (sınır yağlayıcılık).
- Yüzey sürtünmesini azaltarak sıcaklık artışını önlemek (kimyasal soğutma).
- Talaş kaldırmadan kaynaklanan ısıyı uzaklaştırmak (fiziksel soğutma).
- Yüzeyler arasında yastıklama görevi görerek metal yapışmasını (adhezyon) önlemek (fiziksel yüzey etkinliği).

- İş parçası takım ara yüzeyinde kimyasal etki göstererek iş parçası ve takımın sürtünme yapışmasını ve takımın hızlı aşınmasını önlemek.
- Kesme bölgesindeki talaşı ve kirlilikleri uzaklaştırmak.
- İş parçasının metalürjik özelliklerini korumak.

Genellikle bu özelliklerin hepsine sahip olan bir metal işleme sıvısı bulmak mümkün olmamakla birlikte bir metal işleme operasyonu için tatmin eder sonuçlar veren sıvılar bulmak mümkündür [ 57 ].

### 3.6.5. Titreşimin Etkisi

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım ile iş parçası arasında sürekli oluşan bir relatif titreşimin mevcut olması nedeni ile kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında genellikle, zorlanmış titreşim ve kendiliğinden oluşan titreşim olmak üzere iki tür titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgâhın mekanik hareketlerinden ileri gelirken; kendiliğinden oluşan titreşim ise talaş kaldırmadan dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendiliğinden meydana gelen titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin artmasından kaynaklanmaktadır. Bu titreşimin en kötü hali ise, işlenen yüzeyde titreşimden doğan takım izleri bırakacak derecede büyük olan “ tırlama ” veya “ otlama ” olarak adlandırılan titreşimin ortaya çıkmasıdır ki bu doğrudan yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar. Herhangi bir kesme işleminde titreşim veya iş parçası yüzeyinde kuvvetli dalgalanmalar ile sonuçlanır. Otlama meydana geldiğinde farklı bir ses oluşur. Bu durum herhangi bir operatör tarafından da anlaşılır. Talaş kaldırma esnasında oluşan bu olayı önlemek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır. Bunları kısaca şu şekilde açıklayabilir.

- İş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirgenmeli
- İş parçası dengeli bir şekilde tespit edilmeli ve kesici takımlar altına altlıklar konulmalı
- Rijit tezgâh ve takımlar kullanılmalı
- Tezgâhın hareket eden elemanları arasındaki boşluklar en aza indirgenmeli
- Kesme şartları ( kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği ) optimize edilmeli ve kesmede oluşan kuvvetleri azaltmak için talaş derinliği ve ilerleme miktarı azaltılmalı

- Kesme kuvvetini azaltmak için kesici takım tasarımında gerekli değişiklikler yapılmalı ve aşınma kriterine ulaşmış olan aşınmış bir takımla talaş kaldırma işlemine devam edilmemeli
- İşleme hızları takım tezgâhı kontrol sisteminin doğal frekansına yaklaşılmamasına müsaade edilmemeli [52].

### 3.6.6. Takım Malzemesi

Kesme takımlarının sahip olması gereken özellikleri yüksek sertlik, tokluk, iyi aşınma direnci, mekanik ve ısıl darbe direnci ve bu özellikleri yüksek sıcaklıklarda koruyabilmeleridir. Üretim bakımından, takım malzemeleri kolay elde edilebilmelidir. Yüksek sertlik genellikle takıma iyi aşınma direnci verir, ancak alçak tokluk zayıf mekanik darbe direnci ile birleşebilir.

Kesme sırasında sıcaklıkların yüksek olması nedeniyle kesme şartları etkilenir. Özellikle karbon çelikleri ısıya karşı çok duyarlıdır ve sertlik artan sıcaklıkla düşer. Bu nedenle bu takımlar düşük kesme hızlarında, fazla sert olmayan malzemelerin işlenmesinde kullanılırlar. HSS kesici takımlarda sıcaklıktan etkilenir. Sinterlenmiş karbür ve sement edilmiş oksitler sıcaklıktan fazla etkilenmezler.

Hız çelikleri (HSS), yüksek oranlarda tungsten vanadyum ve krom içeren çelik alaşımlarıdır. Düşük kesme hızları (max.30-40 m/dak) için hemen hemen bütün talaş kaldırma alanlarında kullanılırlar ve iyi eğilme mukavemetine sahiptirler.

Sert metal adını taşıyan sinterlenmiş karbürler, bağlayıcı malzemesi kobalt olan; tungsten, titan ve tantal karbürlerinden sinterleme yolu ile elde edilen malzemelerdir. Sert, sıcaklığa ve aşınmaya karşı dayanıklı fakat eğilme mukavemetleri düşüktür. Ortalama 80-300 m/dak kesme hızlarına sahip malzemelerdir.

Seramikler, ana malzemesi alüminyum oksiti ( $Al_2O_3$ ) olan ve sinterleme yolu ile imal edilen malzemelerdir. Sertlikleri çok yüksek, fakat darbe ve eğilme mukavemeti çok düşük olan bu malzemeler ince talaş kaldırma işlemleri için kullanılır.

En sert malzeme olan elmas, sıcaklığa ve aşınmaya karşı çok dayanıklı fakat çok kırılgan ve pahalı bir malzemedir. Elmaslar, işlenmesi çok zor veya imkânsız olan malzemelerde kullanılırlar. Kesme hızları normal işlemlerde 100 ila 500 m/dak. arasındadır; özel hallerde 3000 m/dak' ya kadar çıkabilir[52].

### 3.6.7. İş Parça Malzemesi

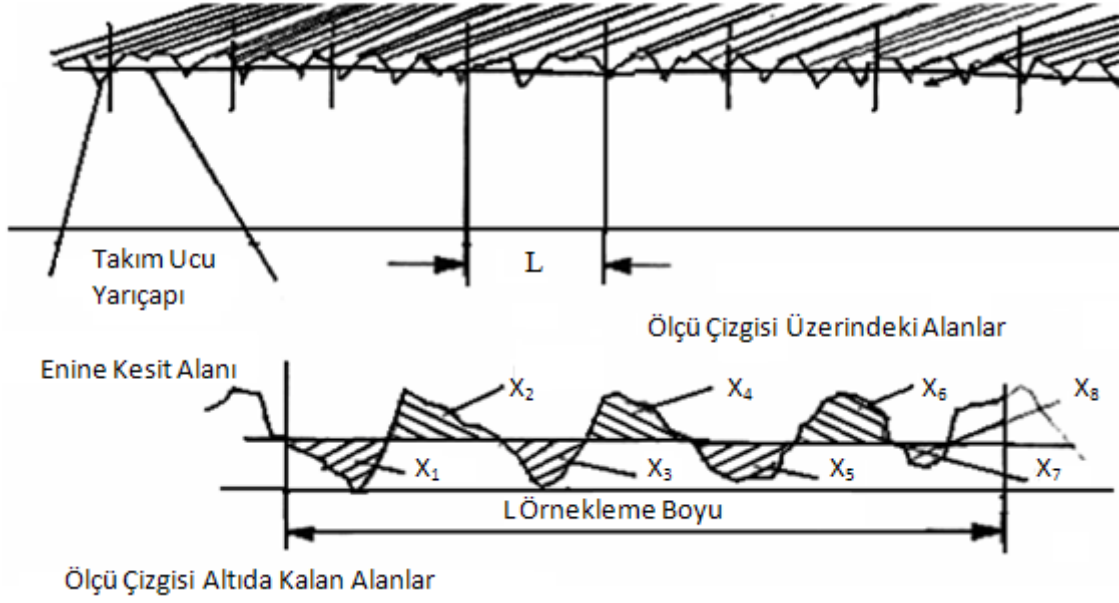
Talaş kaldırma sırasında parça malzemelerinin davranışları farklıdır. Bu farklılık işleme kabiliyeti ile ifade edilir. Malzemelerin işlenme kabiliyeti genellikle kesme hızına bağlı olarak değerlendirilir. Buna göre takımın belli bir ömrü için en yüksek hızı ile en iyi işleme kabiliyetine sahip olduğu söylenebilir.

Çeliklerin en önemli bileşeni olan karbonun etkisi şu şekilde özetlenebilir: % 0.2 karbon içeren çeliklerin işleme kabiliyetleri maksimumdur. Bu değere göre çeliklerin karbon miktarı değişimine göre işlenme kabiliyetleri de değişir. Diğer alaşım elementlerinin hemen hemen tümü işlenme kabiliyetini azaltmaktadır. Ancak kükürt, fosfor ve normal olarak çeliğin bünyesinde bulunmayan kurşun bu özelliği iyileştirir. Malzemelerin sertliği ve mukavemet arttıkça, işlenme kabiliyetleri azalır [ 59 ].

Malzemelerin işleme kabiliyeti; kimyasal bileşenlere, yapıya kazandırdığı süneklilik, sertlik ve mukavemet gibi mekanik özelliklere bağlıdır. Talaş kaldırma sırasında işlenen malzemelerin davranışları farklıdır. Bu farklılık talaş kaldırma ve işlenme kabiliyeti ile ifade edilir [58, 60].

### 3.7. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey kalitesi, parça yüzeyinde genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelir. Yüzey kalitesi; kabalık, dalgalık, izler ve hatalar olmak üzere dört elemandan oluşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi bir takım girinti ve çıkıntılardan meydana gelmektedir. Ölçme tekniğinin gelişmesiyle bu düzgünsüzlük kolayca ölçülebilmektedir. Ayrıca bu tekniğe uygun olarak yüzey pürüzlülüğünü objektif bir şekilde ifade eden ve uluslararası kabul edilen bir sistem geliştirilmiştir. Bu sisteme göre pürüzler, yüzeylere dik olan kesite göre belirlenir. Bu kesitte numune uzunluğu boyunca pürüzlerin şeklini gösteren profilin ortalama çizgisine göre ortalama sapmaları tayin edilir. Şekil 3.26. profil ile ortalama çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olmak üzere bu çizginin yeri tayin edilir.



Şekil 3.26. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterilmesi ve yüzey profili

Yüzey pürüzlülüğü, profilin aritmetik ortalama yüksekliğidir ve  $R_a$  ile gösterilir. Böylece referans olarak profilin ortalama çizgisi alınır, yüzey pürüzlülüğü;

$$R_a = \frac{1}{L} \int |x| dx \quad (3.2)$$

$$R_a = \frac{|X_0| + \dots + |X_n|}{n} \quad (3.3)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada  $X_0$ ,  $X_n$  geometrik ortalama pürüz yükseklikleri ve  $n$  ise numune uzunluğuna tekabül eden pürüz sayısıdır [61].

Yüzey yapısındaki profil için en önemli ölçme tekniği mekanik-elektronik pürüzlülük ölçme aygıtı kullanılmakta olup, küçük radyüslü elmas uçlu iğnenin, talaşlı olarak işlenmiş yüzey çizgileri üzerinden geçmesi esnasında yüzey profilinden alınan pürüzlülüğü okuyarak çıktı olarak gösterir. En genel olan standart elmas iğnenin eğrilik yarıçapı  $10 \mu m$  'dir. Ancak araştırmalarda  $2,5 \mu m$  kadar küçük radyüslü iğne uçları da kullanılmaktadır. Her zaman  $0.8mm$  genişliğinde işlenmiş yerde uygulanabilir. Toplam iğne yer değiştirme mesafesi genellikle işleme genişliğinin 20-60 katı kadardır. Elektronik devreli aygıtlar ile kesilme genişliği üzerinde sürekli olarak ortalama değerler okunur.

Elektronik yüzey ölçme aygıtları genellikle pürüzlülüğü gösterirken yüzeyin fiziksel karakteristiğini göstermezler [63].

Yüzey kalitesine etki eden birçok faktörler bulunmaktadır. Parçanın talaşlı imalatı sırasındaki kesici takım hatalarına ve kesme esnasındaki meydana gelen titreşime bağlı olarak iş parçasının yüzeyinde geometrik hatalar meydana gelir. Kesici takım hataları, kesici ağızların eksenel ve radyal olarak hatalı yerleştirilmesi, kesici ağızların kesme esnasında kesme kuvveti etkisi altında şekil değiştirmesi ve takım aşınması olarak karşımıza çıkar. Freze tezgâhlarında kesici takımın dönme eksenindeki açıdan dolayı eksantriklik hatası meydana gelir. Bu hata işlenen yüzeyde iç veya dış bükeylik meydana getirir. Bütün bu hatalar beraberinde işlenen yüzeylerin pürüzlü çıkmasına ve yüzey kalitesinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Talaşlı imalat esnasında meydana gelebilecek hataları ortadan kaldırmak için imalat öncesi kontrollerin çok iyi yapılması gerekir [63, 64].

### 3.7.1 Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü birçok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Sürtünmeli yataklar,
- Korozyon ortamında çalışan parçalar,
- Yuvarlanmalı yataklar,
- Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
- Sızdırmazlık yüzeyleri,
- Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
- Masterlar vb [ 65 ] .

### 3.7.2 Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır:

- Takım tezgâhının rijitlik durumu,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
- Takım tutucu rijitlik durumu,

- Takım aşınmasının etkileri,
- Takım geometrisi,
- Kesme parametreleri,
- Malzemenin mekanik özellikleri,
- Soğutma sıvısının etkileri [ 65 ].

### 3.7.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için farklı metotlar mevcuttur. Bu metotlar kısaca şu şekilde sıralanabilir;

**İzleyici uçlu cihazlar:** Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden genelde iğne olarak  $90^0$  uç açılı ve 4 -12  $\mu\text{m}$  yarıçapa sahip iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir [66].

**Optik metot:** Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörler ile ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

**Temas metodu:** Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır.

**Mekanik metot:** Çelik bilye kullanılarak en düşük 500 g ağırlığın yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçme tekniğidir.

**Hidrolik metot:** Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır.

**Yüzey dinamometresi metodu:** İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir.

**X ışını metodu:** Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508  $\mu$  m arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir.

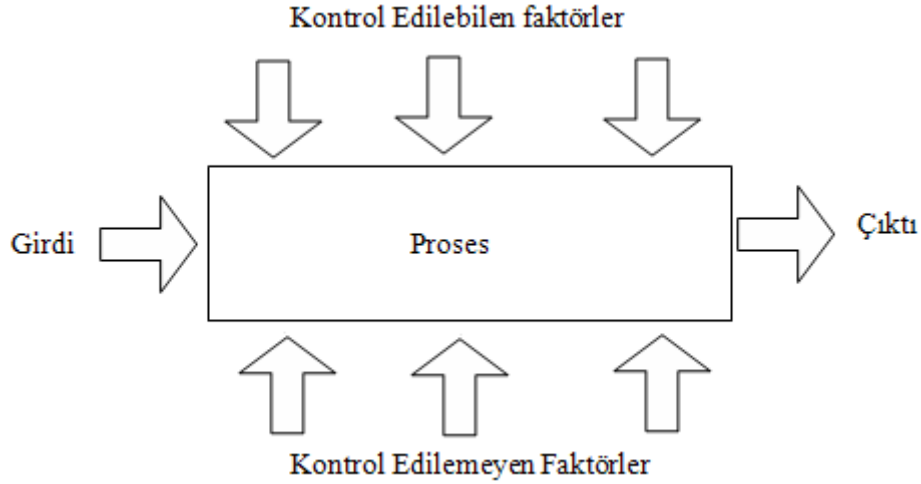
**Elektron mikroskobu metodu:** Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu metodu sınırlamaktadır.

**Replika metodu:** Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında % 80 oranında bilgi verir.

**Elektro fiber optik metot:** Yüzey pürüzlüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur [ 49, 65].

#### 4. DENEY TASARIMI VE MODELLEME TEKNİKLERİ

Deney tasarımı, prosesi etkileyen faktörler üzerinde değişiklikler yaparak proses tepkisinin gözlenmesini sağlayan testler serisidir. Deneyler Şekil 4.1’de gösterildiği gibi özel proses ya da sistemler hakkında bir takım bilgiler elde etmek için kullanılır [63, 67].



Şekil.4.1. Prosesin genel modeli [67].

Proses; makinelerin kombinasyonu, metotlar, insanlar veya çıktı üreten diğer kaynaklar topluluğu olarak tanımlanabilir. Faktörler diğer adıyla deney değişkenleri ise deney sonucunu etkileyen kontrol altında olan ve olmayan çevre değişkenleridir. Faktörler, kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deneyde kullanılacak faktörlerin tiplerinin belirlenmesi deneyin planlama prosesini doğrudan etkileyeceğinden dolayı büyük önem taşımaktadır. Deneyi etkileyen kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici takım uç yarıçapı gibi faktörler kontrol edilebilen faktörlerdir. Kontrol edilmeyen faktörler ise deneyi yaparken kontrol altında olmayan faktörlerdir. Takım aşınması, sıcaklık, nem gibi faktörler kontrol edilmeyen faktörlerdir [67]. Deney tasarım metotları birçok disiplinde uygulama alanı bulmaktadır. Deneysel tasarım mühendislik çalışmalarında üretim prosesinin performansını geliştirmede önemli rol oynamaktadır. Prosesin geliştirilmesinde deneysel tasarım tekniklerinin uygulanması ile ürün geliştirilir, değişkenlik azalır ve hedef gereksinimlere yakın sonuçlar sağlanır ve maliyetler düşürülür.

Deneysel bir çalışmadan en iyi çıktı sistematik bir yaklaşıma dikkate alındığı zaman elde edilir. Farklılıklar olmasına rağmen genel olarak deneysel bir çalışma; problemin tanımı, bağımlı ya da yanıt değişkenlerinin seçimi, bağımsız değişkenlerin seçimi, bağımsız değişkenlerin seviyelerinin belirlenmesi ve etken düzeylerinin nasıl birleştirileceği basamaklarını içermektedir. Deneysel tasarım; alınan gözlemlerin sayısı, deney sırası, kullanılacak rastgeleleştirme yöntemi ve deneyi tanımlayan matematiksel model temel bileşenlerinden oluşmaktadır. Çözümleme ise; veri toplama ve işleme, deney istatistiklerinin hesaplanması ve sonuçların yorumlanmasını içerir.

Matematiksel modelleme, bir fiziksel sistemin ya da işlemin temel özelliklerinin eşitlik ya da formül şeklinde verilmesidir. Bir matematiksel model çok genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Bağımlı Değişken =  $f$  (Bağımsız değişken, parametreler, etkili fonksiyon)

Bağımlı değişken, sistemin durumunu ya da davranışlarını yansıtan bir özellik olup eşitliğin sağındaki değerlere bağılı olarak değişmektedir. Bağımsız değişken ise, sistemin durum ya da davranışlarının belirlendiği zaman veya uzay gibi boyutlardır. Parametreler, sistemin özelliklerini ya da yapısını belirleyen katsayılardır. Etkili fonksiyonlar ise sistem üzerine etkisi olan dış kuvvetlerdir [67, 68].

Talaş kaldırmada yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde deneysel tasarım ve modelleme teknikleri olarak genellikle;

1. Adım adım uygulanan istatistiksel geleneksel teknikler,
2. Merkezi Kompozit Tasarım (MKT) ile birlikte Yanıt Yüzey Tekniğı (YYT),
3. Faktöriyel Tasarım Teknikleri,
4. Taguchi Tekniğı (TT),
5. Digraph ve Matris Metodu,
6. Stokastik Teknikler,

kullanılmıştır [69]. Bu çalışmada deneysel tasarım ve modelleme tekniğı olarak Taguchi tekniğı kullanıldığı için detaylıca açıklanmıştır.

#### 4.1. Taguchi Metodu

Üretim yapan işletmeler, mamullerini müşterilerinin beklentilerinin ötesinde sunabilmek için sürekli rekabet içerisindeydirler. İşletmelerin, müşterilerine fonksiyonunu yerine getirebilen, daha kaliteli, daha ucuz ve daha hızlı ürünler ulaştırabilmek için gösterdikleri çaba, kalite geliştirme bilincinin hızla yayılmasına sebep olmuştur. İşletme yöneticileri işletmelerinin verimliliklerini artırmak ve rekabet avantajlarını yükseltmek için, kalitenin sadece üretim hattında değil mamul ve proses tasarımı aşamalarında da doğru bir şekilde planlanmasının gerektiği bilincindedirler[70, 71] .

Rekabete dayanan pazarda, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve pazar paylarını arttırabilmeleri için kalite geliştirme çalışmalarına önem vermeleri gerekmektedir. Kalite iyileştirme ve geliştirme, pek çok organizasyonun rekabet edebilmesi ve ayakta kalabilmesi için en temel faaliyetler haline gelmiştir [72].

Bu doğrultuda üretim yönetimi araçlarında da gelişmeler olmuş ve günümüz gereksinimleri için teknikler ortaya konmuş, yâda yıllardır teoride kalmış yöntemler uygulama alanına geçirilmiştir. Bunlardan biri de, özellikle sanayileşmiş ülkelerde kullanılmakta olan deney tasarım teknikleridir. Tasarım için teklif edilen istatistiksel deneyler, ürün parametrelerinin ve parametre sayılarının artması sonucu, ürün maliyetinin yükselmesine ve hızlı bir şekilde neticeye ulaşamadığından dolayı da uygulanabilirliğini tamamen yitirmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda, çok az deneme ile çok iyi neticeler veren ortogonal dizileri geliştirmiştir[71].

Ortogonal diziler, faktör seviyelerini, teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede, deney tasarımında Taguchi yaklaşımı kimya ve elektronik sektöründe olduğu gibi üretim sektöründe kabul görmüştür. Taguchi, deneysel tasarlama yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur [72].

Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır. Taguchi deney tasarım

tekniki; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir [71].

#### 4.2. Taguchi Metodunun Gelişimi

Taguchi metodunun temelini oluşturan deney tasarımı, 1920'lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama alanlarının çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır [72].

İkinci dünya savaşının sonlarına doğru, Japonya'nın günümüze kadar ki, hızlı gelişmesinin temelleri atılmıştır. Bu dönemdeki en önemli projelerden biri Japon telefon sisteminin geliştirilmesiydi. Projenin amacı A.B.D'de Bell Laboratuvarlarında kullanılan telefon sisteminin aynısının Japonya'ya kurulmasıydı. Ancak Japon Nippon Telefon ve Telgraf Araştırma Merkezi, Bell Laboratuvarlarının ancak %2'si kadardı. Bu nedenle projenin bitirilmesinin 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Genichi Taguchi, proje süresini kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için metodların standardize edilmesini ve faktöriyel tasarımların kullanılmasını önerdi. Kabul edilen önerisi sayesinde proje 4 yılda bitirilmiş ve Taguchi çok ünlü olmuştur [70].

#### 4.3. Taguchi Felsefesi

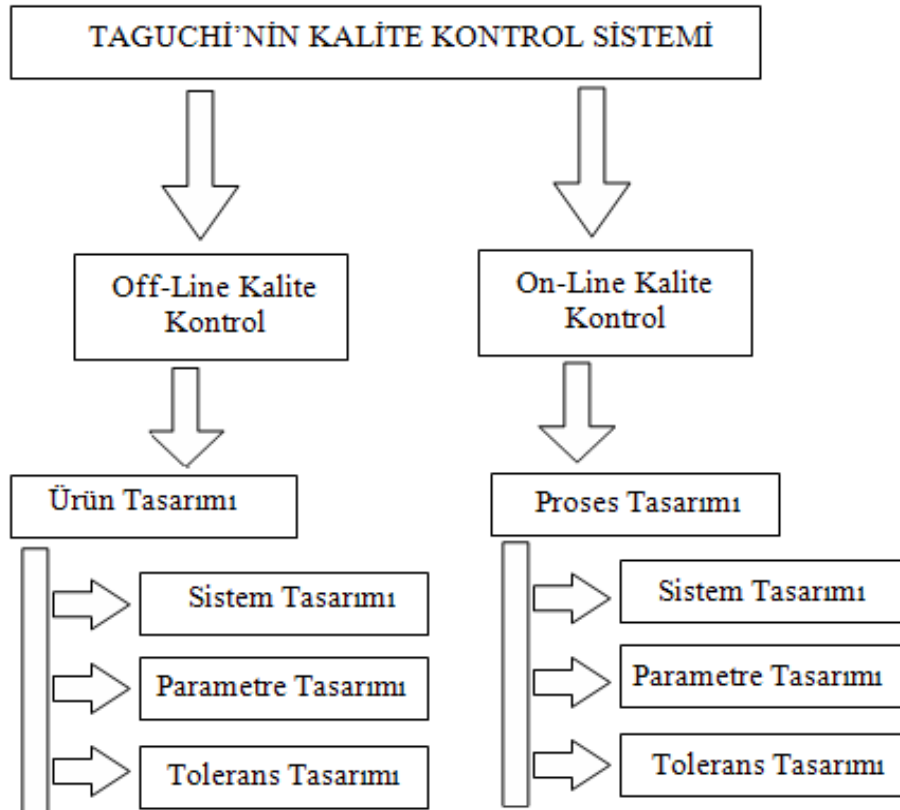
Taguchi'nin felsefesi şu şekilde özetlenebilir;

- Üretilen bir ürünün kalitesine ait önemli bir boyut da o ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır.
- Rekabetin olduğu bir ekonomide kaliteyi sürekli geliştirmek ve maliyetleri azaltmak işletmenin kalıcılığı için zorunludur.
- Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün hedef değerlerinden sapmaları sürekli azaltmayı içerir.
- Bir ürünün performansındaki bir sapmadan dolayı tüketicide meydana gelen kayıp yaklaşık olarak o sapmanın karesi ile orantılıdır.

