



**ANSYS PROGRAMI KULLANILARAK FREZELEME  
YÖNTEMİNDE SİLİNDİRİK KESİTLİ  
PARÇALARIN İŞLENMESİNDE KESME  
KUVVETLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Kadir DAL  
(161143108)**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Teknolojileri  
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Çetin ÖZAY**

**TEMMUZ 2019**

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANSYS PROGRAMI KULLANILARAK FREZELEME YÖNTEMİNDE  
SİLİNDİRİK KESİTLİ PARÇALARIN İŞLENMESİNDE KESME  
KUVVETLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kadir DAL  
(161143108)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24.06.2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 18.07.2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Çetin ÖZAY (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Ali Kaya GÜR

Dr. Öğr. Üyesi Hasan BALLIKAYA

Haziran-2019

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, destek ve teşviklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Çetin ÖZAY 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bugüne kadarki eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen aileme, tez çalışmalarım süresince bana sabırla destek olan, mesleki tecrübelerini benimle paylaşan Sevgili eşim Öznur DAL 'a teşekkür ederim.

Tezimin analiz kısmında bilgi birikimini benimle paylaşan değerli meslektaşım Sayın Hakan COŞANAY 'a teşekkür ederim.

**Kadir DAL**  
**Elâzığ-2019**

## İÇİNDEKİLER

|                                                    | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ .....                                        | I               |
| İÇİNDEKİLER .....                                  | II              |
| ÖZET .....                                         | V               |
| ABSTRACT.....                                      | VI              |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                             | VII             |
| TABLolar LİSTESİ .....                             | IX              |
| SEMBOLLER LİSTESİ.....                             | X               |
| 1. GİRİŞ .....                                     | 1               |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....                      | 2               |
| 3. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİ .....                 | 5               |
| 3.1. Geleneksel Talaş Kaldırma Yöntemleri .....    | 6               |
| 3.1.1. Tornalama .....                             | 6               |
| 3.1.2. Frezeleme .....                             | 6               |
| 3.1.3. Testere ile Kesme.....                      | 7               |
| 3.1.4. Vargel ve Planyalama .....                  | 7               |
| 3.1.5. Broşlama .....                              | 8               |
| 3.1.6. Matkapla Delme.....                         | 8               |
| 3.1.7. Raybalama .....                             | 9               |
| 3.2. Talaş Kaldırma Mekanığı .....                 | 10              |
| 3.2.1. Talaş Kaldırma Prensipleri .....            | 10              |
| 3.2.2. Talaş Kaldırmada Oluşan Talaş Tipleri ..... | 11              |
| 3.2.2.1. Sürekli Talaş.....                        | 11              |
| 3.2.2.2. Yığma (Sıvanma) Talaş.....                | 12              |
| 3.2.2.3. Süreksiz (Kesintili) Talaş.....           | 13              |

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.3. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler.....                                                                | 13        |
| 3.2.3.1. Takım Geometrisi.....                                                                                  | 13        |
| 3.2.3.2. Talaş geometrisi .....                                                                                 | 14        |
| 3.2.3.3. Talaş Kaldırmada Kesme Hızları ve Kesme Kuvvetleri .....                                               | 14        |
| 3.2.3.3.1. Kesme hızları.....                                                                                   | 14        |
| 3.2.3.3.2. Kesme Kuvvetleri .....                                                                               | 15        |
| 3.2.5. Takım Aşınması.....                                                                                      | 17        |
| 3.3. Frezeleme Teorisi .....                                                                                    | 17        |
| 3.3.1. Frezeleme İşleminin Özellikleri.....                                                                     | 18        |
| 3.3.2. Frezelemede Takım Geometrisi .....                                                                       | 18        |
| 3.3.2.1. Silindirik Frezelemede Takım Geometrisi .....                                                          | 19        |
| 3.3.2.2. Saplı Frezede Takım Geometrisi.....                                                                    | 19        |
| 3.3.3. Çevresel Frezeleme.....                                                                                  | 19        |
| 3.3.3.1. Çevresel Frezelemede Talaş Kaldırma İşlemi.....                                                        | 19        |
| 3.3.3.2. Çevresel Frezelemede Kesme Hızı ve İlerleme .....                                                      | 20        |
| 3.3.3.2.1. Kesme Hızı .....                                                                                     | 20        |
| 3.3.3.2.2. İlerleme.....                                                                                        | 20        |
| 3.3.3.3. Çevresel Frezelemede Talaş Boyutları.....                                                              | 21        |
| 3.3.3.4. Çevresel Frezelemede Kesme Kuvvetleri .....                                                            | 23        |
| 3.3.3.5. Çevresel Frezelemede Tezgâh Gücü .....                                                                 | 24        |
| 3.3.3.6. Silindirik Parçaların Frezelenmesinde Kuvvetlerin ve Gücün<br>Hesaplanması .....                       | 24        |
| <b>4. SİLİNDİRİK KESİTLİ BİR İŞ PARÇASININ PARMAK FREZE İLE<br/>İŞLENMESİNİN ANSYS PROGRAMINDA ANALİZİ.....</b> | <b>30</b> |
| 4.1. Analizin Kurulumu .....                                                                                    | 30        |
| <b>5. ANALİZ SONUÇLARI VE İRDELENMESİ .....</b>                                                                 | <b>37</b> |
| <b>6. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>                                                                      | <b>51</b> |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 6.1. Genel Sonuçlar ..... | 51        |
| 6.2. neriler.....        | 51        |
| <b>KAYNAKÇA.....</b>      | <b>52</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>     | <b>56</b> |



## ÖZET

İmalat işlemlerinde bir parça üretilirken çok sayıda talaş kaldırma yöntemi uygulanabilmektedir. Üretime ve malzeme yapısına en uygun olanı yapılacak işleme göre doğru seçmek önem arz eder.

Bu tez çalışmasında temel imalat yöntemlerinden bahsedilmiştir. Talaş kaldırma ve talaş kaldırmaya etki eden faktörler literatürde araştırılıp detaylı incelenmiştir. Frezeleme hakkında genel bilgi verilip, çevresel frezeleme ve silindirik parçaların freze ile işlenmesi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Silindirik parçaların frezelenmesi ile ilgili kullanılan parametrelerin kesme kuvvetine ve kesme gücüne etkileri araştırılmış, analizi yapılarak sonuçları incelenmiştir. Analiz; Solidworks programında çizilen parçaların, ANSYS Workbench ekranında özel tanımlamalar yapılarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Talaş Kaldırma Yöntemleri, Çevresel Frezelemede Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü, Ansys.

## **ABSTRACT**

### **Analysis of The Shear Forces in Machining of The Cylindrical Cross-Section with The Milling Method Using the Ansys Software**

Numerous machining methods can be applied when manufacturing a part in manufacturing processes. It is important to choose the most appropriate one for production and material structure according to the process to be performed.

In this thesis, basic manufacturing methods are referred. Machining and factors affecting machining have been investigated and examined in detail in the literature. General information about milling, circumferential milling and milling of cylindrical parts are given in detail.

The effects of the parameters used in milling of cylindrical parts on cutting force and cutting force were investigated, the results of the analysis were examined. Analysis; The parts drawn in the Solidworks program were made by making special definitions on Ansys Workbench screen.

**Keywords:** Machining Methods, Cutting Force and Cutting Force in Circumferential Milling, Ansys.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                        | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Şekil 3.1. Tornalama işlemi .....                                      | 6                      |
| Şekil 3.2. Frezeleme işlemi.....                                       | 7                      |
| Şekil 3.3. Testere ile kesme işlemi .....                              | 7                      |
| Şekil 3.4. Vargel çalışma prensibi .....                               | 8                      |
| Şekil 3.5. Broş çakısı ve bölgeleri .....                              | 8                      |
| Şekil 3.6. Matkapla delme işlemi.....                                  | 9                      |
| Şekil 3.7. Raybalama işlemi .....                                      | 9                      |
| Şekil 3.8. Sürekli talaş .....                                         | 12                     |
| Şekil 3.9. Yığma talaş .....                                           | 12                     |
| Şekil 3.10. Süreksiz talaş .....                                       | 13                     |
| Şekil 3.11. Talaş modeli .....                                         | 14                     |
| Şekil 3.12. Ortogonal kesme hız üçgeni .....                           | 15                     |
| Şekil 3.13. Merchant çemberi .....                                     | 15                     |
| Şekil 3.14. Kayma ve yapışma sürtünmesi .....                          | 16                     |
| Şekil 3.15. Frezeleme takımları .....                                  | 18                     |
| Şekil 3.16. Silindirik freze takımı .....                              | 19                     |
| Şekil 3.17. Saplı freze takımı.....                                    | 19                     |
| Şekil 3.18. Çevresel frezelemede talaş boyutu .....                    | 22                     |
| Şekil 3.19. İş parçasında talaş ağırlık merkezinin gösterilmesi .....  | 25                     |
| Şekil 3.20. Ortalama talaş kalınlığının gösterilmesi .....             | 27                     |
| Şekil 3.21. Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kuvvetleri ..... | 29                     |
| Şekil 4.1. Kesici uçun ve işlenen malzemenin geometrisi.....           | 31                     |
| Şekil 4.2. İşlenen parçanın malzeme özellikleri .....                  | 31                     |
| Şekil 4.3. Kesici uçun malzeme özellikleri.....                        | 32                     |
| Şekil 4.4. İşlenen parçanın mesh özellikleri .....                     | 32                     |
| Şekil 4.5. Kesici uçun mesh özellikleri.....                           | 32                     |
| Şekil 4.6. Genel mesh özellikleri .....                                | 33                     |
| Şekil 4.7. Genel mesh görüntüsü .....                                  | 33                     |
| Şekil 4.8. Giriş ve çıkış parametrelerinin programa girilmesi.....     | 34                     |
| Şekil 4.9. Kesici uç analiz ayarları .....                             | 34                     |

|                    |                                                                           |    |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.10.</b> | İşlenen parça analiz ayarları .....                                       | 35 |
| <b>Şekil 4.11.</b> | Tamamlanan analiz adımlarının genel görüntüsü.....                        | 35 |
| <b>Şekil 4.12.</b> | Toplam deformasyon .....                                                  | 36 |
| <b>Şekil 5.1.</b>  | Dakikada ki ilerlemenin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (1. Analiz ) .... | 37 |
| <b>Şekil 5.2.</b>  | İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (1. Analiz ).....  | 38 |
| <b>Şekil 5.3.</b>  | Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (1. Analiz ).....      | 38 |
| <b>Şekil 5.4.</b>  | Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (1 Analiz).....  | 39 |
| <b>Şekil 5.5.</b>  | İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (1. Analiz ) .....    | 39 |
| <b>Şekil 5.6.</b>  | Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (1. Analiz ).....         | 40 |
| <b>Şekil 5.7.</b>  | Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (2. Analiz ).... | 41 |
| <b>Şekil 5.8.</b>  | İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (2. Analiz ) .....    | 41 |
| <b>Şekil 5.9.</b>  | Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (2. Analiz ).....         | 42 |
| <b>Şekil 5.10.</b> | Dakikadaki ilerleme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (2. Analiz )  | 42 |
| <b>Şekil 5.11.</b> | İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (2. Analiz ).....  | 43 |
| <b>Şekil 5.12.</b> | Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (2. Analiz ).....      | 43 |
| <b>Şekil 5.13.</b> | Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (3. Analiz ).....         | 44 |
| <b>Şekil 5.14.</b> | İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (3. Analiz ) .....    | 45 |
| <b>Şekil 5.15.</b> | Dakikadaki ilerleme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (3. Analiz )  | 45 |
| <b>Şekil 5.16.</b> | İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (3. Analiz ).....  | 46 |
| <b>Şekil 5.17.</b> | Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (3. Analiz ).... | 46 |
| <b>Şekil 5.18.</b> | Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (3. Analiz ).....      | 47 |
| <b>Şekil 5.19.</b> | İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (4. Analiz ).....  | 48 |
| <b>Şekil 5.20.</b> | Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (4. Analiz ).... | 48 |
| <b>Şekil 5.21.</b> | Dakikadaki ilerleme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (4. Analiz )  | 49 |
| <b>Şekil 5.22.</b> | İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (4. Analiz ) .....    | 49 |
| <b>Şekil 5.23.</b> | Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (4. Analiz ).....      | 50 |
| <b>Şekil 5.24.</b> | Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (4. Analiz ).....         | 50 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                         | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 1.</b> Yapılan analizlerin parametreleri ..... | 30              |



## SEMBOLLER LİSTESİ

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| Talaş açısı                               | $\gamma$  |
| Boşluk açısı                              | $\alpha$  |
| Kama açısı                                | $\beta$   |
| Kesme hızı                                | $V$       |
| Talaş hızı                                | $V_c$     |
| Kesilme hızı                              | $V_s$     |
| Talaş kaldırma kuvveti                    | $R$       |
| Kesme yönünde kesme kuvveti               | $F_n$     |
| Dik yönde radyal kuvvet                   | $F_t$     |
| Sürtünme kuvveti                          | $F$       |
| Normal kuvvet                             | $N$       |
| Devir sayısını                            | $n$       |
| İlerleme                                  | $s$       |
| Bir dişe karşılık gelen ilerleme          | $S_z$     |
| Bir dakikaya karşılık gelen ilerleme hızı | $u$       |
| Takımın diş sayısı                        | $z$       |
| Ortalama talaş kalınlığı                  | $hm$      |
| Kesme derinliği                           | $a$       |
| Kesme kavrama açısı                       | $\phi_s$  |
| Freze çakısının çapı                      | $D$       |
| Bir dişe karşılık gelen ilerleme          | $S_z$     |
| Ayar açısı                                | $\Lambda$ |
| Yerleştirme açısı                         | $\chi$    |
| Helisin adımı                             | $H$       |
| Talaş genişliği                           | $b$       |
| İşlenen yüzeyin genişliği                 | $B_l$     |
| Ortalama talaş kesiti                     | $A_s$     |
| Ortalama Kesme Kuvveti                    | $F_{sz}$  |
| Ortalama Radyal Kuvvet                    | $Fr_z$    |
| Ortalama İlerleme Kuvveti                 | $Fv_z$    |

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| Eksenel kuvvet                      | $F_a$    |
| Özgöl kesme kuvveti                 | $k_s$    |
| Düzeltilme faktörü                  | $k_y$    |
| Çevresel frezelemede tezgâh gücü    | $P_M$    |
| Sistemin kinematik verimini         | $\eta_m$ |
| Sürtünme kuvveti                    | $F_f$    |
| Normal kuvvet                       | $F_n$    |
| Gerçek temas alanı                  | $A_y$    |
| Bilinen temas alanı                 | $A_a$    |
| Yumuşak malzemenin kesilme dayanımı | $k_f$    |
| Yumuşak metalin elastik gerilmesi   | $G_y$    |

## 1. GİRİŞ

Temel imalat işlemleri bir makine parçasını üretmek için gerekli olan işlemlerdir. İmalatta bu işlemleri yapmak için genellikle talaşlı üretim tezgâhları kullanılmaktadır. Bu tezgahlar işlenecek parçanın özellik ve hassasiyetine göre seçilmektedir. Özellikle bazı geliştirilmiş tezgahlar sadece aparat değiştirerek imalatı ki birçok aşamayı tek başına yapabilmektedir.

Bir ürün imal edilirken birçok faktör göz önünde bulundurulmaktadır. Doğru malzeme seçimi ve malzemenin doğru işlenmesi hem ekonomik açıdan hem de imalat sürecini etkilemektedir. Bir imalatın doğru ve ekonomik açıdan elverişli olabilmesi için imalattan önce gerekli hesaplamaların ve analizlerin doğru yapılması gerekir. Bu durum hem karlılığı arttırmakta hem de doğru ürünü yetiştirme açısından imalatçıyı rahatlatmaktadır.

İmalatta istenmeyen durumları ve malzeme sarfiyatını engellemek adına çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Üretim adına doğru malzeme ve malzemenin özelliklerine ve hassasiyetine uygun talaşlı üretim tezgâhı seçmek, gerekli analiz ve hesaplamaları yapmak elzemdir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte günümüz şartlarında, bir ürünü üretmeden geçireceği evreler hakkında yaklaşık bilgiler edinmek mümkündür. Bu durum için birçok çizim programı ve analiz programı geliştirilmiştir.

Özellikle Ansys programı mühendislik açısından birçok gereksinime cevap vermektedir. Bilgisayar destekli olarak mühendislik çalışmalarında analiz ve simülasyonların yapılabildiği bir bilgisayar destekli mühendislik programı olan Ansys; mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi farklı disiplinlerde etkili çalışmalara olanak verir. Birçok program ile uyumlu çalışabilen Ansys programı, bir ürünün üretimin de uygulanan işlemleri başından sonuna kadar istenilen verileri sunarak tamamlamaktadır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Talaşlı imalat yöntemlerinde, üretim üzerine etkiyen parametreler ve parametrelerin kesme kuvveti, harcanan güç, yüzey kalitesi üzerindeki etkileri hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Parmak frezeleme prosesi için kesme kuvvetlerinin modellenmesi ile ilgili birçok çalışmalar bulunmaktadır. Altıntaş ve Engin üretimde en çok tercih edilen helisel parmak frezeler (küresel, helisel konik küresel ve torus parmak 5 freze) ve takma uçlu kesiciler için genelleştirilmiş matematiksel bir model sunmuştur [1, 2, 3].

Bir başka çalışmada kuvvet tahmini incelemeleri Martellotti tarafından frezeleme prosesi geometrisi üzerinde yapılan çalışmaya dayanmaktadır [4, 5].

Koenigsberger ve Sabberval frezeleme kuvvetlerini analitik olarak modellemek için üstel kesme katsayılarını kullanmıştır. Ortalama kesme kuvvetlerini gösteren nomogramlar geliştirilmiştir [6, 7].

Budak ve Altıntaş esnek helisel kesiciler ile çevresel frezeleme prosesinin analizini ve modellemesini yapmıştır. Kesme kuvvetleri ve sonuçta ortaya çıkan takım sapma işaretleri analitik olarak ifade edilmiştir. Verilen kesici boyutları ve kesme sabitleri için optimum nesleme hızını ve kesim genişliğini belirleme yöntemi deneysel doğrulama ile sunulmuştur [8].

Parmak freze, doğrusal yaylarla pense bağlanan bir konsol kiriş olarak modellenmiştir. Altıntaş ve Lee helisel parmak frezeleme proseslerinin mekaniğini ve dinamiğini genel bir modele entegre etmiştir [9].

Shirase ve Altıntaş değişken adımlı helisel parmak frezeler için kesme kuvveti mekaniğini ve boyutsal yüzey hatasını matematiksel olarak modellemiştir. Bu çalışmada, talaş rejenerasyon mekanizmasını statik uç değirmen sapmaları altında değerlendiren kuvvet ve yüzey tahmini deneysel doğrulamalar ile sunulmaktadır [10].

Altıntaş ve Lee başka bir çalışmada helisel kesici ağızlara sahip küresel uçlu parmak frezelerin dinamiğini incelenmiştir. Bu çalışmada önerilen model; kesme kuvvetlerini ve yüzey kalitesini hem statik hemde dinamik durum için deneysel olarak doğrulanmıştır [11].

Kesicinin salgılı döndüğü çevresel frezeleme prosesleri de geçmişte yoğun olarak incelenmiştir. Kline ve Devor kesici geometrisi, dış yarıçapı, talaş kalınlığı ve giriş çıkış

açıları üzerinde kesici sapması veya salgısının etkisini göz önüne alarak parmak frezeleme için matematiksel modeller geliştirmiştir [12].

Karagüzel ortogonal, teğetsel ve eş eksenli tornalama-frezeleme yöntemlerinde kesme kuvvetlerini, daireselliği ve yüzey kalitesi sonuçlarını analitik ve deneysel olarak incelemiştirler. Elde ettikleri sonuçların oluşturulan analitik model sonuçları ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [13].

San-Juan ve diğ., ortogonal frezelemede kesme kuvvetlerinden sürtünmeyi deneysel olarak incelemiştirler. Mevcut çalışma ortogonal frezelemede sürtünme çalışması için kullanılan prosedürü göstermektedir. Kesme kuvvetlerini ölçmek için kullanılan ekipman, dönen bir dinamometre ve çok kanallı taşınabilir bir veri toplama sistemi içerir. Dinamik sistem problemlerini azaltmak için sinyal filtresi uygulamışlardır. Kesme kuvveti ( $F_c$ ) ile radyal kuvvet ( $F_r$ ) arasındaki ilişkinin analizini, bağımlılığını ve sürtünmenin kesme hızına etkisini incelemiştirler. Frezeleme işleminde iş parçası malzemesinin %80'inde kesme kuvvetinin ( $F_c$ ) azaldığını ve sürtünmenin arttığını gözlemlemiştirler [14].

Çomak ve Altıntaş, kesme kuvvetleri, tork ve güç gereksinimlerini tespit etmek için tornalama-frezeleme işlemlerinin mekaniğini araştırmışlardır. Talaş kalınlığı, radyal daldırma, takım yolu boyunca gerçek beslemenin değişimi ve sonuçtaki kesme torku / güç / kuvvet değerleri, takım tezgahının kinematik konfigürasyonu tarafından yönetilen hem iş parçası ve hem de kesici takım hızlarıyla eşleşmiştir. Çalışma, makine ve takımın beş eksenli kinematiği tarafından belirlenen, takım ve iş parçası hızlarının bir fonksiyonu olarak gerçek besleme hızı hesaplamasının yeni bir matematiksel modelini sunmuşlardır [15].

Nalbant ve diğ., nikel esaslı süper alaşım Inconel 718 malzemesini, iki farklı geometride ve üç farklı malzeme kalitesinde seramik takımlar kullanılarak kuru kesme koşulunda CNC tornada işlemişlerdir. Deneyler sonucunda, kesme takımı geometrisinin, malzeme kalitesinin ve kesme hızının kesme kuvvetleri üzerine etkisini incelemiştirler [16].

