

**TALAŞLI İMALATTA DİK KESME  
MODELİNİN SONLU ELEMANLAR  
METODU İLE ANALİZİ  
Ecenur ÖZTÜRK**

**TALAŞLI İMALATTA DİK KESME MODELİNİN SONLU  
ELEMENLAR METODUYLA ANALİZİ**

**Ecenur ÖZTÜRK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TALAŞLI İMALATTA DİK KESME MODELİNİN SONLU ELEMANLAR  
METODUYLA ANALİZİ**

**Ecenur ÖZTÜRK**  
0000-0001-8681-8126

Prof. Dr. Yahya IŞIK  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Ecenur ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “TALAŞLI İMALATTA DİK KESME MODELİNİN SONLU ELEMANLAR METODUYLA ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Yahya IŞIK

<b>Başkan</b>	Prof. Dr. Yahya IŞIK 0000-0002-1982-9666 Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye</b>	Prof. Dr. Ali BAYRAM 0000-0001-7311-8358 Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı	İmza
<b>Üye</b>	Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KARAGÖZ 0000-0002-1987-5750 Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**

.././.....

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.../.../.....

**Ecenur ÖZTÜRK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TALAŞLI İMALATTA DİK KESME MODELİNİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE İNCELENMESİ

**Ecenur ÖZTÜRK**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Yahya IŞIK

Bu çalışmada dik kesme işlemi incelenmiştir. Dik kesme işleminde kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemek ve deneylerden elde edilen kesme kuvveti değerlerinin kesici takımında oluşturduğu Von-mises gerilmeleri ile toplam deformasyonu sonlu elemanlar metoduyla analiz etmek amaçlanmıştır. TiALN kaplamalı sert karbür kesici takım kullanılarak AISI 140 malzemeden üretilmiş iş parçasını, kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleri sırasında talaş derinliği 1 mm'de sabit tutularak; kesme hızı 100 mm/dk, 150 mm/dk, 200 mm/dk ve ilerleme miktarı 0,1 mm/dev., 0,2 mm/dev., 0,3 mm/dev., 0,4 mm/dev., ve 0,5 mm/dev., olacak şekilde değiştirilmiştir. Kesme anında yatay ekseninde oluşan kesme kuvvetini ölçmek için Kistler 9333-A kuvvet sensörü kullanılmıştır. Ölçülen kuvvet değerleri Kistler-5877B0 yükselteç, veri okuma kartı ve VNC programı kullanılarak bilgisayara Newton olarak aktarılmıştır. Elde edilen kesme kuvveti değerlerinin kesme parametrelerine bağlı olarak değişimi grafikler yardımıyla analiz edilmiştir. Deneylerden elde edilen kesme kuvveti değerleri ANSYS yazılımı ile takımın üzerine etki ettirilerek, takım ucunda oluşan toplam deformasyon ve Von-mises gerilmeleri analiz edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda kesme kuvvetinin toplam deformasyon ve Von-mises gerilmesine etkisi açıklanmıştır. ilave olarak kesme hızı ve ilerleme miktarının da kesici takımında oluşan toplam deformasyon ve Von-mises gerilmesine etkileri analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** dik kesme, kesme kuvveti, kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı, ANSYS, sonlu elemanlar metodu

**2021, vii + 58 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **ANALYSIS OF THE ORTHOGONAL CUTTING MODEL BY FINITE ELEMENTS METHOD IN MACHINING**

**Ecenur ÖZTÜRK**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Yahya IŞIK

The aim of this study is to give theoretical information about the orthogonal cutting method; to experimentally examine the effect of cutting parameters such as cutting velocity, feed rate and depth of cut on the cutting force and to analyze the Von-mises stresses and the total deformation created in the cutting tool by the finite element method by the cutting force values obtained from the experiments. Chip removal was carried out from the workpiece made of AISI 1040 material using a TiALN coated hard carbide cutting tool. During the cutting tests, the depth of cut was kept constant at 1 mm; cutting velocity was changed as 100 mm/min, 150 mm/min, 200 mm/min and feed rate as 0,1 mm/tooth, 0,2 mm/tooth, 0,3 mm/tooth, 0,4 mm/tooth and 0,5 mm/tooth. Kistler 9333-A force sensor was used to measure the cutting force on the horizontal axis during cutting. The measured force values were transferred to the computer in Newton by using the Kistler-5877B0 amplifier, data reading card and VNC program. The variation of the obtained cutting force values depending on the cutting parameters is explained with the help of graphics. The cutting force values obtained from the experiments were effected on the tool with the help of the ANSYS package program, and the total deformation and Von-mises stresses at the tip of the tool were analyzed. As a result of the obtained data, the effect of cutting force on total deformation and Von-mises stress is explained. In addition, how the cutting velocity and feed rate affect the total deformation and Von-mises stress in the cutting tool is interpreted.

**Key words:** orthogonal cutting, cutting force, cutting speed, depth of cut, feed rate, ANSYS, finite elements method

**2021, vii + 58 pages.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana destek olan ve yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Yahya Işık'a teşekkürlerimi sunarım.

ORAU Orhan Otomotiv Kont. Sis. San. A.Ş' de yaptığım deneylerde kullandığım kesici takımların temin edilmesi, proses atölyesi CNC tezgahında kesme işleminin gerçekleştirilmesi, kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için deney düzeneğinin kurulması için her türlü imkanı sağlayan ve bana destek olan başta yöneticim Proses ve Üretim Direktörü Ümit Karakuş'a ve proses bölümündeki değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatımda olduğu gibi yüksek lisansım sırasında da benden maddi manevi desteğini esirgemeyen, beni daima motive ederek yanımda olan aileme ve kıymetli dostum Şebnem Işık'a teşekkürlerimi sunarım.

Ecenur ÖZTÜRK

.../.../.....



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Talaşlı İmalat Tanımı ve Takım Tezgâhları.....	11
2.2. Talaşlı İmalat Mekanîği ve Talaş Oluşumu.....	12
2.2.1. Eğik Kesme.....	15
2.2.2. Dik (Ortogonal) Kesme.....	15
2.3. Frezeleme.....	17
2.3.1. Frezelemede Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler.....	21
2.3.2. Kesme Kuvvetleri ve Frezeleme İşleminde Oluşan Kuvvetler.....	23
2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü.....	25
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	27
3.1. Deney Numunesi ve Kesici Takımlar.....	27
3.2. Takım Tezgâhı.....	29
3.3. Kuvvet Ölçüm Sistemi.....	30
3.4. Deney Düzenegi.....	32
3.5. Deney Değişkenleri.....	34
3.6. Deney Şartları.....	35
3.7. Sonlu Elemanlar Metodu.....	35
4.BULGULAR (BULGULAR ve TARTIŞMA).....	40
5.SONUÇ.....	54
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	588