- Üretilen bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti (geniş bir şekilde) ilgili ürünün tasarım mühendisliği ve üretim prosesi tarafından belirlenir.
- Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için ürünün performans karakteristikleri üzerinde etkili olan parametrelerin lineer olmayan etkilerini kontrol altına almak gerekir. Sürekli azaltmayı içerir.
- İstatistikî olarak tasarlanmış deneyler ürün veya proseslere ait performans sapmalarını azaltmak için kullanılır [70].

#### 4.4. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi

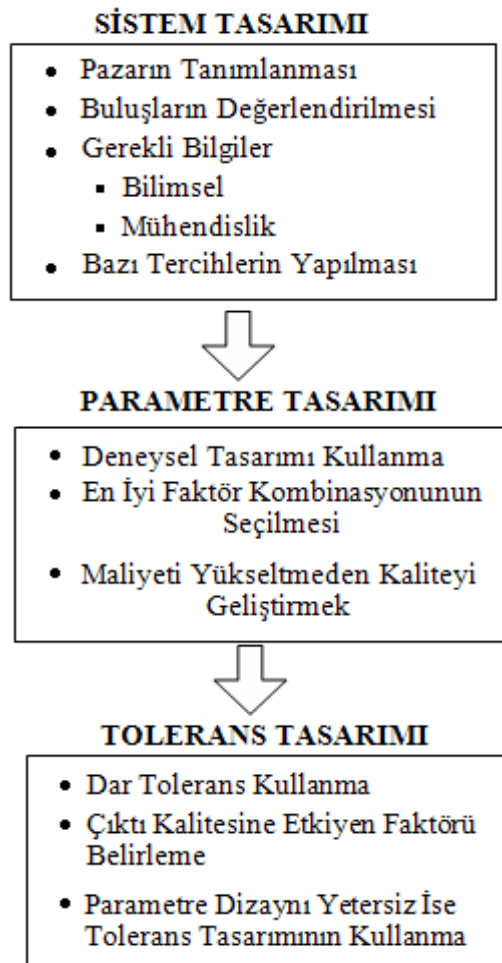
Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line (Çevirim içi) ve Off-line (Çevrim dışı ) olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Bu durum Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Taguchi'nin kalite kontrol sistemi [70]

On-line kalite kontrol; ürün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindendir.

Off-line kalite kontrol; pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır [72]. Off-line kalite kontrol metotları ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır. Taguchi Off-line kalite kontrolün her iki aşamasında da kalite güvenirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım getirmiştir. Kalite sağlama aşaması olarak hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için tanımlanan kalite aşamaları; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı aşamalarıdır [71]. Taguchi metodunun sistematüğini oluşturan, kalite aşamaları Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Taguchi metodunun sistematüğü [71].

#### 4.4.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi incelenir. Bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili; pazarın tanımlanması, buluşların değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca burada malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir [ 71].

Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Burada temel amaç, üretim aşamasında, spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en düşük maliyetle, mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir [70].

#### 4.4.2. Parametre Tasarımı

Taguchi'ye göre, ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de proses tasarımı için parametre tasarımı aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametreleri, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi, optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir [73].

Ürün parametre tasarımı ve proses parametre tasarımında temel amaç, üründe ve prosesde varyasyon (hedef değerden farklılık yani kalitesizlik) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün ve prosesdeki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına sağlam tasarım demektedir.

Burada sağlam, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır. Sağlam tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka bir faktörün ayarlanması sonucu azaltılmaktadır.

Ürün ve proses parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerin belirlenmesi ve optimal ayarların yapılması gereken çok sayıda faktör vardır. Üstelik bu faktörlerin birçoğu birbirleriyle etkileşim durumundadır. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen

faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla, birçok faktörün ürün üzerindeki etkisi ekonomik olarak (düşük maliyetle) belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasına almak mümkün olmaktadır [72].

#### **4.4.3. Tolerans Tasarımı**

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yeterli olmadığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilir. Varyasyonu istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımında üç tür kalite değişkeni vardır.

Bunlar;

- En büyük en iyi,
- En küçük en iyi
- Hedef değer en iyi'dir.

##### **4.4.3.1. En Büyük En İyi**

Bu tip tolerans çalışmalarında kalite değişkeninin bir üst sınır yoktur ve dolayısıyla hedef değer de yoktur. Ölçü büyüdükçe verimlilik artacaktır. Buna örnek olarak malzemelerin dayanıklılığı verilebilir.

##### **4.4.3.2. En Küçük En İyi**

Bu karakteristik tipi negatif yönden bir sapma göstermez. Daima alt sınırın olması istenir. Tolerans azaldıkça durumda iyileşme artar. Bu tipe örnek olarak bir üretim sürecindeki hurda miktarı verilebilir.

##### **4.4.3.3. Hedef Değer En İyi**

Bu durumda sapmalar iki yönlü olarak değişebilir. Dolayısıyla iki taraflı toleransa sahiptir. Buna en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir.

#### 4.5. Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı

Genichi Taguchi sağlam parametre dizaynının öncülerinden biri olarak kabul edilmektedir, parametre dizaynı, üretim ve proses dizaynı sırasında, varyasyon ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı olan duyarlılığın azaltılması için kullanılan bir mühendislik metodudur. Taguchi dizaynları uygun bir şekilde kullanıldığı takdirde, çeşitli çalışma koşullarında çok güçlü ve etkili bir metottur.

Sağlam parametre tasarımında temel amaç, proses hedef değerini korurken varyasyonu minimize edecek faktör seviyelerini belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir faktörler üzerinde ayarlamalar yapılabilir. Kontrol edilemeyen faktörler ise değişikliklere karşı duyarsız hale getirilmeye çalışılır. Proses tasarımında temel amaç, sürekli aynı çıktıyı üretmektir. Üretim dizaynında ise temel amaç, çevre faktörlerine rağmen sürekli bir performans ölçüsü yakalamaktır [71].

##### 4.5.1. Temel Çalışma Biçimi

Taguchi metodu, çok sayı da faktörün bağlı olduğu ürün ve prosesin kalitesini artırmak için geliştirilmiştir. Her bir faktörün izin verilen aralıklar içerisinde tüm olabilecek kombinasyonları etkili bir biçimde bu test ve geliştirme stratejisi içerisinde kurulabilmektedir. Mühendislik projeleri çok sayıda faktör içerdiği için, bir grup olabilecek kombinasyon denenemeyecek kadar geniştir. Üstelik özel projeler için etkili faktörler arasında etkileşimlerin olması deneme sayısını artırmaktadır. Test kombinasyonlarını azaltmada geleneksel olarak kısmi faktöriyel tasarım kullanılmaktadır. Taguchi faktöriyel deneyler için özel bir dizayn geliştirmiştir. Bu dizayn ortogonal dizilerden oluşmaktadır. Bu dizaynların kullanılması verilen faktörlerin en az sayıda deneyle incelenmesine olanak tanınması tüm faktörlerin sabit seviyeli olduğu ve etkileşimlerin önemsiz olduğu durumlarda standart ortogonal diziler kullanılmaktadır. Faktörlerin karışık seviyeli olduğu ve etkileşimlerin inceliği durumlarda ortogonal dizilerin modifiye edilmesi gerekmektedir. İçerisinde çok sayıda faktörün olduğu ilk deney tasarımı planının geliştirilmesi İngiliz Sir R. A. Fisher tarafından 1920 yılında yapılmıştır. Bu metot genelde faktöriyel tasarım olarak bilinir. Tam faktöriyel tasarım verilen deney seti için tüm olanaklı kombinasyonları denemektedir. Çoğu endüstriyel deney genellikle çok sayı da faktör içerir. Tam faktöriyel tasarımda çok geniş bir deney seti incelenir. Örneğin tam faktöriyel tasarımda 7 faktörlü ve her bir faktörün 2 seviyeli olduğu bir deney için tam 128 ( $2^7$ ) deneye ihtiyaç vardır [70].

Kısmi faktöryel tasarımda deney sayısını azaltmak için tüm kombinasyonlar arasından belirli grup seçilerek o grup üzerinde inceleme yapılır. Kısmi faktöryel tasarım iyi bir kestirme yol olarak bilinse de uygulamalar ve analiz için belirli kuralı yoktur. Taguchi metodu bu konuda iki önemli boşluğu tamamlamaktadır.

Bunlar;

- Deney koşullarına uygun olarak seçilebilecek ortogonal diziler net bir şekilde tanımlanmıştır.
- Sonuçların analizinde standart metotlar belirlenmiştir

Taguchi yaklaşımı standart deney tasarımı tekniklerinin ve analiz metotlarının bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon diğer istatistiksel metotlarda nadiren bulunan tutarlılık ve yeniden üretilebilirlik özelliklerini taşımaktadır. Şimdi deney kombinasyonlarının nasıl oluştuğunu anlamada fayda vardır.

Örneğin tek bir A(sıcaklık) faktörü ile ilgilendiğimizi düşünelim. A faktörünün eğer 2 seviyesi varsa ( $200^{\circ}\text{C}$  ve  $400^{\circ}\text{C}$ ) her iki seviye içinde ayrı ayrı deneme yapmak gerekir.

Faktör A: Seviye 1 =  $A_1(200^{\circ}\text{C})$  Seviye 2 =  $A_2(400^{\circ}\text{C})$

Faktör sayısını 2'ye çıkardığımızda ve her bir faktörde 2 seviye olduğu durumda, kombinasyon sayısı aşağıda gösterildiği şekilde 4'e çıkar.

$A_1B_1$ ,  $A_1B_2$ ,  $A_2B_1$  ve  $A_2B_2$

Faktör sayısı 3 ve her biri 2 seviyeli olduğu durumda  $2^3=8$  deneme ile karşı karşıya kalırız. Bunlar;

$A_1B_1C_1$ ,  $A_1B_1C_2$ ,  $A_1B_2C_1$ ,  $A_1B_2C_2$ ,  $A_2B_1C_1$ ,  $A_2B_1C_2$ ,  $A_2B_2C_1$ ,  $A_2B_2C_2$

Görüldüğü gibi bütün kombinasyonların denendiği tam faktöryel tasarımda, faktör seviyesi arttıkça, deney sayısı 2 seviyeli deneylerde ikinin kuvvetleri şeklinde artmaktadır. Farklı faktör ve seviyeli deneyler için tam faktöryel tasarım ve Taguchi metodu için gerekli deneme sayıları Tablo 4.1. de verilmiştir. Burada deney sayılarındaki farklılık bariz bir şekilde görülmektedir [70].

**Tablo 4.1** Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar [70].

| Faktör | Seviye | Deney Sayısı             |                |
|--------|--------|--------------------------|----------------|
|        |        | Tam Faktöryel Tasarımı   | Taguchi Metodu |
| 2      | 2      | 4(2)                     | 4              |
| 3      | 2      | 8 (2 <sup>3</sup> )      | 4              |
| 4      | 2      | 16 (2 <sup>4</sup> )     | 8              |
| 7      | 2      | 128 (2 <sup>7</sup> )    | 8              |
| 15     | 2      | 32768 (2 <sup>15</sup> ) | 16             |
| 4      | 3      | 81 (3 <sup>4</sup> )     | 9              |

#### 4.5.2. Deney Tasarımı

Deney tasarımı içerisinde geçen tasarım kelimesi zihinsel olarak yapılan proje veya planları ifade etmektedir. Tasarım farklı koşullarda gerçekleştirilebilir. Mühendislikte tasarım denildiği zaman genelde ürün tasarımı ve proses dizaynı akla gelir [72].

Deney tasarımı yapılmadan önce ürün ve proses hakkında mutlaka yeterli bilgiye sahip olunmalıdır. Deneyde kullanılacak faktörlerin ve onların çıktı üzerine etkileri tanımlanmalıdır. Faktörler hakkında ayrıntılı bir bilgiye sahip olmak için genelde o konu ile ilgili tüm insanlardan bilgi alınır. Taguchi tüm faktörlerin ve bunların seviyelerinin tespit edilmesi için beyin fırtınası tekniğini önemli bir adım olarak görmüş tür.

Taguchi tasarımı seçilirken;

- Kontrol faktörü sayısı
- Her bir faktörün seviye sayısı
- Deney çalıştırma sayısı ve
- Diğer şartların sisteme etkileri (maliyet, zaman, üretebilme durumu) göz önüne alınır.

Deneyler statik ve dinamik sonuçlu olmak üzere 2 türlü yapılabilir. Statik sonuçlu deneylerde kalite değişkenleri sabit seviyedir. Dinamik sonuçlu deneylerde ise kalite değişkenleri verilen değer aralıklarındadır [72].

#### 4.5.2.1. Statik Sonuçlu Tasarım

Taguchi metodunun başlıca 2 amacı vardır. Bunlar;

- Kalite değişkenini hedefe mümkün olduğunca yaklaştırmak,
- Varyansı, yani hedef değerden sapmayı minimize etmektir.

Statik sonuçlu tasarımlar kalite değişkeninin sabit seviyeli olduğu tasarımlardır. Bu tür tasarımlarda hedef değerden sapmayı minimize etmek için bir değişim ölçüsü gerekmektedir. İşte bu noktada Taguchi deney sonuçları arasındaki farklılığı minimize etmek için S/N (Signal/Noise) oranlarını geliştirmiştir [71].

Statik bir tasarımda Taguchi tarafından belirlenmiş S/N oranları, sistemden istenen amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Bu aşamada iyi bir mühendislik bilgisi ve sistemin iyi analiz edilmesi çok önemlidir. Seçilebilecek S/N oranları Tablo 4. 2.' de verilmiştir [72].

**Tablo 4.2** Taguchi'nin Sinyal/Gürültü oranları [70].

| Seçim                                                      | Amaç                                                              | Sonuç                                               |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| En Büyük En İyi<br>$S/N = -10(\log(\sum \frac{1}{Y^2})/n)$ | Sonucun maximize edilmesi                                         | Pozitif                                             |
| Hedef Değer En İyi<br>$S/N = -10(\log(s^2))$               | Sadece standart sapmanın azaltılması                              | Pozitif, sıfır ya da negatif                        |
| Hedef Değer En İyi<br>$S/N = 10(\log(Y^2)/s^2)$            | Standart sapmanın ve ortalamanın belli bir hedef değerinde olması | Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapma da sıfır |
| En Küçük En İyi<br>$S/N = -10(\log(\sum Y^2)/n)$           | Sonucun minimize edilmesi                                         | Pozitif                                             |

#### 4.5.2.2. Dinamik Sonuçlu Tasarım

Kalite değişkeninin sabit bir sayı değil de, belirli bir değer aralığında olduğu tasarımlardır. Dinamik sonuçlu bir deney, işleme başlama anı ile sonuç arasındaki fonksiyonel ilişkiyi analiz etmek ve geliştirmek için kullanılır. Genel olarak gürültü faktörünün, kalite değişkenlerinin sistemin giriş anına bağlı olarak belirli değerler aldığı

durumlarda kullanılır. Buna Örnek olarak otomobilin ivmelenmesi verilebilir. Burada işleme başlama anı, otomobilin gaz pedalına basılmasıdır ve dinamik sonuç otomobilin hızıdır. İdeal olarak işleme başlama anı ile sonuç arasında doğrusal bir ilişki olması gerekir. Duyarsızlık bu ilişki içerisinde gürültü faktörleri yüzünden minimum varyasyona ihtiyaç duyar. Bu yüzden dinamik tasarımlarda mümkün olduğunca deneme sayısı fazla tutulmalıdır [72].

#### 4.5.3. Uygulama İşlemleri

Taguchi metodunun uygulama işlemleri sırasıyla aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- Problemin belirlenmesi.
- Hedeflerin belirlenmesi.
- Kalite değişkenleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi.
- Kalite değişkenlerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin tespit edilmesi.
- Faktörlerin kontrol ve hata faktörleri olarak ayrılması.
- Etkileşimlerin belirlenmesi.
- Uygun ortogonal dizinin seçimi.
- Kontrol faktörleri ve etkileşimlerin sütunlara atanması.
- Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.
- Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi.
- Doğrulama deneyinin yapılması [70].

##### 4.5.3.1. Problemin Belirlenmesi

Bilimsel bir problem çözme çalışmasında belki de en önemli aşama problemin belirlenmesi ve tanımlanmasıdır. Çünkü işin başında yapılan bir yanlışlık sonrasında tüm çalışmanın boşa gitmesine neden olabilir. Problemlerin tespit edilmesinde özellikle müşteri şikâyetleri ve ilgili mühendislik birimlerinin görüşleri alınmalıdır.

Problemin tespiti çalışmalarında öncelikle daha önceden belirlenmiş kalite değişkenleri kullanılır. Eğer mümkünse müşteri görüşleri ve eğilimlerinden faydalanılarak hedef daha da hassaslaştırılır. Meydana gelen sapmaların ne gibi kayıplar getirdiği iyice belirlenir. Söz konusu kayıplar itibar kaybı, maliyetlerin artması, müşteri tatminsizliği vs. olabilir. Bunlar arasında maliyet kaybını ölçmek kolay iken diğerlerini ölçmek zordur.

Tesirleri uzun dönemde ortaya çıkar. Taguchi' nin üzerinde özellikle durduğu kayıplar da esasen uzun dönemde etkilerini göstermesi beklenen bu tür kayıplardır. Zorlu rekabet şartlarında itibarda ve dolayısıyla müşteride meydana gelebilecek kayıplar uzun dönemde önemli maliyet kayıpları haline dönüşür. Dolayısı ile hedefin bu tür kayıpları önleyebilecek hassasiyette olmasına ve de müşteri tatminini azami derecede sağlayabilmesine özen göstermek gerekir[71].

Problemler daha önceden tespit edilen büyük problemler olabileceği gibi, Japonların Kaizen (sürekli iyileştirme) felsefesince tespit edilen küçük problemlerde olabilir. Unutulmamalıdır ki başlangıçta küçük gibi gözüken bir problem, ilerde büyük sorunlara yol açabilir [70].

#### **4.5.3.2. Hedeflerin Belirlenmesi**

Her işletmenin kendine göre belli hedefleri vardır. Bunlar belli bir üretim sayısına ulaşmak, müşteri beklentilerini karşılamak, maliyeti düşürmek vb. olabilir. Bu noktada Taguchi metodunun uygulandığı bir yerde de başlıca iki hedef vardır. Bunlar kalite değişkeninin istenilen değere getirilmesi ve varyasyonun düşürülmesidir [70].

Kalite konularına ilişkin olarak varyasyon, hedef değerden sapma olarak tanımlanabilir. Üretim faktörleri deneyde belirtilen seviyelerde yapıldığı takdirde, bu değişkenlerin ortalama değeri optimize olacaktır. Fakat ürünün kalitesi, grup ortalamasından daha çok, grup dağılımıyla temsil edilir. Örneğin, kaynak mukavemetinin ortalama değeri, minimum spesifikasyon sınırının üstünde olduğu halde, grubun önemli bir yüzdesi (%30-%40 gibi) muayeneyi geçemeyip reddedilebilir [72].

#### **4.5.3.3. Kalite Değişkenleri ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi**

Ürünün müşteri tarafından istenilen fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli ve kalitesini belirleyen özelliklerine kalite değişkeni denir. Bu aşamada hedeflenen kalite değişkenleri belirlenir. Ayrıca kalite değişkenlerinin ölçümü için gerekli aletlerin seçimi ve ölçme metotları ilgili mühendislik birimlerine başvurularak belirlenir [72].

#### **4.5.3.4. Kalite Değişkenlerini Etkileyen Faktörlerin Seçimi ve Seviyelerinin Tespit Edilmesi**

Faktörlerin seçimi ve faktör seviyelerinin tespiti işlemi, o işle uğraşan kişiler ve o alanda uzmanlaşmış teknik personel tarafından yapılır. Bu aşamada en iyi yöntem beyin fırtınası tekniğidir. Ayrıca akış şeması ve sebep-sonuç diyagramlarının da incelemesi faktör ve faktör seviyelerinin belirlenmesinde büyük fayda sağlar [71].

Beyin fırtınası, işletme problemlerine çözüm aranırken ilgili personelin bir araya gelip, her birinin konu hakkındaki kanaat ve çözüm önerilerini dile getirdiği bir toplantıdan ibarettir. Bu etkin toplantıya her seviyeden iş gören katılabilmektedir. Görüşler ifade edildikten sonra oylama usulü ile etkin çözüme doğru yol alınır. Oylamaya her görüş dahil edilir. Metot kullanılarak kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörler belirlenir. Mevcut metotlar arasında en etkin olanı çoğunlukla bu metot olmaktadır [70].

#### **4.5.3.5. Etkileşimlerin Belirlenmesi**

Taguchi Dizaynları esas olarak faktörlerin ana etkileri üzerinde çalışmak için tasarlanmıştır. Fakat istenirse 2 yönlü etkileşimler üzerinde de çalışılabilir. İki faktörün etkileşimli olması, faktörlerden birinin etkisinin diğerine bağımlı olmasıdır. A faktörünün etkisinin B faktörünün etkisini değiştirmesi gibi. Bu durum  $A*B$  şeklinde gösterilir. Örneğin sıcaklıkla nem arasında insan rahatlığı açısından güçlü bir etkileşim vardır. Sıcaklıktaki bir artış küçük bir rahatsızlık verebilir fakat nem artıkça rahatsızlık daha fazla artar.

Deneyler yapılmadan önce faktörler arasında etkileşim olup olmadığı sadece o zamana kadar elde edilmiş bilgi ve tecrübelerle tahmin edilebilir. Bu noktada çok dikkat edilmelidir. Aksi takdirde tüm sonucu etkileyecek yanlış kararlar alınabilir [70].

#### **4.5.3.6. Uygun Ortogonal Dizin Seçimi**

##### **4.5.3.6.1. Ortogonal Diziler**

Ortogonal düzen ilk kez 1897'de Fransız matematikçi, Jacques Hadamard tarafından matematiksel bir buluş olarak ortaya konmuştur. Ortogonal diziler temel olarak hangi denemede hangi faktörün hangi seviyesinin kullanılacağını belirler.

Ortogonal düzenin en önemli özelliği, birçok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlaması ve klasik metottan farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir. Normal  $2^k$  faktörlü bir deneysel tasarım kurulacaksa tam faktöryel tasarım gereği  $2^k$  adet denemenin gerçekleştirilmesi beklenir. Kademelerden biri değiştirilip diğeri sabit tutularak deney yürütülür. Fakat Taguchi uzun çalışmalar sonucu standart deneme planları geliştirdi ve bu planların vereceği sonuçla  $2^k$  denemenin sonuçları arasında bir fark olmayacağını iddia etti. Bu iddiasında haklı olduğunu da çalışmalarıyla pratik olarak gösterdi. Söz konusu standart deneme planlarının esası eş zamanlı olarak bir kaç faktörün kademelerini değiştirerek deneme sayısında çok fazla bir azalma yapmasına dayanmaktadır. Örneğin yedi faktörün tespit edildiği bir deney için  $2^7=128$  adet denemeyi gerçekleştirme gerekir. Hâlbuki Taguchi bunun için 8 denemeyi yeterli görmektedir. Bunu şekilde açıklayabilir. Tablo 4,3'de 2 deneme planı görülmektedir. Buna göre 1 ilk seviyeyi, 2 ise ikinci seviyeyi gösterir. İlk 6 faktör sabit iken 7. faktörde seviye değişikliği yapılmaktadır. Bu yolla bütün faktörler teker teker denenmektedir. Sonuçta 128 deneme gerçekleşmiş olmaktadır. Hâlbuki Taguchi dizaynına göre ilk denemeden ikinciye geçilince 7 faktörden 4'ü değiştirilmektedir. Daha sonraki denemeler için de 4'ü 2.seviyede, 3'ü 1. seviyede olmak üzere her seferinde değişiklik yapılmaktadır. Bunda da toplam 8 deneme gerekli bilgiyi verebilmektedir. Sonuçta Taguchi'nin teklifi çok önemli bir maliyet ve zaman tasarrufu getirmektedir [71].

**Tablo 4.3**  $2^k$  ve Taguchi dizaynı deney planları

| Deneme<br>No | Faktör No |   |   |   |   |   |   |
|--------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
|              | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 3            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 4            | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 5            | 1         | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 6            | 1         | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| :            | :         | : | : | : | : | : | : |
| 128          | 2         | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

$2^k$ Dizaynı

| Deneme<br>No | Faktör No |   |   |   |   |   |   |
|--------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
|              | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 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 |

Taguchi Dizaynı

Bu dizilere her faktörde eşit miktarda farklı seviye bulundurduğu için ortogonal dizi denilmektedir. Ortogonal diziler 2 seviyeli, 3 seviyeli ve 2 ve 3 seviyeli olmak üzere üç türlü belirlenmişlerdir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deneysel tasarımının temel taşlarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Şayet başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamadıysa, faktörlerde bir takım yeni düzenlemeler yapıp dizilerden birine uydurmak gerekmektedir. En çok kullanılan diziler 2 seviyeliler için  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$  ve  $L_{32}$  iken 3 seviyeliler için  $L_9$ ,  $L_{18}$ ,  $L_{27}$  dizileri olmaktadır. Her iki seviyenin karışık kullanıldığı dizilerden bazıları  $L_{18}$ ,  $L_{36}$ ,  $L_{54}$  dizileridir [70].