Alauddin ve diğ., gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, zıt ve eş yönlü frezeleme durumunda yarı-daldırma parmak freze için ortalama kesme kuvvetleri üzerindeki işleme koşullarının (hız, ilerleme, dik kesme derinliği) etkilerini incelemiştirler [17].

Literatürde frezeleme ve frezelemede kesme kuvvetleri ile ilgili analiz çalışmalarının örneklerine çok fazla rastlanmasa da yapılan bazı çalışmalar şöyledir:

Kumara ve diğ., çalışmalarında Titanyum alaşımlı bir malzemenin kesici uç kuvvetlerini doğrulayarak uç frezelerini optimum şekilde tasarlamak için yapılan bir FEM analizi sonuçlarını belirtmişlerdir. Çalışmadaki mevcut yaklaşım ile, eğik kesim işlemine ilişkin çeşitli parametrelerin, eksenel, radyal ve teğet kuvvetler gibi etkileriyle işleme yüzeyinin ve takım ömrünün iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, Tungsten Karbür frezeleme takımının mevcut alaşımlı iş parçası üzerindeki dinamik analizi ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak simüle etmişlerdir. Ayrıca simülasyon analizi slot freze, delikli ve adımli freze olmak üzere 3 tip freze işlemi için gerçekleştirilmiş ve çeşitli grafikler çizmişlerdir [18].

Pedrammehr ve diğ., çalışmalarında, heksapod tablasının basınçlı titreşimlerini analitik ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, analitik yaklaşım ve FEM sonuçlarının incelenmesi, durum çalışması mekanizmasının dış kuvvetlerin özellikleri açısından hesaplanabileceğini ifade etmişlerdir [19].

Vermaa ve Pandeya, çalışmalarında proses parametrelerinin ortalamaya etkisini anlamak için kesme kuvvetleri, ana etki alanlarını elde etmişlerdir. Ayrıca, her bir parametrenin etkisini ayrı ayrı anlamak için bu alanlarda inceleme yapmışlardır. Literatür, ultrasonik titreşimin talaş kaldırma işlemi ile üst üste bindirilmesinin, kuvvetleri azaltarak ve yüzey kaplamasını iyileştirerek etkinliğini artırdığını göstermektedir. Bu kurulumda kullanılan mengene tipi, ANSYS Workbench yazılımında harmonik analiz yapılarak tasarlanmıştır [20].

Suna ve diğ., çalışmalarında, dikdörtgensel torna frezelemesinin titreşim stabilitesini tam ayırıştırma yöntemine dayanarak incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları dik açılı frezeleme tarafından üretilen iş parçasının işlem verimliliğini ve yüzey kalitesini en üst düzeye çıkarmak için teorik bir rehber olabilir [21].

Yapılan literatür araştırmasında silindirik kesitli bir iş parçası üzerinden parmak freze ile talaş kaldırılmadığı ve bu işlemin de kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve gücü üzerindeki etkilerinin araştırılmadığı belirlenmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında Ansys analiz programı kullanılarak silindirik kesite sahip bir iş parçasının parmak freze çakısı kullanılarak frezelenmesinde, kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve gücü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

### 3. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİ

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için, kesici takımla ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde, taslak) üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına ise talaş denir [22].

Talaşlı imalat yönteminin önemini anlatan nedenler şöyle özetlenebilir;

- İş parçası malzemesindeki çeşitlilik; farklı iş parçası malzemeleri kullanılabilirken genel bağlamda bütün katı metaller işlenebilir. Ayrıca plastikler ve plastik içerikli kompozitler de işlenebilirken seramikler, yüksek sertlikleri ve gevreklikleri nedeniyle sorun meydana getirebilirler. Fakat aşındırıcı talaş kaldırma yöntemleri kullanılarak işlenebilirler.
- Parça şeklinin çeşitliliği; düzlemler, silindirik kesitler, dairesel delikler gibi şekli düzgün olan parçalar kolaylıkla oluşturulabilir. Ayrıca kesici takımın şekli ve takım yolundaki çeşitlilikler ile T-kanal ve vida dişi gibi şekli düzgün olmayan parçalar da elde edilebilir. Birden fazla işlem operasyonu ardı ardına uygulanarak birçok farklı ve zorlu şekiller oluşturulabilir.
- Boyutsal hassasiyet; düşük toleransa sahip ölçüler talaşlı imalat yöntemiyle elde edilebilir. Hatta  $\pm 0,025$  toleransındaki ölçüler diğer imalat yöntemlerinden daha hassas olan bazı talaşlı imalat yöntemlerini elde etmek de mümkündür.
- İyi yüzey kalitesi; yine bu yöntemle çok iyi yüzey kalitesi elde etmek mümkündür. Hatta yüzey pürüzlülüğü 0,4 mikronun altına indirilebilir. Bunun yanı sıra aşındırıcı talaş kaldırma yöntemleri kullanılarak daha iyi yüzey kalitesi elde edilebilir.

Talaşlı imalat yöntemi ve diğer talaş kaldırma yöntemlerinin bazı negatif yönleri de şöyle sıralanabilir;

- İş parçası malzemesinin israf edilişi; oluşturulan talaşlar nedeniyle iş parçası malzemesinde israf söz konusudur. Talaşların geri dönüşümü mümkün ise de yapılan her işlem için israfa neden olur. İşleme süresi; bu yöntemdeki işlemlerde elde edilmek istenen parça şekli için, dövme ve döküm gibi alternatif yöntemlere kıyasla daha fazla üretim süresi gerekir [23].

### 3.1. Geleneksel Talaş Kaldırma Yöntemleri

#### 3.1.1. Tornalama

Parçaya kesici takım yönünde hareket vermek suretiyle gerçekleşen talaş kaldırma yöntemidir. Bu işlemin gerçekleştiği tezgâh torna tezgahıdır. Tornada genel anlamda aksinel hareketle iç ve dış kısımlarda silindirik ve konik yüzeylerde işlem yapılır. Aynı zamanda, çeşitli profillerde vida açma, matkapla delik delme, kılavuz salma, işlemlerinin yanında taşlama, frezeleme, profil tornalama, yay tornalama. Demir, çelik, ağaç, plastik alaşımlar ve yumuşak gereçlere istenilen şekil ve biçim verme işlemleri uygulanabilmektedir. Şekil 3.1’ de tornalama işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tornalama işlemi

#### 3.1.2. Frezeleme

Kendi eksenini etrafında dönen freze çakısının altında iş parçası ileri ve geri hareket eder, bu esnada çakı parçadan talaş kaldırmaktadır. Bu şekilde gerçekleşen talaş kaldırma işlemine frezeleme denir. Kesme hareketi takım tarafından, ilerleme hareketi ise iş parçası tarafından yapılır. Freze ile düz yüzeyler eğrisel yüzeyler, dişli çarklar ve kanallar açılır. Bunun yanı sıra iş parçaları üzerinde eşit veya eşit olmayan bölme işlemleri yapılabilir. Şekil 3.2’ de frezeleme işlemi gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** Frezeleme işlemi

### **3.1.3. Testere ile Kesme**

Çeşitli geometride bulunan testere çakılarının doğrusal veya dairesel hareket yapması ile daha düşük sertlikte bulunan iş parçasından talaş kaldırması işlemine testere ile kesme denir. Şekil 3.3’ de testere ile kesme işlemi gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Testere ile kesme işlemi

### **3.1.4. Vargel ve Planyalama**

Yatay, düşey ya da açılı olarak düz yüzey elde etmek için kullanılan bir talaş kaldırma yöntemidir. Özel donatıyla, planya denen planyalama tezgâhlarıyla eğrisel ya da düzgün olmayan şekilleri elde etmek mümkündür. Planyalarda gerçekleştirilen işlemlerde, iş

parçası ileri geri hareket yaparken tek noktalı bir kesici takım iş parçasına doğru ilerletilir. Şekil 3.4’ de vargel işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Vargel çalışma prensibi

### 3.1.5. Broşlama

Broş adındaki bir düz freze aracılığıyla metaller üzerinde delikler açma işlemidir. Bir broş yardımıyla birleştirilecek parçalar üstünde açılmış iki deliği karşı karşıya getirmek için kazan atölyelerinde yapılan işlemdir. Şekil 3.5’ de broşlama işlemi gösterilmiştir. Broşlama iç ve dış birçok karmaşık profilin üretiminde sıkça kullanılan bir talaşlı imalat yöntemidir [24].



Şekil 3.5. Broş çakısı ve bölgeleri

### 3.1.6. Matkapla Delme

Kesici matkabın kendi ekseninde dönmesiyle ya da freze çakıları kullanılarak iş parçası yüzeyine boyuna boyuna silindirik deliklerin açılması ya da belirli ölçülerdeki

bir tarafı kapalı olan kör delik olarak adlandırılan silindirik deliklerin açılması işlemidir. Şekil 3.6’ da mtkapla delme işlemi gösterilmiştir. Delik delme işlemi için genelde matkap tezgâhları kullanılır [25].



Şekil 3.6. Matkapla delme işlemi

### 3.1.7. Raybalama

Raybalama, deliği hassas bir yüzey kalitesi ile istenilen ölçüyü sağlamak için yapılan bir işlemdir. Şekil 3.7’ de rayblama işlemi gösterilmiştir. Matkap ile delinen delik tam ölçüsünde olmadığı gibi hassas bir iş için yüzeyi de gerekli düzgünlükte elde edilemez. Hassas ve düzgün bir yüzey elde edilmesi istenirse, önce delik, rayba payı kadar küçük delinir. Sonra tam ölçüsüne getirmek üzere raybalanır.



Şekil 3.7. Raybalama işlemi

Diğer talaş kaldırma işlemlerinin, ana ve alt başlıklarını şu şekilde sıralayabiliriz;

Aşındırıcı sert partikül kullanılan talaşlı imalat yöntemleri;

Taşlama: Belirli özelliklerde imal edilmiş olan sert aşındırıcı taneler içeren kesici ile iş parçası üzerinden birçok noktadan talaş kaldırma işlemidir. Bu işlemin yapıldığı

tezgahlara taşlama tezgâhları denir. Tezgâh tablası hidrolik sistemle veya yarı otomatik olarak çalışır.

**Honlama:** Zımpara taşının silindir veya burç içinde döndürülerek talaş kaldırma işlemidir. Bir çeşit delik taşlama işlemi de olan honlama yüzey parlaklığını gidermek silindirlerin etek kısmındaki konikliği düzeltmek ve yeni tornalanmış silindirlerin yüzey kalitesini arttırmak için yapılır.

**Lepleme:** Yuvarlanarak veya kayarak hareket eden aşındırıcı taneciklerle, talaş kaldırma işlemidir. Sivri uçlu tanecikler lepleme takımının yüzeyine batarak, iş parçasının yüzeyinden talaş kaldırmaktadır.

**Hassas Parlatma ve Polisaj:** Kaba taşlama ve zımparalama işlemleri sonrasında yüzey kalitesini arttırmak, hassas ölçülendirme için yapılan bir işlemdir.

**Modern talaş kaldırma yöntemleri (geleneksel olmayan talaş kaldırma yöntemleri);**

**Ultrasonik İşleme:** Bir çamur içinde yer alan aşındırıcılar, düşük genlikli ve yüksek frekansta titreşen bir takım tarafından iş parçasına doğru yüksek hızla çarptırılarak küçük mikro talaşlar kaldırma işlemidir.

**Su Jeti ile Kesme:** Yüksek basınç ve yüksek akış hızındaki su ile iş parçasının kesim işlemidir.

**Elektrokimyasal Aşındırma:** Anodik çözünme ile aralarında hızla akan elektrolitin iş parçasına yakın duran bir elektrot kullanarak gerçekleştirilen talaş kaldırma yöntemidir.

**Isıl Enerji Yöntemleri:** Metal parçası yüzeyinin anodik çözünmesini arttırmak için iletken bağlayıcılı taşlama taşı ile yapılan özel bir işlemdir.

### **3.2. Talaş Kaldırma Mekanikliği**

#### **3.2.1. Talaş Kaldırma Prensipleri**

Talaş kaldırma; istenilen şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için, kesici takım yardımıyla güç kullanılarak iş parçası üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. İş parçası üzerinden ayrılan bu malzemeye talaş denir [22].

İş parçasından belirli bir miktarda malzeme kaldırılması, takım kesici kenarına, takıma uygulanan kuvvete ve takım malzemesinin işlenecek malzemeden daha sert olmasına bağlıdır. Talaş kaldırma olayını incelersek;

Talaş kaldırma olayında, kama şeklinde bir kesme ağzından meydana gelen bir takım ile talaş kaldırma işlemine dik (ortogonal) kesme denir. Ortogonal kesmede takımın kesme kenarı, kesme işlemini sağlayan takım ile işlenen malzeme arasındaki kesme hızına diktir. Takım kesme kenarı, kesme işlemini sağlayan takım ile işlenen malzeme arasındaki kesme hızına eğik olursa buna eğik (oblik) kesme denilir. Daha çok iki boyutlu problem gösterdiğinden talaş kaldırma mekaniğinde uygulanan formüllerin elde edilmesi için çalışmalarda çoğunlukla dik kesme kullanılır.

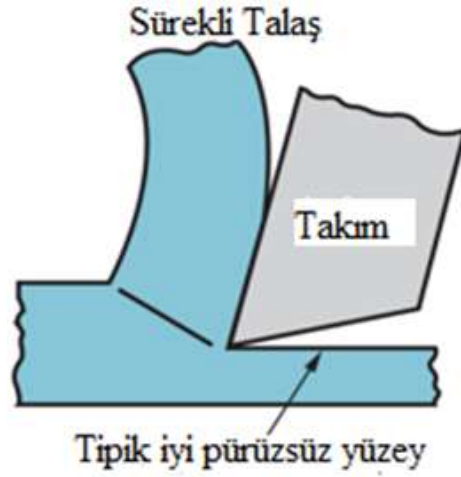
### **3.2.2. Talaş Kaldırmada Oluşan Talaş Tipleri**

Takım ucunun temas ettiği metal tabakasında elastik ve plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Metal tabakasında akma gelir ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı zaman küçük parçacıklar metal yüzeyinden kalkar, bu parçacıklara talaş denir.

Kesme şartı ve işlenecek olan malzemenin cinsi talaş tiplerinin oluşumunu sağlar. Bunlara bağlı olarak üç farklı talaş tipi mevcuttur. Sürekli talaş, yığılma talaş ve süreksiz talaş olmak üzere, bu talaş çeşitleri kesme kuvvetinin oluşumunda büyük önem teşkil eder.

#### **3.2.2.1. Sürekli Talaş**

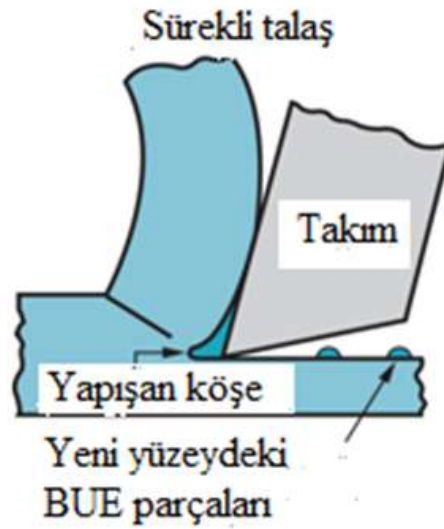
Talaş kaldırma süresince işlenen malzemeden sürekli ve akıcı olarak ayrılan talaş tipidir. Yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme hızlarında meydana gelen bu talaş tipi, sürekli malzemelerin uygun kesme hızlarında işlenmesiyle oluşur. Şekil 3.8’ de sürekli talaş örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Sürekli talaş

#### 3.2.2.2. Yığma (Sıvanma) Talaş

Yumuşak malzemelerle sünek malzemelerin düşük kese hızı ile işlenmesi sırasında sürtünmenin büyük olduğu durumlarda meydana gelir. Bu durumda talaş takım yüzeyinde katlı olarak yığılır. Şekil 3.9’ da yığma talaş örneği gösterilmiştir. Talaş kaldırma sürecinde sıvanmayı azaltan faktörleri şöyle sıralayabiliriz:



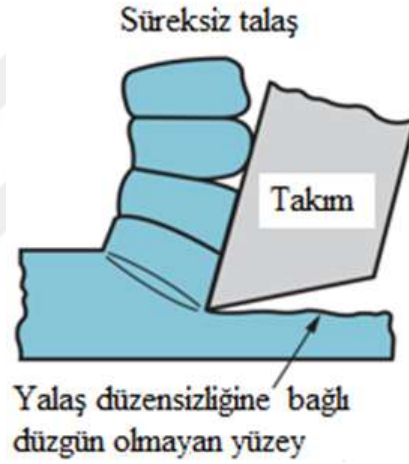
Şekil 3.9. Yığma talaş

- 1- Talaş açısında artış,
- 2- Takımın keskinlik derecesinde artış,
- 3- Talaş kalınlığında azalma,
- 4- Kesme hızındaki artış,

- 5- Seramik uçlu takımların kullanılması,
- 6-Talaş ve kesici arasındaki aşınmanın azalması,
- 7- Klorlu veya sülfürlü kesme sıvılarının kullanılması.

### 3.2.2.3. Süreksiz (Kesintili) Talaş

Talaş kaldırırken kesici ağzın önünde çok fazla plastik şekil değiştirme bölgesi olduğu için, malzeme talaş akışından kopar ve kesintili talaş tipi oluşmaktadır. Şekil 3.10' da süreksiz talaş örneği gösterilmiştir. Genelde gevrek iş malzemelerinin işlenmesinde meydana gelir. Süreksiz talaş sert malzemelerde iyi bir yüzey elde edilmesini sağlar [26].



Şekil 3.10. Süreksiz talaş

### 3.2.3. Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

#### 3.2.3.1. Takım Geometrisi

Talaş kaldırma işleminde takım çok önemlidir. Talaş kaldırma işlemlerinde farklı çeşitte talaş almak istiyorsak farklı takım kullanmamız gerekmektedir. Kesici takımlar görünüş olarak birbirinden farklı görünebilir fakat hepsinin kesici kısmı otogonal bir tarzdadır.

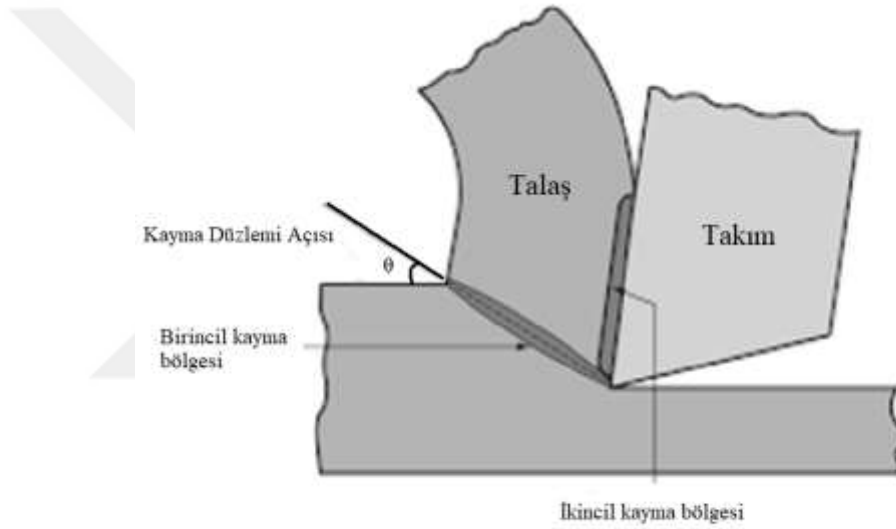
Talaşın kesici takım üzerinde akma göstereceği yüzey, talaş açısı ( $\gamma$ ) ile bulunur. İşlenen yüzey ile takımın yan yüzeyi arasında ise boşluk açısı ( $\alpha$ ) olarak adlandırılır.

Talaş açısı ve boşluk açısı arasındaki açıya kama açısı ( $\beta$ ) adı verilmektedir. Bu üç açı arasında şöyle bir bağıntı vardır:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (3.1)$$

### 3.2.3.2. Talaş geometrisi

İşlenecek parçanın üzerinden kalkan malzemenin talaşa dönüşümü kesme bölgesinde meydana gelmektedir. Şekil 3.11’ de talaş modeli gösterilmiştir. Buna talaş kaldırma mekaniğinin kurucusu M. E. Merchant’ın geliştirdiği “ince bölge teorisi” denilmektedir.



Şekil 3.11. Talaş modeli

### 3.2.3.3. Talaş Kaldırmada Kesme Hızları ve Kesme Kuvvetleri

#### 3.2.3.3.1. Kesme hızları

Talaş kaldırma sırasında kesici ve malzeme çifti arasında üç çeşit hız meydana gelir. Şekil 3.12’ de ortogonal kesme hız üçgeni gösterilmiştir.

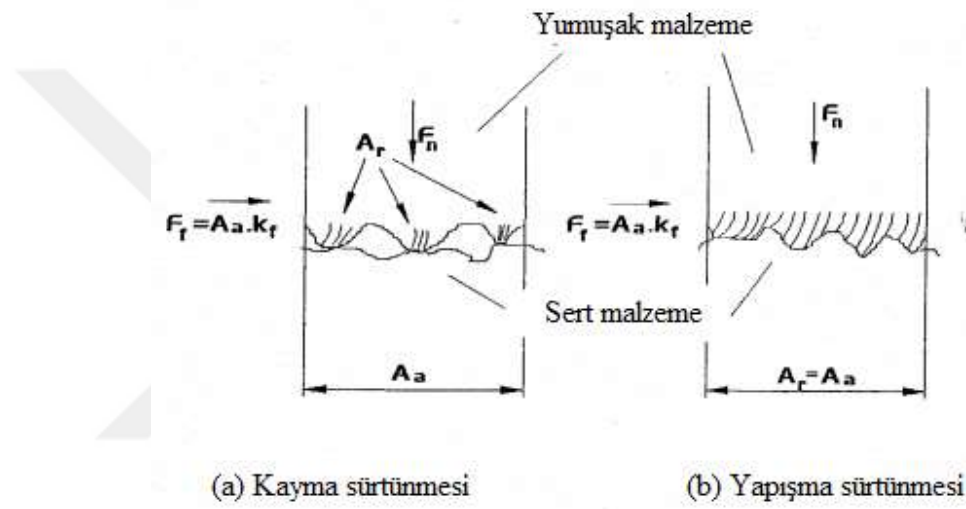
- Kesme hızı ( $V$ ),
- Talaş Hızı ( $V_c$ ),
- Kesilme Hızı ( $V_s$ )’dir.