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$F_c$	Esas kesme kuvveti
$F_f$	İlerleme kuvveti
$F_r$	Radyal kuvvet
$t$	Talaş kalınlığı
$V$	Kesme hızı
$V_c$	Talaş hızı
$w$	Talaş uzunluğu
$D$	Kesici takımın çapı
$N$	Devir sayısı
$F$	İlerleme hızı
$F_z$	Kesici ağız başına ilerleme miktarı
$Z_e$	Takımın toplam kesici ağız sayısı
$F_{z_z}$	Bir kesici uca karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti
$F_{r_z}$	Bir kesici uca karşılık gelen ortalama radyal kuvvet
$F_{c_z}$	Bir kesici uca karşılık gelen ortalama kesme kuvveti
$F_{f_z}$	Bir kesici uca karşılık gelen ortalama ilerleme kuvveti
$R_a$	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri
$F_x$	Kesici ağız ile iş parçası arasındaki yatay kesme kuvveti
$N$	Newton
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
FEM	Finite Element Method
CNC	Computer Numerical Control
CVD	Kimyasal buhar çökeltme
VNC	Virtual Network Computing

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Talaş oluşumu .....	13
Şekil 2.2. Kesici takım ile malzeme üzerinden talaş oluşumu .....	13
Şekil 2.3. Eğik kesme modeli.....	15
Şekil 2.4. Dik kesme modeli .....	16
Şekil 2.5. Dik kesme işleminde oluşan deformasyon bölgeleri.....	17
Şekil 2.6. Çevresel frezeleme ile talaş kaldırma işlemi.....	18
Şekil 2.7. Simetrik aynı ve zıt yönlü frezeleme.....	19
Şekil 2.8. Asimetrik aynı ve zıt yönlü frezeleme.....	20
Şekil 3.1. Deneyleerde kullanılan iş parçası ölçüleri.....	27
Şekil 3.2. TiAlNi kapalımalılı sert karbür kesici uca ait ölçüler.....	28
Şekil 3.3. Deneyleerde kullanılan CNC tezgahı.....	29
Şekil 3.4. Kesme kuvvetlerinin ölçümü için yaygın olarak kullanılan sensör.....	30
Şekil 3.5. Yapılan deneyleerde kullanılan kuvvet ölçüm sensörü.....	30
Şekil 3.6. Kesici takımın kesme yönü ve oluşan kesme kuvvetleri.....	31
Şekil 3.7. Kuvvet sensörünün iş parçasına bağlanma şekli.....	32
Şekil 3.8. Kuvvet sensöründen kesme anında veri almak için kurulan deney düzeneği...	32
Şekil 3.9. Kesme işleminin gerçekleşeceği deney düzeneği.....	33
Şekil 3.10. Kesici takıma atılan mesh.....	38
Şekil 3.11. Kesici takıma uygulanan kesme kuvveti.....	39
Şekil 4.1. Birinci deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	41
Şekil 4.2. İkinci deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	41
Şekil 4.3. Üçüncü deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	41
Şekil 4.4. Dördüncü deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.5. Beşinci deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.6. Altıncı deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.7. Yedinci deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.8. Sekizinci deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.9. Dokuzuncu deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.10. Onuncu deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.11. On birinci deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.12. On ikinci deneye ait kuvvet-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.13. Analizlerden elde edilen Von-mises gerilmesinin dağılımı.....	45
Şekil 4.14. Analizlerden elde edilen toplam deformasyon dağılımı.....	47
Şekil 4.15. Deneyleer sonucunda elde edilen kesme kuvveti-kesme hızı grafiği.....	49
Şekil 4.16. Deneyleer sonucunda elde edilen kesme kuvveti-ilerleme grafiği .....	49
Şekil 4.17. Analizlerden elde edilen kesme kuvveti-Von mises gerilme grafiği.....	51
Şekil 4.18. Analizlerden elde edilen kesme kuvveti-toplam deformasyon grafiği.....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 3.1. AISI 1040 malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 3.2. AISI 1040 malzemenin kimyasal bileşimi.....	26
Çizelge 3.3. TiAlNi kaplamalı sert karbür kesici ucun mekanik ve fiziksel özellikleri....	26
Çizelge 3.4. Kullanılan CNC tezgahının özellikleri.....	27
Çizelge 3.5. Deneylede kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri.....	29
Çizelge 3.6. Deneylede kullanılan kesme parametresi değerleri.....	32
Çizelge 4.1. Deneylede elde edilen kesme kuvveti değerleri.....	33
Çizelge 4.2. Analizlerden elde edilen Von-mises gerilmesinin değerleri.....	46
Çizelge 4.3. Analizlerden elde edilen kesici uçta oluşan toplam deformasyon değerleri	47

## 1. GİRİŞ

İmalatın amacı, hammaddenin belirli teknolojik proseslerden geçerek ürüne dönüşümünü sağlamaktır. Bu prosesler en yalın şekilde imal yöntemleri adını alır. Talaşsız ve talaşlı imalat yöntemleri olarak temelde iki kategoriye ayrılmaktadır. Bu üretim yöntemleri arasındaki ana fark; talaşlı imalat yöntemlerinde (tornalama, frezeleme ) hammaddenin nihai ürüne dönüşümü sırasında hammadde üzerinden talaş adı verilen fazla malzemenin kaldırılmasıdır. Talaşsız imalat yönteminde (kaynak, döküm, dövme) ise hammadde üzerinden malzeme kaldırmadan daha farklı yöntemlerle nihai ürüne dönüşümünün sağlanabilmesidir.

Geçmişten günümüze kadar gelişerek ve teknolojik gelişmeler paralelinde değişerek gelen talaşlı imalat teknolojisi kesici takımın belli bir hareketle iş parçası yüzeyinden plastik deformasyonla malzeme kaldırılması sonucunda kalan parçanın istenen geometriye sahip olmasına dayanan bir üretim yöntemidir. İşlem karmaşık geometriler, boyutsal doğruluk ve hassas toleranslarla parçaların oluşturulmasına olanak tanıdığı için makine sektöründe kullanılan parça kalıplarından evlerde kullanılan su damacalarının kalıplarının işlenmesine kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. İşlemin kalitesi ve elde edilen işlenmiş ürün, takım geometrisi, malzeme ve kesme koşulları gibi parametrelere bağlıdır.

Metal kesme işlemlerini incelemek için yapılan deneysel araştırmalar pahalı ve zaman alıcı olduğu için bu parametrelerin kesme işlemi ile olan ilişkileri genellikle sadece teorik bilgiye dayanmaktadır. Bu nedenle, işlem parametrelerini belirlemek ve her işlem için en iyi araçları seçmek ve kesme işlemini analiz etmek için alternatif yöntemlere ihtiyaç vardır. Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak bilgisayar simülasyonu bu yöntemlerden birisidir.