#### 4.5.3.6.2. Ortogonal dizi seçimi

Dizilerin seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Seviye sayısı dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Eğer seviyelerde karşılık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerde seviye homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır. Bir dizinin toplam serbestlik derecesi her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamına eşittir. Dizide sütunlara atanan faktörler tek başına faktör veya iki faktörün etkileşimi olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır:

$V_A$ : A faktörünün serbestlik derecesi

$V_{A*B}$ : A ve B etkileşiminin serbestlik derecesi

$k_A$ : A faktörü seviye sayısı

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam deney sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

$V_T$ : Dizinin toplam serbestlik derecesi

N: Dizideki toplam deney sayısı

$$V_T = N - 1 \quad (4.1)$$

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktörler grubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi hangi dizinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o

tercih edilir. Toplam serbestlik derecesi en fazla; seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst diziyi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir [71].

#### **4.5.3.7. Kontrol Faktörleri ve Etkileşimlerin Sütunlara Atanması**

Kontrol ve etkileşimlerin sütunlara atanmasında öncelikle etkileşimlerin atanması yapılır. Çünkü bazı sütunlar etkileşim olan diğer sütunlarla karıştırılabilir. Yani bağımsız olarak değerlendirilemeyebilir. Ayrıca iki yönlü etkileşimlerin incelenebilmesi için bazı sütunlara faktör atanmaz ve boş bırakılır. Etkileşimlerin sütunlara atanmasında etkileşim tabloları kullanılır. Etkileşim tabloları etkileşimlerin olduğu sütunları gösterir. Her bir Taguchi dizaynı için ayrı bir etkileşim tablosu vardır [70].

#### **4.5.3.8. Deneylerin Yapılması ve Sonuçların Kaydedilmesi**

Ortogonal dizinin sütunlarına faktörler yerleştirildikten sonra deney planı kurulmuş olur ve deneyleri gerçekleştirmek için gerekli fiziksel şartlar sağlanır. Bu aşamadan sonra deneylerin hangi sırayla yapılacağına karar vermek gerekir [70].

##### **4.5.3.8.1. Deneylerin Yapılış Sırası**

Deneylerin yapılış sırası belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılır. Rassallaştırma en çok kullanılan yöntemlerdendir. Rassallaştırma denemelerin yapılış sırasının numara sırasına göre değil de belli bir rastgelelikte yapılmasıdır. Denemelerden oluşan testlerin uygulanış sırası rastsallık içermelidir. Böylece deney sırasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek, fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek mümkündür. Rassallaştırma çeşitli yöntemlerle yapılabilir. En çok kullanılan yöntemler;

- Tamamen rassallaştırma,
- Basit tekrar
- Bloklar içinde tamamen rassallaştırmadır.

Tamamen rassallaştırma yönteminde, ilk olarak istenilen deney yapılır. Sonrasındaki deneyler rastgele sayılar tablosu kullanılarak belirlenen deney sırasıyla

yapılır. Tekrarlar söz konusu olduğunda bir test tamamlanana kadar tüm deneyler rassal olarak seçilir ve ikinci tekrar yapılırken deney sırası rassal olarak bir öncekinden farklı sırada seçilir. Deneyler tamamlanıncaya kadar bu yöntem uygulanır. Basit tekrarda da tüm deneyler ilk test olarak seçilebilmek için eşit şansa sahiptir. Fakat diğerinden farkı, tekrarlar söz konusu olduğunda, seçilen deney için gerekli tüm tekrarlar arka arkaya test edilir. Bu yöntem, deneylerin hazırlanışının zor, zaman alıcı ve pahalı olduğu durumlarda geçerlidir [70].

#### **4.5.3.8.2. Deneylerin Tekrarlanma Sayısı**

Deneylerin yapılabilmesi için her deneme için en azından bir deney yapılmalıdır. Fakat tek gözlem, sonuçlardaki olabilecek değişkenliği temsil etmez. Her bir deneme için birden fazla deney yapılması ile yığının ortalamasında meydana gelebilecek küçük değişkenlerin saptanabilmesi sağlanacaktır. Bazı deneylerde deneme çalışmaları kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde tekrarlanmaktadır. Bazıları ise yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Ekonomik açıdan değerlendirilirse, eğer testler çok pahalı ise bir deneme için bir test yapılır, testler pahalı değilse bir deneme için birden fazla deney yapılır[71].

Deney sonuçlarının kaydedilmesinde en iyi yöntem, bilgisayar ortamında hazırlanan formların kullanılmasıdır. Örneğin Minitab Release 15 paket programı, deneyde kullanılması düşünülen dizayn, ilgili menüden girildiği takdirde, deney sonuçlarının kaydedilmesi için hazır bir form vermektedir [70].

#### **4.5.3.9. Veri Analizi ve Kontrol Edilebilen Değişkenlerin En İyi Değerlerinin Belirlenmesi**

Faktörlerin incelenip, en uygun faktör seviyelerinin tespit edilmesi için beş yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- Gözlem metodu
- Sıralama metodu
- Sütun farkları metodu
- Varyans analizi metodu
- Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi (FEGG) metodudur [70].

Yapılan bu çalışmada varyans analizi kullanıldığından bu metot kısaca açıklamıştır.

#### 4.5.4. Varyans Analizi

Ürün veya proses geliştirmenin amacı; müşteri beklentileri ve ihtiyaçları ile ilgili olan ürün veya prosesin performans karakteristiğini geliştirmektir. Deneylerin amacı ise ürün veya prosesin değişimini kontrol etmek ve azaltmaktır. Sonra da performansı etkileyen parametrelerin hangileri olduğu ile ilgili bir karar verilmelidir. Kalite ile ilgili tartışmaların büyük bir bölümü varyans ile ilgili olduğundan dolayı, deneysel verilerin yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde varyans analizi (ANOVA) istatistiksel metotları kullanılmaktadır. ANOVA test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiğe dayalı bir araçtır. Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi niceliklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Deneysel tasarım esasında varyans analizine dayanmaktadır. Bu metot 1930’larda İngiliz istatistikçisi Fisher tarafından geliştirilmiştir. İsminin baş harfi F’ye dayanılarak yönteme F testi diyenlerde vardır. Varyans analizi tek faktörlü, iki faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Taguchi ortogonal dizileri iki ve üç kademeli olduklarından çoğunlukla ikili veya üçlü kademe için varyans analizi bu aşamada kullanılır[74, 75].

Faktör etkilerinin belirlenmesinde kullanılan varyans analizi hesaplamalarında kullanılan notasyonlar şöylece sunulabilir.

$SS_T$ : Tüm değerlerin kareleri toplamı

$SS_A$  : A faktörü için kareler toplamı

$SS_o$ : Hata kareleri toplamı

$V_T$ : Toplam serbestlik derecesi

$V_A$  : A’nın serbestlik derecesi

$V_{A \times B}$  : A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi

$V_o$  : Hata varyansı

$N$  : Elde edilen toplam veri sayısı

$n_A$  : A faktörü için veri sayısı

$T$  : Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması

$y_i$  : Gözlenmiş değer

$k_A$  : A faktörünün kademe sayısı

#### 4.5.4.1. Kareler Toplamı

Toplam varyansı bileşenlerine ayırırsak üç çeşit varyasyonla karşılaşılır.

1. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlere göre (A, B, C ...) varyasyon.
2. Bu faktörlerin etkileşimlerine göre varyasyon,
3. Hataya göre varyasyondur.

Eğer A ve B gibi iki faktörümüz ve bu faktörler arasında bir etkileşim varsa toplam varyasyon aşağıdaki gibi yazılır.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_o \quad (4.2)$$

$A \times B$ , A ve B faktörleri arasındaki etkileşimi temsil etmektedir.

$$SS_T = \left[ \sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (4.3)$$

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{k_A} \left( \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (4.4)$$

Hata varyasyonu hesaplamanın en kolay yolu, toplam kareler toplamından tüm faktörler ve etkileşimlerin kareler toplamının çıkarılmasıdır.

$$SS_o = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B} \quad (4.5)$$

Ortogonal düzende sütunların toplam kareler toplamı  $SS_T$ 'yi verir.

$$SS_T = \sum SS_{SÜTUN} \quad (4.6)$$

#### 4.5.4.2. Serbestlik Derecesi

ANOVA hesaplarını tamamlamak için bir diğer özellik olan serbestlik dereceleri dikkate alınmalıdır. İstatistiksel olarak serbestlik derecesi, verilerden elde edilen her bir parça bilgi ile ilişkilendirilmektedir [74]. Genel bir tanımlamada bir sonuca varabilmek için yapılması gereken bağımsız karşılaştırmaların sayısıdır. Kareler toplamı gibi serbestlik derecelerinin toplamı da toplam serbestlik derecesini verir [75].

İki faktör ve bunların etkileşimleri göz önüne alınırsa:

$V_T$  = Toplam Serbestlik derecesi

$$V_T = V_A + V_B + V_{A \times B} + V_0 \quad (4.7)$$

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$$V_T = N - 1 \quad (4.8)$$

Bir faktör ya da sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğidir.

$$V_A = k_A - 1 \quad (4.9)$$

$$V_B = k_B - 1 \quad (4.10)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$V_{A \times B} = (V_A) * (V_B) \quad (4.12)$$

Hata serbestlik derecesi de; toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri çıkartılarak bulunur.

$$V_0 = V_T - V_A - V_B - V_{A \times B} \quad (4.13)$$

Denemelerin tekrarları söz konusu olduğunda ise toplam serbestlik derecesi

$$V_T = \text{Deneme sayısı} \times \text{Tekrar sayısı} - 1 \quad (4.14)$$

#### 4.5.4.3. Varyans

ANOVA tablosundan hesaplanabilen bir değer tanımlayıcısı istatistikte varyanstır. Hata varyansı, genellikle varyans olarak bilinir ve hata kareleri toplamının hata serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilen değere eşittir.

$V_e$  = Hata varyansı

$$V_T = \frac{SS_o}{V_o} \quad (4.15)$$

Hata varyansı, hata (kontrol edilemeyen) faktörlerden kaynaklanan değişimin ölçüsüdür ve deneylerdeki ölçüm hatalarını da içine almaktadır. Faktörler ve etkileşimlerinin varyanslarında aynı şekilde hesaplanmaktadır.

A faktörü için varyans:

$$V_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (4.16)$$

B faktörü için varyans:

$$V_B = \frac{SS_B}{V_B} \quad (4.17)$$

AxB etkileşimi için varyans:

$$V_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{V_{AxB}} \quad (4.18)$$

şeklinde bulunur.

Ortogonal düzende atama yapılmamış olan sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir [74]. Sütunların hata varyansının kestiriminde kullanılması yaklaşımı tüm sütunlara faktörler atandığında da kullanılabilir. Deneyler yönlendirilmeden önce performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktörler gerçekte önemli olmayabilirler. Bu faktörlerin atandığı sütunların varyansı küçük olacağından bunlar hata varyansının kestiriminde kullanılırlar. Bir faktörün deney sonucuna katkısı yüzde olarak küçük bir rakamsa, analiz hesaplamalarında göz ardı edilmesi tasarımda daha büyük önem taşıyan faktörlerin belirlenmesi için gereklidir. Yüzdesel etkinin yanı sıra, kareler toplamı da hata varyansının hesaplanmasında hangi sütunların birleştirileceğinin belirlenmesi için

kullanılabilir. Hata varyansı için sütun belirleme işlemi yapılırken F-testi de uygulanabilir. Buna göre; etkisi en çok olan sütunu takip eden küçük etkili sütuna göre önemli olup olmadığını görmek için F-testi uygulanır. Eğer önemli bir F oranı ortaya çıkmazsa, bu iki sütunun etkisi bir sonraki küçük etkili sütunla karşılaştırılmak üzere birleştirilir. Bu işlem önemli bir F oranı buluncaya kadar devam eder[75].

#### 4.5.4.4. F Testi

Testler yapıp veriler elde edildikten ve varyanslar bulunduktan sonra hangi faktörlerin önemli bir etkiye sahip olduğunu görmek için F-testi uygulanmaktadır. Standart F-testi uygulanırken, hataların eşit sapmalarla normal dağıldığı ve bağımsız olduğu varsayılmaktadır. F-testi varsayımları yerine getirilmediği takdirde, önem derecesi hesapları doğru sonuçları yansıtmayabilir. Bununla birlikte standart F testinin varsayımlardan sapmalara karşı duyarsız olması nedeniyle bazı varsayımları sağlamasa da kullanılabileceği belirtilmektedir [76]. F- testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan F değerleri ile belirlenen güven seviyesindeki F tablo oranları karşılaştırılarak, tablo oranından büyük F değerine sahip faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülür. Verilerden elde edilen F değeri faktör ya da etkileşimi varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (4.19)$$

## **5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **5.1. Çalışmanın Amacı**

Tornalama-frezeleme yöntemi, son zamanlarda hızlı bir şekilde gelişen modern talaş kaldırma yöntemlerinden biridir. Yeni veya gelişmekte olan yöntemlerin işleme parametrelerinin tespit edilmesi ve bu parametrelerin etkilerinin belirlenmesi çok önemlidir. Bu yöntemin tornalama ve frezeleme yöntemlerinin bir kombinasyonu olması talaş kaldırma parametrelerini de beraberinde arttırmaktadır.

Üretilen makine parçalarının çalıştığı yere uyum göstermesi ve daha verimli çalışmasını sağlamak için talaş kaldırma yöntemleri her geçen gün gelişme ve yenilenme sürecine girmektedir. Talaş kaldırma yöntemlerinde, işlenen parçada iyi bir yüzey geometrisi ve ölçü tamlığı elde etmek ayrıca malzemenin yapısında ısının, nemin ve darbelerin neden olduğu çatlama, içyapı gerginlikleri korozyon ve termal zararlara neden olan sebeplerin ortadan kaldırması istenir.

Bu çalışmada, Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanarak, Ç1040, AISI 304 paslanmaz çelik ve pirinç gibi üç farklı malzeme teğetsel tornalama-frezeleme talaş kaldırma yöntemi ile işlendi. Minitab 15 programı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda kesme parametrelerinin oluşan yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri S/N oranları dikkate alınarak incelendi ve ANOVA varyans analizi ile analiz edildi. Minitab 15 programı kullanılarak yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modeli elde edildi. Modelin uygunluğu yine varyans analizi ve artık analizi ile analiz edildi. Bu çalışmada teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi belirlenmesi amaçlanmıştır.

### **5.2. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneyleri**

Teğetsel tornalama-frezeleme deneyleri Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümünün CNC atölyesinde yapıldı. Teğetsel tornalama-frezeleme deneylerinin yapılışı sonraki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

### 5.2.1. Deney Düzenekinin Tanıtılması

Teğetsel tornalama-frezeleme deneyleri Şekil 5.1’de görülen CNC FANUC OM dikey işlemeli freze tezgâhında yapıldı. Deneylerin yapılabilmesi için CNC freze tezgâhının tablası üzerine farklı devirlerde dönebilen bir ayna ve diğer tarafına iş parçasını desteklemek amacı ile punta yerleştirildi. Bu deney düzenekinde bir taraftan iş parçası kendi eksenini etrafında döndürülürken diğer taraftan da freze çakısının kendi eksenini etrafında döndürülmesi ve tablanın X ekseninde ilerlemesi sağlandı.



Şekil 5.1. Teğetsel tornalama-frezeleme deney düzenek fotoğrafı

### 5.2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Deney Düzenekine Bağlanması

Teğetsel tornalama-frezeleme deneylerinin yapılması için Ø40x60 mm çapındaki Ç1040 çelik, 304 östenitik paslanmaz çelik ve pirinç malzemeler testere ile kesildi. İş parçası boyu  $L \leq 2D$  oranına göre seçildi. Burada L, iş parçası boyunu ve D de iş parçası çapını ifade etmektedir. Punta ile desteklenmesi için bir tarafına punta deliği açıldı. Şekil 5.2 ‘de deneyde kullanılan malzemelerin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.2. Deney numunelerinin fotoğrafı

Deney çalışmalarının yapılması için iş parçası bir tarafı aynaya bağlanırken diğer tarafı punta ile desteklendi. Ayna ile punta arasına bağlanan iş parçası belirli devirde döndürüldükten sonra kesici takım belirli bir devirde döndürülerek iş parçası eksenine dik ama iş parçasına teğet olacak şekilde temas ettirildi. Gerekli talaş derinliği verildikten sonra X ekseninde aynaya doğru belirli bir ilerleme hızı ile talaş kaldırıldı.

### 5.2.3. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Yapılan bu çalışmada endüstrinin birçok alanında sıkça kullanılan üç farklı malzemenin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki talaş kaldırma parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır.

Ç1040 çeliği, piyasadan kolaylıkla temin edilebilen ve ısıt işlemler neticesinde büyük sertlik değerlerine ulaşabilen bir çelik türüdür. Ç1040 çeliği, genel olarak ilk planda, çekme dayanımları ve akma sınırı değerleri göz önünde tutulduğundan çelik konstrüksiyon, köprü yapımı, basınçlı kap ve donanımları, taşıt yapımı ve makine konstrüksiyonlarında, levha, sac, bina, gemi yapımında kullanılmakla birlikte; ayrıca

transmisyon millerinin, rayların ve dişlilerin yapımında da kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan Ç1040 çeliğin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri Tablo 5,1 ve 5,2’de verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Ç1040 çelik malzemenin kimyasal analizi

| C    | Mn   | P    | S    | Fe       |
|------|------|------|------|----------|
| 0.40 | 0.75 | 0.05 | 0.07 | G. Kalan |

**Tablo 5.2.** Ç1040 çelik malzemesinin mekanik özellikleri

| Çekme mukavemeti (MPa) | Akma mukavemeti (MPa) | % Uzama | Sertlik HB |
|------------------------|-----------------------|---------|------------|
| 518.8                  | 353.4                 | 30.2    | 149        |

Paslanmaz çelikler, yüksek çekme mukavemeti, korozyon direnci ile düşük ısı iletkenlik ve yüksek süneklilik özelliklerine sahip yüksek miktarda krom-nikel ve bir miktar molibden gibi mukavemet artırıcı elementler içeren çeliklerdir. Bu çeliklerin özellikle havacılık, tıp, nükleer, gıda ve savunma sanayi gibi birçok alanda kullanımı gün geçtikçe daha da önem kazanmıştır. Deneylerde kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri Tablo 5.3 ve 5.4’te verilmiştir.

**Tablo 5.3.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin kimyasal analizi

| C    | Mn  | Si  | Cr   | Ni  | P     | S    | Fe       |
|------|-----|-----|------|-----|-------|------|----------|
| 0.08 | 2.0 | 1.0 | 18.0 | 8.5 | 0.045 | 0.03 | G. Kalan |

**Tablo 5.4.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin mekanik özellikleri

| Çekme mukavemeti(MPa) | Akma mukavemeti(MPa) | % Uzama | Sertlik HB |
|-----------------------|----------------------|---------|------------|
| 515                   | 205                  | 40      | 201        |

Pirinç, bakır ve çinko ağırlıklı karışımıyla kolay işlenebilen, korozyona dayanıklı ve dekoratif olabilen bir mazemedir. Otomat tezgahlarda imal edilen her türlü dönel parçalar (cıvatalar, somunlar, valf, vana, sıhhi tesisat malzemeleri, flanşlar ) ve birçok

dekoratif parça imalatında kullanılır. Çok iyi talaş kaldırma kabiliyeti genellikle % 2-3 kurşun ilavesi ile elde edilir. Deneylerde kullanılan pirinç malzemenin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri Tablo 5,5 ve 5,6’da verilmiştir.

**Tablo5.5.** MS58 pirinç malzemenin kimyasal analizi

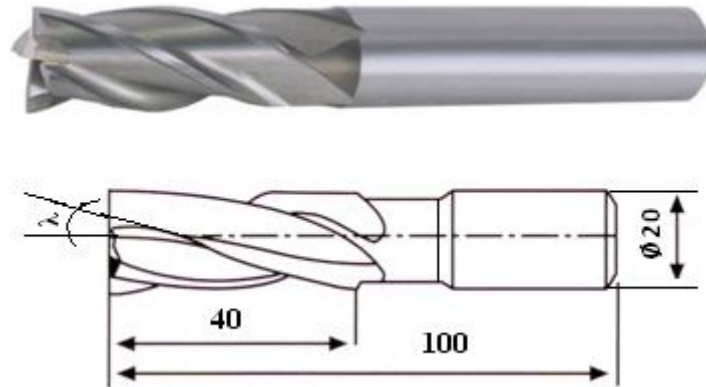
| Cu    | Zn    | Pb   | Sn  | Fe  | Ni  | Al   | Diğ. |
|-------|-------|------|-----|-----|-----|------|------|
| 56.83 | 39.13 | 2.94 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.05 | 0.15 |

**Tablo 5.6.** MS58 pirinç malzemenin mekanik özellikleri

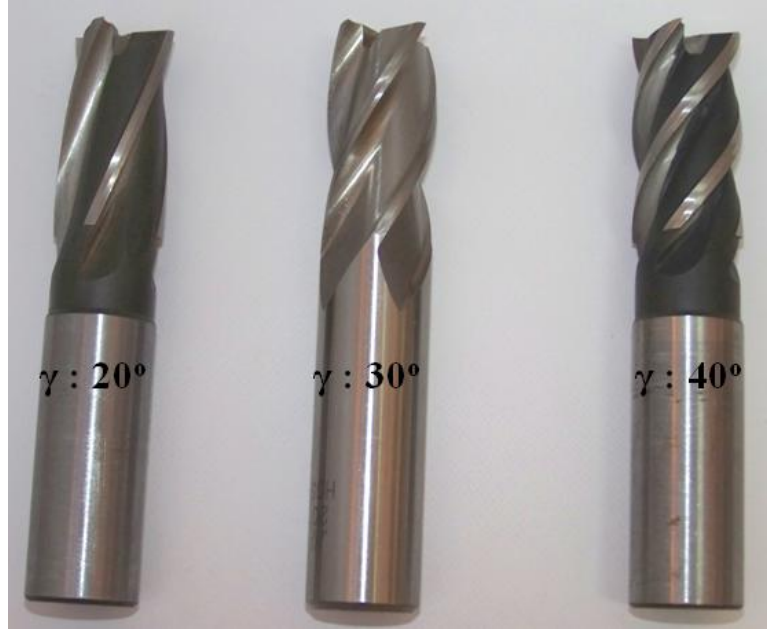
| Çekme mukavemeti (MPa) | Akma mukavemeti (MPa) | % Uzama | Sertlik HB |
|------------------------|-----------------------|---------|------------|
| 445                    | 152                   | 46      | 123        |

#### 5.2.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kesici Takımlar

Teğetsel tornalama-frezeleme deneylerinin yapılmasında ORALSAN makine takım şirketinden temin edilen Ø20 mm çapında 100 mm uzunluğunda 4 ağızlı HSS kesici takımlar kullanıldı (Şekil 5.3). Deney parametrelerinden biri olan kesici takımın helis açısının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemek için Şekil 5.4’ de gösterilen 20°, 30° ve 40° ‘lik helis açılı kesici takımlar kullanıldı.



**Şekil 5.3.** Kesici takım



**Şekil 5.4.** Deneylerde kullanılan farklı helis açılardaki ( 20°, 30°, 40° ) parmak freze çakılarının fotoğrafı

#### 5.2.5. Deneylerde Kullanılan Soğutma Araçları

Teğetsel tornalama-frezeleme deneylerinde üç farklı iş parçası malzemesi kullanıldı. Bu kullanılan iş parçası malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak iki tane soğutma aracı kullanıldı. Ç1040 ve östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde bor yağı ve pirinç malzemesinin işlenmesinde ise soğutma aracı olarak hava kullanıldı.

#### 5.2.6. Deneysel Çalışmalarda Kullanılacak İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Planlanması

Deneysel çalışmalar yapılmadan önce kullanılan talaş kaldırma yönteminin işleme parametrelerinin ve istenilen amaç üzerinde hangi parametrelerin etkili olduğunun tespit edilmesi gerekir. Tornalama-frezeleme yöntemi, frezeleme ve tornalama yöntemlerinin bir kombinasyonu olarak düşünüldüğünden tornalamada ve frezelemede etkili olacak bütün parametrelerin bu yöntemde de etkili olacağı düşünülmektedir.

Bu karmaşık sistemde birden fazla parametre olduğu belirlendi. Tam faktöriyel deneysel tasarım yöntemi ile parametrelerinin etkilerinin araştırılmasının çok sayıda deney yapılmasını gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak da çok fazla zamana ihtiyaç olduğu ve

maliyeti artıracak göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebepten dolayı deney sayısını azaltan ve maliyeti düşüren Taguchi dizayn deneysel tasarım yöntemi kullanıldı. Deneysel çalışmalarda kullanılacak parametreler Tablo 5.7’de verilmiştir.

**Tablo 5.7.** Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler.

| Parametreler               | Birimleri | Sembolü |
|----------------------------|-----------|---------|
| Kesici Takım Devri         | dev/dak   | A       |
| İş parçası Devri           | dev/dak   | B       |
| Eksenel İlerleme Hızı      | mm/dak    | C       |
| Talaş Derinliği            | mm        | D       |
| Kesici Takımın Helis Açısı | derece    | E       |

Tablo 5.7’ de bulunan parametreler tam faktöryel deney tasarım yöntemi kullanılarak yapılmak istenirse her bir malzeme cinsi için  $3^5 = 243$  deney yapılması gerekmektedir. Tam faktöryel deney tasarımı ile bu deneylerin yapılmasında harcanacak zaman, malzeme kaybı buna olarak ortaya çıkan maliyet dikkate alındığında Taguchi deneysel tasarım yöntemi daha avantajlı olarak görüldü.