Bu yaklaşıma göre kaldırma kuvveti  $R$  ve bileşenleri, kesme yönündeki kesme kuvveti ( $F_n$ ), bu kuvvete dik yönde radyal kuvvet ( $F_t$ ) dir. Sürtünme kuvveti ( $F$ ) ve bunu oluşturan normal kuvvet ( $N$ )' den meydana gelmektedir [27].

### 3.2.4. Talaş Kaldırmada Sürtünme

Talaş kaldırmada sürtünme konusu araştırılırken, talaş kaldırılan metal yüzeyde girinti ve çıkıntılar görülmüştür. Sürtünme şartlarını incelemek için, kuru ve kaygan yüzeyler arasında sürtünme şartlarının incelenmesi gerekmektedir. [28]



Şekil 3.14. Kayma ve yapışma sürtünmesi

Şekil 3.14' de kayma ve yapışma sürtünmesi gösterilmiştir.

Gerçek temas alanı ( $A_r$ ) ile, bilinen temas alanı ise ( $A_a$ ) ile gösterilmektedir.

$F_f$  : Sürtünme kuvveti

$F_n$  : Normal kuvvet

$A_r$  : Gerçek temas alanı

$A_a$  : Bilinen temas alanı

$k_f$  : Yumuşak malzemenin kesilme dayanımı

$G_y$  : Yumuşak metalin elastik gerilmesi

$$A_r = \frac{F_n}{G_y} \quad (3.4)$$

$$F_f = k_f . A_r \quad (3.5)$$

olarak ifade edilir.

### 3.2.5. Takım Aşınması

Kesici ile talaşın temas alanını direkt ölçmemiz mümkün değildir. Ancak takımlar kullanıldıktan sonra aşınan alan, kesme yağlarının oksidasyonu veya karbonizasyonu ile görülebilir [29].

Dik kesmede temas alanı genellikle talaş derinliğine eşittir. Talaş kaldırmada kesici takımın aşınmasında ana sebep sürtünmedir. Sıcaklık ise aşınmaya karşı mukavemeti azaltır ve aşınmayı kolaylaştırır.

Temel işleme kriterleri; ekonomik hassasiyet, talaş kaldırma miktarı, yüzey dokusu takım aşınmasının oluşmasına bağlıdır. Kesici takım kenarı büyütülerek incelendiğinde aşınma biçiminin verdiği belirtiler doğrultusunda uygun bir kesici ömrü tayin edilebilir. Bunun sonucunda daha kontrol edilebilir ve emniyetli olması sağlanır.

### 3.3. Frezeleme Teorisi

Genel amaçlı frezeleme operasyonları için elle çalıştırılan sütunlu ve konsollu freze tezgâhları kullanılır [30,31]. Frezenin bağlandığı iş mili çevresel frezeleme için yatay veya alın ve parmak frezeleme, delik işleme ve delme operasyonları için dikey konuma getirilebilir [61]. Yatay freze tezgahlarında frezeler iş miline bağlı ve üst başlığa takılan askı yatakları içerisinde dönen malafaya bağlanır [30,31,32]. Üst başlık farklı uzunluktaki malafaların takılabilmesi için ayarlanabilir. Dikey freze tezgahlarında başlık iş mili ve takım tutucudan oluşur. Başlık sabitlenebilir veya dikey olarak ayarlanabilir ve eğik yüzeyleri işlemek için sütun üzerinde döndürülebilir [31].

Freze tezgahının diğer temel bileşenleri konsol, araba ve tabladır. Sütun üzerinde dikey olarak hareket edebilen konsol kesme derinliğini ayarlamak için z ekseninde hareket ettirilebilir [30, 31]. Konsol, y eksenini doğrultusundaki hareketi gerçekleştiren arabayı taşımaktadır, araba üzerindeki tabla da x eksenini doğrultusundaki hareketi gerçekleştirir. z eksenini sadece bir ayarlama hareketidir. x ve y eksenleri hızlı hareketin yanı sıra ilerleme hareketi ile tahrik edilir. İş mili motor ve dişli kutusunu da içeren sütun içerisine monte edilmiştir. İlerleme hareketleri konsola monte edilen ayrı bir

elektrik motoru tarafından sağlanır ve kinematik olarak x, y, z eksenlerine dağıtılır. Bu yüzden, ilerleme ve iş mili hızları arasında hiçbir kinematik ilişki yoktur [30].

### 3.3.1. Frezeleme İşleminin Özellikleri

Frezeleme, çevresinde birçok kesme ağzı bulunan kendi ekseni etrafında dönerken iş parçasının ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşir. Çevresinde diş adı verilen birçok kesme ağzı bulunduran parçaya freze denir.

Frezeleme işleminde; cepler, kanallar ve düz yüzeyler vida ve dişli çarklar işlenebilir.

### 3.3.2. Frezelemede Takım Geometrisi

Freze çakılarının çok fazla çeşidi bulunmaktadır. Fakat sapsız (delikli) ve saplı olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. Şekil 3.15’ de frezeleme takımları gösterilmiştir. Sapsız olan freze çakıları silindirik veya disk şeklindedir [29]. Kesme kuvveti hesabı yapılırken, çevresinden kesen ve alından kesen olmak üzere iki tip hesaplama yöntemi vardır. Her iki yöntemde kullanılan çakılar silindirikdir. Çevresel frezelemede, dişleri çevrede bulunan silindirik freze çakısı ile, alın frezeleme ise dişleri alın yüzeyinde bulunan freze çakıları ile gerçekleştirilir [33].



Şekil 3.15. Frezeleme takımları

### 3.3.2.1. Silindirik Frezelemede Takım Geometrisi

Silindirik frezeleme, dönme eksenini yatay düzleme paralel konumda çalışan tüm frezeleme çakılarıyla yapılan frezelemeye denir [34]. Silindirik frezeler düz dişli, helisel sol dişli ve helisel sağ dişli şeklinde olabilirler. Şekil 3.16’ da silindirik freze takımı gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Silindirik freze takımı

### 3.3.2.2. Saplı Frezede Takım Geometrisi

Saplı frezelerin çapları uzunluklarına göre küçük olduğundan çok fazla talaş kaldıramazlar. Saplı frezeler hem çevresel hem de alın yüzeyleri ile işleme yapabilirler. Çapları, uzunluklarına göre küçük olduğundan daha çok cep ve kanal gibi yüzeylerin işlenmesinde kullanılmaktadırlar. Şekil 3.17’ de saplı freze takımı gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Saplı freze takımı

### 3.3.3. Çevresel Frezeleme

#### 3.3.3.1. Çevresel Frezelemede Talaş Kaldırma İşlemi

Eksenini yatay olan silindirik bir freze ile gerçekleştirilen frezeleme işlemine çevresel frezeleme denir. İşlem sonucu oluşan talaş ilke olarak tornalamada meydana gelen talaş olarak kabul edilmekle birlikte biraz daha karmaşıktır. Karmaşık olmasının en önemli

belirtisi talaş kalınlığının sabit olmamasıdır. Çevresel frezeleme de aynı yönlü ve zıt yönlü olmak üzere iki farklı yöntem vardır.

Zıt yönlü frezeleme, kesici uç işlenecek parçanın ilerleme yönüne karşı dönmekte olup kesme aşağıdan yukarıya doğru gerçekleşmektedir. Aynı yönlüde ise kesici uç işlenecek parçanın ilerleme yönünde döner ve kesme yukarıdan aşağıya doğru gerçekleşir.

Frezeleme yönü işleme sonucu yüzey kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda; aynı yönlü frezelemede yüzey kalitesinin zıt yönlüye göre daha iyi olduğu görülmüştür. Yumuşak malzemelerin işlenmesinde bu durum daha da belirgindir [34].

### 3.3.3.2. Çevresel Frezelemede Kesme Hızı ve İlerleme

#### 3.3.3.2.1. Kesme Hızı

Frezede kesme işlemi freze çakısının dönmesi ile gerçekleşir. Kesme hızı ve devir sayısı;

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (\text{m/dak}) \quad (3.6)$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (\text{d/dak}) \quad (3.7)$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada (D) mm olarak frezenin dış çapının ve (n) 'de dev/dak olarak devir sayısını ifade etmektedir.

#### 3.3.3.2.2. İlerleme

Frezeleme işleminde ilerleme; kesicinin bir devrine karşılık gelen ilerleme  $s$  (mm/dev), bir dişe karşılık gelen ilerleme  $S_z$  (mm/diş) ve bir dakikaya karşılık gelen ilerleme hızı  $u$  (mm/dak) olarak ifade edilir. Bu ilerlemeler arasında  $z$  takımın diş sayısı olmak üzere;

$$S_z = \frac{s}{z} = \frac{u}{n \cdot z} \quad (3.8)$$

$$s = S_z \cdot z \quad (3.9)$$

$$u = S_z \cdot z \cdot n \quad (3.10)$$

bağıntıları vardır.

### 3.3.3.3. Çevresel Frezelemede Talaş Boyutları

Frezelemede talaş kalınlığı değişkendir. Bu sebepten dolayı talaş boyutlarının tespit edilmesinde talaş kalınlığı olarak kesme kavrama açısı  $\varphi_s/2$ 'ye karşılık gelen ortalama talaş kalınlığı “ $h_m$ ” alınır. Düz silindirik ve helisel silindirik frezeler farklı talaş kaldırırlar. Düz silindirik frezelerde talaş kalınlığı, kesme genişliği boyunca, sabit kalmakta ve frezenin eksenine paralel olmaktadır. Helisel silindirik frezelerde ise talaş genişliği, kesme genişliği boyunca değişken ve freze eksenine ile “ $\lambda$ ” açısı yapacak şekilde eğik oluşmaktadır.

Bu özelliklere göre ortalama talaş kalınlığı,  $AE$  yayına bağlı olarak yazdığımızda;

$$AE = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi_s}{360} \quad (3.11)$$

$$h_m = \frac{360^\circ \cdot a}{\pi \cdot \varphi_s \cdot D} \cdot S_z \cdot \sin(90 - \lambda) \quad (3.12)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu eşitlikte;

$h_m$  : ortalama talaş kalınlığı (mm)

$a$  : kesme derinliği (mm)

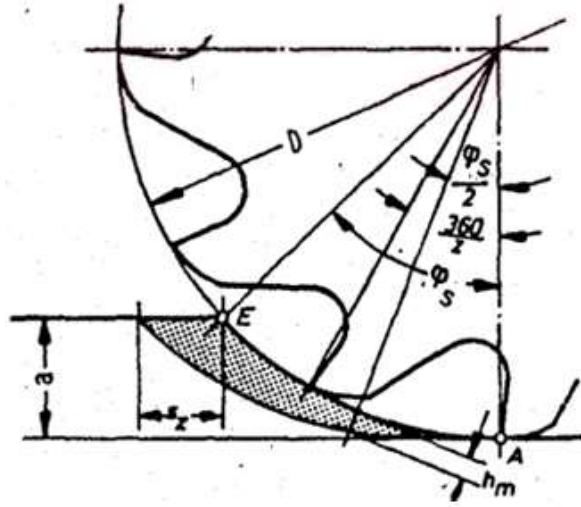
$\varphi_s$  : Kesme kavrama açısı ( $^\circ$ )

$D$  : Freze çakısının çapı (mm)

$S_z$  : Bir dişe karşılık gelen ilerleme (mm/diş)

$\lambda$  : Ayar açısı ( $^\circ$ )’dir.

Şekil 3.18’ de çevresel frezelemede talaş boyutu gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Çevresel frezelemede talaş boyutu

Kesme kavrama açısı “ $\varphi_s$ ” için;

$$\cos \varphi_s = \frac{(D/2) - a}{D/2} = \frac{2a}{D} \quad (3.13)$$

eşitliği yazılabilir. Yerleştirme açısı ise;

$\chi = (90^\circ - \lambda)$  olarak yazılır.

Helisin “H” adımı biliniyorsa “ $\lambda$ ” açısı;

$$\tan \lambda = \frac{H}{\pi \cdot D} \quad (3.14)$$

bağlantısı ile belirlenir.

Düz silindirik freze çıkısında;

$\lambda = 0^\circ$  olduğundan  $\chi = (90^\circ - \lambda) = 90^\circ$  ve  $\sin 90 = 1$  olacağından;

$$h_m = \frac{360^\circ \cdot a \cdot S_z}{\pi \cdot \varphi_s \cdot D} \quad (3.15)$$

eşitliği ile hesaplanacaktır.

$$\frac{a}{D} \leq 0.2 \Rightarrow h_m = S_z \sqrt{\frac{a}{D}} \quad (3.16)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Talaş genişliği ‘ $b$ ’, işlenen yüzeyin ‘ $B_1$ ’ genişliğine bağlı olarak;

Düz frezelerde  $b = B_1$ ,

Helis frezelerde  $b = B_1 / \cos \lambda$  olacaktır.

İşlenen yüzeyin genişliği ( $B_1$ ), freze çakısının genişliğine ( $B$ ) eşit veya daha küçük olabilir. Bu durumda ' $h_m$ ' kalınlığına karşılık gelen 'ortalama talaş kesiti';

$$A_s = b.h_m$$

şeklinde ifade edilir.

### 3.3.3.4. Çevresel Frezelemede Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri incelenirken daha önce belirttiğimiz gibi; talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri değişken olduğundan, ortalama talaş kesitine karşılık gelen ortalama kesme kuvvetleri esas alınır. Frezelemede genellikle birden fazla diş talaş kaldırdığı için bir dişe karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti " $F_z$ " ve bileşenleri aşağıdaki gibidir.

$$\text{Ortalama kesme kuvveti} : F_{sz}$$

$$\text{Ortalama radyal kuvvet} : F_{rz}$$

$$\text{Ortalama ilerleme kuvveti} : F_{vz}$$

Olarak ifade edilir ve aynı anda parçaya temas eden diş sayısı,

$$Z_e = \frac{Z \cdot \varphi_s}{360^\circ} \quad (3.17)$$

Bağıntısı ile tayin edilir.

Çakıya ait ortalama kesme kuvvetleri

$$F_s = Z_e \cdot F_{sz} \quad (3.18)$$

$$F_r = Z_e \cdot F_{rz} \quad (3.19)$$

$$F_v = Z_e \cdot F_{vz} \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilir. Helisel silindirik frezelerde, bu kuvvetlere ek olarak eksenel kuvvet " $F_a$ " oluşmaktadır.

$$F_a = F_s \cdot \tan \lambda \quad (3.21)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Düz silindirik frezelemede  $F_a=0$ 'dır.

Frezelemede bir dişe karşılık gelen ortalama kesme kuvveti;

$$F_{sz} = b.h_m.k_s \quad (3.22)$$

İle gösterilir. Parça ile temasta bulunan diş sayısına göre karşılık gelen kesme kuvveti;

$$F_s = Z_e \cdot F_{sz} \quad (3.23)$$

Denklemleri ile ifade edilir.

Kesme kuvvetlerinin arasında kesin olmamakla birlikte yapılan deneylerin sonucu olarak aşağıdaki bağıntılar verilebilir.

Zıt yönlü frezelemede;

$$F_v = (1 \sim 1,2) \cdot F_s$$

$$F_r = (0,2 \sim 0,3) \cdot F_s$$

Aynı yönlü frezelemede;

$$F_v = (0,8 \sim 0,9) \cdot F_s$$

$$F_r = (0,75 \sim 0,8) \cdot F_s$$

### 3.3.3.5. Çevresel Frezelemede Tezgâh Gücü

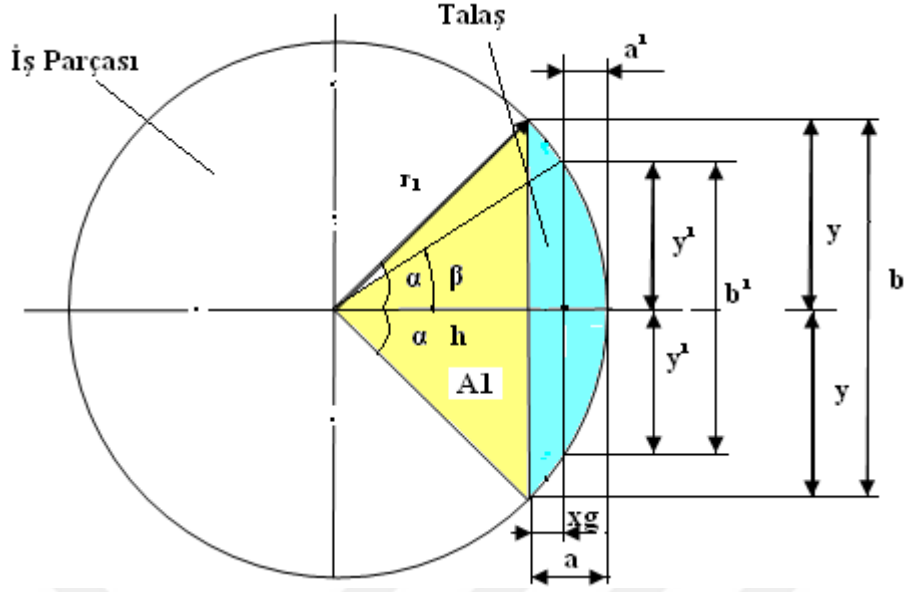
Çevresel frezelemede tezgâh gücü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$P_M = \frac{1,15 \cdot Z_e \cdot b \cdot S_z \cdot k_s}{60 \cdot 1000 \cdot \eta_m} \cdot \sqrt{\frac{a}{D}} \quad (\text{KW}) \quad (3.24)$$

Burada verilen tezgâh gücü ve D freze çapına göre tezgâhın kaldırabileceği maksimum paso kalınlığı hesaplanabilir. Formüldeki kinematik verim “ $\eta_m$ ” ile ifade edilmektedir. [33]

### 3.3.3.6. Silindirik Parçaların Frezelenmesinde Kuvvetlerin ve Gücün Hesaplanması

Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi talaş kaldırma mekaniğinde farklı bir yapıya sahiptir. Kesici takım ve iş parçası kendi eksenini etrafında döner ve aynı zamanda kesici takım iş parçası ekseninde ilerlemektedir. Bu işlemde kesici takım iş parçasına teğet olarak temas etmektedir. Bu işlemde iş parçası silindirik bir yapıya sahip olduğu için talaş virgöl şeklinde oluşmaktadır. Ayrıca talaş derinliği de her yerde aynı değildir. İş parçasının merkezinde talaş derinliği en yüksek iken, merkezden uzaklaştıkça azalmaktadır. Bu sebepten ortalama talaş derinliği ağırlık merkezine denk gelen derinlik kabul edilir. Şekil 3.19’ da iş parçasında talaş ağırlık merkezi gösterilmiştir.



Şekil 3.19. İş parçasında talaş ağırlık merkezinin gösterilmesi

Talaşın ağırlık merkezinin hesaplanması için  $2\alpha$  açısına karşılık gelen daire diliminin ağırlık merkezinden  $2\alpha$  açısına karşılık gelen  $h$  yüksekliğindeki üçgenin ağırlık merkezinden 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;

$$h = r_1 - a \quad (3.25)$$

$$\cos a = \frac{h}{r_1} \quad (3.26)$$

$$h = r_1 \cdot \cos a \quad (3.27)$$

$$y = r_1 \cdot \sin a \quad (3.28)$$

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;

$x_{g1}$  =  $A_1$  alanının ağırlık merkezi;

$x_{g2}$  =  $A_2$  alanının ağırlık merkezi;

$x_g$  = toplam alanın ağırlık merkezi;

$$\bar{x}_g = \frac{\bar{x}_{g1}.A_1 + \bar{x}_{g2}.A_2}{A_1 + A_2} \quad (3.29)$$

Birinci ve ikinci cisimlerin ağırlık merkezleri ve alanları hesaplanırsa;

$$\bar{x}_{g1} = \frac{2.r_1.\sin a}{3a} \quad (3.30)$$

$$A_1 = a.r^2 \quad (3.31)$$

$$\bar{x}_{g2} = \frac{2}{3}.h = \frac{2}{3}.r_1.\cos a \quad (3.32)$$

$$A_2 = y.h = r_1^2.\sin a.\cos a \quad (3.33)$$

denklemler elde edilir.