Bu çalışmada, metal endüstrisinde yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat ve dik kesme modelinin genel mekaniğinin açıklanması, farklı kesme parametreleri ile kesme işlemi yapıldığında takıma etkiyen kesme kuvvetine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Konu ile ilgili gerekli literatür taraması yapılarak önceki çalışmalar incelenecek ve deney

düzeneği hazırlanarak deneyler gerçekleştirilecektir. Deneylerden elde edilen veriler literatürde yer alan önceki çalışmalarla karşılaştırılarak sonuca ulaşılacaktır.

Aynı zamanda kesme deneyleri sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin takımın üzerinde nasıl bir etki oluşturduğunu tahmin etmek amacıyla deney düzeneği simüle edilecek; hem Von-mises gerilme analizi yapılacak hem de kesici takım üzerinde oluşan toplam deformasyon incelenecektir. Analizler ANSYS paket programının Static Structural modülünde gerçekleştirilecektir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kurt ve Şeker'in (2005) yaptıkları çalışmada, Al 2007 alüminyum alaşımı malzeme kullanılmıştır. Beş farklı talaş derinliği değeri kullanarak, her birinin dik kesme işleminde kesici takım üzerinde oluşan gerilmeler üzerindeki etkileri ANSYS paket programını kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sırasında kullanılan kesme kuvveti değerleri ve takım-talaş temas uzunlukları literatürden elde edilen bilgiler ışığında seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 0,1 mm ve 0,2 mm talaş derinliği değerlerinde en büyük asal gerilme dağılımının kesici takımın yuvarlatılmış kenarında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca talaş kaldırma kuvvetinin artmasının etkisiyle, talaş derinliğinin 0,3 mm, 0,4 mm ve 0,5 mm olduğu durumlarda en büyük asal gerilme dağılımının takım-talaş temas uzunluğuna kadar etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Von Mises gerilme dağılımlarında ise talaş derinliğinin artmasıyla birlikte dağılımların yardımcı yan yüzeyde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir ve bununla birlikte kesici takımda yanak aşınması olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Analizler sonucunda 0,5 mm talaş derinliğinde ve yuvarlatılmış kenarın orta noktasında en büyük asal gerilme ve von mises gerilme değerlerinin olduğu görülmüştür (Kurt ve Şeker 2005).

Kurt'un (2006) yaptığı çalışmada, talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerini belirlemek için deneyler yapılmış, kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerindeki etkileri sonlu elemanlar metoduna dayalı çözüm yapan ANSYS paket programı kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen veriler ışığında esas kesme kuvveti ve gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesi araştırılmıştır. Çalışma sırasında farklı kesme parametre değerleri ve farklı geometrilerde takımlar kullanılmış; iş parçası malzemesi olarak ise Inconel 718 ile AISI 1117 seçilmiştir. Talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için 9257B (Kistler) dinamometre kullanılmıştır ve kesici takım üzerine gelen gerilmeler ANSYS programında analiz edilmiştir. Çalışmalar sırasında, kesme kuvvetlerinin ve kesme parametrelerinin kesici takımın aşınmalarına etkisi ile ilgili gerçekçi bilgiler verdiğini görülmüştür. Çalışmaların sonucunda; kullanılan kesme hızı değerleri için kesme derinliği ve ilerleme miktarı değerleri arttırıldığında kesme kuvvetlerinin de arttığı ve dolayısıyla tüm gerilme bileşenlerinde de arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca talaş kaldırma işlemi boyunca kesici takım üzerinde oluşan

gerilmelerin en yüksek ve en düşük olduğu yerler detaylı olarak incelenmiştir (Kurt 2006).

Çapkın'ın (2007) yaptığı çalışmada, kesme işlemi sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiş ve elde edilen analiz sonuçları yapılan deneylerin sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Modelde kesici takım malzemesi olarak X8CrNi12 ve iş parçası olarak C45 girilmiştir. Deneylerde ise aynı malzemeler kullanılarak vargel tezgâhında farklı kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme altında kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde talaş açısı sabit tutularak kesme anında kesici uca gelen kuvvetler kesici takım üzerine bağlanan strain-gage'ler ile ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda; kesme hızının artmasıyla ters orantılı olarak kesme kuvvetlerinin azaldığı ve ilerleme miktarı değerinin artmasıyla ise kesme kuvvetlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak ilerleme miktarı değerlerinin kesme kuvvetleri üzerinde daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Analiz sonucunda ulaşılan veriler ile yapılan deneylerin sonuçları doğrulanmıştır (Çapkın 2007).

Aksu'nun (2008) yaptığı çalışmada, eğik ve dik metal işleme yöntemleri birbirinden farklı malzemeler kullanılarak farklı kesme koşullarında deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Buna ek olarak kenar kesme kuvvetlerinin kesme işlemi üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Eğik metal kesme işleminde oluşan kesme kuvvetlerini tahmin etmek için, dik metal kesmede eğik dönüşüm metodunun kullanılacağı öngörülmüştür. Çalışmada köşe yuvarlama değerlerinin etkileri de göz önünde bulundurularak dik metal kesme işlemi için kenar kesme kuvvetlerinin modellenmesi yapılmıştır. AISI 4340 ve Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V olmak üzere iki farklı malzeme kullanılmıştır. Araştırmalar sonucunda; eğik metal kesme işleminde kesme hızı, ilerleme miktarı ve takım geometrisinin talaş akış açısı, kesme açısı, sürtünme açısı başta olmak üzere önemli kesme parametreleri üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerle analiz sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Aksu 2008).

Çimenli'nin (2008) yaptığı çalışmada, talaş kaldırma ile şekillendirme işlemi sırasında kesici takım ile iş parçası arasındaki parametrelerin hem simülasyon ile hem de deneysel olarak incelemesi yapılmıştır. Sonlu elemanlar ile analiz yapılırken endüstride yaygın olarak kullanılan dik kesme modeli kullanılmıştır. Çalışmalar için kesici takım malzemesi



TNMA 160408, takım tutucu olarak MTJNR ve iş parçası malzemesi olarak da AISI1035 seçilmiştir. Yapılan deneylerde torna tezgâhında talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takıma gelen kesme kuvvetleri takım üzerine bağlanan strain gagelerle ölçülmüş, ölçüm sonuçları bir veri çevirici aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Çalışmalar sırasında farklı değerlerde kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği kullanılarak bunların kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerle simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ilerleme değerinin ve talaş derinliğinin artışı ile kesme kuvveti değerlerinin de arttığı, fakat bu iki değer sabit tutulduğunda kesme hızı azaltılsa bile kesme kuvvetinin birbirine yakın değerlerde olduğu sonucu elde edilmiştir. Buna ek olarak yapılan analizlerde talaş derinliği artırılıp, kesme hızı ve ilerleme miktarı belli değerlerde sabit tutulursa kesici takımın ucundaki aşınma miktarının azaldığı sonucu elde edilmiştir (Çimenli 2008).