Bu çalışmada her bir malzeme cinsi ayrı ayrı değerlendirildi ve her bir malzeme cinsi için  $L_{27}$  Ortogonal dizinleri kullanılarak Minitab 15 paket programının Taguchi dizayn araç çubuğunda deney sayısı ve parametrelerin hangi seviyelerinin kullanılacağı belirlendi. Tespit edilen bu deneylerin yapılması sonucunda iş parçası yüzeyinden alınan yüzey pürüzlülüğü değerleri S/N oranlarına dönüştürüldü ve ayrıca varyans analizi ile de sonuçlar Minitab 15 paket programda analiz edildi. Deneysel çalışmalarda kullanılan parametrelerin seviyeleri belirlenirken şunlar dikkate alındı:

- Deneysel çalışmalarda kesici takım ve iş parçası devir sayısı, talaş kaldırılacak malzemelerin ve kullanılan kesici takımların malzeme özelliklerine göre verilen kesme hızı denklemdeki (3.1) hesaplanan devirler ve bu değer alt ve üst değerlerinde devirler alınarak yapıldı.
- Eksenel ilerleme hızı parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan tezgâhın en küçük ilerleme hızı ve daha büyük ilerleme hızları dikkate alındı.

- Talaş derinliği parametresinin seviyeleri ise genellikle taşlama işlemi için bırakılan 0.1 mm talaş derinliği ve bu değerin üzerindeki değerler olacak şekilde belirlendi.
- Kesici takım helis açısı parametre seviyelerinin belirlenmesinde piyasada çok fazla kullanılan 30° helis açısı değerinin üst ve alt değerlerinde bulunan helis açıları seçildi.

Deneyleerde kullanılacak parametre ve seviyeleri üç farklı malzeme için ayrı ayrı olarak Tablo 5.8, 5.9, ve 5.10’da verildi.

**Tablo 5.8.** Ç1040 malzemesinin işlenmesinde kullanılan parametreler ve seviyeleri

| Parametreler                     | Seviyeleri |          |          |
|----------------------------------|------------|----------|----------|
|                                  | Seviye 1   | Seviye 2 | Seviye 3 |
| Kesici Takım Devri (dev/dak)     | 250        | 350      | 450      |
| İş Parçası Devri (dev/dak)       | 140        | 180      | 224      |
| Eksenel İlerleme Hızı ( mm/dak ) | 3.2        | 7,9      | 12.6     |
| Talaş Derinliği (mm)             | 0.1        | 0.5      | 1.0      |
| Kesici Takımın Helis Açısı ( ° ) | 20         | 30       | 40       |

**Tablo 5.9.** MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde kullanılan parametreler ve seviyeleri

| Parametreler                     | Seviyeleri |          |          |
|----------------------------------|------------|----------|----------|
|                                  | Seviye 1   | Seviye 2 | Seviye 3 |
| Kesici Takım Devri ( dev/dak )   | 750        | 955      | 1150     |
| İş Parçası Devri ( dev/dak)      | 280        | 450      | 710      |
| Eksenel İlerleme Hızı ( mm/dak ) | 3.2        | 7,9      | 12.6     |
| Talaş Derinliği ( mm )           | 0.1        | 0.5      | 1.0      |
| Kesici Takımın Helis Açısı ( ° ) | 20         | 30       | 40       |

**Tablo 5.10.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde kullanılan parametreler ve seviyeleri

| Parametreler                     | Seviyeleri |          |          |
|----------------------------------|------------|----------|----------|
|                                  | Seviye 1   | Seviye 2 | Seviye 3 |
| Kesici Takım Devri ( dev/dak )   | 250        | 350      | 450      |
| İş Parçası Devri ( dev/dak)      | 140        | 180      | 224      |
| Eksenel İlerleme Hızı ( mm/dak)  | 3.2        | 7,9      | 12.6     |
| Talaş Derinliği ( mm )           | 0.1        | 0.5      | 1.0      |
| Kesici Takımın Helis Açısı ( ° ) | 20         | 30       | 40       |

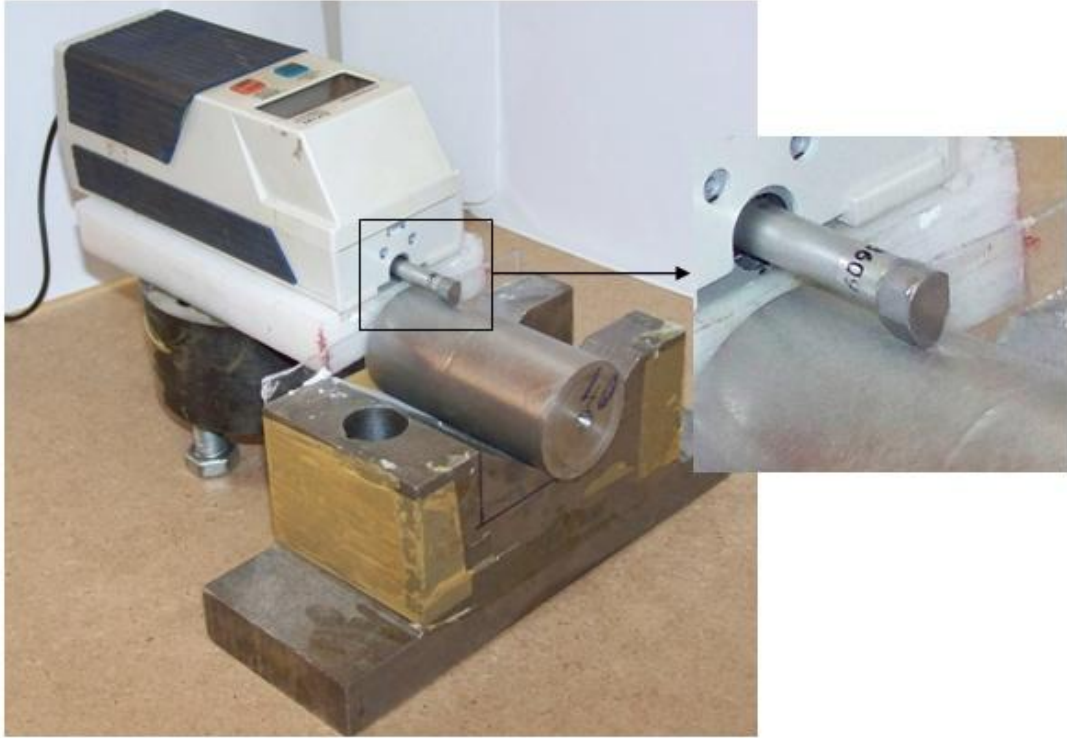
Tablo 5.11’de  $L_{27}$  ortagonal dizin kullanılarak deneylerde kullanılacak bütün parametrelerin seviyeleri gösterilmiştir.

Tablo 5.11 .  $L_{27}$  ortogonal dizini

| Deney<br>Numarası | Faktörler ve seviyeleri |   |   |   |   |
|-------------------|-------------------------|---|---|---|---|
|                   | A                       | B | C | D | E |
| 1                 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2                 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 3                 | 1                       | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 4                 | 1                       | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 5                 | 1                       | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6                 | 1                       | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 7                 | 1                       | 3 | 3 | 3 | 1 |
| 8                 | 1                       | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 9                 | 1                       | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 10                | 2                       | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 11                | 2                       | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 12                | 2                       | 1 | 2 | 3 | 3 |
| 13                | 2                       | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 14                | 2                       | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 15                | 2                       | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 16                | 2                       | 3 | 1 | 2 | 1 |
| 17                | 2                       | 3 | 1 | 2 | 2 |
| 18                | 2                       | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 19                | 3                       | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 20                | 3                       | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 21                | 3                       | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 22                | 3                       | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 23                | 3                       | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 24                | 3                       | 2 | 1 | 3 | 3 |
| 25                | 3                       | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 26                | 3                       | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 27                | 3                       | 3 | 2 | 1 | 3 |

### 5.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Teğetsel tornalama-frezeleme deneylerinde işlenen silindirik iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi amacı ile Şekil 5.5 'te gösterilen düzenek tasarlandı. Ölçümlerin sağlıklı alınması için ölçüm düzeneği tasarlanırken iş parçasının yerleştirildiği V yatağının merkezi ile ölçüm cihazının yerleştirildiği U kanalının merkezi aynı eksene ayarlandı. Ölçümler MİTUTOYO SURFTEST-211 ölçüm cihazı ile yapıldı. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri silindirik iş parçası eksenine doğrultusunda ve ilerleme hızı yönünde alındı. İşlenen yüzeylerin 5 farklı noktasından ölçüm alınarak bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alındı.



Şekil 5.5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ve ölçüm düzeneği

## **6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME**

### **6.1 Teğetsel Tornalama-Frezeleme Deneylerinin Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel Analizi**

Bu çalışmada Ç1040, paslanmaz çelik ve pirinç malzemelerinin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesi neticesinde işlenen iş parçası yüzeyinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü çıktılarının varyans analizlerin 'de daha düşük daha iyidir' kayıp fonksiyonları kullanıldı. Taguchi tasarım yöntemi ile tespit edilen deneylerin yapılması ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçları S/N oranlarına dönüştürüldü. Ayrıca bu çalışmada teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde kesici takım devri, iş parçası devri, ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım helis açısı olmak üzere beş farklı kontrol faktörü bulunmaktadır. Her bir faktör üç farklı seviyeden oluşmaktadır. Taguchi tasarım yöntemi ile belirlenen deneylerin varyans analizleri de yapıldı.

Teğetsel tornalama-frezeleme deneylerinin yapılmasında üç farklı malzeme ayrı ayrı incelendi.

#### **6.1.1 Ç1040 Çelik Malzemesinin Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi ile İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları**

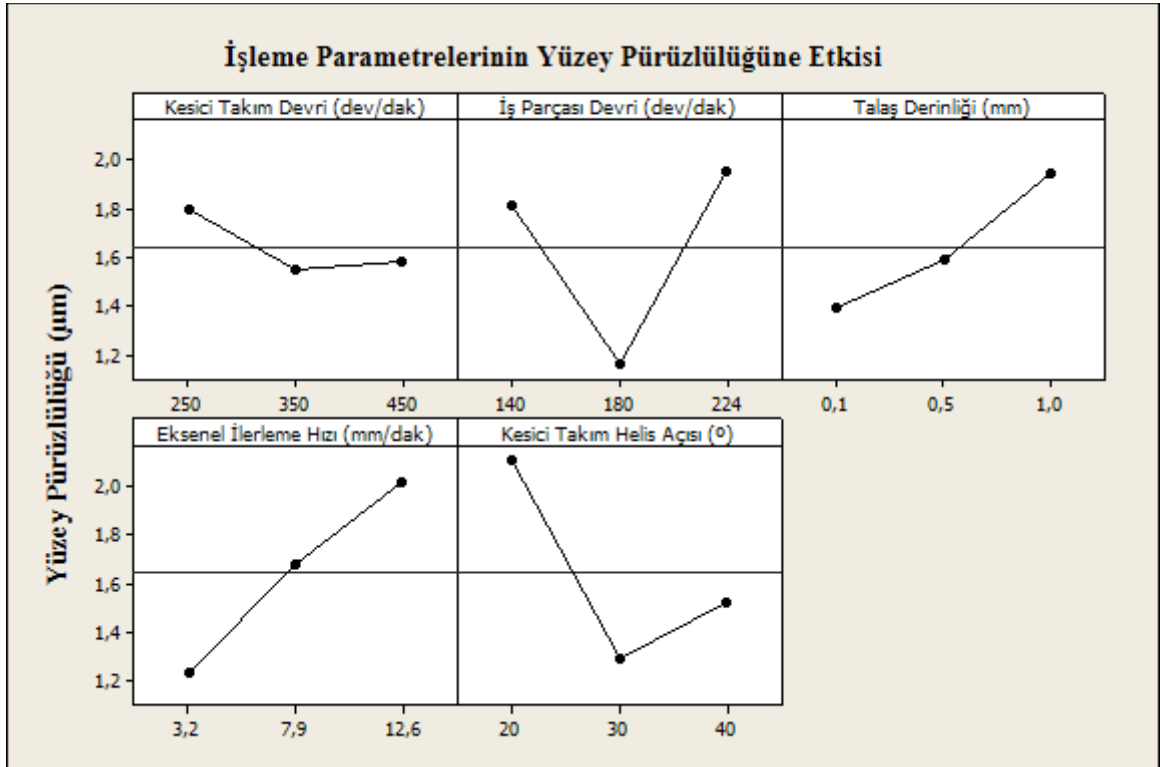
Taguchi tasarım deneysel tasarım yöntemi kullanılarak Ç1040 çelik malzemesinde kesme parametreleri göz önüne alınarak deney yapıldı. Tablo 6.1' de gösterilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edildi.

**Tablo 6.1.** Ç1040 malzemesinin işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülükleri

| <b>Deney No</b> | <b>Kesici Takım Devri (dev/dak)</b> | <b>İş Parçası Devri (dev/dak)</b> | <b>Talaş Derinliği (mm)</b> | <b>Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)</b> | <b>Kesici Takım Helis Açısı (°)</b> | <b>Yüzey Pürüzlülüğü (µm)</b> |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1               | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 20                                  | 1,81                          |
| 2               | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 30                                  | 0,97                          |
| 3               | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 40                                  | 1,13                          |
| 4               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 20                                  | 1,58                          |
| 5               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 30                                  | 0,93                          |
| 6               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 40                                  | 1,38                          |
| 7               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 20                                  | 3,89                          |
| 8               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 30                                  | 2,12                          |
| 9               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 40                                  | 2,35                          |
| 10              | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 20                                  | 2,81                          |
| 11              | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 30                                  | 1,54                          |
| 12              | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 40                                  | 1,80                          |
| 13              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 20                                  | 1,04                          |
| 14              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 30                                  | 0,87                          |
| 15              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 40                                  | 0,97                          |
| 16              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 20                                  | 2,14                          |
| 17              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,30                          |
| 18              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 40                                  | 1,50                          |
| 19              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 20                                  | 2,80                          |
| 20              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,68                          |
| 21              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 40                                  | 1,80                          |
| 22              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 20                                  | 1,40                          |
| 23              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 30                                  | 0,90                          |
| 24              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 40                                  | 1,35                          |
| 25              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 20                                  | 1,52                          |
| 26              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,35                          |
| 27              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 40                                  | 1,43                          |

Şekil 6.1 ' de Ç1040 çelik malzemenin işlenmesi sonucunda işlenen yüzeyden ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde işleme parametrelerinin etkisi görülmektedir. Şekil 6.1. incelendiğinde kesici takım devrinin, iş parçası devrinin ve helis açısındaki artışın belirli bir değere kadar yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği bu değerlerin daha da artırılması durumunda yüzey pürüzlülüğü değerinin kötüleştiği görülmektedir. Tornalama ve frezeleme yöntemleri dikkate alındığında en iyi iş parçası veya kesici takım devrinin 3.1 nolu denklemde verilen kesme hızı formülünden çıkan değer olduğu kabul edilir. Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile yapılan deneysel çalışmalarda yüzey pürüzlülüğü değerinin optimum olduğu değerin bu formülde bulunan devir değerlerine atfedilebilir.

Bunun yanı sıra talaş derinliğinin ve aksel ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. Talaş derinliğinin ve aksel ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin artması ve bu sebepten dolayı titreşimin artması neticesinde yüzey pürüzlülüğü değerinin de arttığı görüldü.



Şekil 6.1. Ç1040 malzemesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

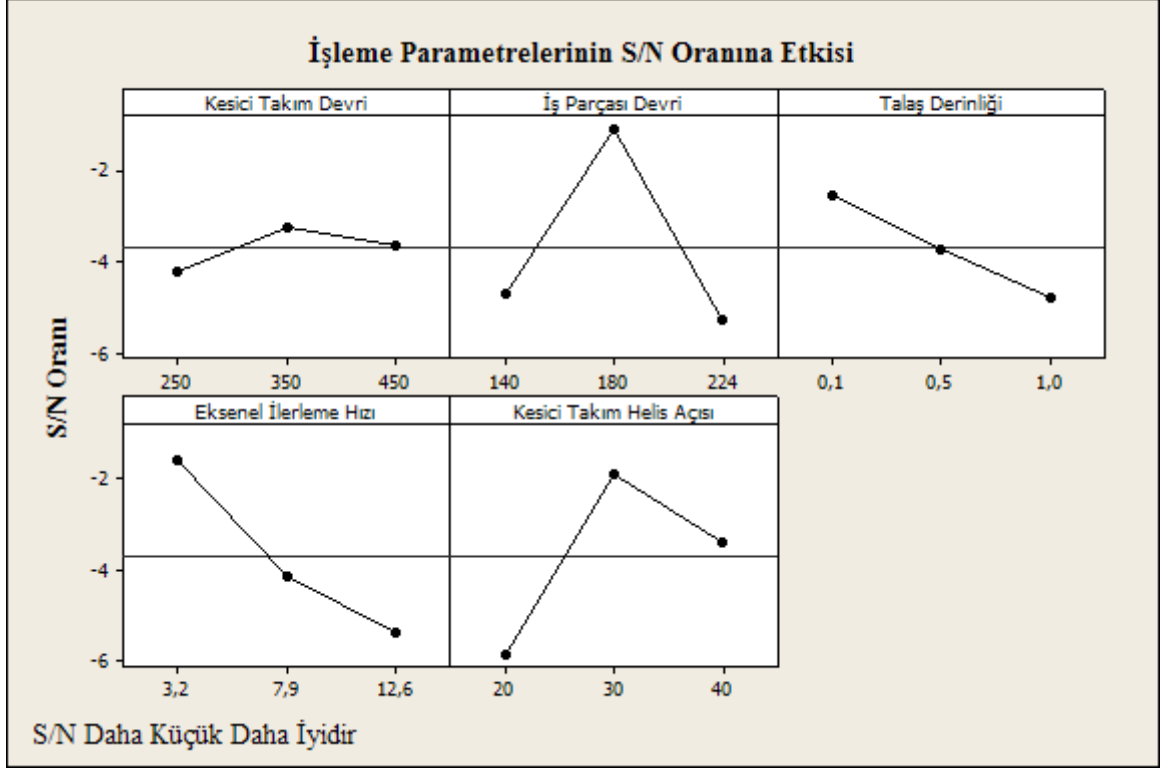
Tablo 6.2' de Ç1040 malzemesinin işlenmesinde işleme parametrelerinin her bir seviyesine göre yüzey pürüzlülüğüne ait S/N oranları verilmiştir. Optimum seviyeler ( <sup>a</sup> ) olarak tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 6.2.** Ç1040 malzemesinde işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi ( S/N oranı)

| İşleme Parametreleri                  | Ortalama S/N oranı ( dB ) |                     |         |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------|---------|
|                                       | Seviye1                   | Seviye2             | Seviye3 |
| <b>Kesici Takım Devri (dev/dak)</b>   | -4.204                    | -3.234 <sup>a</sup> | -3.613  |
| <b>İş Parçası Devri (dev/dak)</b>     | -4.704                    | -1.069 <sup>a</sup> | -5.278  |
| <b>Talaş Derinliği (mm)</b>           | -2.553 <sup>a</sup>       | -3.702              | -4.796  |
| <b>Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)</b> | -1.574 <sup>a</sup>       | -4.123              | -5.355  |
| <b>Kesici Takım Helis Açısı (°)</b>   | -5. 817                   | -1.850 <sup>a</sup> | -3.385  |

Ortalama S/N oranı = -3.683 dB

Şekil 6.2.'de Ç1040 malzemesinin işlenmesinde işleme parametrelerinin her bir seviyesine karşılık gelen S/N oranı değerleri grafiklere dönüştürüldü farklı işleme parametrelerindeki S/N oranları gösterildi.



**Şekil 6.2.** Ç1040 malzemesinin işlenmesinde İşleme parametrelerinin her bir seviyesine karşılık gelen S/N oranı

Tablo 6.2. ve Şekil 6.2 'de Ç1040 malzemesinin işlenmesinde işleme parametrelerine bağlı olarak değişen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerine ait S/N oranlarını vermektedir. Bu tablo ve grafik incelendiğinde herhangi bir parametrenin optimum değeri S/N oranının en büyük olduğu değerdir. Ç1040 malzemesinin teğetsel tornalama- frezeleme yöntemi ile işlenmesinde kesici takım devrinin, iş parçası devrinin ve helis açısının 2. seviyeleri ve eksenel ilerleme hızı ile talaş derinliği parametrelerinin 1. seviyeleri seçildiğinde minimum yüzey pürüzlülüğü değerinin elde edileceği görülmektedir.

Tablo 6.3.'de Ç1040 malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için yapılan varyans analizinin sonuçları görülmektedir. Bu tablo incelendiğinde bütün parametrelerinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Kesici takım devrinin diğer parametrelere nazaran yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin zayıf olduğu görülmektedir.

**Tablo 6.3.** Ç1040 malzemesinin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin ANOVA analizi

| <b>İşleme Parametreleri</b>     | <b>Serbestlik Derecesi (v)</b> | <b>Karelerin Toplamı (SSa)</b> | <b>Varyans</b> | <b>F Değeri</b> | <b>% Dağılım</b> |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| <b>Kesici Takım Devri</b>       | 2                              | 4,3037                         | 2,1518         | 1,876           | 1,54791          |
| <b>İş Parçası Devri</b>         | 2                              | 93,7876                        | 46,8938        | 40,892          | 33,7322          |
| <b>Talaş Derinliği</b>          | 2                              | 22,6616                        | 11,3308        | 9,880           | 8,1506           |
| <b>Eksenel İlerleme Hızı</b>    | 2                              | 66,9129                        | 33,4564        | 29,174          | 24,0663          |
| <b>Kesici Takım Helis Açısı</b> | 2                              | 72,02166                       | 36,0108        | 31,402          | 25,9037          |
| <b>Hata</b>                     | 16                             | 18,34811                       | 1,14675        | -               | 6,5991           |
| <b>Toplam</b>                   | 26                             | 278,0357                       | -              | -               | 100              |

#### **6.1.2 AISI 304 Paslanmaz Çelik Malzemesinin Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yöntemi ile İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları**

Taguchi deney tasarım tekniği ile belirlenmiş olan  $L_{27}$  ortogonal dizinine göre yapılmış olan deneylerde teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmiş paslanmaz çelikten alınan yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 6.4 ‘ te gösterilmektedir. Şekil 6.3’ te ise paslanmaz çeliğin işlenmesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri grafiksel olarak verildi.

Tablo 6.4 ve Şekil 6.3 incelendiğinde Ç1040 malzemesinin işlenmesine benzer olarak; işleme parametrelerden kesici takım devri ile iş parçası devrinin belirli bir değere kadar artması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği bu değerden sonraki artışlarda yüzey pürüzlülüğü değerinin tekrar kötüleştiği görülmektedir. Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenen AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Ç1040 çeliğinin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerinden daha yüksek olduğu tespit edildi. Bu farklılıklar Balcı’ nın yapmış olduğu çalışmaya atfedilebilir. Balcı, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesi esnasında kesici takımda oluşan yığıntı talaş ve oluşan bu yığıntı talaşın kırılması sonucu kesici takımın kırılmasına sebep olacağını ifade etmiştir. Kesici uçta oluşan yığıntı talaş iş parçası malzemesinden çok sert olduğu için aktif olarak kesme işlemi yaptığını, düzensiz

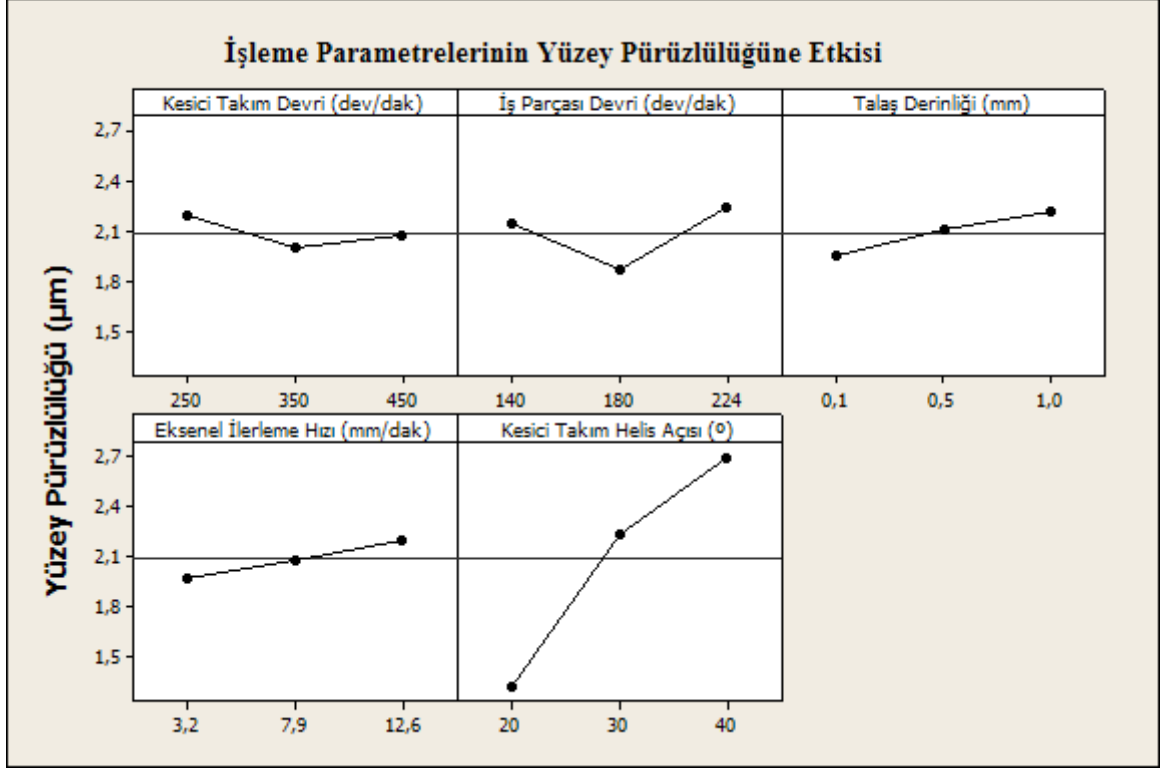
bir yapıda olması nedeniyle de yüzey pürüzlülük değerini artırdığını belirtmiştir. İlave olarak, kırılması durumunda kesici takımdan da bir parça kopardığını; bu kopma sonucu düzenli bir kesici uçtan ziyade düzensiz bir kesici uç oluşacağı için yüzey pürüzlülük değeri artırdığı ifade etmiştir. Özellikle, bu kırılma kesici takımın yeni işlenmiş yüzeyi ile temasta olan ikinci kesme kenarında gerçekleşirse pürüzlülük değerinde ciddi artışlar olabileceğini belirtmiştir [49].

Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenen AISI 304 paslanmaz çeliğin işlenmesinde helis açısının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı tespit edildi. Helis açısının artması ile kesici takım temas uzunluğunun arttığı ve oluşan yığıntı talaşın oluşturduğu etki ile yüzey pürüzlülüğü değeri artırdığı düşünülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü değerindeki bu artışı, Çiftçi, yapmış olduğu çalışmaya atfedilebilir. Çiftçi yapmış olduğu çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin tornalanmasında kesici takım uç yarıçapının artması ile yüzey pürüzlülük değeri arttığını, kesici takım uç yarıçapının artmasıyla ikinci kesme kenarında yeni işlenmiş iş parçası yüzeyi ile daha uzun bir temas kenarı oluşturduğunu ifade etmiştir. Bu durumun oluşan yığıntı talaşın daha uzun bir kenar boyunca yeni işlenmiş iş parçası yüzeyi ile temasta olmasına neden olmasından dolayı yüzey pürüzlülük değerini artırdığını ifade etmiştir [77].

Bütün talaşlı imalat işlemlerinde işleme zamanını azaltmak ve dolayısıyla verimi artırmak için ilerleme hızının mümkün olduğu kadar yüksek olması istenir. Genellikle ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değeri artar. Paslanmaz çeliğin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesinde talaş derinliğinin ve aksel ilerleme hızının artması ile kesme kuvvetleri ve kesme kuvvetleri ile ilişkili olan titreşim artacağı için yüzey pürüzlülük değerinin arttığı görüldü.

**Tablo 6.4.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülükleri

| <b>Deney No</b> | <b>Kesici Takım Devri (dev/dak)</b> | <b>İş Parçası Devri (dev/dak)</b> | <b>Talaş Derinliği (mm)</b> | <b>Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)</b> | <b>Kesici Takım Helis Açısı (°)</b> | <b>Yüzey Pürüzlülüğü (μm)</b> |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1               | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,27                          |
| 2               | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 40                                  | 2,10                          |
| 3               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 20                                  | 2,62                          |
| 4               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,28                          |
| 5               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 40                                  | 2,13                          |
| 6               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 20                                  | 2,56                          |
| 7               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 30                                  | 1,80                          |
| 8               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 40                                  | 2,71                          |
| 9               | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 20                                  | 3,27                          |
| 10              | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 30                                  | 1,37                          |
| 11              | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 40                                  | 2,31                          |
| 12              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 20                                  | 2,90                          |
| 13              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,04                          |
| 14              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 40                                  | 2,10                          |
| 15              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 20                                  | 2,22                          |
| 16              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,25                          |
| 17              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 40                                  | 2,08                          |
| 18              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 20                                  | 2,69                          |
| 19              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,43                          |
| 20              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 40                                  | 2,38                          |
| 21              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 20                                  | 2,93                          |
| 22              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 30                                  | 1,09                          |
| 23              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 40                                  | 2,02                          |
| 24              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 20                                  | 2,38                          |
| 25              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,35                          |
| 26              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 40                                  | 2,30                          |
| 27              | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 30                                  | 2,75                          |



**Şekil 6.3.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

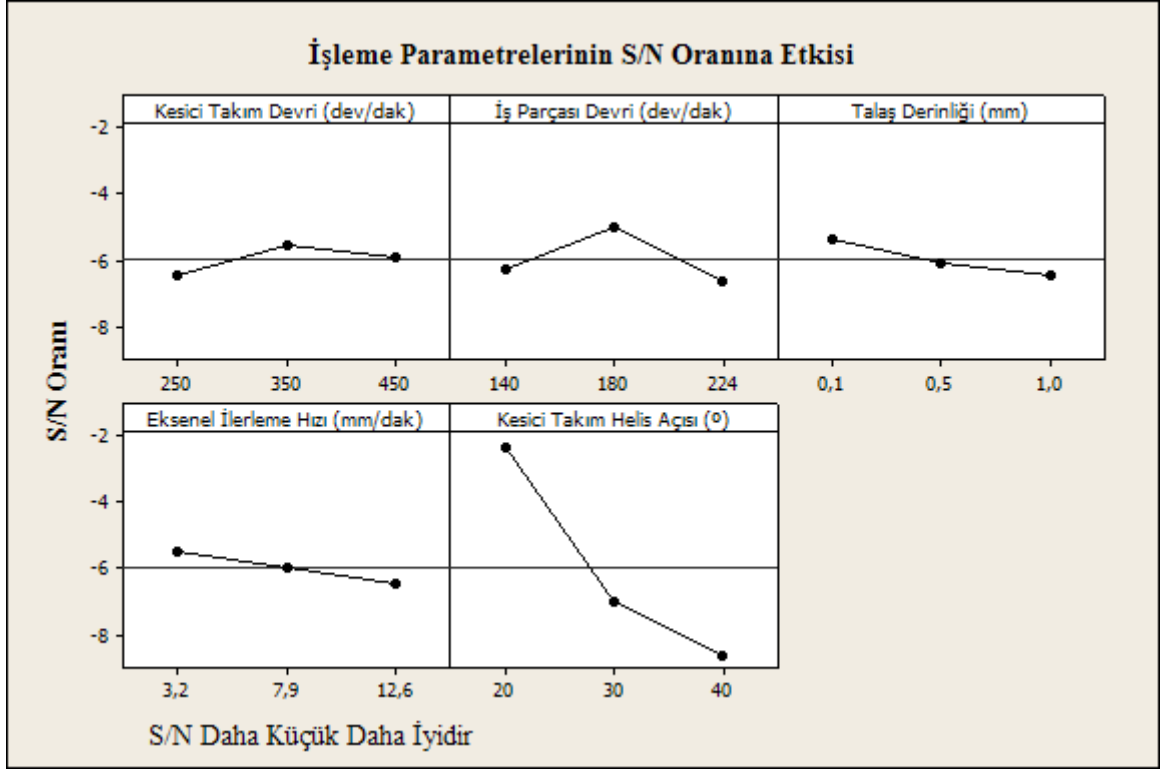
Tablo 6.5 'te AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine karşılık gelen S/N oranları verildi. Bu tabloda işleme parametrelerinin optimum seviyeleri ( <sup>a</sup> ) ile gösterildi. Ayrıca bütün seviyelerin ortalama S/N oranı aşağıda verildi.

**Tablo 6.5.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinde işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi ( S/N oranı)

| İşleme Parametreleri           | Ortalama S/N oranı ( dB ) |                     |         |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------|---------|
|                                | Seviye1                   | Seviye2             | Seviye3 |
| Kesici Takım Devri (dev/dak)   | -6.424                    | -5.540 <sup>a</sup> | -5.888  |
| İş Parçası Devri (dev/dak)     | -6.235                    | -4.997 <sup>a</sup> | -6.620  |
| Talaş Derinliği (mm)           | -5.352 <sup>a</sup>       | -6.084              | -6.416  |
| Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak) | -5.470 <sup>a</sup>       | -5.972              | -6.411  |
| Kesici Takım Helis Açısı (°)   | -2.311 <sup>a</sup>       | -6.958              | -8.583  |

Ortalama S/N oranı = -5.950 dB

Şekil 6.4 'te teğetsel tornalama-frezeleme işleminde işleme parametrelerinin S/N oranı değişimine etkisi görülmektedir. Şekil 6.4'teki grafikler incelendiğinde işleme parametrelerinin optimum seviyeleri S/N oranlarının en yüksek olduğu seviyelerdir.



**Şekil 6.4.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde İşleme parametrelerinin her bir seviyesine karşılık gelen S/N oranı

Tablo 6.6 ' da paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde elde edilen pürüzlülük değerlerinin varyans analizi ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen değerler verildi. Bu değerler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde en fazla kesici takım helis açısının etkili olduğu görülmektedir.

**Tablo 6.6.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin ANOVA analizi

| <b>İşleme Parametreleri</b>     | <b>Serbestlik Derecesi (v)</b> | <b>Karelerin Toplamı (SSa)</b> | <b>Varyans</b> | <b>F Değeri</b> | <b>% Dağılım</b> |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| <b>Kesici Takım Devri</b>       | 2                              | 3,571517                       | 1,7857         | 10,9212         | 1,6493           |
| <b>İş Parçası Devri</b>         | 2                              | 12,93848                       | 6,4692         | 39,5643         | 5,9749           |
| <b>Talaş Derinliği</b>          | 2                              | 5,335007                       | 2,6675         | 16,3138         | 2,4636           |
| <b>Eksenel İlerleme Hızı</b>    | 2                              | 3,992358                       | 1,9961         | 12,2081         | 1,8436           |
| <b>Kesici Takım Helis Açısı</b> | 2                              | 190,7085                       | 95,3542        | 583,163         | 88,0684          |
| <b>Hata</b>                     | 16                             | 2,616192                       | 0,1635         | -               | 1,2081           |
| <b>Toplam</b>                   | 26                             | 216,5459                       | -              | -               | 100              |

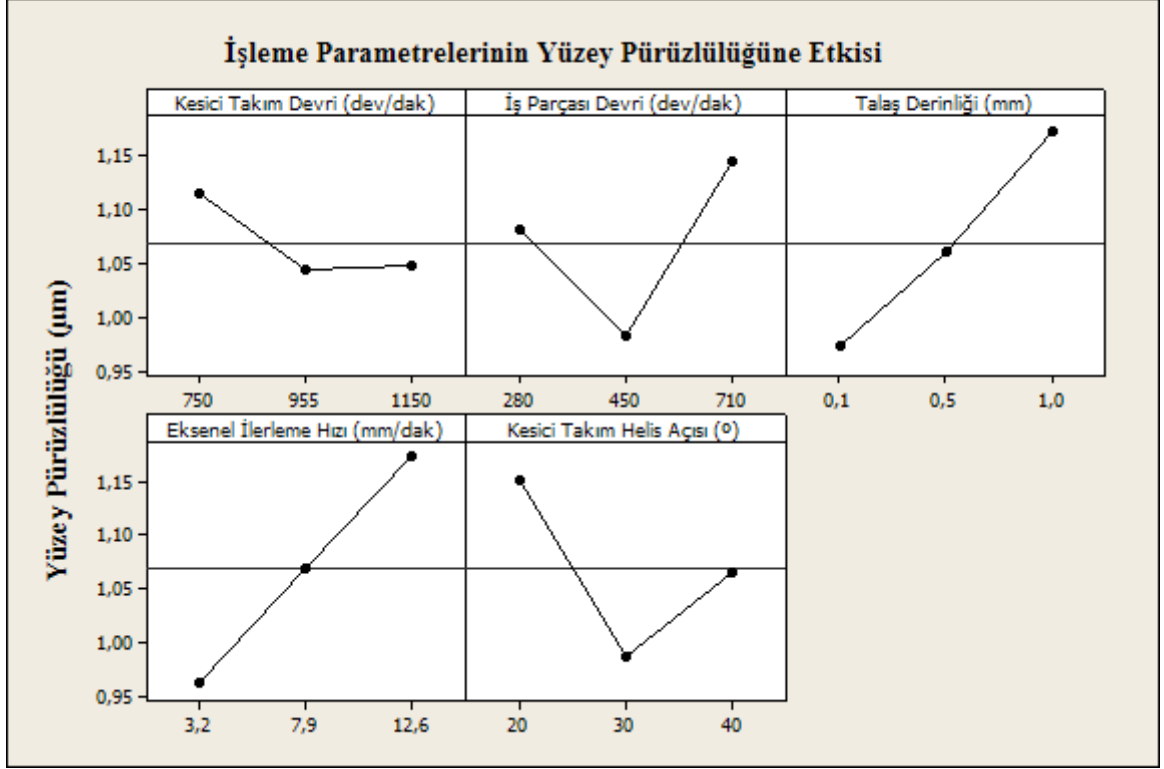
### 6.1.3. MS58 Pirinç Malzemesinin Teğetsel Tornalama-Frezeleme İşlenmesindeki Deneylerin Sonuçları

Tablo 6.7’te pirinç malzemenin Taguchi deneysel tasarım yönteminin  $L_{27}$  ortogonal dizinine göre belirlenen deneylerin teğetsel tornalama-frezeleme işlemi sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri görülmektedir. Şekil 6,5’te ise deneylerde işleme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri grafiksel olarak verildi.

Şekil 6.5’ teki grafikler incelendiğinde Ç1040 ve paslanmaz çeliğin işlenmesine benzer olarak kesici takım devri ve iş parçası devri değerinin belirli bir değere kadar artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı fakat bu değerler aşıldığında yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. Kesici takım helis açısının belli bir değere kadar artması ile yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı bu değerden sonra arttığı görülmektedir. İşleme parametrelerinden eksenel ilerleme hızı ve talaş derinliği değerlerinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir.

**Tablo 6.7.** MS58 pirinç malzemesinin işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülükleri

| <b>Deney No</b> | <b>Kesici Takım Devri (dev/dak)</b> | <b>İş Parçası Devri (dev/dak)</b> | <b>Talaş Derinliği (mm)</b> | <b>Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak)</b> | <b>Kesici Takım Helis Açısı (°)</b> | <b>Yüzey Pürüzlülüğü (μm)</b> |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1               | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,02                          |
| 2               | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 40                                  | 0,84                          |
| 3               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 20                                  | 0,91                          |
| 4               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,11                          |
| 5               | 250                                 | 180                               | 0,5                         | 7,9                                   | 40                                  | 0,93                          |
| 6               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 20                                  | 1,02                          |
| 7               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 30                                  | 1,48                          |
| 8               | 250                                 | 224                               | 1,0                         | 12,6                                  | 40                                  | 1,32                          |
| 9               | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 20                                  | 1,40                          |
| 10              | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 30                                  | 1,22                          |
| 11              | 350                                 | 140                               | 0,5                         | 12,6                                  | 40                                  | 1,08                          |
| 12              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 20                                  | 1,16                          |
| 13              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,07                          |
| 14              | 350                                 | 180                               | 1,0                         | 3,2                                   | 40                                  | 0,84                          |
| 15              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 20                                  | 0,95                          |
| 16              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,11                          |
| 17              | 350                                 | 224                               | 0,1                         | 7,9                                   | 40                                  | 0,94                          |
| 18              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 20                                  | 1,02                          |
| 19              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 30                                  | 1,22                          |
| 20              | 450                                 | 140                               | 1,0                         | 7,9                                   | 40                                  | 1,10                          |
| 21              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 20                                  | 1,17                          |
| 22              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 30                                  | 1,05                          |
| 23              | 450                                 | 180                               | 0,1                         | 12,6                                  | 40                                  | 0,89                          |
| 24              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 20                                  | 0,97                          |
| 25              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,09                          |
| 26              | 450                                 | 224                               | 0,5                         | 3,2                                   | 40                                  | 0,94                          |
| 27              | 250                                 | 140                               | 0,1                         | 3,2                                   | 30                                  | 1,00                          |



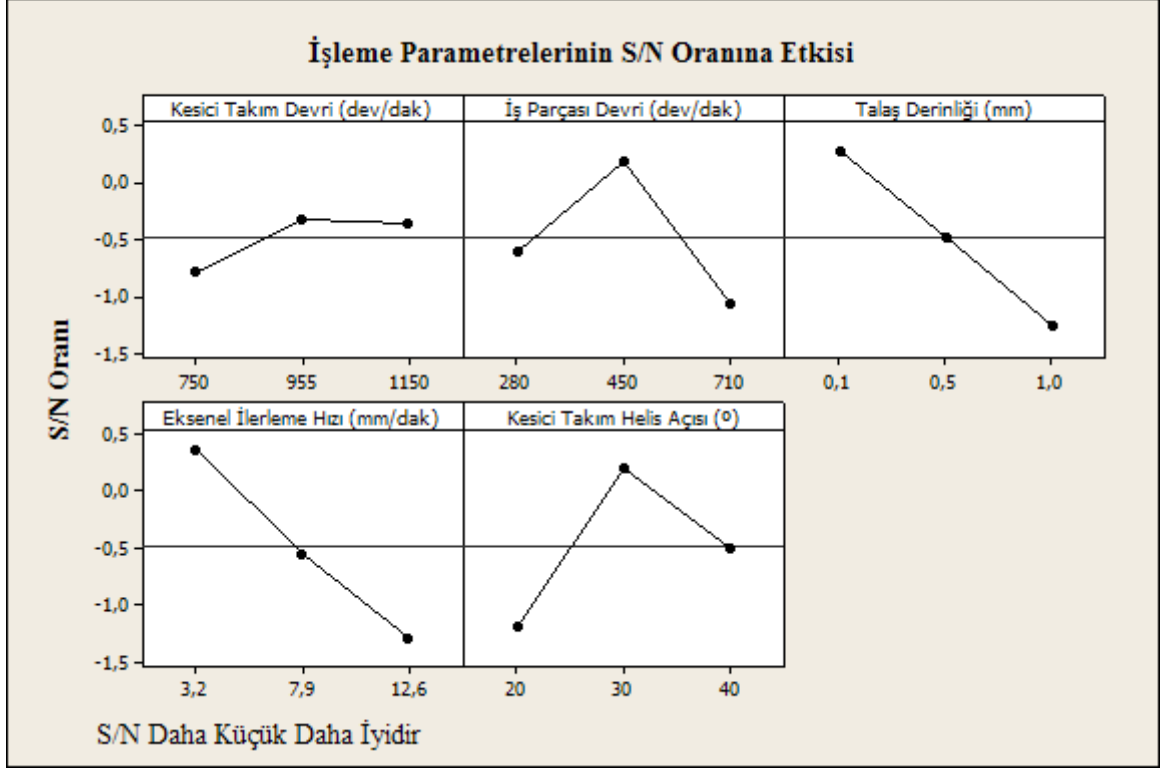
**Şekil 6.5.** MS58 pirinç malzemesinde işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Tablo 6.8’ de pirinç malzemenin işlenmesinde işleme parametrelerinin her bir seviyesi için S/N oranları verildi. Her bir parametrenin optimum seviyesi ( <sup>a</sup> ) ile gösterildi. Şekil 6.6. da pirinç malzemenin işlenmesi neticesinde işleme parametreleri için S/N oranları grafiksel olarak gösterildi.

**Tablo 6.8.** MS58 pirinç malzemesinde işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi ( S/N oranı)

| İşleme Parametreleri           | Ortalama S/N oranı ( dB ) |                     |         |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------|---------|
|                                | Seviye1                   | Seviye2             | Seviye3 |
| Kesici Takım Devri (dev/dak)   | -0.7806                   | -0.317 <sup>a</sup> | -0.3641 |
| İş Parçası Devri (dev/dak)     | -0.6047                   | 0.1975 <sup>a</sup> | -1.0546 |
| Talaş Derinliği (mm)           | 0.2748 <sup>a</sup>       | -0.4827             | -1.2540 |
| Eksenel İlerleme Hızı (mm/dak) | 0.3692 <sup>a</sup>       | -0.5453             | -1.2857 |
| Kesici Takım Helis Açısı (°)   | -1.1783                   | 0.2043 <sup>a</sup> | -0.4878 |

Ortalama S/N oranı = -0.4872 dB



**Şekil 6.6.** MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde İşleme parametrelerinin her bir seviyesine karşılık gelen S/N oranı

Şekil 6.6 ‘daki grafik incelendiğinde S/N oranının her bir parametre için en büyük değerindeki seviyesi o parametrenin optimum seviyesini göstermektedir. Pirinç malzemenin işlenmesinde kesici devri, iş parçası devri ve kesici helis açıları parametrelerinin ikici seviyeleri optimum seviyeler olurken; eksenel ilerleme hızı ve talaş derinliği parametrelerinin ise birinci seviyeleri optimum değeri verdiği görülmektedir.

Tablo 6.9 ‘ da pirinç malzemenin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesinde elde edilen değerlerin ANOVA varyans analizinin sonuçları verildi.

**Tablo 6.9.** MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin ANOVA analizi

| <b>İşleme Parametreleri</b>         | <b>Serbestlik<br/>Derecesi<br/>(v)</b> | <b>Karelerin<br/>Toplamı<br/>(SS<sub>a</sub>)</b> | <b>Varyans</b> | <b>F<br/>Değeri</b> | <b>%<br/>Dağılım</b> |
|-------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| <b>Kesici Takım Devri</b>           | 2                                      | 1,1718                                            | 0,159          | 0,31                | 2,54                 |
| <b>İş Parçası Devri</b>             | 2                                      | 7,2404                                            | 1,633          | 4,24                | 26,12                |
| <b>Talaş Derinliği</b>              | 2                                      | 10,518                                            | 0,7165         | 1,55                | 11,46                |
| <b>Eksenel İlerleme Hızı</b>        | 2                                      | 12,3692                                           | 1,397          | 3,45                | 22,34                |
| <b>Kesici Takım Helis<br/>Açısı</b> | 2                                      | 8,6015                                            | 1,589          | 4,09                | 25,41                |
| <b>Hata</b>                         | 16                                     | 0,6039                                            | 5,154          | -                   | 12,13                |
| <b>Toplam</b>                       | 26                                     | 39,9011                                           | -              | -                   | 100                  |

## 7. DENEY SONUÇLARININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

### 7.1 Teğetsel Tornalama-Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Matematiksel Modellemesi

Bu çalışmada teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmiş Ç1040 çelik, paslanmaz çelik ve pirinç malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modellemesi oluşturuldu. Model çoklu lineer regresyon yöntemi ile oluşturuldu. Ayrıca modellerin uygunlukları varyans analizi ve artık analizi yöntemleri ile incelendi.

Çoklu lineer regresyon yönteminde genellikle quadratik denklemler kullanılmaktadır. Teğetsel tornalama-frezeleme ile işlenen iş parçalarının ortalama yüzey pürüzlülüğüne ( $R_a$ :  $\mu m$ ) ait matematiksel modelin elde edilmesinde kesici takım devri, iş parçası devri, aksel ilerleme hızı, talaş derinliği ve kesici takım helis açısı değişkenleri kullanıldı. Her bir malzeme ayrı ayrı ele alındı. Denklemlerde mevcut olan katsayılar Minitab15 programı kullanılarak bulundu. Bütün malzemeler için 7.1 ' de verilen denklem önerildi.

$$R_a = a_0 + a_1*A + a_2*B + a_3*C + a_4*D + a_5*E + a_6*A^2 + a_7*B^2 + a_8*C^2 + a_9*D^2 + a_{10}*E^2 + a_{11}*A*E + a_{12}*B*E + a_{13}*C*E + a_{14}*D*E \quad (7.1)$$

**Tablo7.1.** Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile yapılan işlemede yüzey pürüzlülüğü matematiksel modellerine ait regresyon katsayıları.

| KATSAYILAR | DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER |                 |           |
|------------|-------------------------------|-----------------|-----------|
|            | Ç1040 Çelik                   | Paslanmaz çelik | Pirinç    |
| <b>a0</b>  | 21,3165                       | 5,47143         | 3,52198   |
| <b>a1</b>  | -0,0138                       | -0,01213        | -0,00200  |
| <b>a2</b>  | -0,1503                       | -0,06314        | -0,00260  |
| <b>a3</b>  | 1,0951                        | 0,00776         | 0,20665   |
| <b>a4</b>  | 0,2157                        | 0,36302         | 0,01766   |
| <b>a5</b>  | -0,3546                       | 0,19818         | -0,08138  |
| <b>a6</b>  | 0,0000                        | 0,00002         | 0,00000   |
| <b>a7</b>  | 0,0004                        | 0,00018         | 0,00000   |
| <b>a8</b>  | 0,2173                        | 0,00030         | 0,00000   |
| <b>a9</b>  | -0,0024                       | -0,15679        | - 0,00003 |
| <b>a10</b> | 0,0052                        | -0,00227        | 0,00123   |
| <b>a11</b> | 0,0001                        | 0,00000         | 0,00000   |
| <b>a12</b> | 0,0001                        | 0,00000         | -0,00000  |
| <b>a13</b> | -0,0238                       | 0,00035         | 0,00052   |
| <b>a14</b> | -0,0031                       | 0,00344         | 0,00018   |

Tablo 7.1 ‘de verilen regresyon katsayıları 7.1’deki denklemde yerine konulduğunda; Ç1040 çelik, paslanmaz çelik ve pirinç malzemelerin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne ait matematiksel modeller elde edilir.