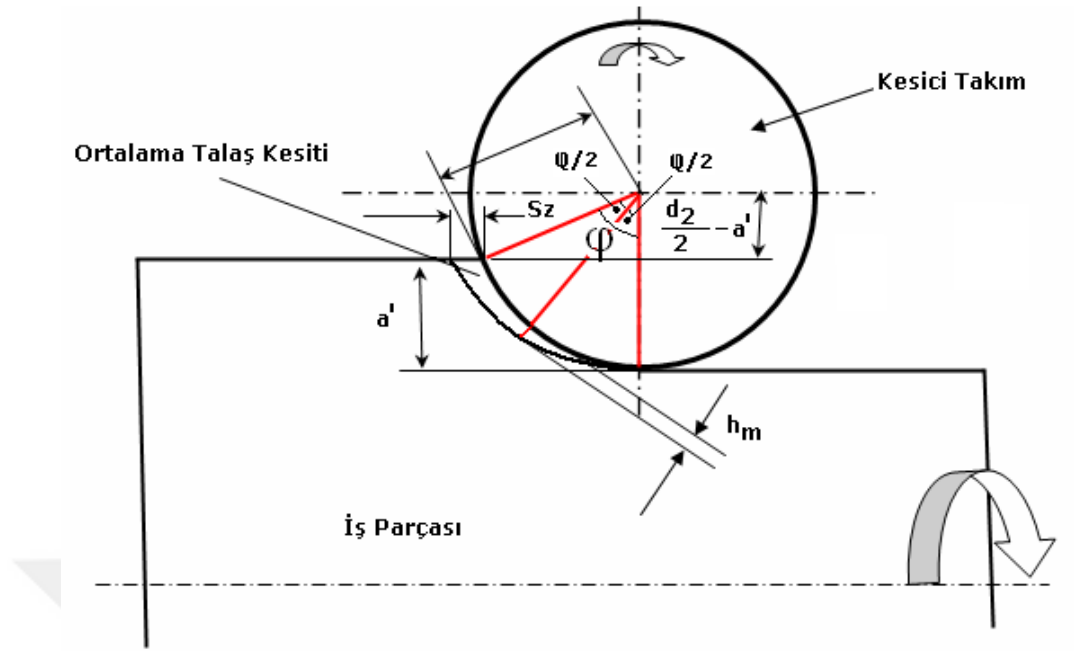
Bu denklemleri 3.28 denkleminde yerine konulursa;

$$\bar{x}_g = \frac{\frac{2.r_1.\sin a}{3a}.a.r_1^2 - \frac{2}{3}.r_1.\cos a.r_1^2.\sin a.\cos a}{a.r_1^2 + \sin a.\cos a} \quad (3.34)$$

$$\bar{x}_g = \frac{2.r_1}{3} \cdot \frac{\sin a - \sin a.\cos^2 a}{a - \sin a.\cos a} - r_1.\cos a \quad (3.35)$$

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. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde kesme kuvvetini hesaplamak için öncelikle ortalama talaş kalınlığını hesaplamak gerekir [35].



Şekil 3.20. Ortalama talaş kalınlığının gösterilmesi

Şekil 3.20' de ortalama talaş kalınlığı gösterilmiştir.

$a^1$  = 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 );

$$a^1 = a - \bar{x}_g \quad (3.36)$$

$$\varphi = \frac{\frac{d_2}{2} - a^1}{\frac{d_2}{2}} = 1 - \frac{2.a^1}{d_2} \quad (3.37)$$

$$s_z = \frac{u}{n.z} \quad (3.38)$$

$$\chi = 90 - \lambda \quad (3.39)$$

$$h_m = \frac{360}{\pi \cdot \varphi} \cdot \frac{a^1}{d_2} \cdot s_z \cdot \sin \chi \quad (3.40)$$

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.

$$\cos \beta = \frac{h + \bar{x}_g}{r_1} \quad (3.41)$$

$$b^1 = 2 \cdot r_1 \cdot \sin \beta \quad (3.42)$$

Helis açılı freze takımlarında ise;

$$b^1 = \frac{2 \cdot r_1 \cdot \sin \beta}{\cos \lambda} \quad (3.43)$$

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

$z_e$  = kesme durumundaki diş sayısı

$$z_e = z \cdot \frac{\varphi}{360} \quad (3.44)$$

$k_s$  = 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;

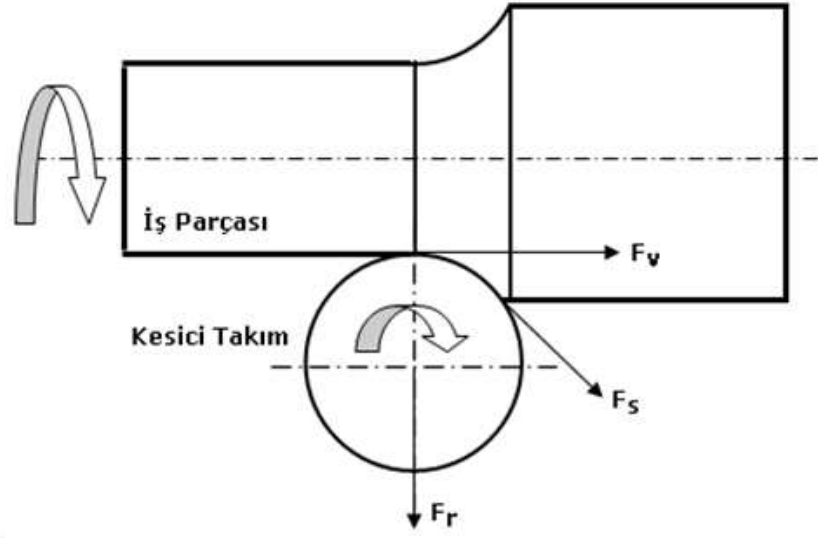
$k_a$  = aşınma faktörü ;

$k_T$  = kesici takım düzeltme faktörü;

$$k_s = k_{s11} \cdot h m^{-z} \cdot k_\gamma \cdot k_t \cdot k_a \quad (3.45)$$

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

$$F_{s_z} = b^1 \cdot h_m \cdot k_s \quad (3.46)$$



Şekil 3.21. Teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kuvvetleri

Şekil 3.21 'de teğetsel tornalama-frezeleme yöntemindeki kesme kuvvetleri görülmektedir.

$F_s$  = Ortalama kesme kuvveti;

$F_r$  = Radial kuvvet;

$F_v$  = İlerleme kuvveti;

$$F_s = z_e \cdot F_{s_z}$$

$P_s$  = Kesme gücü;

$$P_s = \frac{F_s \cdot V}{60 \cdot 1000} \quad (3.47)$$

## 4. SİLİNDİRİK KESİTLİ BİR İŞ PARÇASININ PARMAK FREZE İLE İŞLENMESİNİN ANSYS PROGRAMINDA ANALİZİ

### 4.1. Analizin Kurulumu

Yapılan bu tez çalışmasında literatürde rastlanmayan silindirik kesitli bir iş parçasının parmak frezeleme işleminin ANSYS programı kullanılarak kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve kesme gücü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

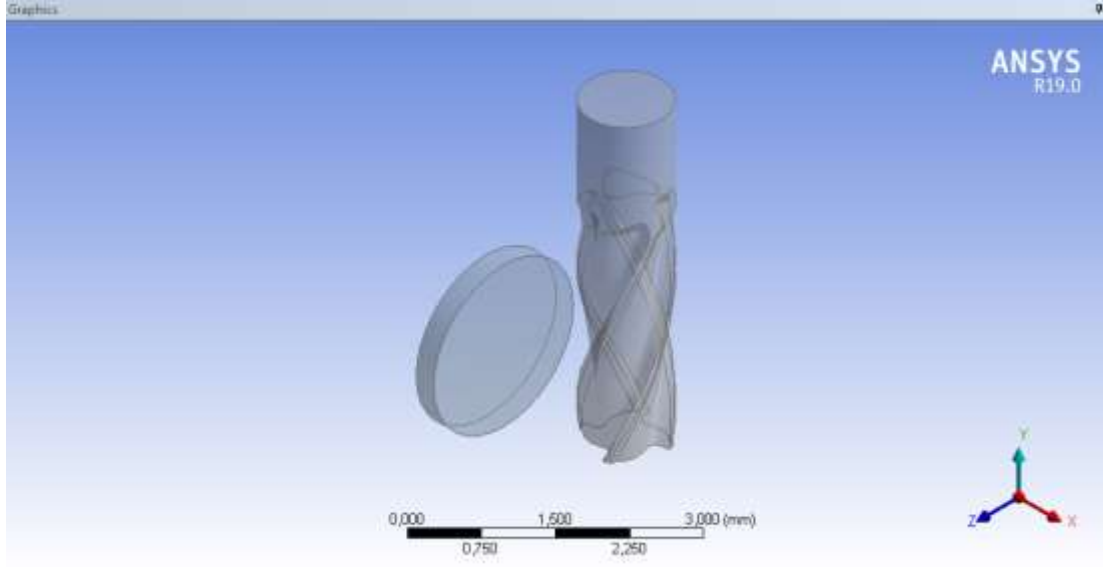
Yapılan analizde kesme parametreleri olarak; iş parçası yarıçapı, talaş derinliği, dakikadaki ilerleme hızı belirlenmiştir. Parametrelerin belirlenmesinde kesme kuvveti ve gücünü etkileyecek olan parametreler belirlenmiştir.

Analizin çizimleri SOLIDWORKS programında yapılarak, ANSYS Workbench ara yüzüne aktarıldı. Analizin formülleri ANSYS programının Excel menüsünde tanımlanıp, yapılan çizim ile Excel deki parametreler eşleştirilip analizler yapılmıştır.

Tez çalışmasında 4 adet analiz yapıldı. Birinci analiz referans olarak kabul edilip iki, üç ve dört numaralı analizlerde parametreler değiştirilip analiz sonuçları alınmıştır. Yapılan analizlerin parametreleri Tablo 1’ de verilmiştir.

**Tablo 1.** Yapılan analizlerin parametreleri

| Analiz numarası | Dakikadaki ilerleme hızı | İş parçası yarıçapı | Talaş derinliği |
|-----------------|--------------------------|---------------------|-----------------|
| 1. analiz       | 30 mm/dk                 | 1mm                 | 0.3mm           |
| 2. analiz       | 42 mm/dk                 | 1mm                 | 0.3mm           |
| 3. analiz       | 30 mm/dk                 | 1mm                 | 0.15mm          |
| 4. analiz       | 30 mm/dk                 | 0.8mm               | 0.3mm           |



Şekil 4.1. Kesici uçun ve işlenen malzemenin geometrisi

Analizlerde iş parçası olarak 0.25mm kalınlığında ve 2mm çapın da AISI 1040 çelik malzemesi seçilmiştir. Malzemenin mekanik özellikleri Şekil 4.2’ de verilmiştir. Kesici takım olarak 4 ağızlı 1mm çapında HSS seçilmiştir. İş parçası flexible, kesici takım rijit seçilmiştir. Kesici takımın mekanik özellikleri Şekil 4.3’ de verilmiştir.

|    | A                             | B          | C                      | D | E |
|----|-------------------------------|------------|------------------------|---|---|
| 1  | Property                      | Value      | Unit                   |   |   |
| 2  | Material Field Variables      | Table      |                        |   |   |
| 3  | Density                       | 7870       | kg m <sup>-3</sup>     |   |   |
| 4  | Isotropic Elasticity          |            |                        |   |   |
| 5  | Derive from                   | Young'...  |                        |   |   |
| 6  | Young's Modulus               | 2E+11      | Pa                     |   |   |
| 7  | Poisson's Ratio               | 0.29       |                        |   |   |
| 8  | Bulk Modulus                  | 1.5873E+11 | Pa                     |   |   |
| 9  | Shear Modulus                 | 7.7519E+10 | Pa                     |   |   |
| 10 | Specific Heat, C <sub>p</sub> | 480        | J kg <sup>-1</sup> ... |   |   |

Şekil 4.2. İşlenen parçanın malzeme özellikleri

|    | A                             | B          | C                      | D | E |
|----|-------------------------------|------------|------------------------|---|---|
| 1  | Property                      | Value      | Unit                   |   |   |
| 2  | Material Field Variables      | Table      |                        |   |   |
| 3  | Density                       | 7972       | kg m <sup>-3</sup>     |   |   |
| 4  | Isotropic Elasticity          |            |                        |   |   |
| 5  | Derive from                   | Young'...  |                        |   |   |
| 6  | Young's Modulus               | 2.21E+11   | Pa                     |   |   |
| 7  | Poisson's Ratio               | 0.3        |                        |   |   |
| 8  | Bulk Modulus                  | 1.8417E+11 | Pa                     |   |   |
| 9  | Shear Modulus                 | 8.5E+10    | Pa                     |   |   |
| 10 | Specific Heat, C <sub>p</sub> | 540        | J kg <sup>-1</sup> ... |   |   |

Şekil 4.3. Kesici uçun malzeme özellikleri

Ansys programında FEM yöntemi uygulandığından kesici takım ve iş parçası çok küçük elemanlara ayrılarak ağ oluşturulmuştur. Ayrıca meshlenmiş kesici takım ve iş parçasının görünüşü Şekil 4.7' de, genel mesh özellikleri ise Şekil 4.6' da verilmiştir.

| Details of "Body Sizing 2" - Sizing     |                    |
|-----------------------------------------|--------------------|
| <b>Scope</b>                            |                    |
| Scoping Method                          | Geometry Selection |
| Geometry                                | 1 Body             |
| <b>Definition</b>                       |                    |
| Suppressed                              | No                 |
| Type                                    | Element Size       |
| <input type="checkbox"/> Element Size   | 3.5e-002 mm        |
| <b>Advanced</b>                         |                    |
| <input type="checkbox"/> Defeature Size | Default            |
| Behavior                                | Soft               |

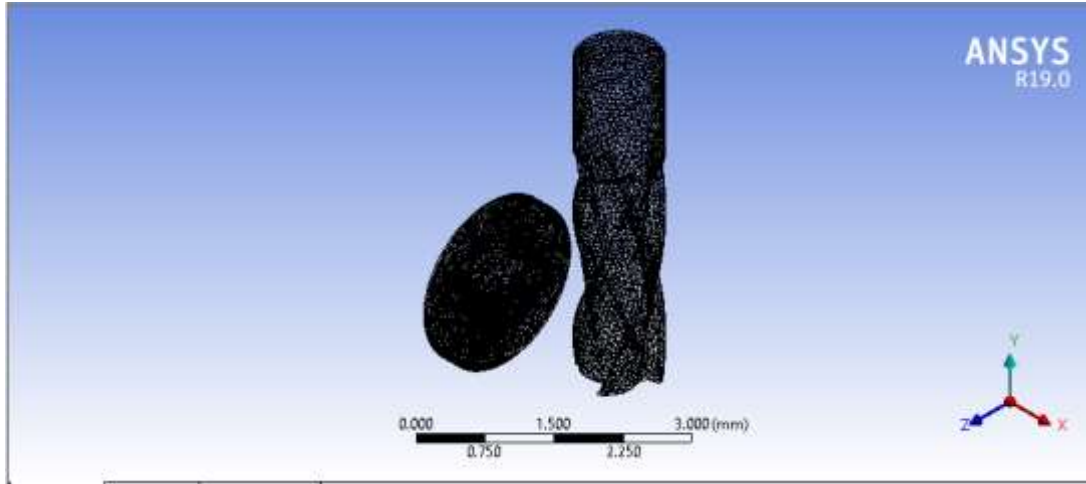
Şekil 4.4. İşlenen parçanın mesh özellikleri

| Details of "Body Sizing" - Sizing       |                    |
|-----------------------------------------|--------------------|
| <b>Scope</b>                            |                    |
| Scoping Method                          | Geometry Selection |
| Geometry                                | 1 Body             |
| <b>Definition</b>                       |                    |
| Suppressed                              | No                 |
| Type                                    | Element Size       |
| <input type="checkbox"/> Element Size   | 8.e-002 mm         |
| <b>Advanced</b>                         |                    |
| <input type="checkbox"/> Defeature Size | Default            |
| Behavior                                | Soft               |

Şekil 4.5. Kesici uçun mesh özellikleri

| Details of "Mesh"                                    |                         |
|------------------------------------------------------|-------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Display</b>   |                         |
| Display Style                                        | Body Color              |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Defaults</b>  |                         |
| Physics Preference                                   | Explicit                |
| <input type="checkbox"/> Relevance                   | 5                       |
| Element Order                                        | Linear                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Sizing</b>    |                         |
| Size Function                                        | Adaptive                |
| Relevance Center                                     | Fine                    |
| <input type="checkbox"/> Element Size                | Default                 |
| Mesh Defeaturing                                     | Yes                     |
| <input type="checkbox"/> Defeature Size              | Default                 |
| Transition                                           | Slow                    |
| Initial Size Seed                                    | Assembly                |
| Span Angle Center                                    | Fine                    |
| Bounding Box Di...                                   | 5.15010 mm              |
| Average Surface ...                                  | 1.05380 mm <sup>2</sup> |
| Minimum Edge L...                                    | 6.7843e-002 mm          |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Quality</b>   |                         |
| Check Mesh Qua...                                    | Yes, Errors             |
| <input type="checkbox"/> Target Quality              | Default (0.050000)      |
| Smoothing                                            | High                    |
| Mesh Metric                                          | None                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Inflation</b> |                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Advanced</b>  |                         |

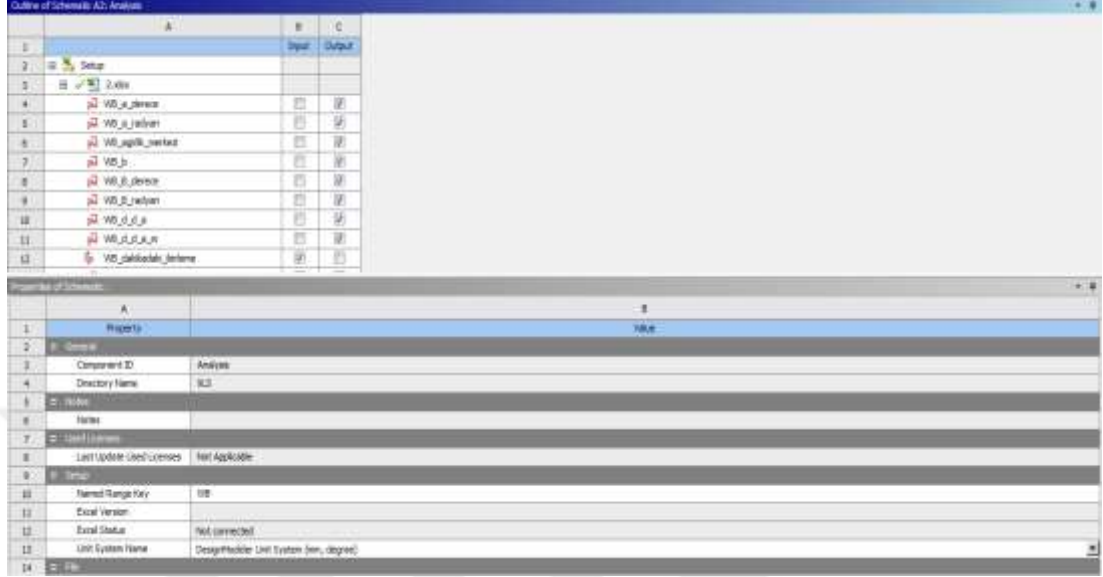
Şekil 4.6. Genel mesh özellikleri



Şekil 4.7. Genel mesh görüntüsü

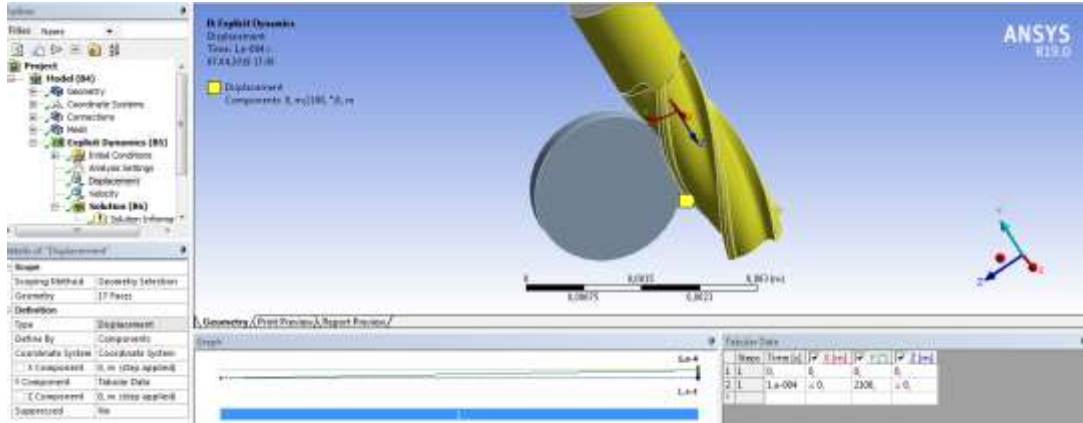
Analiz için gerekli olan formüller ANSYS programının Excel menüsünde tanımlanmıştır. ANSYS programının Excel menüsünde tanımlanan formüllerde

kullanılan parametreler çizim kısmındaki geometrik şekildeki parametreler ile eşleştirilmiştir. Eşleştirmeler Şekil 4.8’ de verilmiştir.

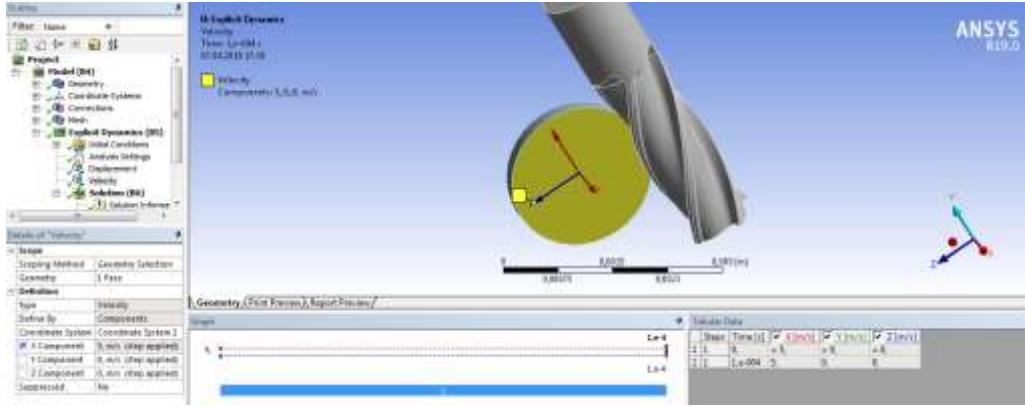


Şekil 4.8. Giriş ve çıkış parametrelerinin programa girilmesi

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’ da kesici takım ve iş parçası için gerekli olan analiz verileri gösterilmiştir.