Apaydın'ın (2009) yaptığı çalışmada, tornalama ile talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin kesme parametrelerine bağlı olarak nasıl değiştiği deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Çalışmada iş parçası malzemesi olarak AISI 4340 seçilmiştir. Kesme deneyleri hem kaplamalı hem de kaplamasız kesici takımlar kullanılarak dik kesme şartlarında yapılmıştır. Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvveti değerleri 9257B tipi Kistler dinamometre aracılığı ile ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda ilerleme değerinin artması ile kesme kuvvetinin de arttığı ve buna bağlı olarak kesici takıma etkiyen basıncın da arttığı; kesme hızı artıkça ise kesme kuvvetlerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca deneylerde ilerleme değerinin artması ile sıcaklık değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Kullanılan her bir kesici takım için kesme işlemi sırasında oluşan kesme sıcaklığı ve takım yüzeyindeki gerilme değerleri de sonlu eleman yöntemi ile elde edilmiştir. Çalışmalar sonucunda; kesme işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklığın kesici takımın daha çabuk deforme olmasına sebep olduğu fakat kaplamalı takım kullanıldığında ise aşınma direnci noktasında yüksek dayanım sağlaması sebebi ile yüksek sıcaklık farkını domine ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Apaydın 2009).

Kılıçaslan'ın (2009) yaptığı çalışmada, dik kesme modelinin sonlu elemanlarla analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen analiz sonuçları literatürde daha önce elde edilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. İlk olarak iş parçası sürtünme modellerinin, talaş geometrisi, kesme kuvvetleri ve sıcaklık gibi kesme değişkenlerine olan etkileri incelenmiştir. Daha sonra mekanik ve ısıl analizler yapılmıştır. Talaş açısı ve takım ucu radyüsünün, sıcaklık, birim şekil değiştirme ve gerilme dağılımlarına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada iş parçası malzemesi olarak AISI 1045 seçilmiştir. Sürekli talaş oluşumu ile düzlemsel şekil değiştirmeli dik metal kesme işleminin termo-mekanik bir modeli oluşturulmuştur. Bu kesme modeli talaş formu, kesme ve itme kuvvetleri, talaş kalınlığı, sıcaklık, gerilme dağılımlarının değerleri tahmin edilmek amacıyla geliştirilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda; Oxley malzeme modelinin analizde kullanılan kesme koşulları için daha doğru sonuçlar verebildiği gözlemlenmiştir. Ancak dezavantaj olarak kesme açısının ve itme kuvvetinin hesaplanmasındaki hataların Johnson-Cook ve Zerilli-Armstrong malzeme modellerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, sürtünme katsayıları, sürtünme modelleri, kesme kuvvetleri, baskı kuvvetleri, talaş formu ve sıcaklık üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kılıçaslan 2009).

Domaç'ın (2011) yaptığı çalışmada, kesici takım ucunun yarıçapı ve geometrisinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Deneyler, CNC dik işleme tezgâhında yapılmıştır. Tezgâha bağlanan bir dinamometre ve dinamometreye bağlanan iş parçası işe kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Dinamometre yardımıyla kesme işlemi anındaki kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme işlemi deneyleri için iş parçası malzemesi AISI 1040 imalat çeliği olarak seçilmiştir. Kesme deneylerinde farklı uç geometrilerine sahip üç farklı (SPMT 1204 AEN; SPMW 1204 AEN-A57; SPMT 120408-D51) kesici takım kullanılmıştır. Kesme derinliği değerleri 0,5 mm ve 1 mm, ilerleme miktarı değerleri 0,1; 0,15 ve 0,2 mm/diş olarak belirlenmiştir. Seçilen farklı kesici takımlar ile belirtilen kesme parametreleri kullanılarak, beş farklı kesme hızında (120; 140; 200; 240; 280 m/dk) frezeleme işlemi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; pahlı olan kesici ucun kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca pahlı ve radyüslü olan kesici uçta en yüksek kesme kuvvetleri ortaya çıktığı, pahlı olan kesici ucun yüzey

pürüzlülüğü açısından da en iyi sonuçları verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşın en kötü yüzey pürüzlülüğü değerinin ise radyüslü ve pahlı olan kesici takım ucunda elde edildiği görülmüştür (Domaç 2011).

Şahin'in (2012) yaptığı çalışmada, freze tezgahında AISI H13 (DIN 1.2344) çeliğinin tarama başlığı ile kesme işlenmi sırasında iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan ısı, kesme parametrelerine bağlı olarak meydana gelen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Açığa çıkan sıcaklığı ölçmek için hem ısı çiftler kullanılmış hem de kızılötesi tekniği kullanılmıştır. Talaşların sürekli olması ve yüksek hızda atılması sebebi ile kızılötesi tekniği ile çok verimli bir sonuç alınamamıştır. Deneylede kesme parametresi olarak üç farklı kesme hızı değeri (132,220 ve 308 m/dk), dört farklı ilerleme hızı değeri (0,125; 0,2; 0,315; 0,5 mm/diş) ve üç farklı kesme derinliği değeri (1,78; 2,5; 3,5 mm) seçilmiştir. Toplamda otuz altı adet kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9257 B tipi dinamometre kullanılmıştır. Ayrıca işlenen yüzeyin pürüzlülüğü de ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda; ilerleme hızı değerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerlerinin değişiminde en etkili parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sıcaklık değerleri ise ilerleme hızının artması ile ters orantılı olarak azalmıştır (Şahin 2012).

Çakmak'ın (2013) yaptığı çalışmada, frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini incelenmiştir. Yapılan deneylerde iş parçası malzemesi olarak AISI 1040 imalat çeliği seçilmiştir. Deneylede kesme işlemi anındaki kesme kuvveti değerleri bir dinamometre yardımı ile ölçülmüştür. Farklı talaş kırıcı geometresine sahip kesici takımlar ve farklı kesme parametreleri kullanılarak frezeleme işlemi yapılmıştır. Her talaş kırıcı geometrisi için parçalar ayrı ayrı işlenmiştir. Talaş kırıcı geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; yüzey pürüzlülüğü değerinin bütün kesiciler için ilerleme miktarının artması ile arttığı, kesme hızı değerinin artması ile azaldığı kanısına varılmıştır. Buna ek olarak genelde ilerleme değerinin artması ile doğru orantılı olarak kesme kuvvetlerinin de arttığı, kesme hızlarının artması ile ise kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Aydın'ın (2014) yaptığı çalışmada, parmak freze kesici takımı ile talaş kaldırmada kesme kuvvetleri ve boyut hatalarının kesme kuvveti dağılımı yöntemi ile analizi incelenmiştir. Çalışmada, frezeleme proseslerinde kesici takım sehiminin sebep olduğu boyutsal yüzey hatalarını analiz etmek ve kesme kuvvetlerinin modellenmesi için gerekli kesme katsayılarını belirlemek için etkin bir simülasyon yöntemi sunulmuştur. Simülasyon yöntemi uygulanırken helisel kesici ağızlı parmak frezenin kesen kısmı deneysel kalibrasyon testleri sırasında disk elemanlara ayrılmıştır. Önerilen metodun geçerliliğini teyit etmek amacı ile çeşitli kesme koşulları altında gerçekleştirilen bir dizi sayısal çalışma ve frezeleme deneyleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sayısal ve deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Sunulan yöntemin frezeleme işlemlerinde frezeleme kuvvetlerini ve boyutsal yüzey hatalarını doğru tahmin edebilme yeteneğine sahip olduğu gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; bu yöntemin parmak frezeleme proseslerinde uygun kesme koşullarını belirlemek amacı ile etkin olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Aydın 2014).