Ç1040 çelik malzemenin işlenmesinde elde edilen matematiksel model:

$$\begin{aligned}
 Ra = & 21,3165 - 0,0138*A - 0,1503*B + 1,0951*C + 0,2157*D - 0,3546*E \\
 & + 0,0004*B^2 + 0,2173*C^2 - 0,0024*D^2 + 0,0052*E^2 + 0,0001*A*E \\
 & + 0,0001*B*E - 0,0238*C*E - 0,0031*D*E
 \end{aligned}
 \quad (7.2)$$

Korelasyon katsayısı = 92.2

Paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde elde edilen matematiksel model:

$$\begin{aligned}
 Ra = & 5,47143 - 0,01213*A - 0,06314*B + 0,00776*C + 0,36302*D + 0,19818*E + \\
 & 0,00002*A^2 + 0,00018*B^2 + 0,00030*C^2 - 0,15679*D^2 - 0,00227*E^2
 \end{aligned}$$

$$+ 0,00035 * C * E + 0,00344 * D * E \quad (7.3)$$

Korelasyon katsayısı = 99.4

Pirinç malzemenin işlenmesinde elde edilen matematiksel model:

$$Ra = 3,52198 - 0,00200 * A - 0,00260 * B + 0,20665 * C + 0,01766 * D - 0,08138 * E - 0,00003 * D^2 + 0,00123 * E^2 + 0,00052 * C * E + 0,00018 * D * E \quad (7.4)$$

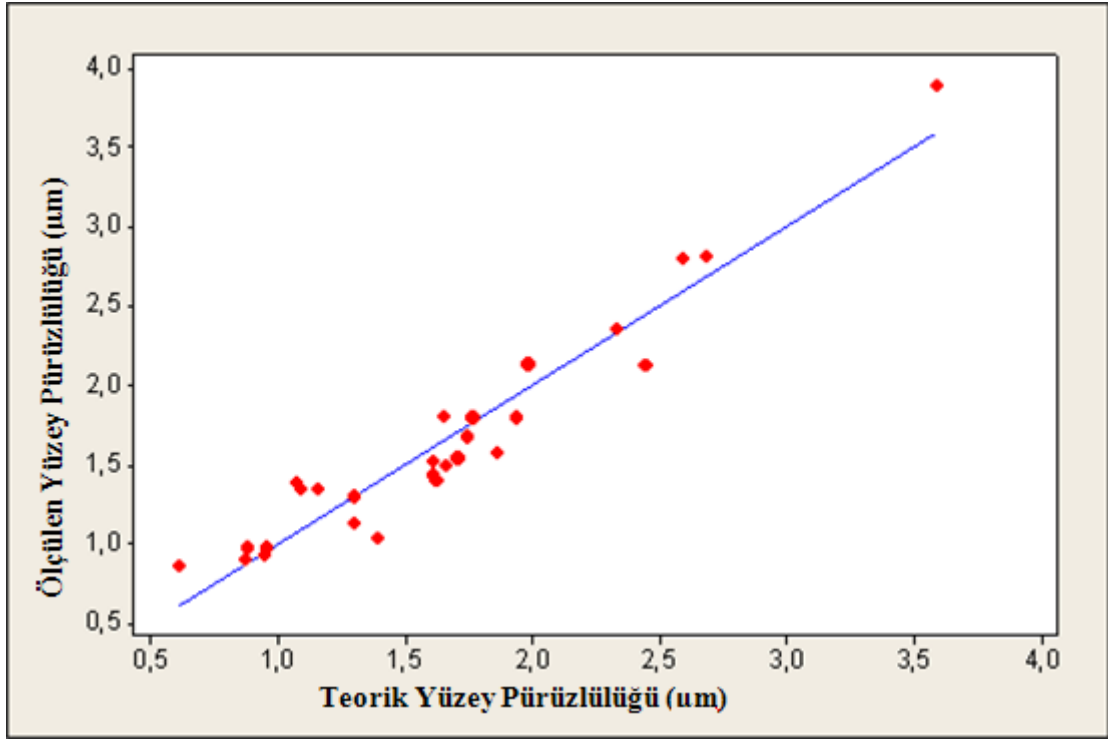
Korelasyon katsayısı = 99.5

şeklinde denklemler elde edilir.

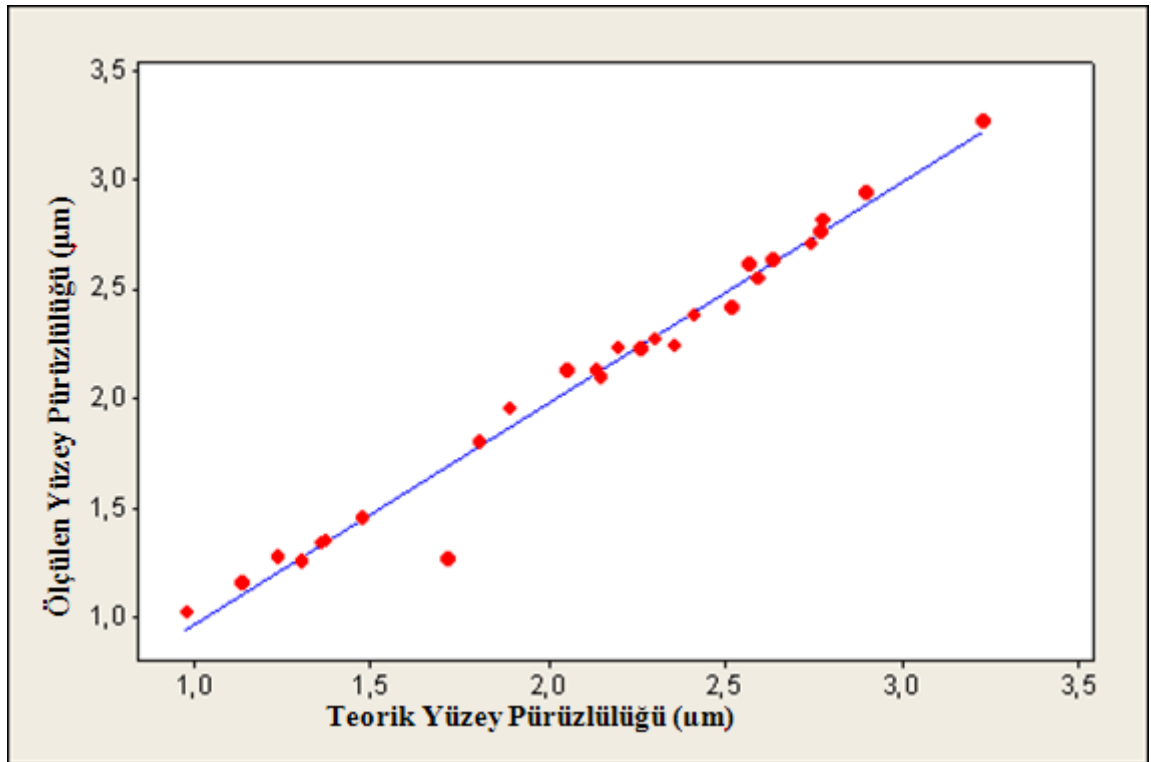
Her bir malzemenin işlenmesinde kullanılan modellere ait korelasyon katsayıları, elde edilen modellerin uygun olduğunu göstermektedir. Deneysel çalışmalarda ölçülen ve teorik olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 7.2’ de verildi. Bu değerlere ait grafikler Şekil 7.1- 7.3’te verildi. Şekil 7.1 – 7.3 incelendiğinde deneysel çalışmalarda ölçülen ve teorik olarak elde edilen değerlerin regresyon çizgisine oldukça yakın dağıldıkları görülmektedir.

**Tablo 7.2.** Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenen üç farklı malzemenin ölçülen yüzey pürüzlülüğü ve teorik yüzey pürüzlülüğü değerleri

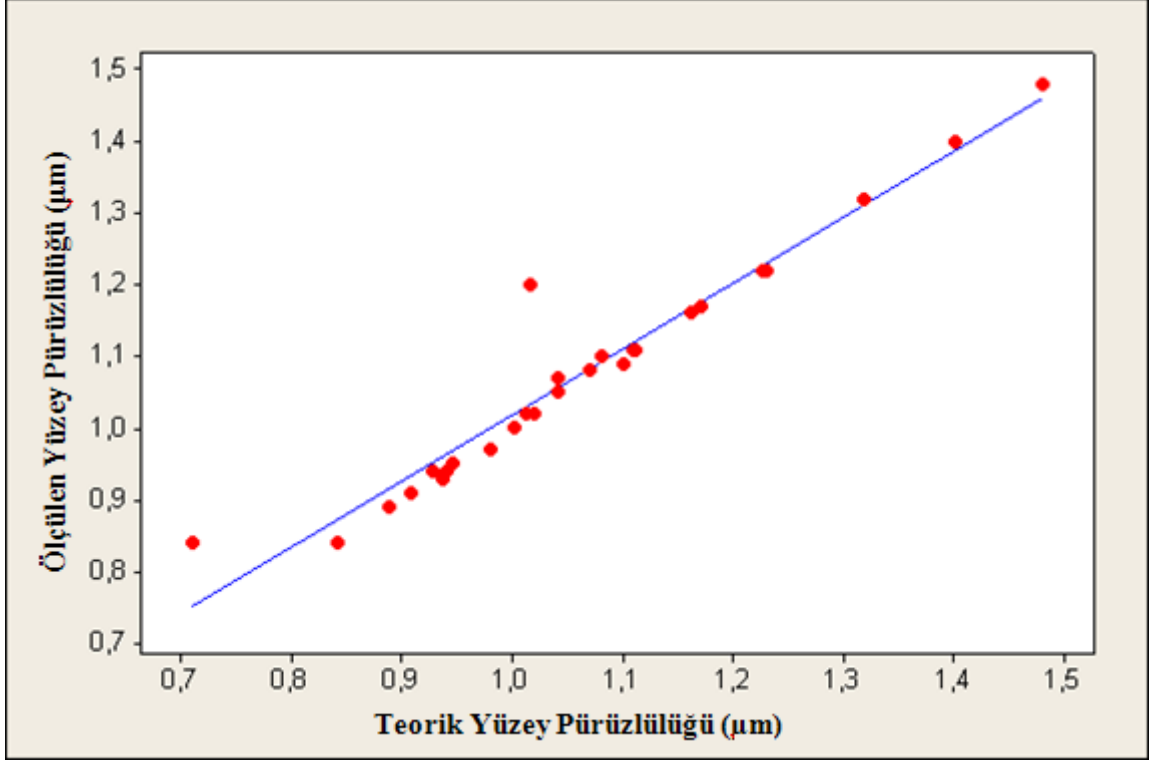
| Deney<br>Numarası | Deneylerde kullanılan malzemeler |                  |                   |                  |                   |                  |
|-------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
|                   | Ç1040 Çelik                      |                  | Paslanmaz Çelik   |                  | Pirinç            |                  |
|                   | Ölçülen<br>Ra(μm)                | Teorik<br>Ra(μm) | Ölçülen<br>Ra(μm) | Teorik<br>Ra(μm) | Ölçülen<br>Ra(μm) | Teorik<br>Ra(μm) |
| 1                 | 1,81                             | 1,656            | 1,27              | 1,720            | 1,02              | 1,020            |
| 2                 | 0,97                             | 0,956            | 2,10              | 2,148            | 0,84              | 0,841            |
| 3                 | 1,13                             | 1,298            | 2,62              | 2,571            | 0,91              | 0,908            |
| 4                 | 1,58                             | 1,863            | 1,28              | 1,236            | 1,11              | 1,109            |
| 5                 | 0,93                             | 0,949            | 2,13              | 2,141            | 0,93              | 0,938            |
| 6                 | 1,38                             | 1,077            | 2,56              | 2,593            | 1,02              | 1,013            |
| 7                 | 3,89                             | 3,588            | 1,80              | 1,806            | 1,48              | 1,481            |
| 8                 | 2,12                             | 2,439            | 2,71              | 2,744            | 1,32              | 1,318            |
| 9                 | 2,35                             | 2,332            | 3,27              | 3,229            | 1,40              | 1,401            |
| 10                | 2,81                             | 2,685            | 1,35              | 1,371            | 1,22              | 1,226            |
| 11                | 1,54                             | 1,703            | 2,28              | 2,301            | 1,08              | 1,071            |
| 12                | 1,80                             | 1,763            | 2,82              | 2,778            | 1,16              | 1,162            |
| 13                | 1,04                             | 1,392            | 1,02              | 0,979            | 1,07              | 1,042            |
| 14                | 0,87                             | 0,613            | 1,96              | 1,894            | 0,84              | 0,710            |
| 15                | 0,97                             | 0,875            | 2,25              | 2,356            | 0,95              | 0,946            |
| 16                | 2,14                             | 1,981            | 1,26              | 1,303            | 1,11              | 1,112            |
| 17                | 1,30                             | 1,299            | 2,24              | 2,198            | 0,94              | 0,941            |
| 18                | 1,50                             | 1,660            | 2,64              | 2,639            | 1,20              | 1,016            |
| 19                | 2,80                             | 2,594            | 1,46              | 1,478            | 1,22              | 1,230            |
| 20                | 1,68                             | 1,746            | 2,38              | 2,414            | 1,10              | 1,081            |
| 21                | 1,80                             | 1,940            | 2,95              | 2,898            | 1,17              | 1,171            |
| 22                | 1,40                             | 1,621            | 1,16              | 1,135            | 1,05              | 1,042            |
| 23                | 0,90                             | 0,869            | 2,13              | 2,054            | 0,89              | 0,888            |
| 24                | 1,35                             | 1,159            | 2,42              | 2,521            | 0,97              | 0,980            |
| 25                | 1,52                             | 1,609            | 1,34              | 1,360            | 1,09              | 1,100            |
| 26                | 1,35                             | 1,086            | 2,23              | 2,264            | 0,94              | 0,928            |
| 27                | 1,43                             | 1,605            | 2,77              | 2,770            | 1,00              | 1,002            |



Şekil. 7.1. Ç1040 çelik malzemenin işlenmesinde elde edilen ölçülen ve teorik yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması



Şekil. 7.2. AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde elde edilen ölçülen ve teorik yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması



Şekil. 7.3. MS58 pirinç malzemenin işlenmesinde elde edilen ölçülen ve teorik yüzey pürüzlülüklerinin karşılaştırılması

## 7.2 Teğetsel Tornalama-Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Matematiksel Modellerinin Varyans Analizi

Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülüğü değerlerine bağlı olarak oluşturulan matematiksel modelin uygunluğunu belirlemek için varyans ( ANOVA) analizi yöntemi ile analiz edildi. Tablo 7.3 -7.5 'te deneylerde işlenen malzemelerden ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinden elde edilen matematiksel modeller için yapılan varyans analizi ( ANOVA) sonuçları görülmektedir. Tablolarda görülen P değeri, modelde bulunan sabit, kuadratik ve çarpım terimlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini istatistiksel olarak belirler. P değerleri göz önüne alındığında (  $P < 0.05$  olduğu durumlarda ) her üç malzeme için elde edilen modellerin ve bu modellerde bulunan terimlerin önemli etkiye sahip oldukları; sadece çarpım terimlerinin daha az etkiye sahip olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.3.** Ç1040 malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modelin varyans analizi sonuçları

| Terim         | Serbestlik Derecesi (V) | Karelerin Toplamı (SS <sub>A</sub> ) | Varyans  | F Değeri | P Değeri |
|---------------|-------------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| Regresyon     | 14                      | 11,5333                              | 0,82380  | 10,16    | 0,000    |
| Liner         | 5                       | 6,0743                               | 0,964844 | 11,90    | 0,000    |
| Karesel Terim | 5                       | 4,9157                               | 0,98314  | 12,13    | 0,000    |
| Çarpım Terimi | 4                       | 0,5433                               | 0,135825 | 1,68     | 0,220    |
| Artık Hata    | 12                      | 0,9728                               | 0,081066 | -        | -        |
| Toplam        | 40                      | 12,5062                              | -        | -        | -        |

**Tablo 7.4.** AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modelin varyans analizi sonuçları

| Terim         | Serbestlik Derecesi (V) | Karelerin Toplamı (SS <sub>A</sub> ) | Varyans  | F Değeri | P Değeri |
|---------------|-------------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| Regresyon     | 14                      | 10,1916                              | 0,72797  | 146,51   | 0,000    |
| Liner         | 5                       | 9,1257                               | 0,260172 | 52,36    | 0,000    |
| Karesel Terim | 5                       | 1,0591                               | 0,21182  | 42,63    | 0,000    |
| Çarpım Terimi | 4                       | 0,0068                               | 0,0017   | 0,34     | 0,845    |
| Artık Hata    | 12                      | 0,0596                               | 0,00496  | -        | -        |
| Toplam        | 40                      | 10,2513                              | -        | -        | -        |

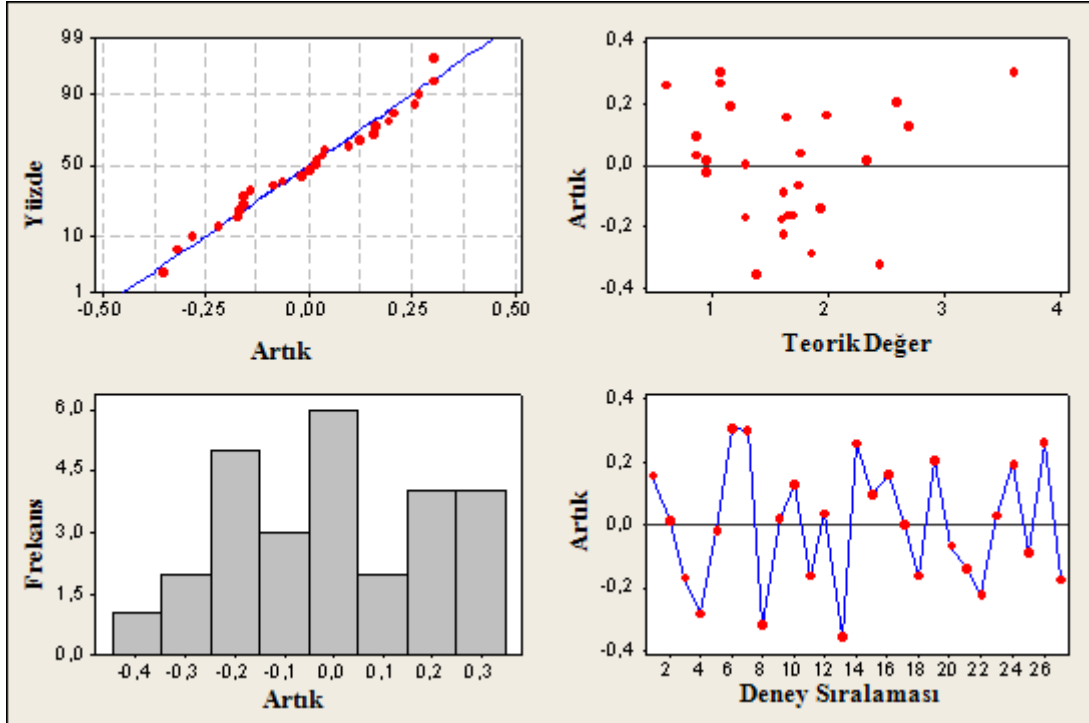
**Tablo 7.5.** MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modelin varyans analizi sonuçları

| Terim         | Serbestlik Derecesi (V) | Karelerin Toplamı (SS <sub>A</sub> ) | Varyans   | F Değeri | P Değeri |
|---------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------|----------|----------|
| Regresyon     | 14                      | 0,658478                             | 0,047034  | 184,27   | 0,000    |
| Liner         | 5                       | 0,467090                             | 0,029638  | 116,12   | 0,000    |
| Karesel Terim | 5                       | 0,190103                             | 0,0380206 | 148,96   | 0,000    |
| Çarpım Terimi | 4                       | 0,001285                             | 0,0003212 | 1,26     | 0,339    |
| Artık Hata    | 12                      | 0,003063                             | 0,0002552 | -        | -        |
| Toplam        | 40                      | 0,661541                             | -         | -        | -        |

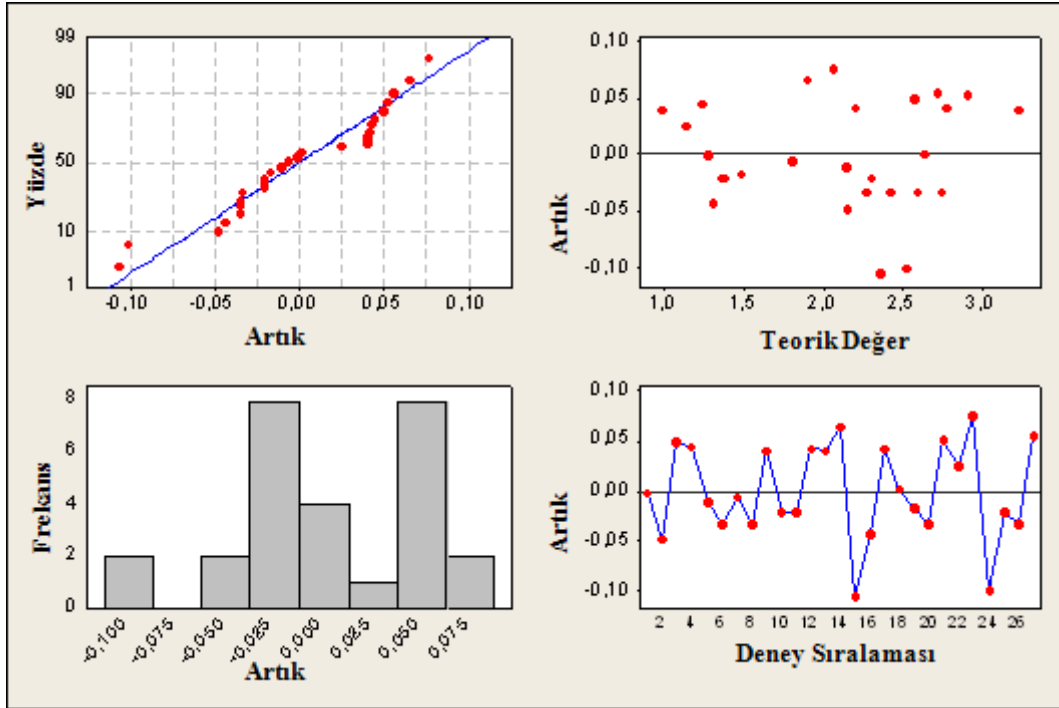
### 7.3 Teğetsel Tornalama-Frezeleme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün Matematiksel Modellerinin Artık Analizi

Yapılan çalışmalarda malzemelerin işlenmesinde elde edilen matematiksel modellerin uygunluğunu belirlemek amacı ile artık analizleri yapıldı. Artık analizleri, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen değerler ile ortaya konan matematiksel modeller kullanılarak elde edilen teorik değerler arasındaki farktır. Korelasyon katsayısı yüksek olan matematiksel modellerde artık oranı çok düşük çıkar. Artık analizleri yapıldıktan sonra matematiksel modeldeki artıkların dağılımları, gerçek değerle olan ilişkileri ve deneylerin yapılma sırasına göre gösterdiği değişim durumları modelin uygunluğu hakkında fikir verir.

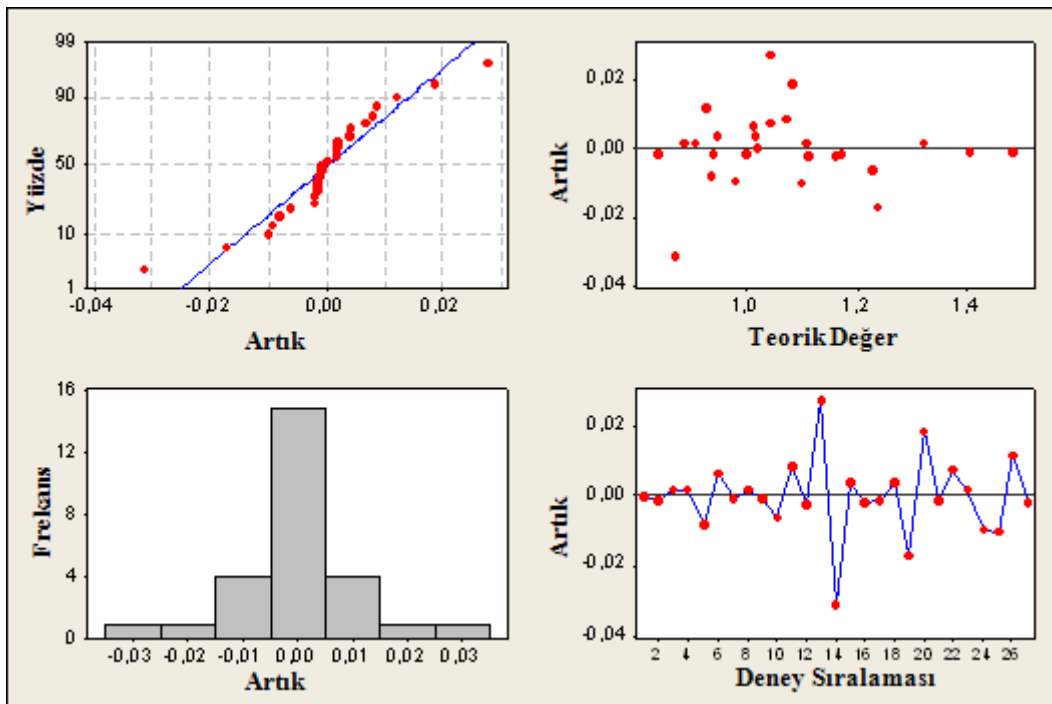
Şekil 7.4 – 7.6’da teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenen malzemeler için elde edilen matematiksel modelin uygunluğunu belirlemek için kullanılan artık analizi grafikleri görülmektedir. Şekiller incelendiğinde grafiklerde görülen noktaların regresyon çizgisine çok yakın olduğu, ölçülen değerler ile teorik olarak elde edilen değerlerin sıfır çizgisine olan uzaklıklarının birbirine benzerliği modelin uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 7.4. Ç1040 malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modele ait artık analizi.