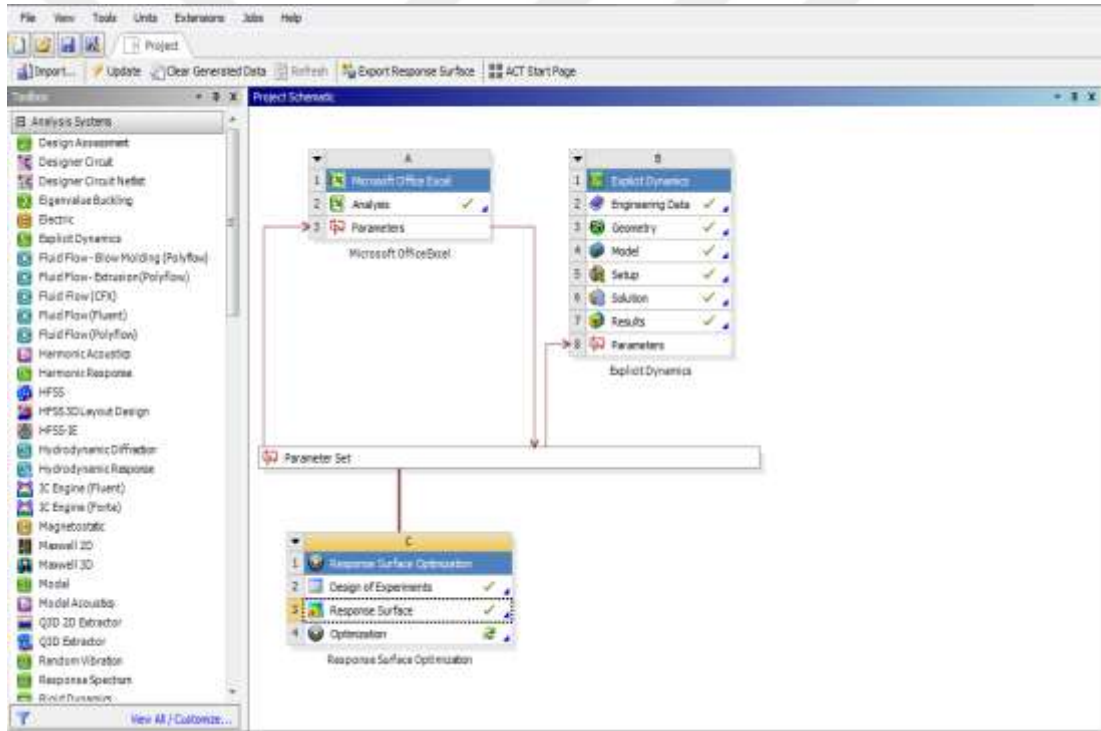


Şekil 4.9. Kesici uç analiz ayarları



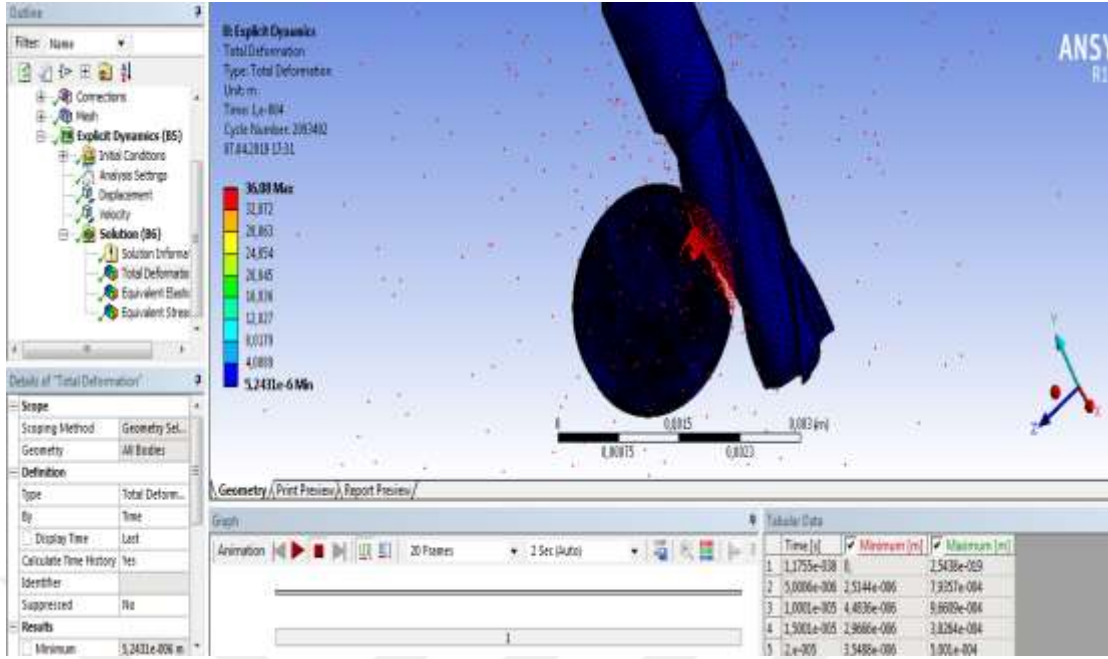
Şekil 4.10. İşlenen parça analiz ayarları

Şekil 4.11' de analiz adımlarını gösteren akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.11. Tamamlanan analiz adımlarının genel görüntüsü

Şekil 4.12' de analiz sonucunda oluşan deformasyon görüntüsü verilmiştir. Şekilde kesici takımın iş parçası üzerinde talaş kaldırdığı, iş parçasını deforme ettiği kesici takımda ise herhangi bir deformasyonun olmadığı görülmektedir.



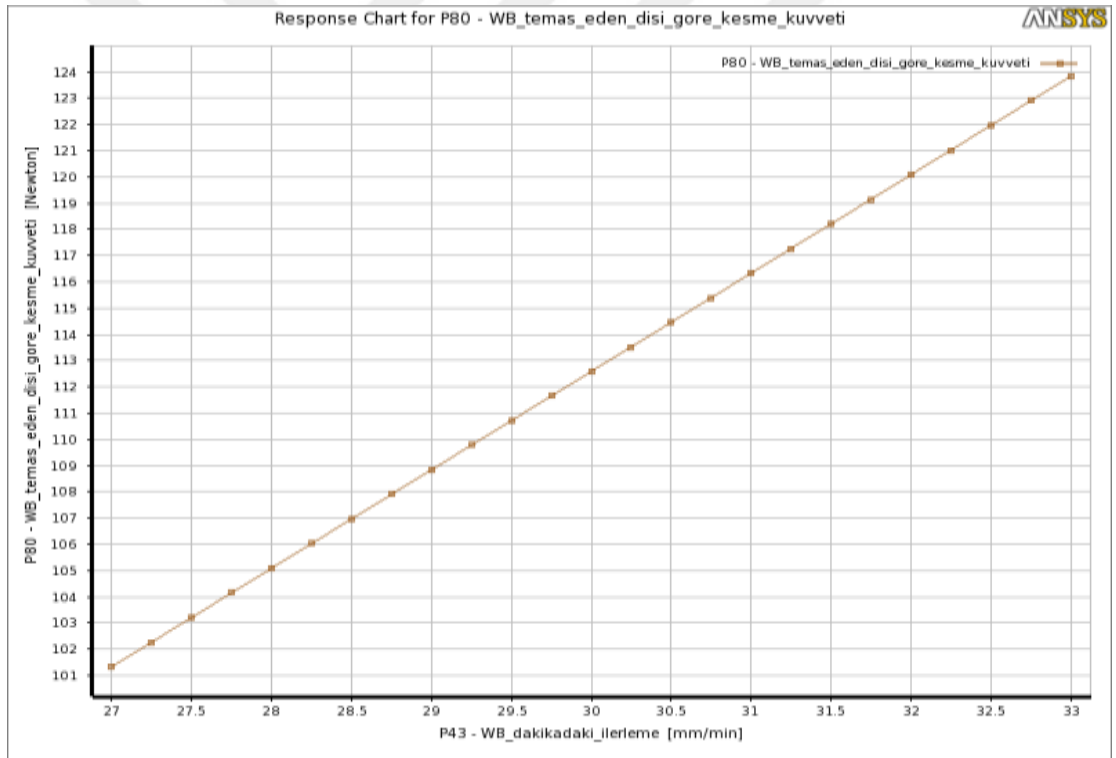
Şekil 4.12. Toplam deformasyon

Genel akış şeması verilen analizler farklı koşullar altında yapılmıştır. Yapılan analizlerin her biri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Parametrelerin kesme kuvveti ve kesme gücü üzerindeki etkileri grafikler ile değerlendirilmiştir.

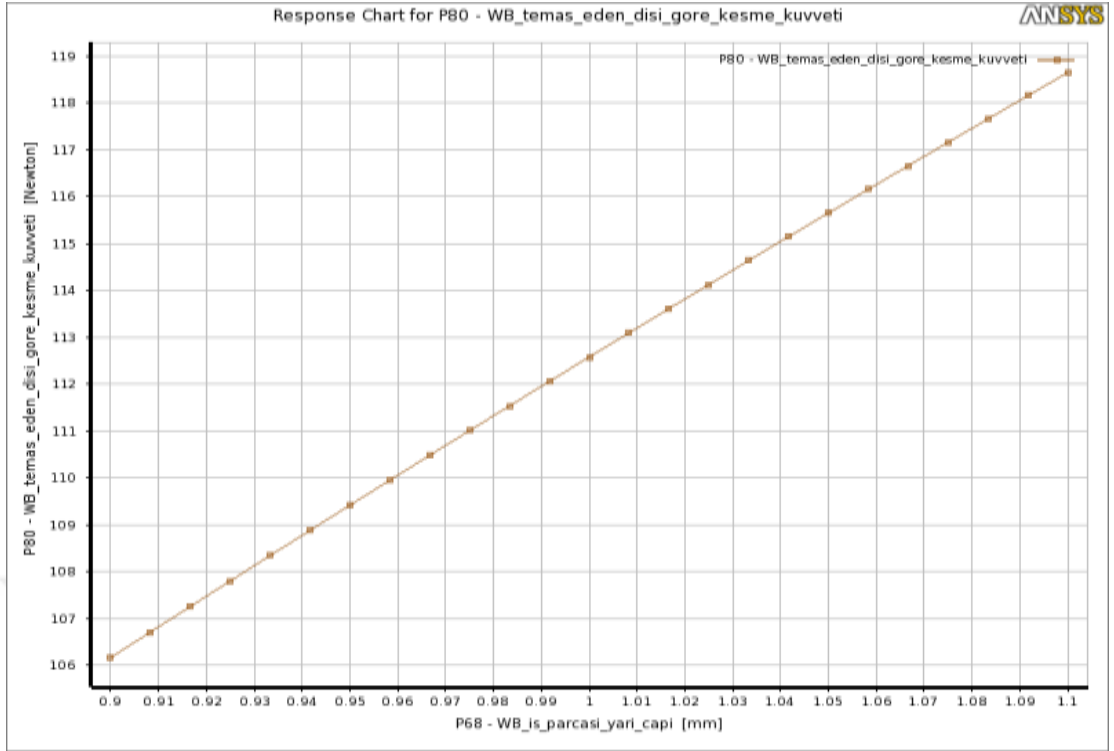
## 5. ANALİZ SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Yapılan tez çalışmasında silindirik kesite sahip AISI 1040 malzemesinin, HSS parmak freze kesici takım ile işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve kesme gücü üzerindeki etkilerini belirleme amacı ile ANSYS programı ile gerekli formülizasyon işlemleri yapılarak bu değerlerin hesaplaması sağlanmıştır.

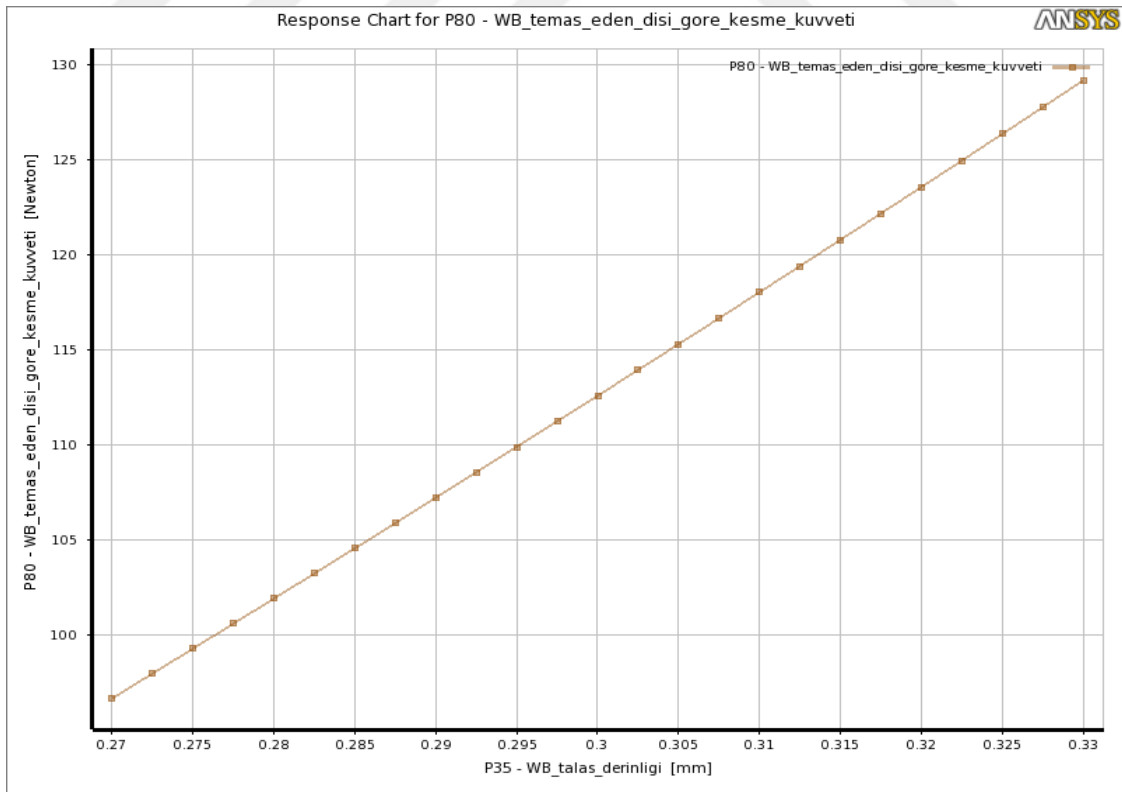
1. Analiz referans analiz olarak yapılmıştır. Analizde dakikadaki ilerleme hızı, iş parçası yarıçapı ve talaş derinliği parametrelerinin kesme kuvveti ve kesme gücü üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Tablo 1’ de 1. Analizde kullanılan parametre değerleri gösterilmiştir.



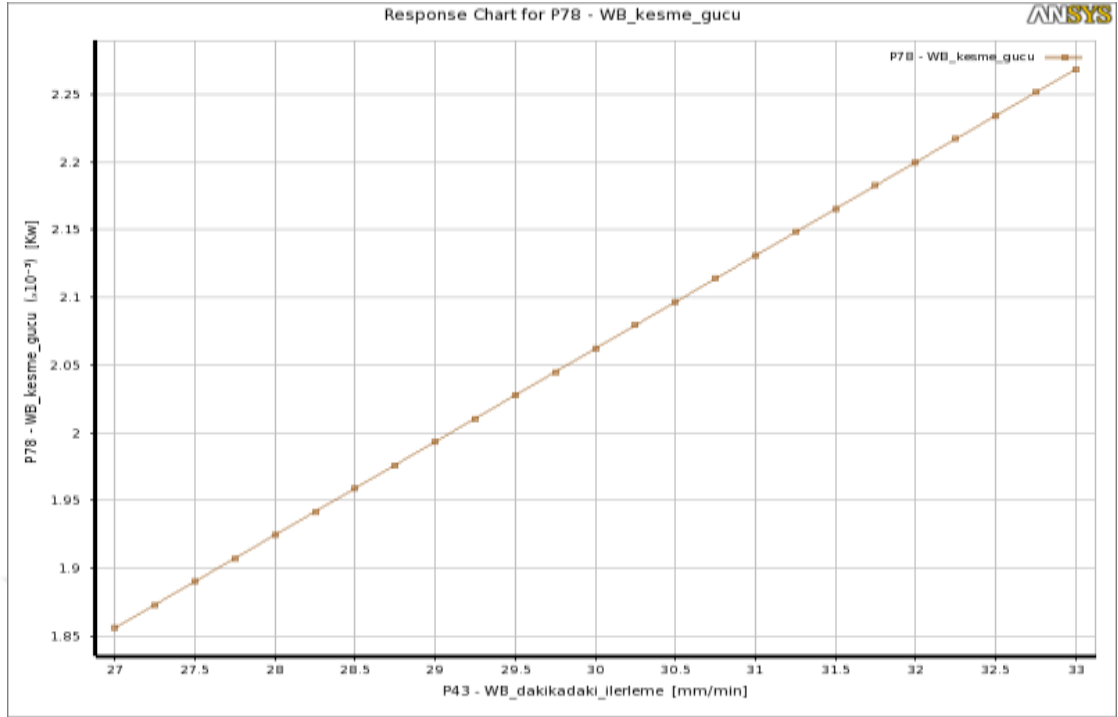
Şekil 5.1. Dakikada ki ilerlemenin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (1. Analiz )



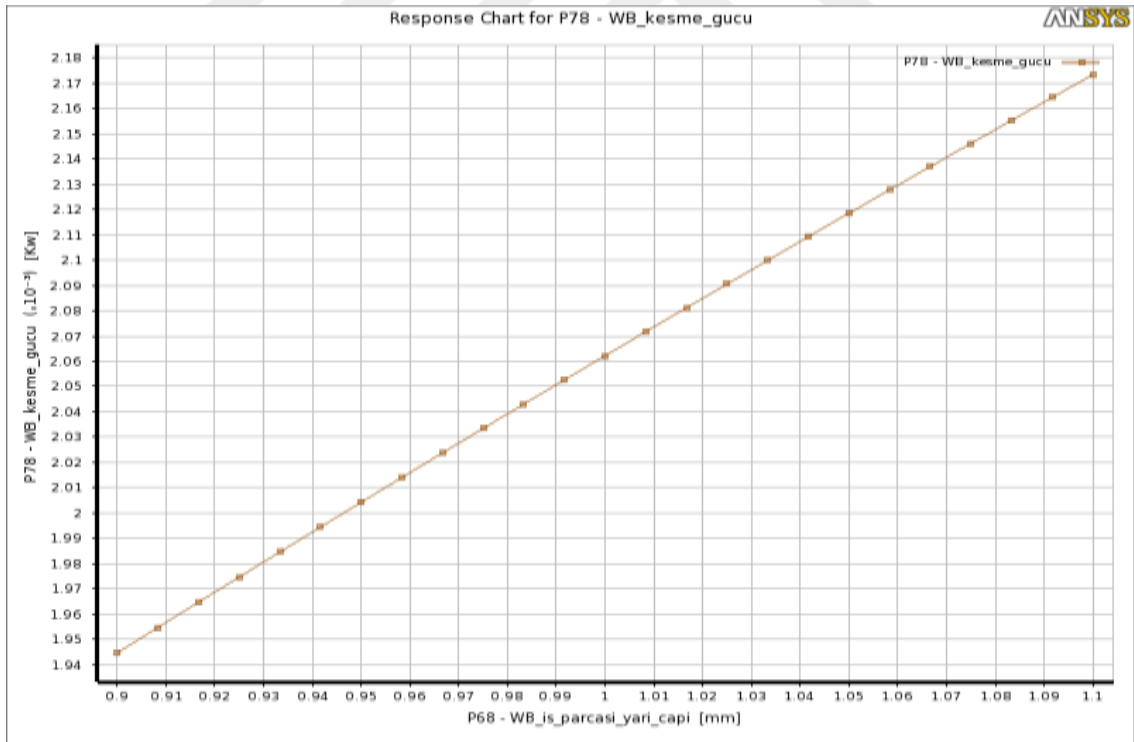
Şekil 5.2. İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (1. Analiz )



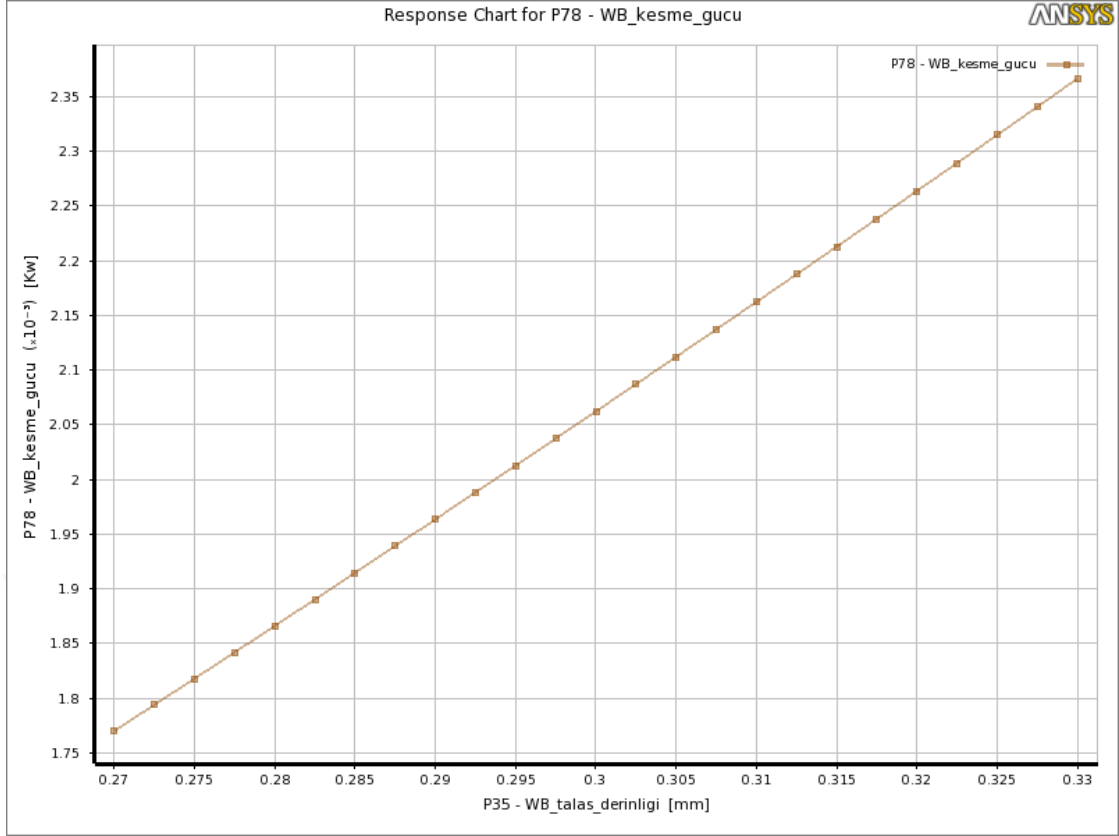
Şekil 5.3. Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (1. Analiz )