Dişbudak'ın (2015) yaptığı çalışmada, torna ve freze tezgahlarında kesme işlemlerinde kullanılan kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediği incelenmiştir. Çalışmada iş parçası malzemesi olarak 7075 Al alaşımı, kesici takım olarak kaplamasız karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Yapılan deneylerde birbirinden farklı kesme parametreleri kullanılmıştır. Değişen kesme parametrelerinin yüzey kalitesine olan etkisini incelemek için Anova varyans analizi yöntemi kullanılmıştır. Yapılan deneyler ve analizlerden elde edilen veriler kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda artan ilerleme miktarı ile tüm kesme şartlarında yüzey pürüzlülüğünün de arttığı, talaş derinliğinin artması ile de yüzey pürüzlülüğünün arttığı fakat buna karşılık kesme hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı sonuçları elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkiler kıyaslandığında en çok ilerleme miktarının etkisinin olduğu daha sonra sırası ile; kesme hızı ve talaş derinliğinin etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Deneysel çalışmada ek olarak gözlemlenen sonuçlardan birisi ise ilerleme miktarındaki artışın kesici takımın alüminyumun yapışmasına neden olduğudur (Dişbudak 2015).

Karayel'in (2015) çalışmasında, Ç 4140 malzemedan yapılan iş parçasının kesme açısından işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. İş parçasının işlenebilirlik özellikleri

kesme sırasında takım aşınması ve ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmiştir. Çalışma için yapılan deneylerde CNC torna tezgahı ve TNMG profiline sahip iki farklı kesici takım kullanılmıştır. Takımlardan biri NC3020 (P20) kalitesinde, CVD yöntemiyle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiCN ile kaplanmış takım, diğeri ise; NC3030 (P30) kalitesinde, CVD yöntemiyle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC ve TiCN ile kaplanmış takımdır. Deneylerde herhangi bir soğutma sıvısı kullanılmamış, deneyler kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü deneylerinde kullanılan kesme parametreleri için; beş farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme miktarı ve sabit talaş derinliği değerleri seçilmiştir. Takım ömrünü belirlemek için yapılan deneylerinde; beş farklı kesme hızı, sabit ilerleme miktarı ve sabit talaş derinliği kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; kesme hızı ile takım ömrü arasında üçüncü dereceden azalan bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kesme hızı değerlerindeki değişimin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin az olduğu; ilerleme miktarı ve kesici takım kalitesinin ise yüzey pürüzlülüğü için daha etkili olduğu, ilerleme miktarının artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerinin de doğru orantılı olarak arttığı sonuçları elde edilmiştir (Karayel 2015).

Jadhav ve Ramgir'in (2015) yaptığı çalışmada, dik metal kesme işlemi sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu çalışmanın odak noktasını oluşturan konu; dik metal kesmede takım ve iş parçası arasındaki sürtünmenin ve eğim açısının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisidir. Analizler sırasında talaş kaldırma işlemi başlatmak için Johnson-Cook modelini kullanılmıştır. Simülasyon yaparken takım eğim açısı için 20° ve 30° arasında değişen dört farklı değer; sürtünme katsayısı için ise 0,05 mm ile 0,15 mm arasında değişen üç farklı değer kullanılmıştır. Kesici takım malzemesi olarak AISI 4340 çelik, iş parçası malzemesi olarak ise AISI 1045 çelik kullanılmıştır. Analiz aşamasında AISI 4340 çeliğin işlenmesi ABAQUS/Explicit 6.11. kullanılarak sonlu elemanlar metoduyla başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemi kuru sürtünme şartlarına uygun olarak simüle edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; sabit takım ucundaki yer değiştirme değeri için takım ile iş parçası arasındaki sürtünme katsayısının artmasına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin de artacağı kanısına varılmıştır (Jadhav ve Ramgir 2015).

Gökçe H., Çiftçi İ., ve Gökçe H.'nin (2019) yaptığı çalışmada, frezeleme işlemindeki kesme kuvvetleri hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Yapılan deneylerde ticari saflıktaki molibden sementit karbür kesici takım kullanılmıştır. İşleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için, üç eksendeki kuvvet bileşenini ( $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_r$ ) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, Kistler 9272-A tipi piezoelektrik esaslı bir dinamometre kullanılmıştır. Analizlerde ise en büyük değere sahip olan ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) dikkate alınmıştır. Çalışmada kesici takımlara ait model bilgileri üç boyutlu tarayıcı yardımıyla elde edilmiştir. Çalışmalar sonucunda; kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin de arttığı ve aynı şekilde ilerleme miktarı ile kesme kuvvetleri arasında da doğru orantı olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmalardan elde edilen kesme kuvvetleri ile sonlu elemanlar analiz sonuçlarının %90 oranlarında tutarlı olduğu (analiz sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri nispeten daha düşük) sonucuna ulaşılmış ve aradaki bu farklılığa neden olarak takım aşınması ve sıcaklığın etkisi gösterilmiştir (Gökçe H., Çiftçi İ. Ve Gökçe H. 2019).

Bagheri'nin (2019) yaptığı çalışmada, CNC dik işleme tezgahında kesme parametrelerinin titreşim, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerde üç farklı ilerleme miktarı, üç farklı talaş derinliği ve iki farklı kesme hızı parametreleri kullanılmıştır İş parçası malzemesi olarak ise 1,2367 (AISI H11) sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmaya göre, titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu görülmüştür. Titreşim miktarı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artan ilerleme oranı ve talaş derinliğine bağlı olarak arttığı ancak artan kesme hızına bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kesme hızının kesme kuvveti üzerindeki etkisinin çok düşük olduğu, talaş derinliği ve ilerleme miktarının ise kesme kuvvetleri üzerinde oldukça etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerinin ise yaklaşık %73 oranında ilerleme miktarından etkilenirken kesme kuvvetleri ve talaş derinliğinden çok daha az etkilendiği görülmüştür (Bagheri 2019).