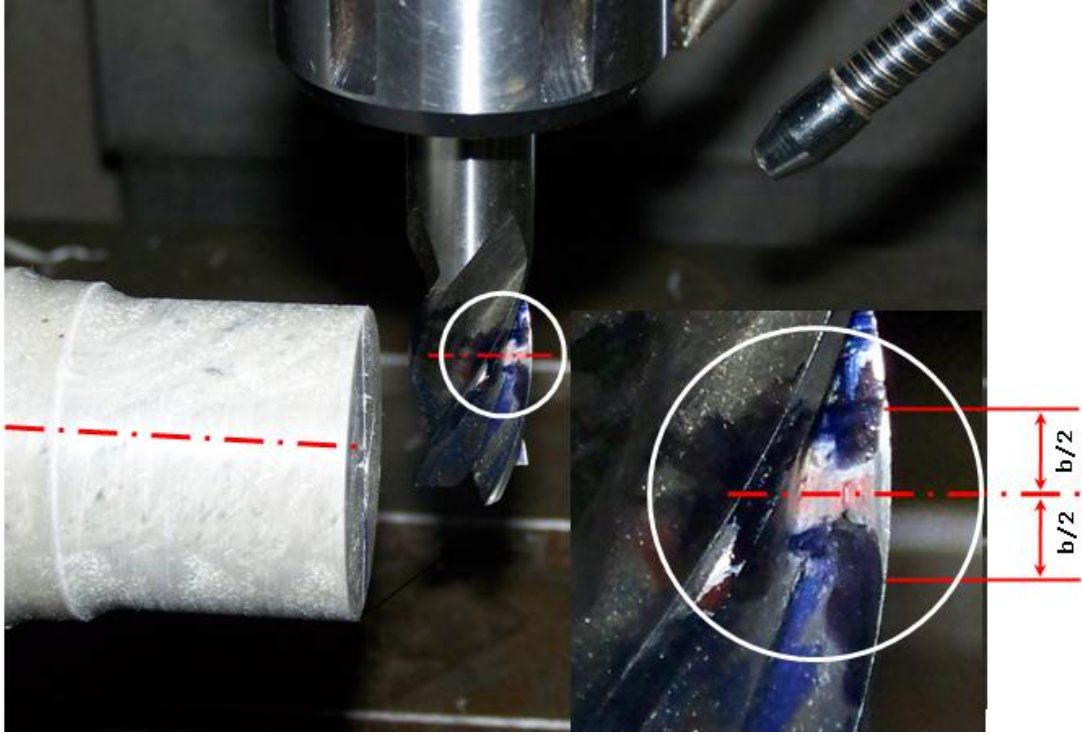
Şekil 7.5. AISI 304 paslanmaz çelik malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modele ait artık analizi.



Şekil 7.6. MS58 pirinç malzemesinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan matematiksel modele ait artık analizi.

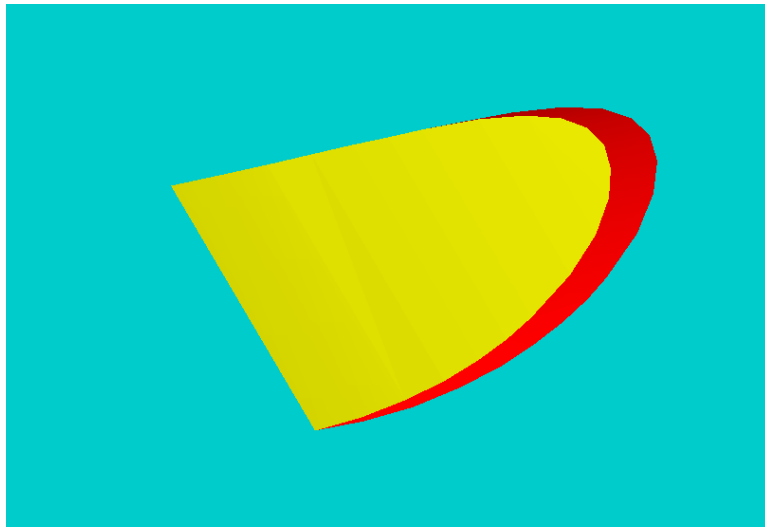
#### **7.4. Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yönteminde Teorik Olarak Kuvvetlerin Hesaplanması**

Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi; frezeleme ve tornalama yönteminin bir kombinasyonu olduğundan talaş kaldırma mekanizminde karmaşık bir yapıya sahiptir. Bir yandan kesici takım kendi eksenini etrafında dönerken diğer yandan iş parçası kendi eksenini etrafında dönmektedir. Ayrıca kesici takım iş parçası eksenini doğrultusunda ilerlemektedir. Şekil 7.7’de kesici takım iş parçasına teğet olarak temas etmektedir. Bu temas uzunluğunu tespit etmek amacı ile iş parçası merkezi ile kesici takımın temas ettiği yer kırmızı renge, temasın alt ve üst bölgeleri mavi renge boyandı. İşleme sonrası temas bölgesi göz önüne alındığında iş parçası merkezinin kesici takım çizgisinin üst ve alt kısımdan eşit uzunlukta temas ettiği tespit edildi. Şekil incelendiğinde silindirik frezeleme işlemi gibi düşünülebilir. Fakat bu yöntemde iş parçası silindirik bir profile sahiptir. Buna bağlı olarak da talaş şekli de değişmektedir. İş parçası ekseninden talaş kesitine bakıldığında silindirik frezeleme işleminde virgül şeklinde görülen bir talaş çıkar. Ancak Şekil 7.8 ve 7.9 incelendiğinde iş parçası silindirik olduğundan talaş derinliklerinin de her yerde aynı olmadığı görülür. İş parçası merkezinde talaş derinliği en yüksek değerde iken iş parçası merkezinden uzaklaştıkça talaş derinliği azalmakta ve sıfır olmaktadır. Bu sebepten dolayı, ortalama bir talaş derinliğinin alınması gerektiğinden talaşın ağırlık merkezine denk gelen derinlik, ortalama talaş derinliği kabul edildi.



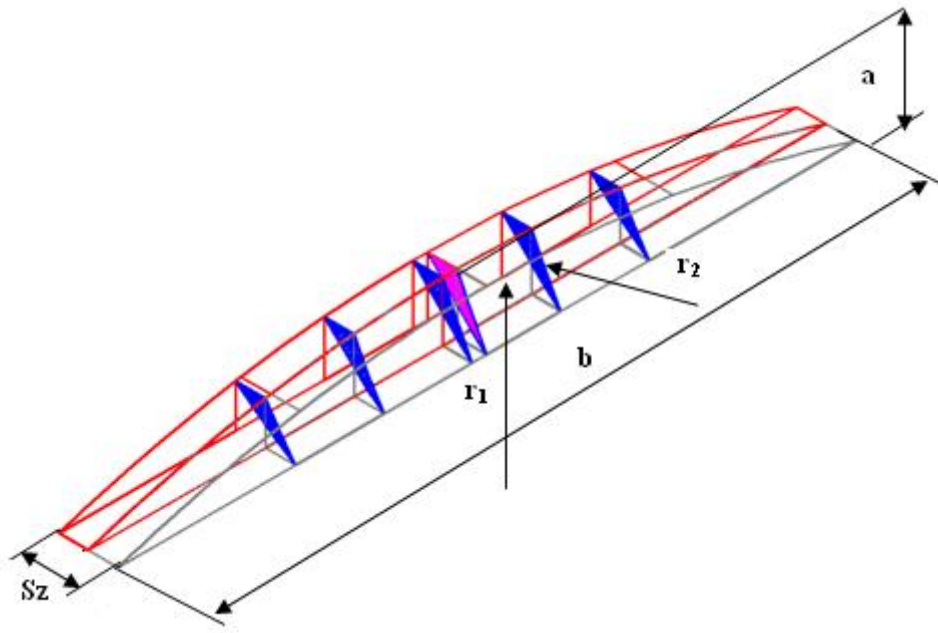
**Şekil 7.7.** Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde kesici takımın talaş kaldırma bölgesi

Şekil 7.8 incelendiğinde ilerleme hızına bağlı olarak talaş genişliğindeki değişim görülmektedir. Talaş genişliği talaş kaldırma işlemi başlarken en yüksek değerde, işlem devam ettikçe talaş genişliği azalmaktadır.



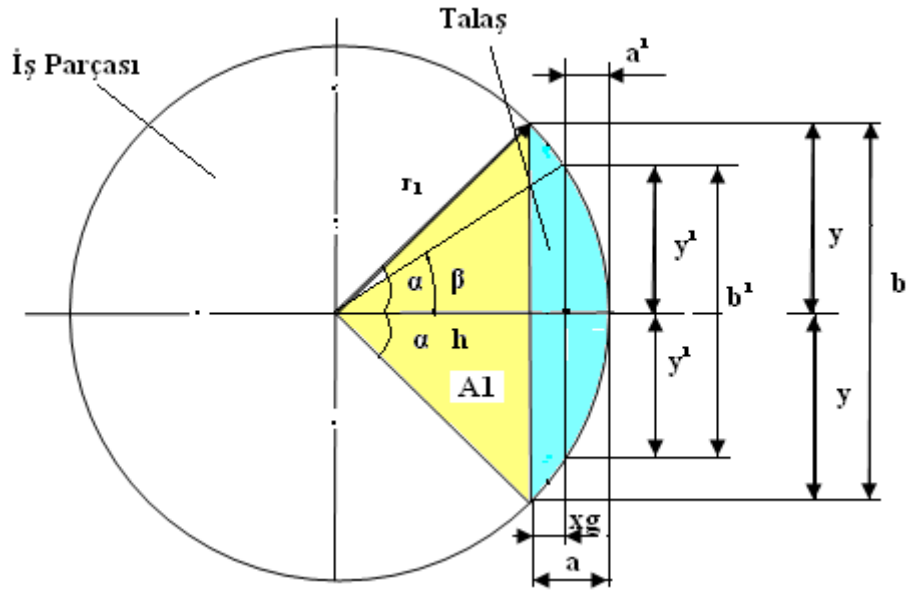
**Şekil 7.8.** Teğetsel tornalama- frezeleme işleminden çıkan talaşın katı modeli

Şekil 7.9 ‘ da talaş genişliği boyunca kesitindeki değişim görülmektedir. Talaş genişliği merkezinde talaş derinliği en yüksek değerde iken; merkezden uzaklaştıkça talaş derinliği azalmaktadır.



Şekil 7.9 . Talaş genişliği boyunca talaş derinliği değişimi

Şekil 7.10' da iş parçasındaki talaşın ağırlık merkezinin hesaplanmasında gerekli ölçüler verilmektedir.



Şekil 7.10. İş parçasında talaş ağırlık merkezinin gösterilmesi

Talaşın ağırlık merkezinin hesaplanması için  $2\alpha$  açısına karşılık gelen daire diliminin ağırlık merkezinden  $2\alpha$  karşılık gelen  $h$  yüksekliğindeki üçgenin ağırlık merkezi çıkarılarak bulunur.

$a$  = Tezgaha verilen talaş derinliği;

$h$  = Yarı çaptan talaş derinliğinin çıkarıldığı değer;

$\alpha$  = Talaş yayının yarısına karşılık gelen açı;

$r_1$  = İş parçası yarıçapı;

$y$  =  $a$  ' ya karşılık gelen talaş genişliğinin yarısı;

$$h = r_1 - a \quad (7.5)$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{r_1} \quad (7.6)$$

$$h = r_1 * \cos \alpha \quad (7.7)$$

$$y = r_1 * \sin \alpha \quad (7.8)$$

Birleşik cisimlerin ağırlık merkezi formülü yazılırsa;

$A_1$  =  $2\alpha$  açısını gören üçgen ve daire dilimine karşılık gelen alan;

$A_2$  =  $2\alpha$  açısını gören üçgenin alanı;

$\bar{x}_{g1}$  =  $A_1$  alanının ağırlık merkezi;

$\bar{x}_{g2}$  =  $A_2$  alanının ağırlık merkezi;

$\bar{x}_g$  = toplam alanın ağırlık merkezi;

$$\bar{x}_g = \frac{\bar{x}_{g1} * A_1 + \bar{x}_{g2} * A_2}{A_1 + A_2} \quad (7.9)$$

Birinci ve ikinci cisimlerin ağırlık merkezleri ve alanları hesaplanırsa;

$$\bar{x}_{g1} = \frac{2 * r_1 * \sin \alpha}{3\alpha} \quad (7.10)$$

$$A_1 = \alpha * r^2 \quad (7.11)$$

$$\bar{x}_{g2} = \frac{2}{3} * h = \frac{2}{3} * r_1 * \cos \alpha \quad (7.12)$$

$$A_2 = y * h = r_1^2 * \sin \alpha * \cos \alpha \quad (7.13)$$

denklemler elde edilir.

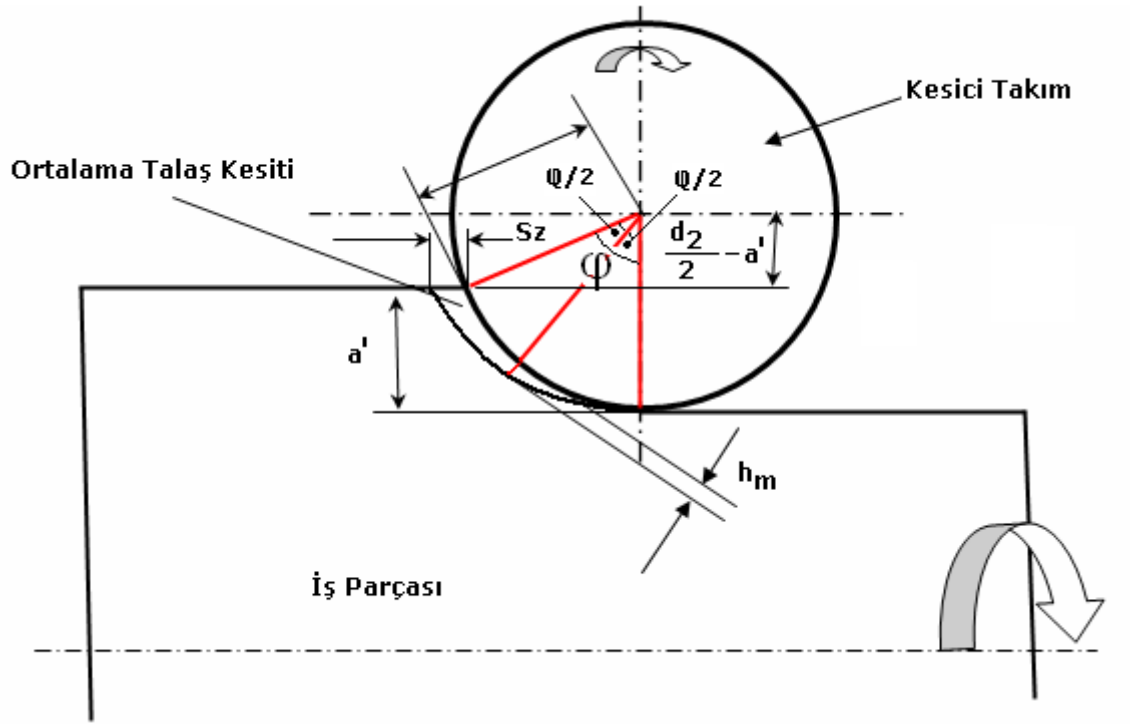
Bu denklemleri 7.9 denkleminde yerine konulursa;

$$\bar{x}_g = \frac{\frac{2 * r_1 * \sin \alpha}{3\alpha} * \alpha * r_1^2 - \frac{2}{3} * r_1 * \cos \alpha * r_1^2 * \sin \alpha * \cos \alpha}{\alpha * r_1^2 + \sin \alpha * \cos \alpha} \quad (7.14)$$

$$\bar{x}_g = \frac{2 * r_1}{3} * \frac{\sin \alpha - \sin \alpha * \cos^2 \alpha}{\alpha - \sin \alpha * \cos \alpha} - r_1 * \cos \alpha \quad (7.15)$$

Şeklinde bir denklem elde edilir.

Teğetsel tornalama-frezeleme işleminde kesme kuvveti hesaplanırken helis açılı düz freze kesici takımı ile yapılan frezeleme işlemi dikkate alınarak formüller çıkarıldı. Yöntem gereği işlenen iş parçasının silindirik bir yapıya sahip olmasından dolayı verilen talaş derinliği talaş genişliği boyunca değişim göstermektedir. Bu sebepten dolayı talaş derinliğinin değeri, talaşın ağırlık merkezine karşılık gelen değer olarak kabul edildi. Hesaplar ona göre çıkarıldı. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde kesme kuvvetini hesaplamak için öncelikle ortalama talaş kalınlığını hesaplamak gerekir.



Şekil 7.11. Ortalama talaş kalınlığının gösterilmesi

$a'$  = ortalama talaş kalınlığının hesaplanmasında kullanılan talaş derinliği;

$\varphi$  = kesme kavrama açısı ( ° );

$h_m$  = ortalama talaş kalınlığı ( mm );

$s_z$  = diş başına ilerleme ( mm/diş );

$d_2$  = kesici takım çapı ( mm );

$\chi$  = yerleştirme açısı ( ° );

$\lambda$  = kesici takım helis açısı ( ° );

$u$  = ilerleme hızı ( mm/ dak );

$z$  = kesici takım ağız ( diş ) sayısı ( adet );

$$a' = a - \bar{x}_g \quad (7.16)$$

$$\varphi = \frac{\frac{d_2}{2} - a^1}{\frac{d_2}{2}} = 1 - \frac{2 * a^1}{d_2} \quad (7.17)$$

$$s_z = \frac{u}{n * z} \quad (7.18)$$

$$\chi = 90 - \lambda \quad (7.19)$$

$$h_m = \frac{360}{\pi * \varphi} * \frac{a^1}{d_2} * s_z * \sin \chi \quad (7.20)$$

Ortalama talaş kalınlığı hesaplandıktan sonra, ağırlık merkezi referans alınarak talaş genişliği hesaplanmalıdır. Önce bu genişliğe karşı gelen açı hesaplanır.

$b^1$  = ortalama talaş derinliğinde meydana gelen ortalama talaş genişliği;

$\beta$  = talaşın ağırlık merkezindeki talaş genişliğinin gördüğü merkez açının yarısıdır.

$$\cos \beta = \frac{h + \bar{x}_g}{r_1} \quad (7.21)$$

$$b' = 2 * r_1 * \sin \beta \quad (7.22)$$

Helis açılı freze takımlarında ise;

$$b' = \frac{2 * r_1 * \sin \beta}{\cos \lambda} \quad (7.23)$$

Kesme kuvvetinin hesaplanması için talaş kaldırma işleminde özgül kesme kuvvetini ve temas eden diş sayısının da belirlenmesi gerekir.

$z_e$  = kesme durumundaki diş sayısı

$$z_e = z * \frac{\varphi}{360} \quad (7.24)$$

$k_s$  = özgül kesme kuvveti

$k_{s11}$  = malzemeye ve işleme yöntemine göre özgül kesme kuvveti değeri ( N/mm<sup>2</sup> ) ;

$k_\gamma$  = iş parçası malzemesi düzeltme faktörü;

$k_a$  = aşınma faktörü ;

$k_T$  = kesici takım düzeltme faktörü;

$$k_s = k_{s11} * hm^{-z} * k_\gamma * k_T * k_a \quad (7.25)$$

$F_{sz}$  = Bir dişe karşılık gelen ortalama kesme kuvveti ;

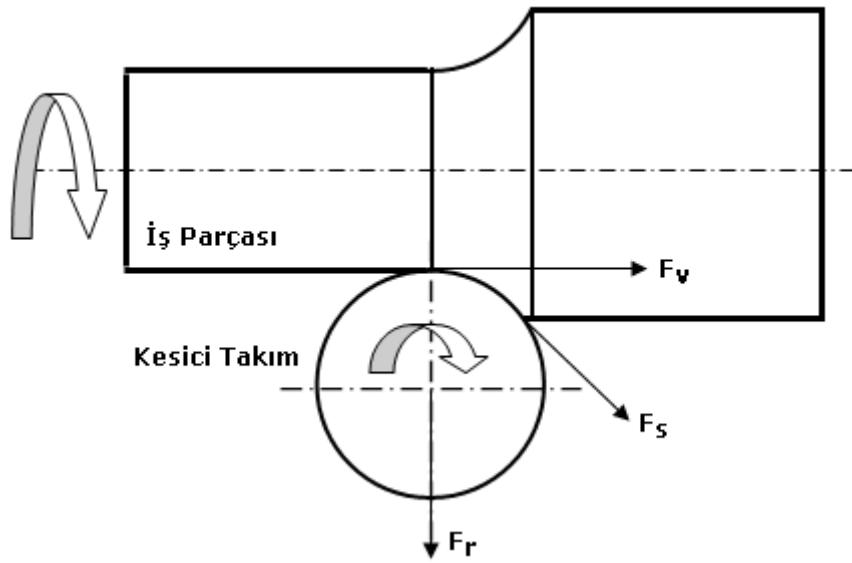
$$F_{sz} = b' * h_m * k_s \quad (7.26)$$

Şekil 7.12 ‘de teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kesme kuvvetleri görülmektedir.

$F_s$  = Ortalama kesme kuvveti;

$F_r$  = Radial kuvvet;

$F_v$  = İlerleme kuvveti;



Şekil 7.12. Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kuvvetler

$$F_s = z_e * F_{sz} \quad (7.27)$$

$P_s$  = Kesme gücü;

$$P_s = \frac{F_s * V}{60 * 1000} \text{ (kW)} \quad (7.28)$$

Yukarıda teğetsel tornalama-frezeleme işleminde talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvet ve gücün denklemleri çıkarıldı. Çıkarılan bu denklemlere bağlı olarak bir örnek yapıldı.

### Örnek

Malzemesi Ç 1040 olan Ø40 mm çapındaki silindirik bir iş parçası çapı 38 mm ye kadar teğetsel tornalama-frezeleme yöntemiyle işlenecektir. Talaş kaldırma işleminde ilerleme hızı  $U = 12,6$  mm/dak verim  $\eta_m = \% 100$  alınmıştır. İşlemin yapılması için gerekli kesme kuvveti ve gücünü hesaplayınız. Kesici takım 4 ağızlı Ø20x 100 mm 30° helis açılı HSS parmak freze çakısı kullanılmıştır.

Malzeme : Ç1040

Kesme Hızı (V) : 22 m/dak (Tablo A7.3) [78].

İş Parçası ( $d_1$ ) : Ø 40 mm

Kesici Takım( $d_2$ ) : Ø 20 mm

Kesici Takım diş sayısı (z) : 4

Talaş derinliği (a) : 1 mm

Kesici Takım Helis açısı ( $\lambda$ ) : 30°

Kesici Takım Devri (n);

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * d_2} = \frac{1000 * 22}{3,14 * 20} = 350 \text{ dev/dak}$$

Diş başına ilerleme hızı ( $S_z$ )

$$S_z = \frac{U}{z * n} = \frac{12,6}{4 * 350} = 0,009 \text{ mm/diş}$$

Talaş derinliği değişken olduğundan ortalama bir talaş derinliği seçilmesi gerekmektedir. Talaş derinliği olarak talaşın ağırlık merkezine karşılık gelen derinlik kabul edildi. Aşağıda talaşın ağırlık merkezi bulunarak talaş derinliği hesaplandı.

$$h = r_1 - a = 20 - 1 = 19 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{h}{r_1} = \frac{19}{20} = 0,95$$

$$\alpha = 18,194^\circ$$

$$h = r_1 * \cos \alpha$$

$$y = r_1 * \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = 0,31225$$

Ağırlık merkezi  $\bar{x}_g$  ;

$$\bar{x}_g = \frac{\frac{2 * r_1 * \sin \alpha}{3\alpha} * \alpha * r_1^2 - \frac{2}{3} * r_1 * \cos \alpha * r_1^2 * \sin \alpha * \cos \alpha}{\alpha * r_1^2 * \sin \alpha * \cos \alpha}$$

$$\bar{x}_g = \frac{2 * 20}{3} * \frac{\sin(18,194) - \sin(18,194) * \cos^2(18,194)}{18,194 * \frac{\pi}{180} - \sin(18,194) * \cos(18,194)} - 20 * \cos(18,194)$$

$$\bar{x}_g = \frac{2 * 20}{3} * \frac{0,31223 - 0,31223 * 0,9025}{0,31756 - 0,31223 * 0,95} - 19$$

$$\bar{x}_g = 0,40137 \text{ mm}$$

Ortalama talaş derinliği  $a^1$  ;

$$a^1 = a - \bar{x}_g = 1 - 0,40137 = 0,598626 \text{ mm}$$

Kesme kavrama açısı  $\varphi$ ;

$$\cos \varphi = \frac{\frac{d_2}{2} - a^1}{\frac{d_2}{2}} = 1 - \frac{2 * a^1}{d_2} = 1 - \frac{2 * 0,598626}{20} = 0,97006$$

$$\varphi = 19,9253^\circ$$

Helis açılı kesici takımlarda yerleştirme açısı  $\chi$ ;

$$\chi = 90 - \lambda = 90 - 30 = 60^\circ$$

Ortalama talaş kalınlığı  $h_m$  ;

$$h_m = \frac{360}{\pi * \varphi} * \frac{a^1}{d_2} * s_z * \sin \chi = \frac{360}{3,14 * 19,9253} * \frac{0,598626}{20} * 0,009 = 0,00129 \text{ mm}$$

Talaş derinliğinin değişimine bağlı olarak talaş genişliği de değişmektedir. Bu sebepten dolayı talaşın ağırlık merkezine denk gelen talaş genişliği alındı.