Şekil 5.4. Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (1 Analiz)



Şekil 5.5. İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (1. Analiz )

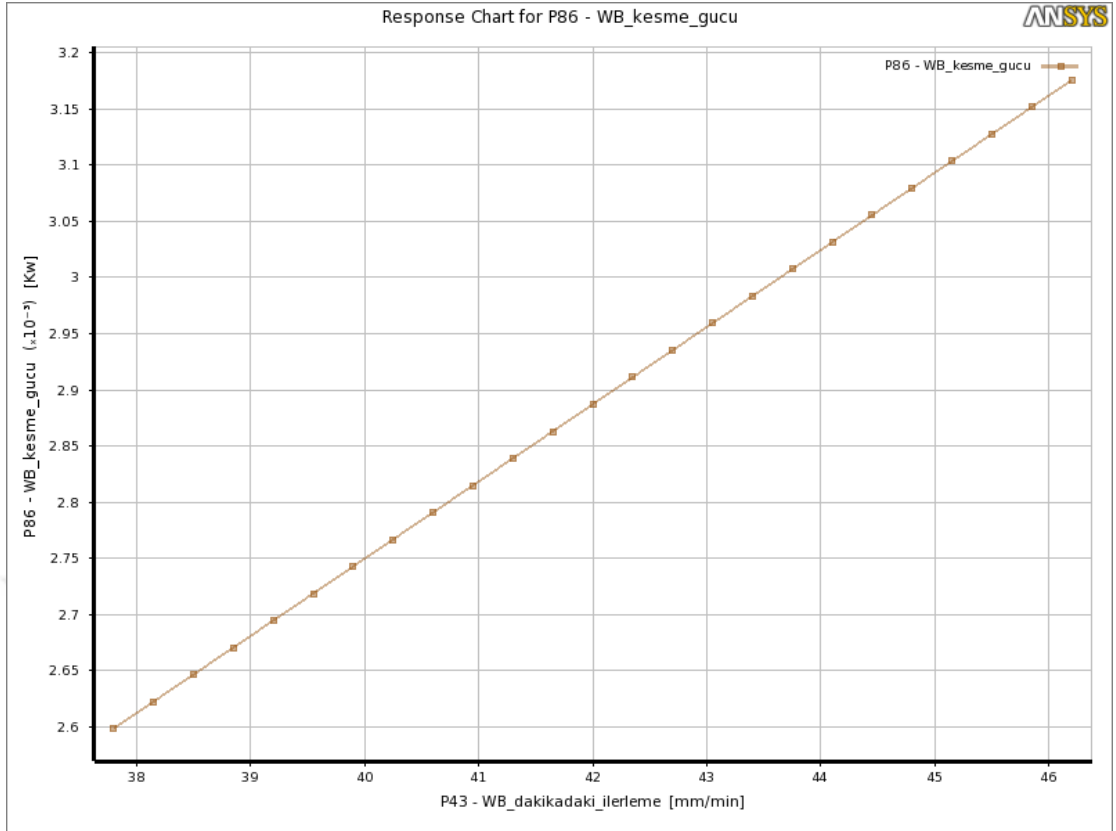


Şekil 5.6. Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (1. Analiz )

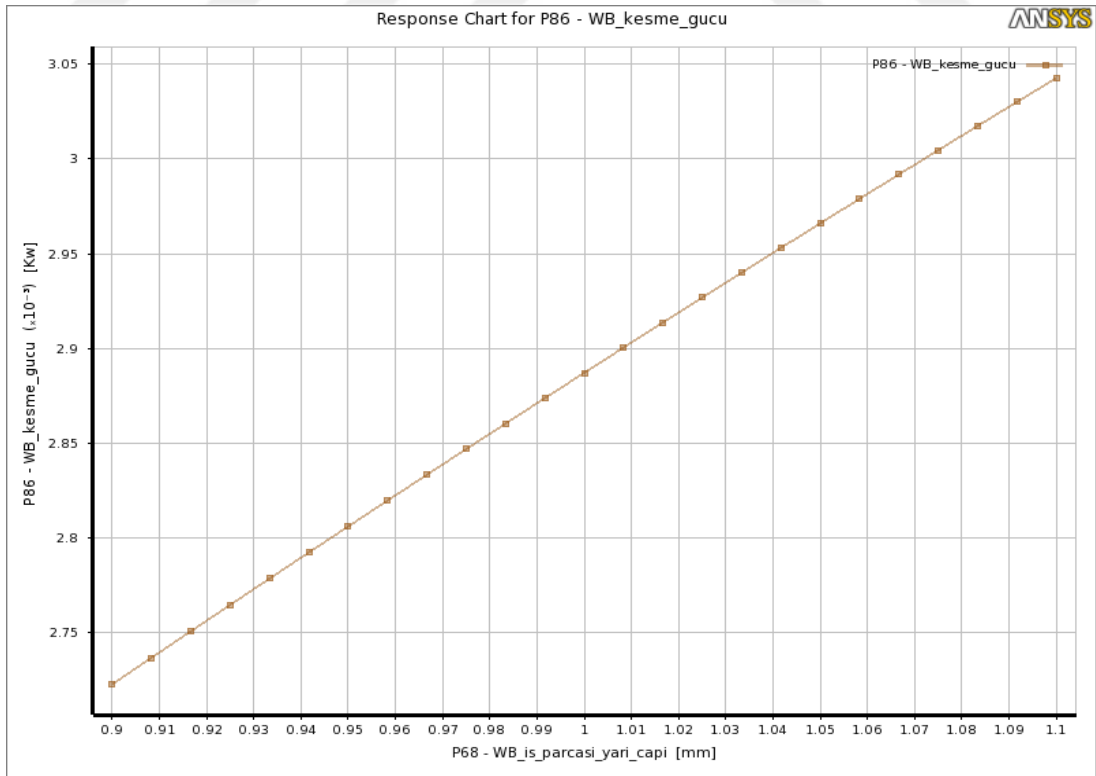
2. Analizde dakikadaki ilerleme hızı arttırılarak kesme kuvveti ve kesme gücü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tablo 1’ de 2. Analizde kullanılan parametre değerleri görülmektedir. Şekil 5.7 ve Şekil 5.10 incelendiğinde ilerleme hızının artması ile kesme kuvveti ve bağlı olarak kesme gücünün arttığı görülmektedir.

Referans analizde dakikadaki ilerleme hızını 30mm\dk dan 42mm\dk ya arttırılıp tekrar analiz yaptırılmıştır. Referans analizde 112.59 N olan temas eden dişe göre kesme kuvveti 157.63 N olmuştur. Dakikadaki ilerleme hızının artması temas eden dişe göre kesme kuvvetini arttırmıştır.

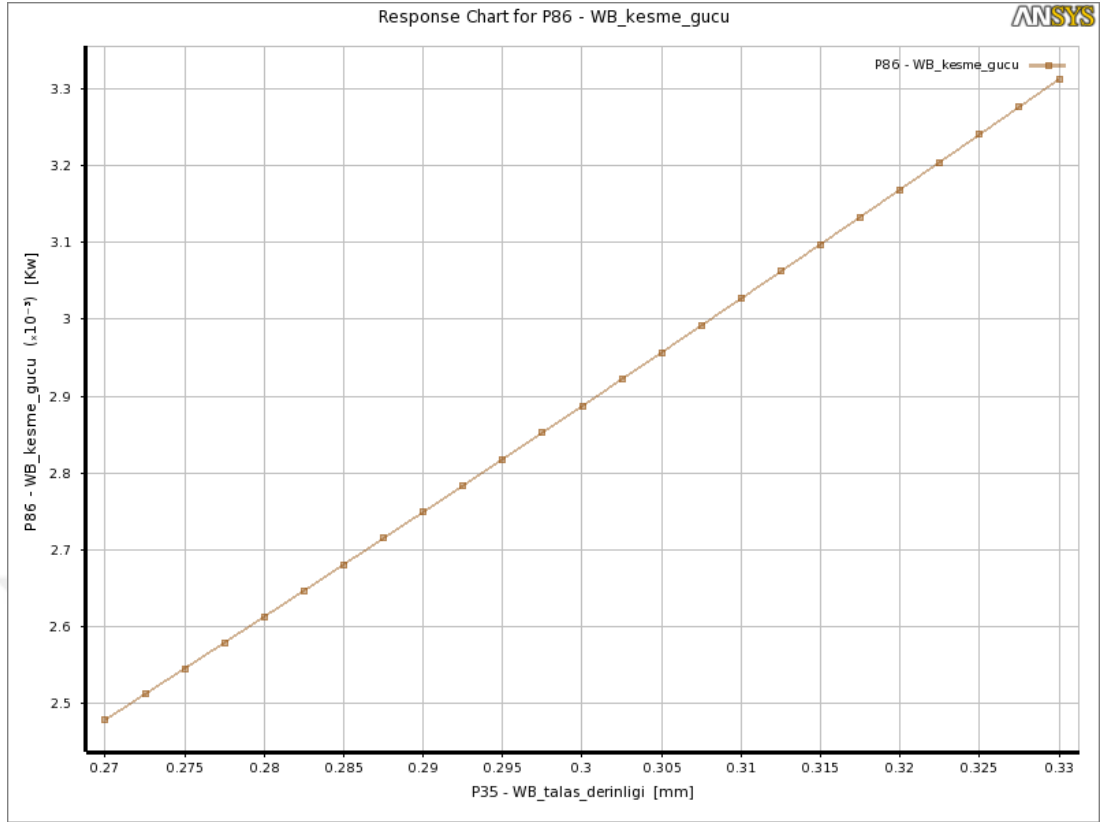
Sağlam H., çalışmasında elde ettiği sonuçlar ve grafiklere göre kesme kuvvetlerinin ortalama değerlerinin daha çok talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak değiştiği ve talaş kesitinin talaş derinliği ile ilerlemenin bir fonksyonu olduğunu belirtmiştir. Grafikler incelendiğinde ilerlemenin artması ile kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür[36].



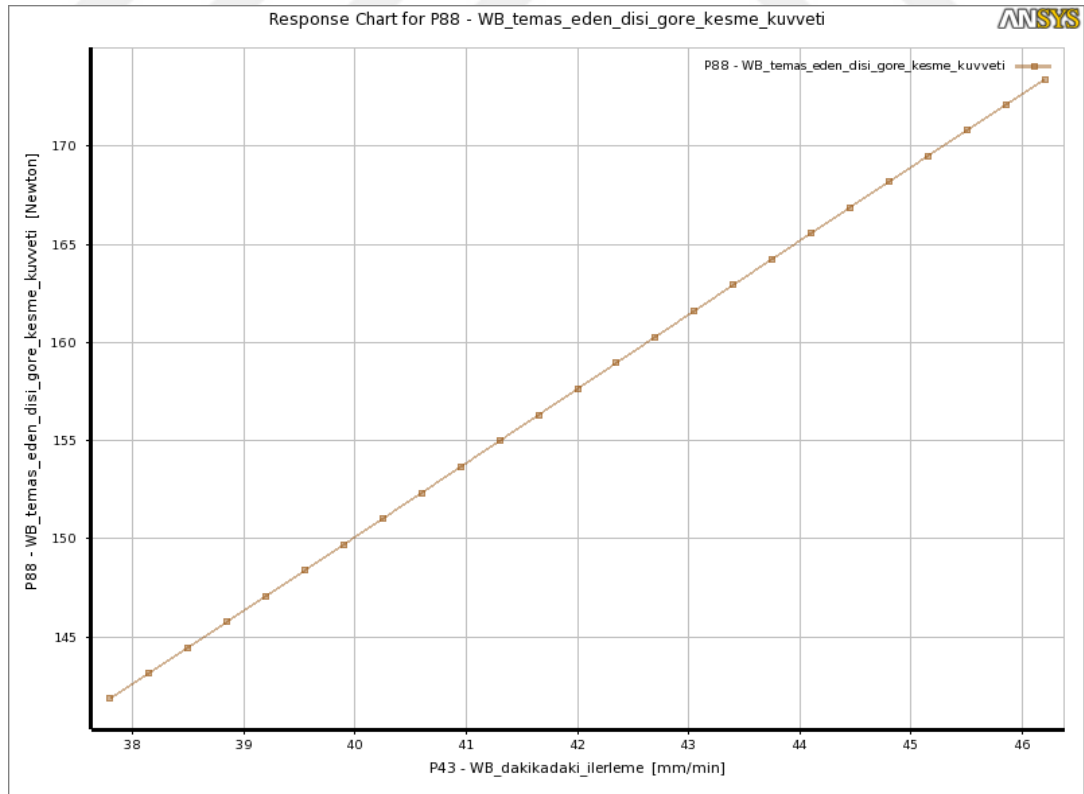
Şekil 5.7. Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (2. Analiz )



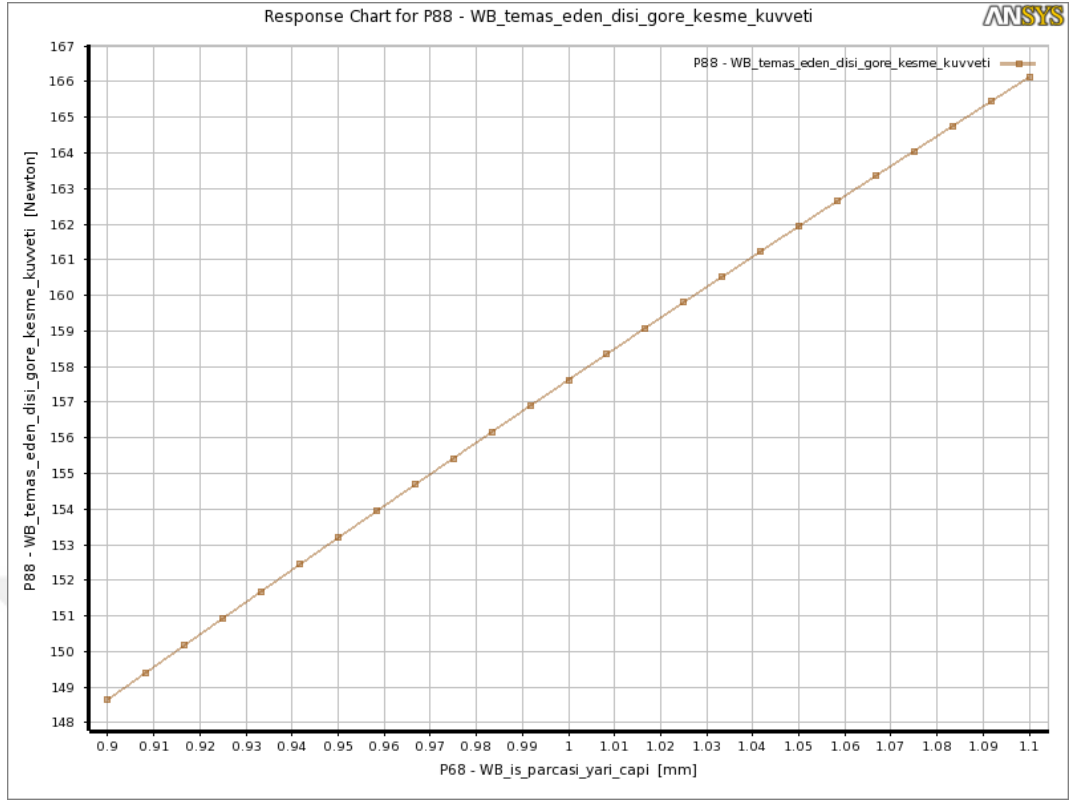
Şekil 5.8. İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (2. Analiz )



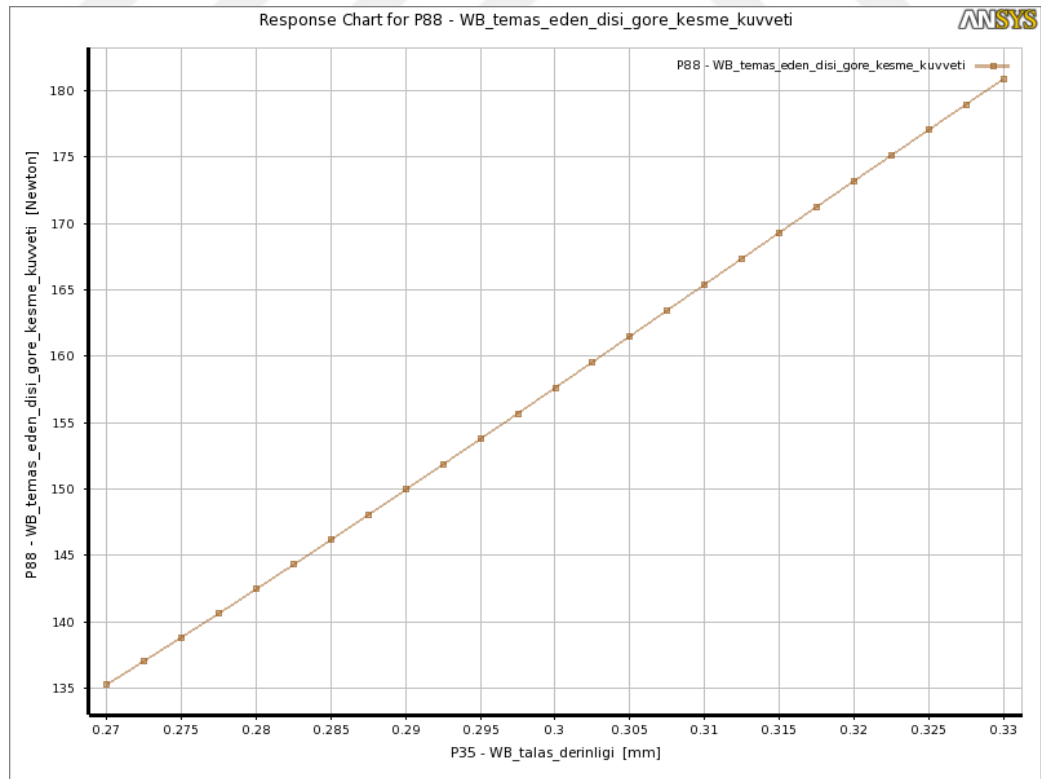
Şekil 5.9. Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (2. Analiz )



Şekil 5.10. Dakikadaki ilerleme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (2. Analiz )



Şekil 5.11. İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (2. Analiz )

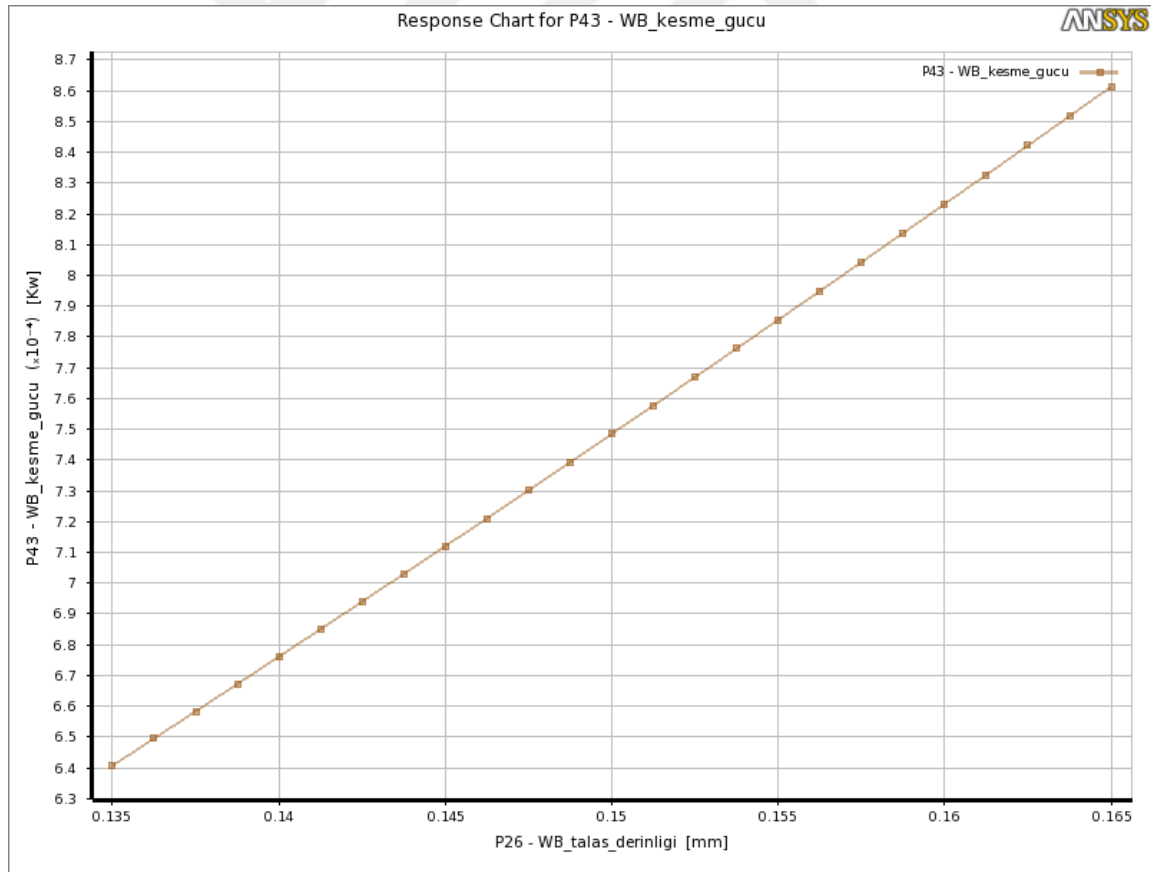


Şekil 5.12. Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (2. Analiz )