## 2.1. Talaşlı İmalat Tanımı ve Takım Tezgâhları

İmalatın amacı, en temelde hammadde halinde bulunan herhangi bir malzemeyi, belirli bir forma getirerek nihai ürün elde etmektir. İmalat, hem insan veya hayvan gücü kullanılarak hem de teknoloji kullanılarak makineler yardımıyla yapılabilir. Üretim yapılırken yüksek oranda teknoloji ve makinelerin kullanıldığı sisteme sanayi denilir (Akkurt 2000).

İmalatın hedefi nihai ürüne ulaşmaktır ve ürün; üretim prosesleri ve üretime yardımcı araçlar yardımıyla elde edilebilir. Üretime yardımcı araçların en önemlilerinden birisi de takım tezgâhlarıdır. En çok kullanılan takım tezgâhları metalik malzeme işlenen tezgâhlarıdır. İmalat; şekil verilecek olan hammadde, kullanılan imalat yöntemi, kullanılan kesici takım ve işleme tezgâhı olmak üzere toplamda üç etkenin yardımı ile gerçekleşir. Hammaddeyi son şekline getirmek için uygulanan fiziksel olaya imalat yöntemi; imal işlemi gerçekleştiren elemanlara takım; imalat yöntemini uygulayabilmek için malzemeye ve takıma gereken hareketleri sağlayan makinelere ise tezgah adı verilmektedir (Akkurt 2000).

İmalat yöntemleri, en temelde mekanik ve fiziksel-kimyasal olarak iki gruba ayrılabilir. Mekanik imalat yöntemleri fiziksel-kimyasal imalat yöntemlerine göre daha yaygın olarak kullanılır. Mekanik yöntemler talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere ikiye ayrılır. Talaşsız imalat yöntemleri işlenen malzeme üzerinden parça kaldırmadan yapılan şekil verme yöntemidir. Bu gruba döküm, dövme, kaynak, presleme, haddeleme, çekme, bükme, lehim, yapıştırma ve perçinleme örnek olarak verilebilir. (Akkurt 2000).

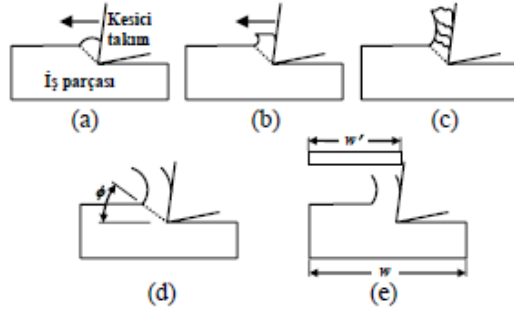
Talaşlı imalat; istenilen şekil ve boyutlarda nihai ürünü elde edebilmek için kesici takımla iş parçasını termal ve mekanik kuvvetlere maruz bırakarak iş parçası yüzeyinden malzeme uzaklaştırılması esasına dayanan bir üretim yöntemidir. Talaşlı imalat birçok avantajından dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılan bir şekil verme yöntemidir. Bu avantajlardan bazıları; işlenebilen malzeme çeşitliliği, farklı boy ve şekillerde parça üretimine elverişli olması, hassas tolerans aralıklarında çalışılabilmesi ve işlem sonunda

iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilmesidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat yöntemleri; frezeleme, tornalama, delme, taşlama, planyalama ve vargellemedir.

## 2.2. Talaşlı İmalat Mekanîği ve Talaş Oluşumu

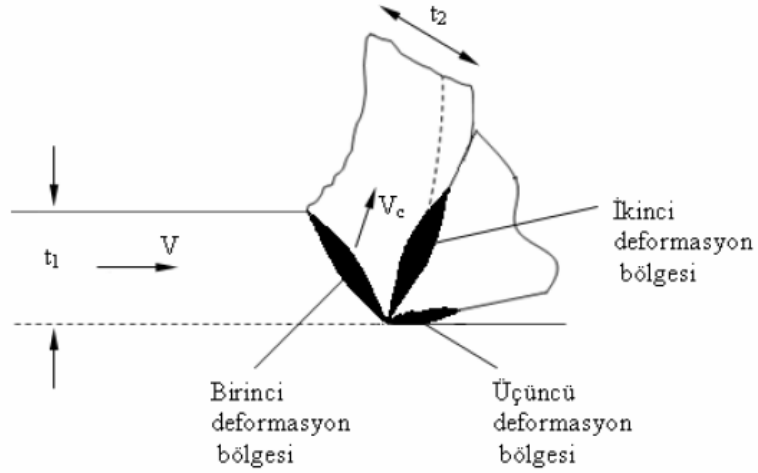
Talaşlı imalat işleminde, kesme işlemini gerçekleştirecek takım belirli bir kesme hızı ile iş parçasına temas ederek iş parçasını mekanik ve termal kuvvetlere maruz bırakır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kesici takım iş parçasına temas ettiğinde önce geçici şekil değiştirme (elastik şekil değiştirme) gerçekleşir. Şekil 2.2’den de görüldüğü gibi henüz deformasyona uğramamış talaş derinliği ( $t_1$ )  $t_2$  şeklini alır. Kesici kenara yaklaştıkça talaş kaldırılacak iş parçası üzerindeki gerilmelerde de artış görülür. Kesme işleminin devam etmesi ile birlikte iş parçası üzerinde meydana gelen gerilmeler malzeme akma sınırına yaklaşır ve bir noktada bu sınırı geçer. Malzeme akma sınırını geçtiğinde plastik deformasyon bölgesine geçmiş olur. Bu sırada, kesme işlemi için harcanan enerjinin büyük bir kısmı birinci deformasyon bölgesinden geçerken ısı enerjisine dönüşür. Kesme işlemi devam etmesi ile plastik şekil değiştirmenin devam etmesi sırasında işlenen parçanın malzemesinde yüksek dislokasyon birikmesi oluşur. Bunun sonucunda iş parçasında deformasyon sertleşmesi oluşur. Deformasyon sertleşmesi bir doyum noktasına ulaştığında iş parçası kaymaya zorlanır ve deformasyona uğramış bölge kesici takımın hareketi ile iş parçası yüzeyinden koparılarak talaşlar şeklinde ayrılır. Talaş yüzeyinde oluşan ikinci deformasyon bölgesi genellikle ihmal edilir. Şekil 2.2’ de verilen  $V$  kesme hızını,  $V_c$  ise talaşın hızını ifade etmektedir. Takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmeden dolayı genellikle kesme hızı ve talaş hızı birbirine eşit değildir. Sürtünme katsayısı ve takım-talaş temas boyu gibi etkenler  $V$ ’nin  $V_c$ ’den daha büyük olmasına neden olur (Apaydın 2009).