$\beta$  = Ağırlık merkezine göre talaş genişliğine karşılık gelen açının yarısıdır.

$$\cos \beta = \frac{h + \bar{x}_g}{r_1} = \frac{19 + 0,40137}{2 * 20} = 0,9700685$$

$$\beta = 14,053^\circ$$

Ortalama talaş genişliği  $b'$ ;

$$b' = \frac{2 * r_1 * \sin \beta}{\cos \lambda} = \frac{2 * 20 * \sin(14,053)}{\cos 30} = 11,21558 \text{ mm}$$

Kesme durumundaki diş sayısı  $z_e$ ;

$$z_e = z * \frac{\varphi_m}{360} = 4 * \frac{19,9253}{360} = 0,221 \text{ diş}$$

Özgül kesme kuvveti;

$$k_s = k_{s_{11}} * h m^{-z} * k_\gamma * k_T * k_a$$

Düzeltilme faktörü  $k_\gamma$ ;

$$k_\gamma = \frac{C - 1,5 * \gamma}{100}$$

C = Çelik malzemeler için 109

$$k_{\gamma} = \frac{C - 1,5 * 5}{100} = \frac{109 - 7,5}{100} = 1,0151$$

Takım malzemesine bağlı özellik

$k_T$  = HSS kesici takım için ( Cetvel A-2.2 )[78]

$$k_T = 1,56$$

Aşınma faktörü  $k_a$  ;

$$k_a = 1,3$$

Özgül kesme kuvveti için ( Cetvel A-2.a )[78].

$$z = 0,17;$$

$$k_{s11} = 1940 \text{ N/mm}^2$$

$$k_s = 1940 * (0,00150)^{-0,17} * 1,015 * 1,56 * 1,3 = 12061,46 \text{ N/mm}^2$$

Bir dişe karşılık gelen ortalama kesme kuvveti ( $F_{sz}$ );

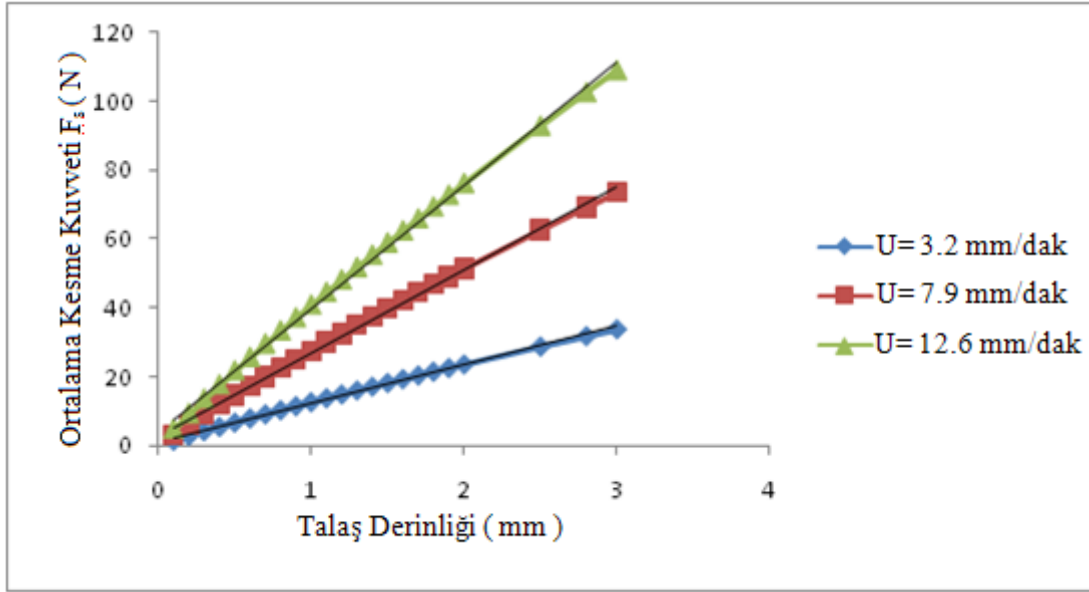
$$F_{sz} = b^1 * h_m * k_s = 11,21558 * 0,00129 * 12061,46 = 174,5063 \text{ N}$$

Ortalama kesme kuvveti ( $F_s$ ) ;

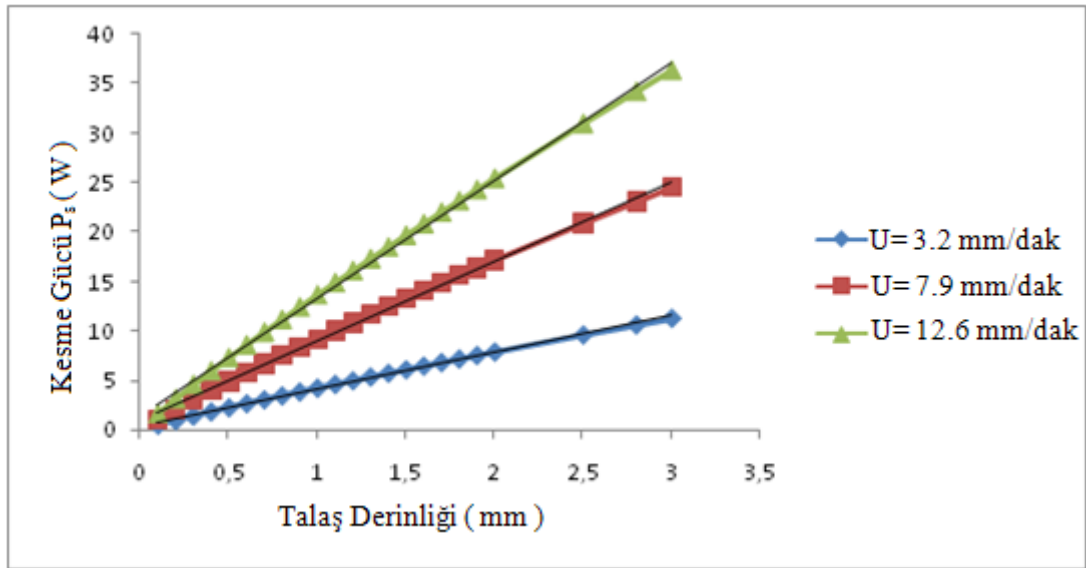
$$F_s = z_e * F_{sz} = 0,221 * 174,5063 = 38,56 \text{ N}$$

$$P_s = \frac{F_s * V}{60 * 1000} = \frac{38,83 * 20}{60 * 1000} = 0,0129 \text{ Kw} = 12,9 \text{ Watt}$$

Hazırlanan bir Excel programı ile bu işlemler farklı talaş derinlikleri ve farklı ilerleme hızı için ayrı ayrı ortalama kesme kuvveti ve kesme güçleri hesaplandı. Şekil 7,15 ve 7. 16 incelendiğinde talaş derinliğinin ve ilerlemenin artması ile ortalama kesme kuvveti artmakta ve bunun sonucunda kesme gücü arttığı görülmektedir.



Şekil 7.13. Teğetsel tornalama-frezeleme işleminde ortalama kesme kuvveti



Şekil 7.14. Teğetsel tornalama-frezeleme işleminde kesme gücü

## 8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 8.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada Ç1040 çelik, AISI 304 paslanmaz çelik ve MS58 pirinç olarak üzere üç farklı malzeme teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve incelemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Ç1040 malzemesinin teğetsel tornalama-frezeleme ile işlenmesinde kesici takım devrinin ve iş parçası devrinin belirli bir değere kadar artırılmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı ve bu değer aşıldıktan sonra yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı tespit edildi. En iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin her iki parametrenin ikinci seviyelerinde çıktığı görüldü.
- Ç1040 malzemesinin işlenmesinde talaş derinliği ve eksenel ilerleme hızının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görüldü. En uygun seviyelerin birinci seviyeler olduğu tespit edildi.
- Ç1040 malzemesinin işlenmesinde kesici takım helis açısı değerinin belirli bir değere kadar artırılmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı bu değerden sonraki artışlarda ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmektedir. İdeal yüzey pürüzlülüğü değerinin ikinci seviyede olduğu belirlendi.
- MS58 pirinç malzemenin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesinde Ç 1040 malzemesine benzer bir durum sergilemektedir. Kesici takım devri, iş parçası devri ve kesici takım helis açısının belirli bir değere kadar artırılmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı; fakat bu değerin üzerine çıkıldığı takdirde yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı tespit edildi. Bu malzeme için kesici takım devri, iş parçası devri ve kesici takım helis açısı parametrelerinin ikinci seviyelerinde en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü elde edildiği belirlendi.
- MS58 pirinç malzemenin işlenmesinde talaş derinliği ve eksenel ilerleme hızının artmasına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin de arttığı görüldü.

- AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin teğetsel tornalama-frezeleme işlemi ile işlenmesinde işleme parametrelerinden kesici takım devri ve iş parçası devrinin belirli bir değere kadar artırılması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı bu değer üstündeki durumlarda ise ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı tespit edilmiştir.
- AISI 304 paslanmaz çeliğin teğetsel tornalama-frezeleme işlemi ile işlenmesinde kesici takım helis açısının, aksel ilerleme hızının ve talaş derinliğinin artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edildi. Bu parametrelerin birinci seviyelerindeki değerlerde en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerini verdiği belirlendi.
- Her üç malzeme için yapılan varyans analizi incelendiğinde kesici takım devrinin, iş parçası devrinin ve diğer parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğu görüldü.
- Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi için elde edilen matematiksel modellerin, korelasyon katsayıları dikkate alındığında deney sonuçlarına uygun olduğu görüldü.
- Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenen malzemeler için elde edilen matematiksel modeller varyans ve artık analizleri kullanılarak analiz edildi. Yapılan analizler sonucunda modelin uygun olduğu tespit edildi.
- Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde teorik olarak talaş derinliğinin ve dış başına ilerleme hızının artması ile ortalama kesme kuvvetinin ve kesme gücünün arttığı tespit edildi.

## 8.2.Öneriler

- Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin takım ömrüne etkileri incelenebilir.
- Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenebilir.
- Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile diğer tornalama-frezeleme yöntemleri kıyaslanabilir.
- Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile klasik frezeleme veya tornalama yöntemleri kıyaslanabilir.

## KAYNAKLAR

1. **Akkurt M.**, 2004. “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları” Birsen Yayınevi .
2. **Aslan E.** 2005. “Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel (62 HRC)”, *Materials and Design* **26** 21–27.
3. **Gülmez S.**, 2003. “ Bor Alaşımlı Çeliklerin Alın Frezelenmesinde Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi” Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi* .
4. **Sakarya N.**, 2005. “Cep işlemede takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi” Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalı, *Bilim Uzmanlık Tezi*, Karabük .
5. **Yeşil H., Erdoğan M., Kılıçlı V., Motorcu A.R.**, 2005. “Soğuk Haddelenmiş St 44 Çeliğinin Frezelenmesinde Haddelme Yön ve Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü Üzerine Etkisinin Araştırılması”, *IATS, 4th International Advanced Technologies Symposium*, Konya, 597-603.
6. **Motorcu A.R.**, 2006. “50 HRC Sertliğinde AISI 1050 Çeliğinin Kaplamalı Karbür Takımla İşlenmesinde Takım Aşınmasının Değerlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (3).
7. **Tilgham, B. C.** 1889. “Verfahren und Werkzeuge zum Schneiden oder Bearbeiten von Metallen unter Anwendung eines elektronischen Stromes”, Kaiserliches Patentschrift Nr. 53224 vom.
8. **Schulz H., Lehmann T.**, 1990. “ Krafte und Antriebsleistungen beim Ortagonalen Drehfrasen ( Forces and Drive Powers in Ortahogonal Turn-Milling )”, *Werkstatt und Betrieb*, **123**, p.921-924
9. **Schulz H.**, 1990. “ High Speed Turn Milling A New Precision Manufacturing Technology fort he Machining of Rotationally Symmetrical Workpieces”, *Annals of the CIRP*, vol **39**, p 107-109.

10. **Pogacnik, M. ve Kopac, J.** 1997. “ Dynamic stabilization of the turn-milling process by parameter optimization” *Proceedings of the institution of mechanical engineers* **214**, 2; ProQuest Science Journals Pg. 127-135.
11. **Kopac, J. ve Pogacnik, M.** 1997. “ Theory and Practice of Achieving Quality surface in turn milling” *Int. J. Mach. Tools Manufct.* **37**, No.5, pp. 709-715.
12. **Choudhury, S.K. ve Bajpai, J.B.** 2005. “ Investigation in orthogonal turn-milling towards beter surface finish” , *Journal of Materials Processing Technology* **170**, 487-493.
13. **Choudhury, S.K. ve Mangrulkar, K.S.** 2000. “Investigation of orthogonal turn-milling for the machining of rotationally symmetrical work pieces” *Journal of Materials Processing Technology* **99**, 120-128.
14. **Savas V.; Ozay C.;** 2008. “ The optimization of the surface roughness in the process of tangential Turn-milling using genetic algorithm” *Int J Adv Manuf Technol* **37**, pp.335–340.
15. **Savas V.; Ozay C.;** 2007. “Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter” *Journal of Materials Processing Technology* **186** 279–283.
16. **Lee, Y.S.; Chiou, C.J.;** 1999. “ Unfolded projection approach to machining non-coaxial parts on mill-turn machines “, *Computers in Industry* **39**, 147-173.
17. **Susana K., Lia-Yuen ve Yuan- Shin.;** 2002. “Turn-Mill Toll Path Planning and Manufacturing Cost Analysis for Complex Parts Machinining” <http://fie.engrng.pitt.edu/ie2002/proceedings/ierc/papers/2289.pdf>.
18. **Ekinovic S.; Begovic E.; , ve Silajdzija A.;** “ Comparison Of Machined Surface Quality Obtained By High-Speed Machining And Conventional Turning” [http://Pdfserve.Informaworld.Com/629306\\_758064766\\_788316314.Pdf](http://Pdfserve.Informaworld.Com/629306_758064766_788316314.Pdf).
19. **Zhu, L.D.; Su, C.; Hou, J.M. Su, Y.Y.; Wang W.S.;** 2008. “ Study on Simulation System for Turn-Miling Centre Based on Vr Technology “ *ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, p 400-404.
20. **Zhu, L.; Tang, L.; Su, C.; Hou J.; Wang, W.;** 2008. “Co-simulation of Rigid-flexible Coupling System for Turn-milling Center” , *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation* , P 3683-3686.

21. **Zhu, L.; Zhu, C.; Wang, G.; Yu, T.; Wang, W.;** 2007. “Research on Virtual NC Technique in Turning and Milling Process “, *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics* , , P. 1675- 1678.
22. **Zhu, L.; Wang, J.; Chen, E.; Yang J.; Wang, W.;** 2008. “Applications of Virtual Reality in Turn-milling Centre” *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, P. 2302-2305.
23. **Altan, E., Kiyak, M., Çakır, O., Ayan, M.;** 2008. “Silindirik Frezeleme-Silindirik Tornalama Yerine Freze Takımı Kullanarak Talaşlı İşleme”, *Metal Makina Dergisi*, Sayı:149, 2004 s. 492-500.
24. **Kiyak, M.; Çakır, O.; Altan, E.;** 2001. “ Freze takımı ile silindirik tornalama” , 13. *Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, İstanbul.
25. **Dawim J. P.;** 2001. “A Note On the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using desing of experiments” , *Journal of Materials Processing Technology* **116**, 305-308
26. **Yang, W.H.; Tarng, Y.S.;** 1998. “ Desing optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method” , *Journal of Materials Processing Technology* **84**, 122-129.
27. **Lin T.R.;** 2002. “ Experimental desing and performance analysis of TiN-coated carbide tool in face milling stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology* **127**, 1-7.
28. **Dabade U.A.; Joshi, S.S.; Ramakrishnan, N.;** 2003. “Analysis of surface roughness and chip cross-sectional area while machining with self- propelled round inserts milling cutter” *Journal of Materials Processing Technology* **132**, 305-312.
29. **Ghani, J. A., Choudhury, I.A. ve Hassan, H.H.;** 2004. “ Application of taguchi method in the optimization of end milling parameters” *Journal of Materials Processing Technology* **145**, 84-92.
30. **Sharma, P.; Verma, A.; Sidhu, R.K.; Pandey O. P.;** 2005. “ Process parameter selection for Strontium ferrite sintered magnets using Taguchi L9 orthogonal design” *Journal of Materials Processing Technology* **168**, 147-151.
31. **Zhang, J.Z.; Chen, J.C.; Kirby, E.D.;** 2007. “ Surface roughness optimization in an end-milling operation using the taguchi design method” *Journal of Materials Processing Technology* **184**, 233-239.

32. **Goloğlu, C.; Sakarya N.;** 2008. “ The effects of path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on taguchi method” *Journal of Materials Processing Technology* **206**, 7-15.
33. **Yang, W.H.; Tarng, Y.S.;** 1998. “ Desing optimization of cutting parameters for turning based on the Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, Taiwan.
34. **Motorcu, A.R.; Şahin Y.;** 2005. “ Sertleştirilmiş AISI 1040 Çeliğinin Kaplamasız ve Kaplamalı Seramik Kesicilerle Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Modellenmesi” , +. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Konya.
35. **Sakarya, N.;** 2005. “ Cep işlemede takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Zonguldak Karaelmes Üniversitesi, Karabük.
36. **Erden, A.;** “ Alışılmamış ( Geleneksel olmayan) imalat yöntemleri”, <http://mechatronics.atilim.edu.tr/edm/publications/aiy.pdf>
37. **Çevik, E.;** 2006. “Tornalama işleminde kesici takım ömrünün iyileştirilmesine yönelik alternatif bir yaklaşım” , *Yüksek lisan tezi*, Gazi üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim dalı, Ankara.
38. **Kaya, E.;** 2007. “Silindirik taşlamada helisel kanallı taşların yüzey pürüzlülüğüne etkisi” *Yüksek lisan tezi*, Dumlupınar üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim dalı, Kütahya.
39. **Güllü A.;** 1995. “Silindirik Taşlamada İstenilen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu”, *Doktora Tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
40. **Dietmar,S.;** 1996. “Oberflächenbeschaffenheit und Produktivität beim orthogonalen hochgeschwindigkeits drehfräsen”. Shaker , Aachen.
41. **König, W.; Wand, Th.;** 1986. “ Fräsen stat Drehen: Drehfräsen, *Industrieanzeiger* 108, 12, S. 25-28.
42. **König, W.; Wand, Th.;** 1985. “ Optimierung des Drehfräsen, Abschlussbericht der RWTH Aachen an das KfK-Karlsruhe.
43. **Svenningsson, I.;** 1989. “ Svarvfräsing ( Schwedisch), Drehfräsen, *Dissertation* Universität Linköping, Schweden.

44. **Lehmann, Th.;** 1991. “ Ortogonales Drehfräsen, Spanbildung und Leistungsbedarf, Dissertation TH Darmstadt.
45. **Dursun, M.;** 2007. “Titanyum ve inconel 718 malzemelerinin frezelenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması” *Yüksek lisans tezi*, Gebze yüksek teknoloji enstitüsü mühendislik ve fen bilimleri Enstitüsü, Gebze.
46. **Küçük, H.;** 2001. “ Torna tezgahında talaş kaldırma işlemine teki eden faktörlerin bilgisayar destekli optimizasyonu”, *Doktora tezi*, Marmara Üniversitesi Makine eğitimi ana bilim dalı, İstanbul.
47. **Demirayak, İ.;** 2006. “ Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırmaya etkileri “, *Yüksek lisans tezi*, Uludağ üniversitesi Makine Mühendisliği Ana bilim dalı, Bursa.
48. **Çiftçi İ.;** , 2005. “Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları”, Z:K:Ü Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Ders Notları, Karabük.
49. **Balcı B.;** 2008. “AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi. ”, *Bilim Uzmanlığı tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük.
50. **Çakır, M.C.,** 2000. “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, Vipaş. Bursa.
51. **Gezgin, A.;** 2007. “Prizmatik parçaların frezelenmesi esnasında, kesici uç sayısının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi” , *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi üniversitesi Makine eğitimi ana bilim dalı, Ankara.
52. **Şahin, Y.;** 2000. “ Talaş Kaldırma prensipleri 1 “ Nobel yayınları, Ankara.
53. **Ensarioğlu, C.;** 2007, “Talaşlı imalat işlemlerinde kesme parametrelerinin belirlenmesi için bir uzman sistem yaklaşımı ”, *Yüksek Lisans tezi*, Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana bilim dalı, Bursa.
54. **Moturcu, A.R.;** 2006, “Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi “, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Makine eğitimi anabilim dalı, Ankara.
55. **Schey, J.A.,** 1983. “Tribology in Metalworking, American Society for Metals”,
56. **Gressel, M.G.,** 2001. “Comparison of Mist Generation of Flood and Mist Application of Metalworking Fluids During Metal Cutting”, a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the College of Engineering at the University of Cincinnati”,

57. **Gündoğdu, H.E.;** 2006. “Kesme sıvılı ve kuru talaşlı işlemenin iş parçası ve kesici takım üzerindeki etkileri “, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine mühendisliği ana bilim dalı, İstanbul.
58. **Kartal, M.S.;** 2000. “Alaşımsız çeliklerin cnc torna tezgahında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının taguchi yöntemiyle incelenmesi”, *Yüksek Lisans tezi*, Marmara Üniversitesi Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
59. **Dinler,S.;** 1998 . “Talaş Kaldırmada Takım Aşınması Ve Takım Ömrü”, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
60. **Black , P.:** 1969. “ *Theory Metal Cutting* ” , McGraw – Hill Book Company , Inc.
61. **Özler, L.:** 1998. “Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Kalem Ömrünün Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması”, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
62. SurfTest 211 Yüzey Pürüzlülüğü Muayene Cihazı Kullanım Kılavuzu, 2000. ITEM:FRC-400/04.
63. **Şahin, Y.:** 2001. “Talaş Kaldırma Prensipleri 2”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
64. **Çiftçi, K.;** 2005. “ Mikroalaşımlı çeliklerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin talaşlı işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi”, *Yüksek lisans tezi*, Marmara üniversitesi makine eğitimi anabilim dalı, İstanbul.
65. **Özses B.;** 2002. “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgâhlarında Değişik işleme koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, s 6-25.
66. **Bayrak M.;** 2002. “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, s. 1 -35.
67. **Hicks, R.C.,** 1985. “Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler”, Çeviri Muluk, Z., Toktamış, Ö., Kurt, S. ve Karaağaoğlu, E., Akademi Matbaası, Ankara, s. 1-10 .
68. **Muluk, Z., Saraçbaşı, T., Aktaş, S. ve Başar, Ç.,** 1998. “Taguchi Üzerine Araştırma”, 94K120340/2 nolu DPT Projesi, Devlet Planlama Teşkilatı, p.71-80, Ankara.
69. **Benardos, P.G. and Vosniakos, G.C.,** 2003. “Prediction surface roughness in machining: a review”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **43**, p. 833-844 .

70. **Canıylmaz, E.**, 2001. “Kalite geliştirmede taguchi metodu ve bir örnek uygulama”, *Yüksek lisans tezi*.
71. **Kayı, Y.**; 2006. “Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine Etkilerinin taguchi metodu i e incelenmesi “, *Yüksek Lisans Tezi*.
72. **Şirvancı, M.**, “Kalite İçin Deney Tasarımı , Taguchi Yaklaşımı ”, Literatür Yayıncılık,
73. **Birinci , A.**, 1997. “Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
74. **Ross P. J.**, 1988. “Taguchi Tachniques for Quality Engineering”, McGraw – Hill, p.1 –278, Newyork .
75. **Durmaz, S.**; , 2008. “Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması “, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya.
76. **Phadke M. S.**, 1989. “Quality Engineering Using Design of Experiments, Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method”. *Edited by K. Dehnad, Wadsworth & Brooks / Cole*, p.31 – 32, California .
77. **Çiftçi İ.**; 2006. “Machining of austenetic stanless steel using CVD multi-layer coated cemented carbide tools”, *Tribology international* **39**, p.565-569.
78. **Akkurt, M.**; 1985. “Takım Tezgahları Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi”, Birsen Yayınları, İstanbul.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Çetin ÖZAY, 0,5 Nisan 1978 yılında Elazığ ilinin Maden ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Elazığ İstiklal İlkokulunda tamamladı. 1992 yılında Elazığ 100. Yıl ortaokulundan mezun oldu. 1996 yılında Elazığ Gazi Anadolu Teknik Lisesinden mezun oldu. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümü Talaşlı Üretim öğretmenliği programını bitirdi. 2001 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümü Talaşlı Üretim anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2002 yılında aynı anabilim dalında araştırma görevlisi oldu. 2004 yılında yüksek lisansını tamamlayarak aynı anabilim dalında doktora programına başladı. Çetin ÖZAY, evli ve 2 çocuk babasıdır.

Çetin ÖZAY