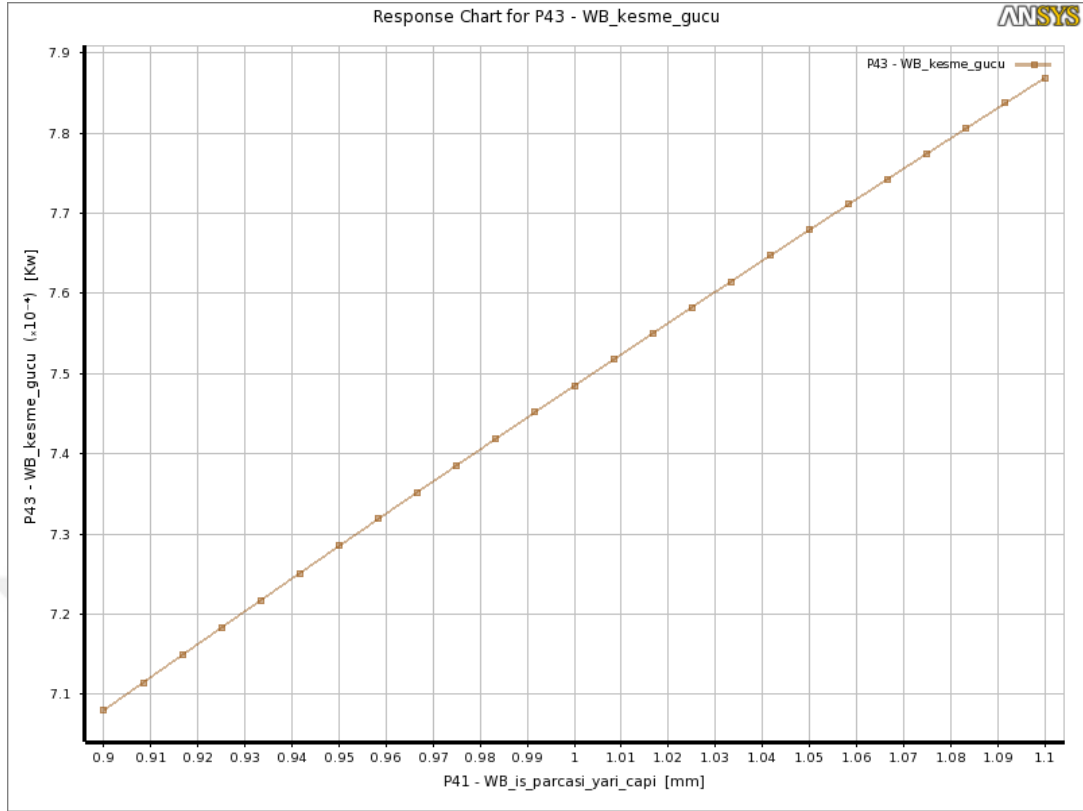
3. Analizde talaş derinliği azaltılarak kesme kuvveti ve gücü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tablo 1' de 3. Analizde kullanılan parametre değerleri görülmektedir. Şekil 5.18 ve şekil 5.13 incelendiğinde, talaş derinliğinin azalması ile kesme kuvveti ve bağlı olarak kesme gücünün azaldığı görülmektedir.

Referans analizde talaş derinliği 0,3mm iken temas eden dişe göre kesme kuvveti 112,59 N dur. 3. Analizde talaş derinliği 0,15mm ye düşürülmüştür 3. Analiz sonucunda temas eden dişe göre kesme kuvveti 40,86 N olmuştur. Bu durumda temas eden dişe göre kesme kuvveti azalmıştır.

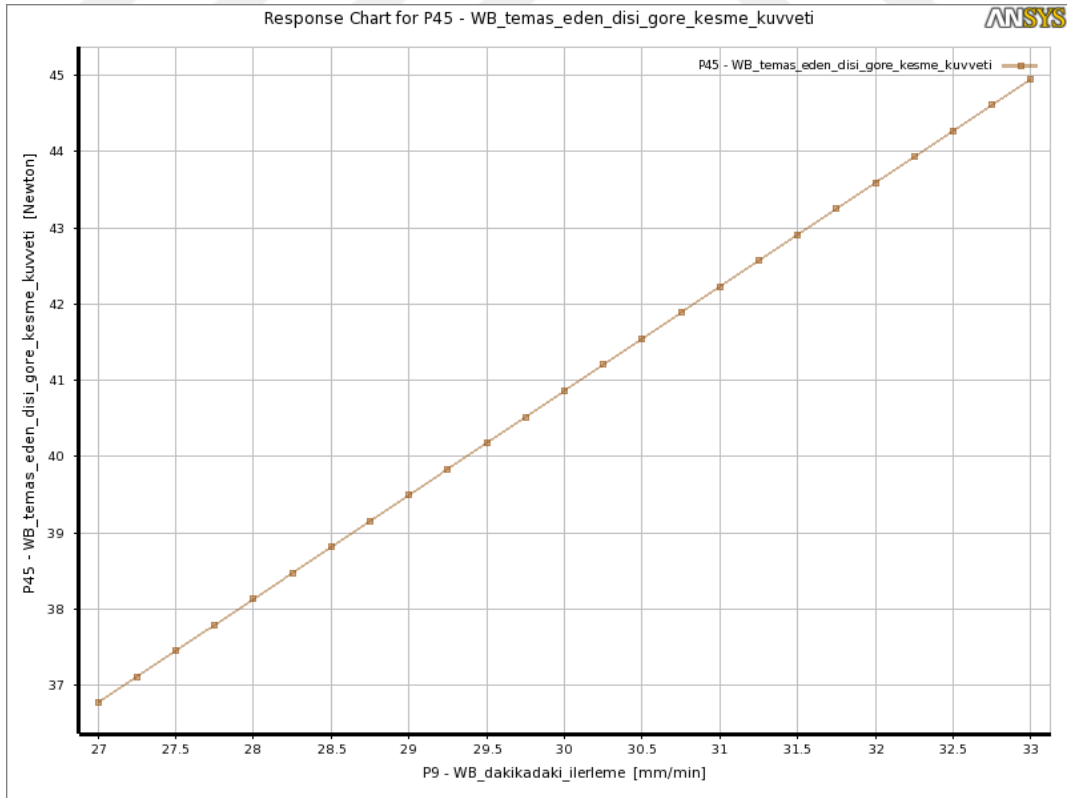
Başak H., ve Baday Ş., çalışmasında elde edilen ana etki grafiklerine göre; Talaş derinliğinin artmasının yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirdiği ve esas kesme kuvvetini de arttırdığı görülmektedir. Böylece talaş derinliği arttığında kesme kuvvetinin arttığı, talaş derinliği azaldığında kesme kuvvetinin de azaldığı görülmektedir[37].



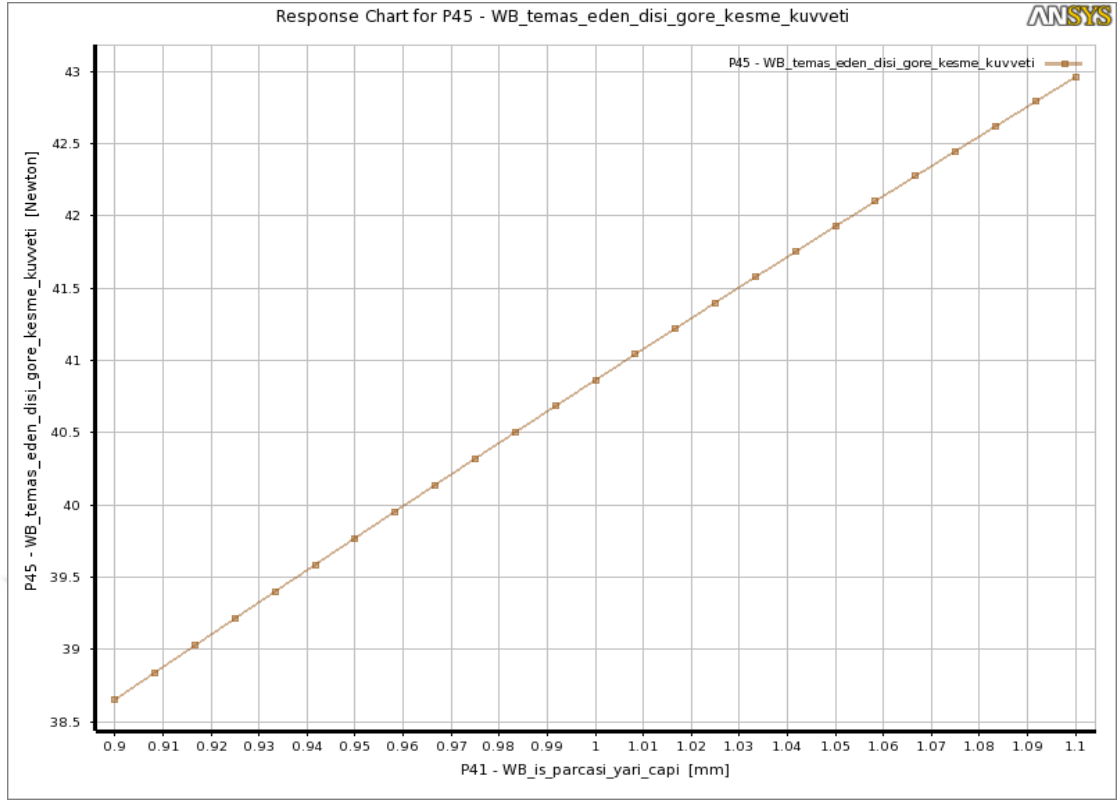
Şekil 5.13. Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (3. Analiz )



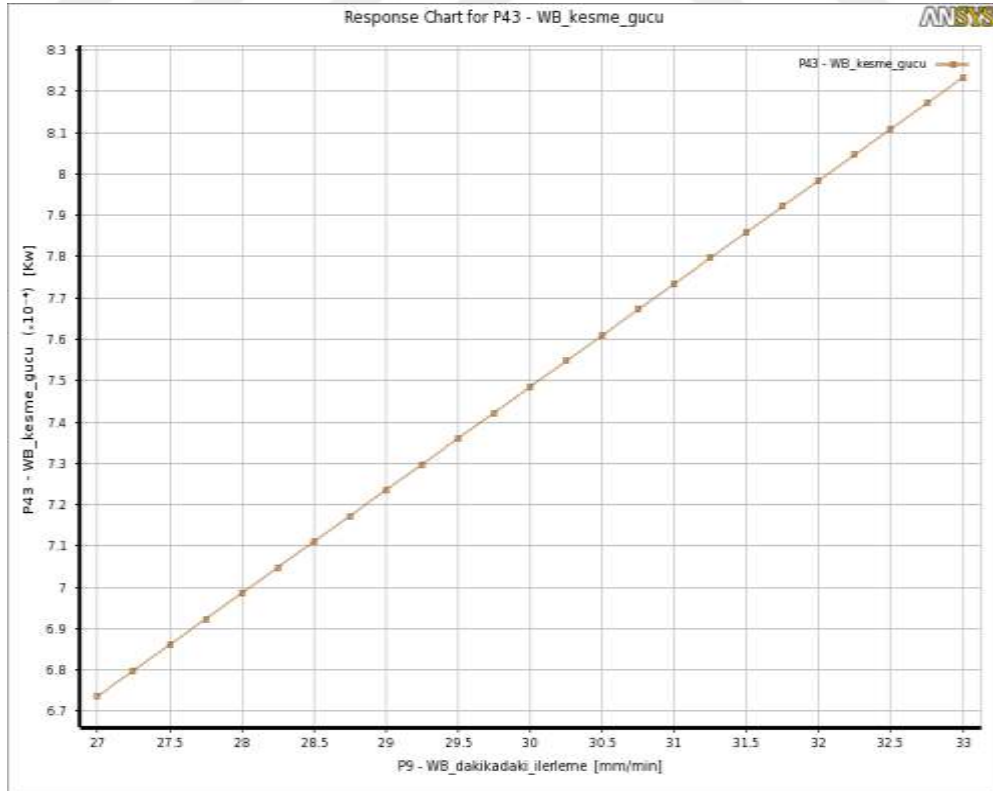
Şekil 5.14. İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (3. Analiz )



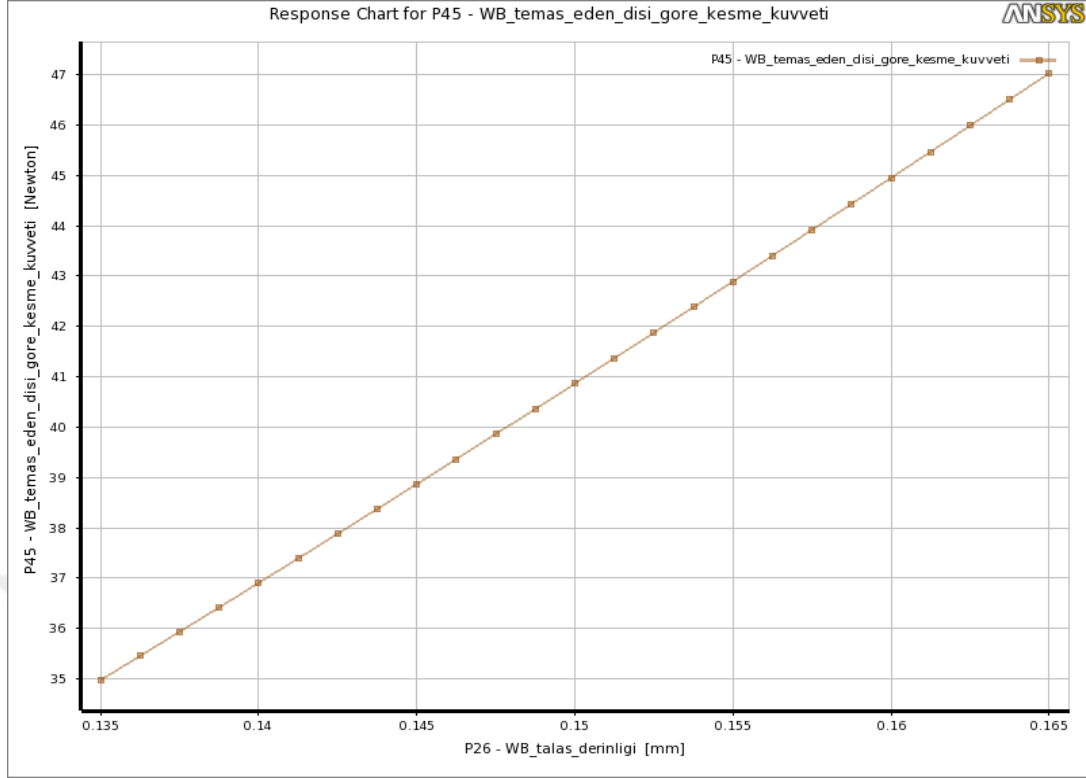
Şekil 5.15. Dakikadaki ilerleme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (3. Analiz )



Şekil 5.16. İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (3. Analiz )



Şekil 5.17. Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (3. Analiz )



**Şekil 5.18.** Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (3. Analiz )

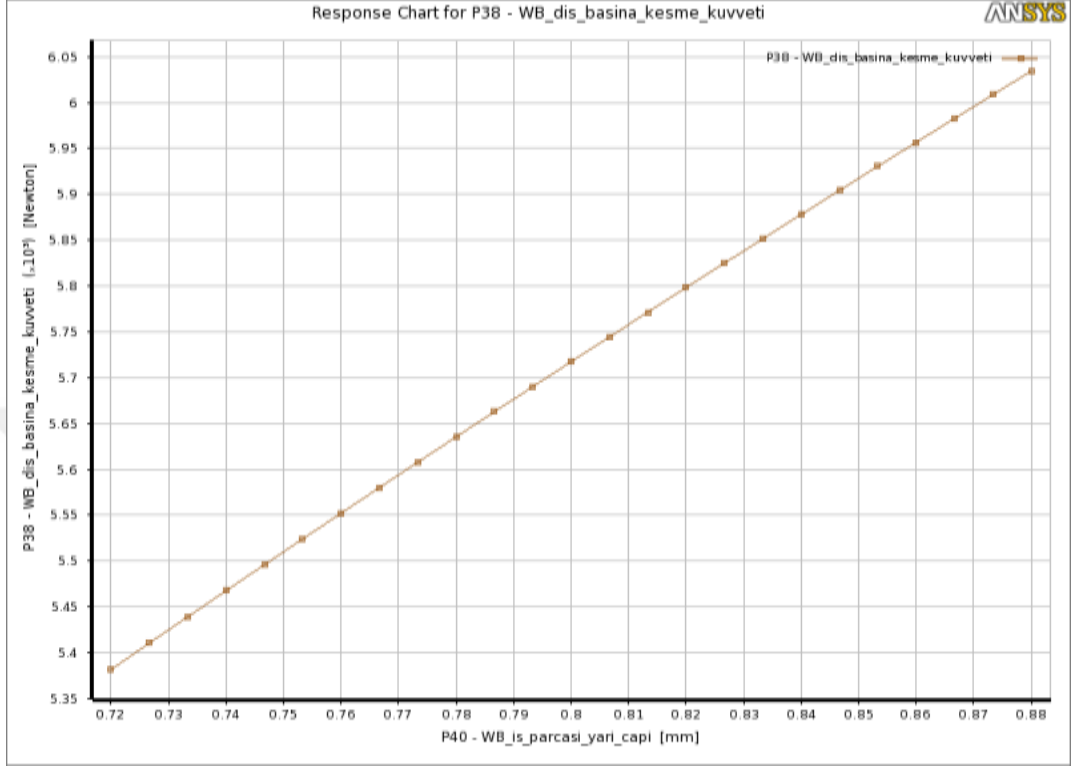
4. Analizde iş parçası yarıçapı azaltılarak kesme kuvveti ve gücü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tablo 1' de 4. Analizde kullanılan parametre değerleri görülmektedir. Şekil 5.19 ve Şekil 5.22 incelendiğinde, iş parçası yarıçapının azalması ile kesme kuvveti ve bağlı olarak kesme gücünün azaldığı görülmektedir.

Referans analizde iş parçası yarıçapı 1mm iken temas eden dişe göre kesme kuvveti 112,59 N dur. 4. Analizde iş parçası yarıçapı 0,8mm ye düşürülmüştür. 4. Analiz sonucunda temas eden dişe göre kesme kuvveti 99,34 N olmuştur. Bu durumda temas eden dişe göre kesme kuvveti azalmıştır.

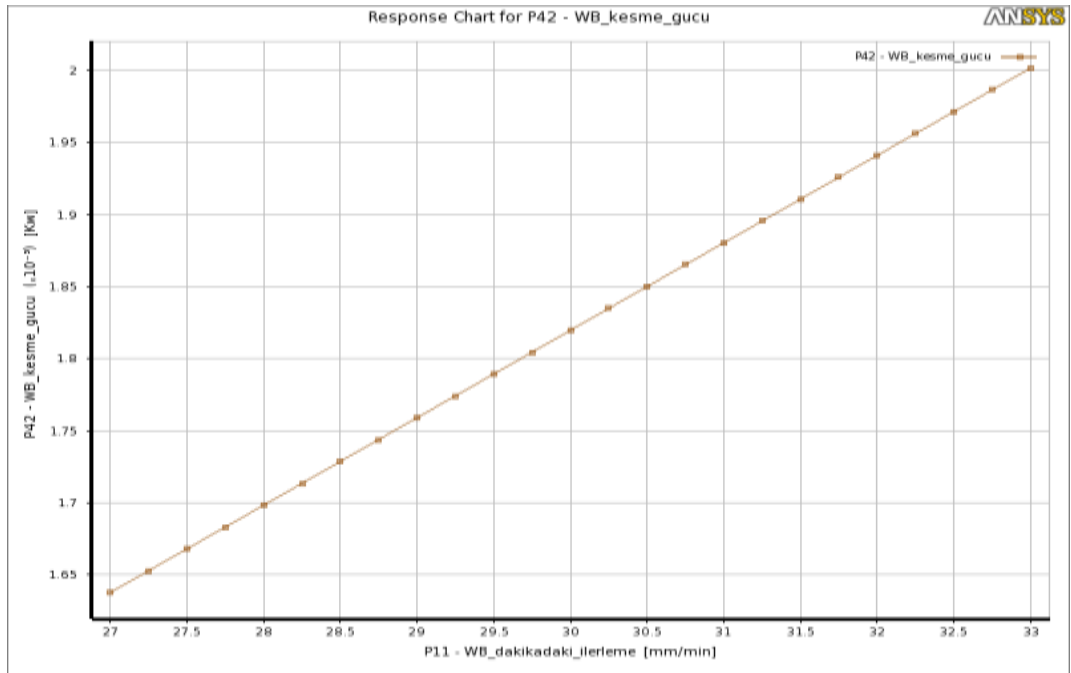
Korkut İ., ve Dönertaş M., çalışmasında elde ettiği sonuç ve grafiklere göre; AISI 1040 malzemelerde kesme hızının azalması ile kesme kuvvetinin azaldığını görmüştür. Kesme hızının azalması ile kesme kuvvetlerinin de azalmasının nedeni olarak, düşük kesme hızlarındaki yüksek BUE oluşma eğilimimizi göstermiştir[36]. Kesme hızının iş parçası yarıçapı ile doğru orantılı olduğu göz önünde bulundurulduğunda sonucumuzu doğrulamaktadır[38].