Şekil 2.1. Talaş oluşumu (Apaydın 2009)

- Takımın iş parçasına temas ederek, malzemeyi ezmesi
- Kesme işleminin başlangıcı,
- Talaşın akması,
- Talaşın iş parçası yüzeyinden ayrılması,
- Talaşın uzunluğu parça uzunluğundan daha kısadır. ( $w' < w$ )



Şekil 2.2. Kesici takım ile malzeme üzerinden talaş oluşumu (Apaydın 2009)

Kesme işleminin sonucunda talaş oluşabilmesi için bazı kesme şartlarının sağlanması gerekir. Bu kesme şartları;

- Kesme işlemini gerçekleştirecek kesici takımın iş parçası üzerinden malzeme kaldıracabilmesi için kesme işlemine uygun bir uç geometrisine sahip olması gerekir.

- Seçilen kesici takım malzemesinin üzerinden talaş kaldırılacak iş parçası malzemesinden daha sert ve aşınmaya karşı dayanıklı olması gerekir.
- Kesici takım malzemesinin, iş parçası malzemesinin kesmeye karşı gösterdiği direnci yenip kesme işlemi gerçekleştirebilmesi için takım ile iş parçası arasında kesme işlemine uygun bir kesme hızı olması gerekir (Apaydın 2009).

Takım aşınması mümkün olduğu kadar minimumda tutulurken kesme için gerekli işleme zamanını da minimize etmek talaş kaldırma üzerine yapılan çalışmaların temel amacıdır. Bu nedenle iş parçası ve kesici takım arasındaki deformasyon parametreleri takım ömrü açısından oldukça önemlidir. Bu deformasyon parametreleri;

- İşlenen iş parçasının malzemesi,
- Kesme için kullanılan kesici ucun malzemesi,
- Kullanılan kesme yöntemi,
- Kullanılan kesme parametreleridir (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, soğutma sıvısı kullanımı vs.) (Çapkın 2007).

Talaş kaldırma işlemi ile elde edilecek ürün için istenen yüzey kalitesinin elde edilmesi, takım ömrü ve ürünün imalat süresi açısından en etkili kesme parametreleri; ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliği sayılabilir. Kesme hızının artması ile iş parçasının şekil değiştirme hızı ve kesme sıcaklığı da artar. Buna bağlı olarak sıcaklığının artması ile kesme işlemi kolaylaşacağı için kesme kuvvetleri düşer. Kesme hızındaki artış belli bir değere kadar olmalıdır, kesme hızı iş parçası yüzeyinde olması gerekenden yüksek olursa kesici takım ucunun daha çabuk aşınmasına, titreşime sebep olur. Kesme hızı değerinin olması gerekenden düşük olması ise talaş yığılmasına, kalitesiz yüzeye ve kesici takım ucu üzerinde çatlaklara neden olur (Çapkın 2007).

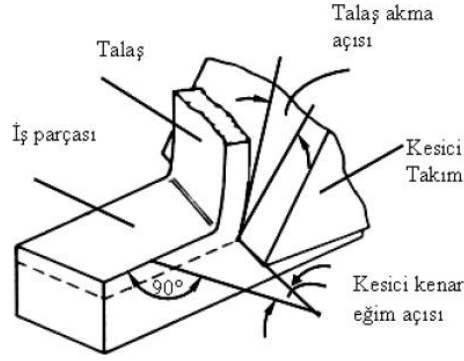
Takım ve iş parçası arasında iki tür kesme işlemi vardır;

- Eğik kesme
- Dik (ortogonal) kesme

### 2.2.1. Eğik Kesme

Şekil 3'te gösterildiği gibi kesici uca ait kesme kenarının iş parçasından belli bir açı ile talaş kaldırması işlemi eğik kesme olarak tanımlanmaktadır.

Eğik kesme Şekil 2.3'te görüldüğü gibi takımın kesme işlemini gerçekleştirdiği kenarının iş parçasına dik olmadığı kesme yöntemidir. Kesme işlemi esnasında talaşın akış şekli kesici kenar ile iş parçası arasındaki açıya bağlıdır. Teorik hesaplamalar yapılırken şekil değiştirmemiş talaş kalınlığı ve genişliği kullanılır. Gerçekte iş parçası yüzeyinden kaldırılan talaş ile teorik olarak kaldırılması gereken talaş boyutları aynı değildir. Gerçekte parçanın yüzeyinden kaldırılan talaş diğerine göre daha kısa ve kalındır.



Şekil 2.3. Eğik kesme modeli (Karayel 2015)

### 2.2.2. Dik (Ortogonal) Kesme

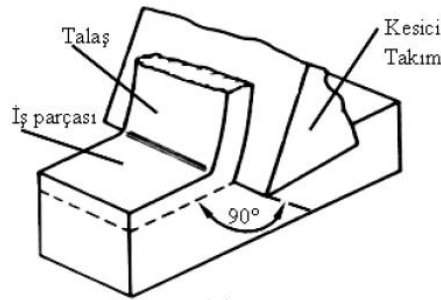
Dik kesme, kesici takımın kesme kenarıyla yüzeyinden talaş kaldırılacak parças arasındaki açının  $90^\circ$  olduğu kesme yöntemine verilen addır. Dik kesme işleminde kesici takım ucunun mükemmel sivrilikte olduğu, kesici takımın boşluk yüzeyi ile işlenen yüzey arasında sürtünmenin olmadığı ve talaş kaldırma işlemi anında kaymanın tek düzlemde gerçekleştiği kabul edilir.

Talaş kaldırarak şekil verme işleminde kesme kuvvetlerinin incelenmesine ait ilk çalışmalar Merchant tarafından 1940 senesinde yapılmıştır. Merchant fiziksel açıdan parça yüzeyinden talaşın kaldırılmasını incelemiş ve talaş oluşumunun meydana gelişini

açıklamaya çalışmıştır. Çalışmaları sonucunda dik kesme adı verilen bir kesme modeli ortaya atmıştır. Bu kesme modelinde kesici takımın baskısı altında yüzeyinden talaş kaldırılacak malzemenin önce elastik şekil değiştirme (geçici şekil değiştirme) daha sonrasında plastik şekil değiştirmeye (kalıcı şekil değiştirme) uğradığını kabul etmiştir. Buna ek olarak, iş parçası yüzeyinden talaş olarak ayrılan malzeme ile kesici ucun kesme yönü arasında belli bir açı olduğunu varsaymıştır (Dişbudak 2015).

Talaş kaldırma işleminin fiziksel ve teorik olarak analizi daha çok bu model temel alınarak gerçekleştirilir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi kesici takım kama şeklindedir ve kesici takım ağzı kesme hız vektörüne diktir. Kesici takım, talaşın temas ettiği talaş yüzeyi ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük olan serbest yüzey ile sınırlıdır. Kesici takımın ucu bu iki yüzeyin kesişmesi ile oluşur (Karayel 2015).