Çetin Özey' in teğetsel tornalama frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin etkilerini incelediği çalışmasında elde ettiği teorik sonuçlar incelenmiştir. Sayısal bir

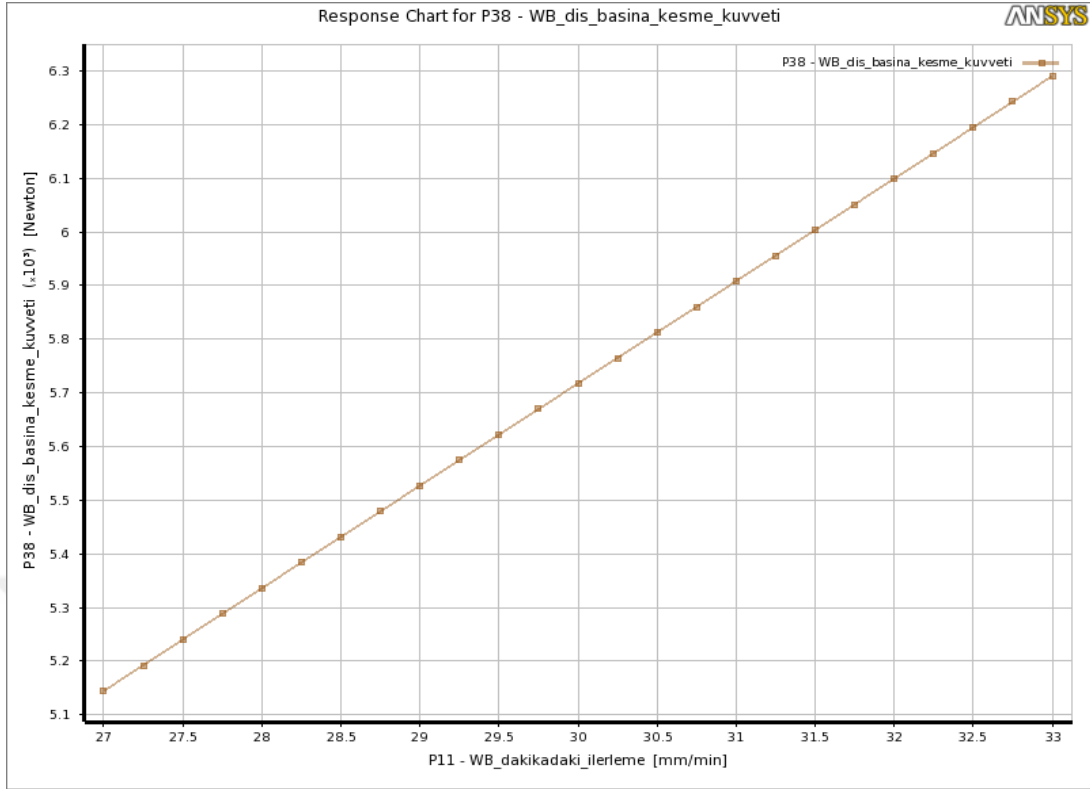
örnek ile desteklenen bu çalışmadaki veriler; 2,3 ve 4 numaralı analiz sonuçlarını doğrulamaktadır.



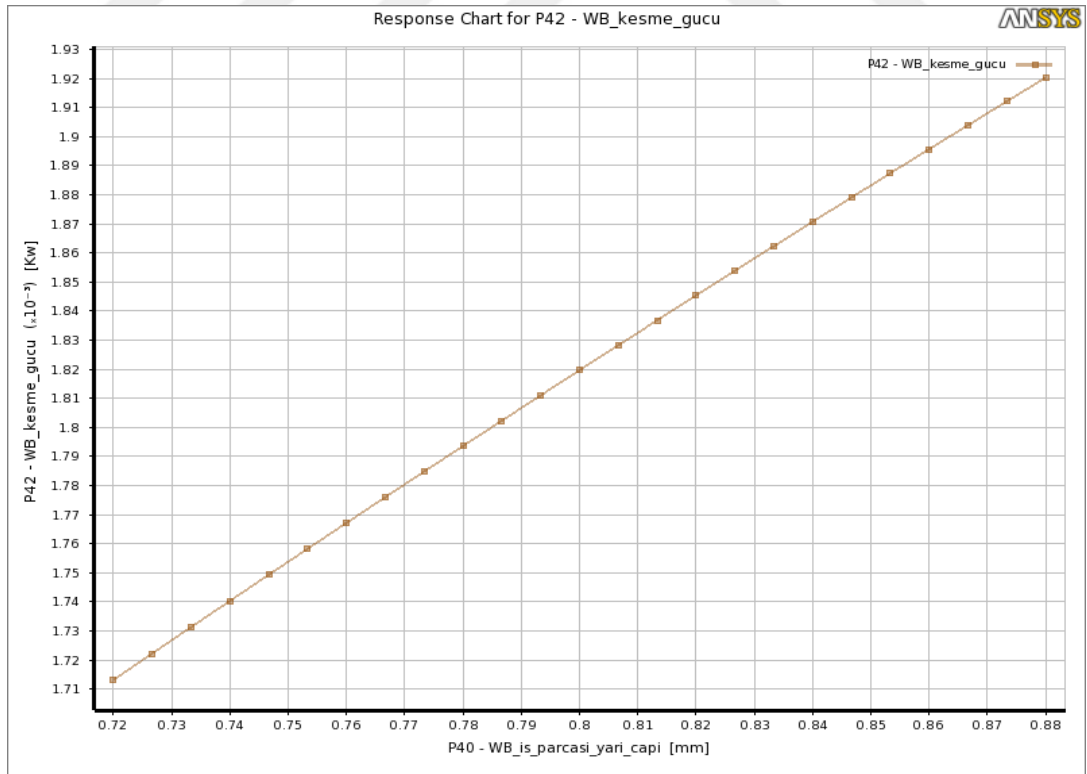
Şekil 5.19. İş parçası yarıçapının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (4. Analiz )



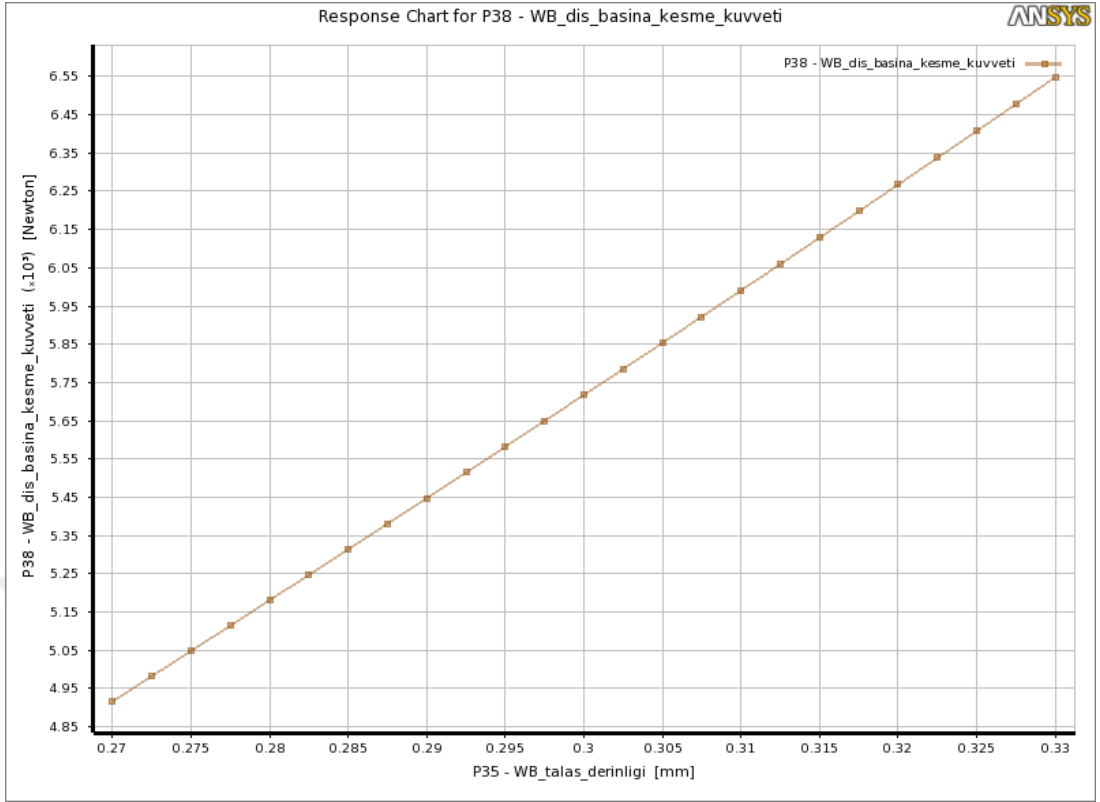
Şekil 5.20. Dakikadaki ilerleme hızının kesme gücü üzerindeki etkisi (4. Analiz )



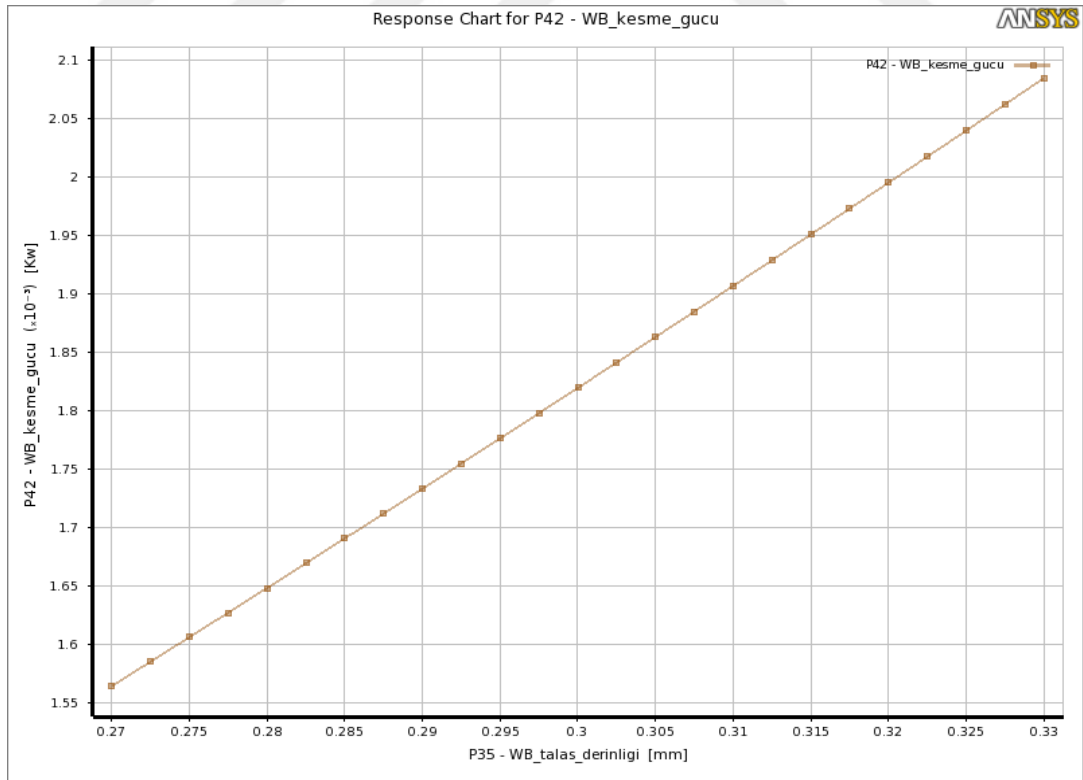
Şekil 5.21. Dakikadaki ilerleme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisi (4. Analiz )



Şekil 5.22. İş parçası yarıçapının kesme gücü üzerindeki etkisi (4. Analiz )



Şekil 5.23. Talaş derinliğinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (4. Analiz )



Şekil 5.24. Talaş derinliğinin kesme gücü üzerindeki etkisi (4. Analiz )

## **6. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER**

### **6.1. Genel Sonuçlar**

Yapılan tez çalışmasında silindirik kesitli bir iş parçasının parmak freze ile işlenmesinin de kesme parametrelerinin kesme gücü ve kesme kuvveti üzerindeki etkileri ANSYS programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Bu tez çalışmasında;

- Parmak freze çakısı ile frezeleme işlemi için ANSYS programında gerekli formülizasyon alt yapısı oluşturularak kesme kuvveti ve gücü hesaplandı.
- Dakikadaki ilerleme hızının artması ile kesme kuvveti ve gücünün arttığı, talaş derinliğinin ve iş parçası yarıçapının azalması ile kesme kuvveti ve gücünün azaldığı analiz sonuçlarında belirlenmiştir.
- ANSYS programında oluşturulan bu analiz ile imalat öncesi frezelenecek parça için gerekli olan kesme kuvveti ve gücünün hesaplanmasına imkân sunmaktadır.

### **6.2. Öneriler**

- ANSYS programı kullanılarak Teğetsel tornalama, frezeleme, tornalama-frezeleme yöntemlerinde işleme parametrelerinin titreşim üstündeki etkileri incelenebilir.
- ANSYS programı kullanılarak tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin oluşan kesme kuvvetler üzerindeki etkileri incelenebilir.
- ANSYS programı kullanılarak diğer talaş kaldırma yöntemlerinde oluşan ısı enerjileri hesaplanabilir.

## KAYNAKÇA

- [1] **Engin S., Altıntaş Y.**, Mechanics and dynamics of general milling cutters. Part I: Helical end mills, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2001, 41, 2195-2212.
- [2] **Engin S., Altıntaş Y.**, 2001, Mechanics and dynamics of general milling cutters. Part II: Inserted cutters, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 41, 2213-2231
- [3] **Altıntaş Y., Engin S.**, 2001, Generalized modeling of mechanics and dynamics of milling cutters, Annals of the CIRP, 50, 25-30.
- [4] **Martellotti M. E.**, An analysis of the milling process, Transactions of the ASME, 1941, 63, 677-700.
- [5] **Martellotti M. E.**, An analysis of the milling process. Part II: Down milling, Transactions of the ASME, 1945, 67, 233-251.
- [6] **Sabberwal A. J. P.**, Chip section and cutting force during the milling operation, Annals of the CIRP, 1961, 10, 197-203.
- [7] **Koenigsberger F., Sabberwal A. J. P.**, An investigation into the cutting force pulsations during milling operations, International Journal of Machine Tool Design and Research, 1961, 1, 15-33.
- [8] **Budak E., Altıntaş Y.**, 1994, Peripheral milling conditions for improved dimensional accuracy, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 34, 907-918.
- [9] **Altıntaş Y., Lee P.**, 1996, A general mechanics and dynamics model for helical end mills, Annals of the CIRP, 45, 59-64.
- [10] **Shirase K., Altıntaş Y.**, 1996, Cutting force and dimensional surface error generation in peripheral milling with variable pitch helical end mills, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 36, 567-584.
- [11] **Altıntaş Y., Lee P.**, 1998, Mechanics and dynamics of ball end milling, Transactions of the ASME Journal Manufacturing Science and Engineering, 120, 684-692.
- [12] **Kline W. A., DeVor R. E.**, 1983, The effect of runout on cutting geometry and forces in end milling, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 23, 123-140.

- [13] **Karagüzel U., Uysal E., Budak, E., Bakkal M.**, 2015, ‘Analytical modeling of turnmiling process geometry, kinematics and mechanics.’, International Journal of Mechine Tools and Manufacture, Volume 91, Pages 24-33.
- [14] **San-Juan M., Martín O., Santos F.**, 2010 “Experimental study of friction from cutting forces in orthogonal milling”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50, 591–600.]
- [15] **Comak A., Altintas Y.**, 2017, “Mechanics of turn-milling operations”, International Journal of Machine Tools q& Manufacture, 121, (2017) 2–9.].
- [16] **Nalbant, M., Altın, A., Gökkaya, H.**, 2006, “The effect of cutting speed and cutting tool geometry on machinability properties of nickel-base Inconel 718 super alloys”, Materials and Design, 33:27-35.
- [17] **Alauddin, M., Mazid, M.A., El Baradi, M. A., Hashmi M. S. J.**, 1998, “Cutting forces in the end milling of Inconel 718”, Journal of Materials Proccesing Technology 77: 153–159.
- [18] **Vinod Kumar, Eakambaram A., Arivazhagan A.**, 2014 “FEM Analysis to Optimally Design End Mill Cutters for Milling of Ti-6Al-4V”, Procedia Engineering.
- [19] **Siamak Pedrammehr, Mehran Mahboubkhah, Mohammad Reza Chalak Qazani, Arash Rahmani, Sajjad Pakzad**, 2013 “ Forced Vibration Analysis of Milling Machine’s Hexapod Table under Machining Forces”, Journal of Mechanical Engineering.
- [20] **Girish Chandra Verma, Pulak Mohan Pandey**, 2019 “Machining Forces in Ultrasonic-Vibration Assisted End Milling”, Ultrasonics.
- [21] **Tao Sun, Lu-fang Qin, Yu-can Fu, Jum-ming Hou**, 2019 “Chatter stability of orthogonal turn-milling analyzed by complete discretization method”, Precision Engineering.
- [22] **Tekiner, Z.**, 1995, Bağlama Kalıplarında Bilgisayar Destekli Kuvvet Analizi ve Kalıplama Elemanlarının Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi.
- [23] **Mikell P. Groover**, 2014, Theory of Metal Machining “Fundamentals of Modern Manufacturing” 483-507, Professor of Industrial and Systems Engineering, Lehigh University, New York.

- [24] İstanbul Üniversitesi Öğretim Görevlisi Hüseyin Yıldız imalat işlemleri ders notları
- [25] <http://www.cncelmas.com/Temel-talasli-imalat-yontemleri,DP-10.html>
- [26] **Zeyveli M.**,1997, “Frezeleme Operasyonlarında Optimum İşleme Parametrelerinin Bilgisayarla Seçimi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] **Özdemir, K., Çakır, M.C.**, 2008, “Kesme parametrelerinin başlangıç aşınmasına olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 13, 2.
- [28] **Geofrey, B.**, 1975, Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, McGraw-Hill Company, USA.
- [29] **Şeker, U.**, 1997, Takım Tasarımı Ders Notları, G. Ü. Tek Eğt. Fak. Makine Bölümü, Ankara.
- [30] **Thusty G.**, 2000, Manufacturing process and equipment, Prentice Hall, New Jersey.
- [31] **Kalpakkjian S., Schmid S. R.**, 2006, Manufacturing engineering and technology, Prentice Hall, New York.
- [32] **Groover M. P.**, 2002, Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes and systems, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.
- [33] **Akkurt, M.**, 1992, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [34] **Mendi, F.**, 1996, Takım Tezgâhları Teori ve Hesapları, 72 TDFO Ltd. Şti., Ankara.
- [35] **Özay Ç.**, 2009, Teğetsel Tornalama-Frezeleme Yönteminde İşleme Parametrelerinin Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- [36] **Sağlam H.**, 2001, Frezelemede Kesme Parametreleri ile Kesme Kuvvetlerinin Değişimi ve Bunların Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Selçuk Teknik Online Dergisi.
- [37] **Başak H., Baday Ş.**, 2016, Küreselleştirilmiş Orta Karbonlu Bir Çeliğin İşlenmesinde, Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Resgrasyon Analizi ile Modellenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4), 253-258.

- [38] **Korkut İ., Dönertaş A.**, 2003, Kesme Parametrelerinin Frezelemede Oluşan Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkileri, Politeknik Dergisi, Cilt: 6 Sayı: 1 s. 385-389.



## ÖZGEÇMİŞ

|                                   |                                                                                                                        |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>KADİR DAL</b>                  |                                                                                                                        |
| <b>KİŞİSEL BİLGİLER</b>           |                                                                                                                        |
| <b>ADRES :</b>                    | <i>Fırat Üniversitesi,<br/>23119 – Elazığ</i>                                                                          |
| <b>TELEFON :</b>                  | <i>+90 ( 535 ) 375 27 64</i>                                                                                           |
| <b>EPOSTA :</b>                   | <i>kad23dal@gmail.com</i>                                                                                              |
| <b>DOĞUM YERİ/TARİHİ:</b>         | <i>ELAZIĞ / 31.03.1992</i>                                                                                             |
| <b>MEDENİ HALİ:</b>               | <i>Evli</i>                                                                                                            |
| <b>EĞİTİM BİLGİLERİ</b>           |                                                                                                                        |
| <b>LİSANSÜSTÜ</b>                 |                                                                                                                        |
| <b>LİSANS :</b>                   | <i>2015, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ/TÜRKİYE</i>                     |
| <b>LİSE :</b>                     | <i>2011, Bialystok University of Technology, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bialystok/ POLONYA</i> |
| <b>LİSE :</b>                     | <i>2010, Mehmet Koloğlu Anadolu Lisesi, Elazığ</i>                                                                     |
| <b>İŞ DENEYİMİ</b>                |                                                                                                                        |
| <b>2016 – 20...</b>               | <i>Hidromek A.Ş., Elazığ</i>                                                                                           |
|                                   | <i>Servis Mühendisi</i>                                                                                                |
| <b>2015 – 2016</b>                | <i>Türk Standartları Enstitüsü, İstanbul</i>                                                                           |
|                                   | <i>Muayene Uzmanı</i>                                                                                                  |
| <b>BİLDİĞİ YABANCI DİLLER</b>     |                                                                                                                        |
|                                   | <i>İngilizce (B1)</i>                                                                                                  |
| <b>ARAŞTIRMA DENEYİMİ</b>         |                                                                                                                        |
| <b>Autocad, Solidworks, Ansys</b> |                                                                                                                        |
| <b>İLGİLENDİĞİ DİĞER BİLİMLER</b> |                                                                                                                        |
| <b>Tarih, Müzik, Futbol</b>       |                                                                                                                        |