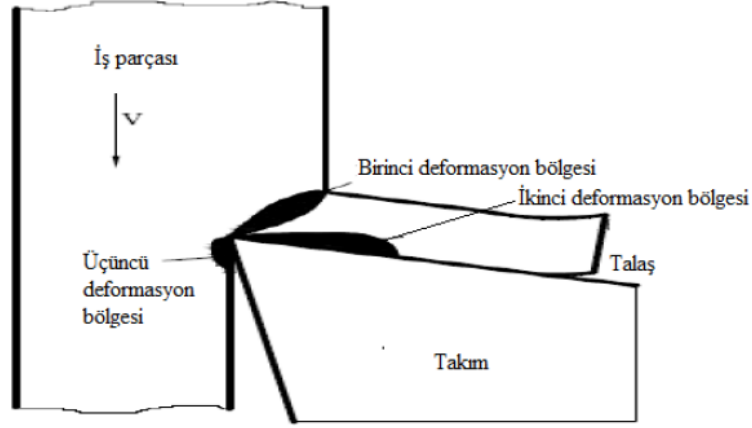
Dik kesmede talaş kaldırma işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylece iş parçası malzemesinin kenarına yayılma olmadan iki boyutlu düz birim şekil değiştirme işlemi meydana gelmiş olur. Dolayısıyla, kesme kuvvetleri sadece esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve ilerleme kuvveti ( $F_f$ ) olarak isimlendirilen hız ve kesilmemiş talaş kalınlığı yönünde etki eder (Karayel 2015).



**Şekil 2.4.** Dik kesme modeli (Karayel 2015)

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi dik kesme işleminde üç farklı deformasyon bölgesi vardır. Takımın kesici ağzı iş parçasının yüzeyine temas eder ve kesme işleminin başlaması ile birlikte iş parçası malzemesi deforme olmaya başlar. Deformasyonun başlamasıyla iş parçası malzemesinde ilk kayma bölgesi (birinci deformasyon bölgesi) oluşur. Kesme işleminin devam etmesi parça üzerindeki gerilmelerin artmasına ve iş parçası

malzemesinin akma sınırının geçilmesine neden olur. Akma sınırının geçildiği anda plastik deformasyon oluşmaya başlar. Kesici takımın talaş yüzeyi boyunca hareket etmesi ile birlikte ikinci deformasyon bölgesi oluşur. Kesici takımın yan yüzeyinde sürtünme vardır ve bu yüzeyde üçüncü deformasyon bölgesi oluşur. İş parçasından kaldırılan talaşın, takım talaş yüzeyinde ilerlediği kayma alanındaki sürtünmeden dolayı oluşan gerilme hemen hemen malzemenin kayma gerilmesine eşittir. Sürekli kayma sürtünmesi ile iş parçası yüzeyinden talaş akışı başlar. Kesici takımın talaş yüzeyine olan teması kaybolur ve talaş kesici takımdan ayrılır. (Karayel 2015).



Şekil 2.5. Dik kesme işleminde oluşan deformasyon bölgeleri (Karayel 2015)

### 2.3. Frezeleme

Frezeleme işleminin mantığı iş parçasının ya da çok ağızlı bir kesici takımın doğrusal yöndeki hareketi ile iş parçası üzerinden talaş adı verilen malzeme kaldırmaktır. Freze tezgâhı ilk olarak 1861 senesinde helisel matkapların helisini işlemek için icat edilmiştir. Teknolojideki ilerleme ile birlikte CNC tezgâhların ilk kullanımı İkinci Dünya Savaşı sonrasında dayanmaktadır. Frezeleme ile talaş kaldırma günümüzde makine, uçak, gıda ve otomotiv endüstrisi gibi birçok alanda kullanılan bir imalat yöntemidir.

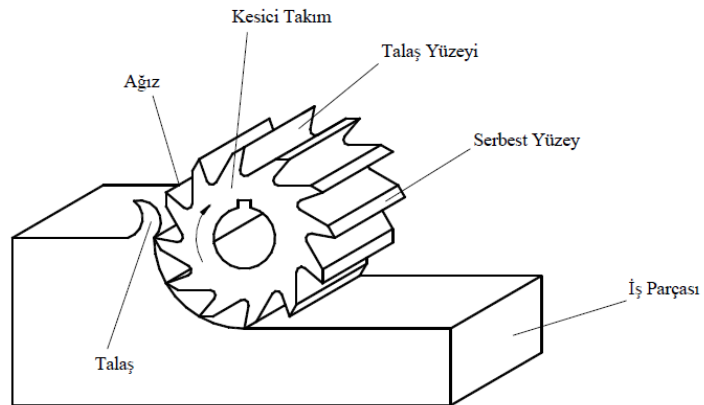
Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde frezeleme ile kesme işlemi yaparken kesici takım iş parçasına doğru her yönde hareket edebilmektedir. Frezeleme ile kesme işlemi daha çok dik köşelerin, keskin yüzeylerin, düzlemsel yüzeylerin ve kanalların

işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Frezeleme işlemindeki temel amaç diğer işleme yöntemlerinde olduğu gibi en düşük maliyet ile yüksek üretim miktarını maksimum takım ömrü ile elde edebilmektir (Domaç 2011).

İş parçası yüzeyinin işlenme şekline göre frezeleme işlemleri, çevresel ve alın frezeleme olarak temelde iki gruba ayrılabilir (Çakmak 2013).

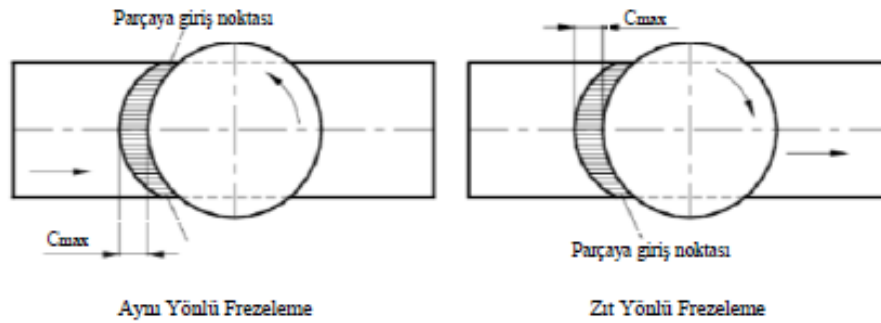
Şekil 2.6’da da görüldüğü gibi çevresel frezeleme işleminde kesme operasyonu kesici takımın çevresindeki kesici kenarlarla gerçekleşir. Bu işlemde kesici takımın dönme eksenini iş parçasının işlenecek yüzeyine paraleldir. Bu yöntem ile iş parçası yüzeyinden malzeme kaldırma işleminin temel mantığı kesici dişlerin belirli bir eksen etrafında dönerken iş parçasının ilerleme hareketi yapmasına dayanmaktadır.

Eğik ve dik kesme işlemlerinde talaş kaldırabilmek için kesici takımlar sırasıyla helisel ve düz ağızlı olmaktadır. Düz kesici ağza sahip olan kesici takımların iş parçasına teması tam sağlanamayıp kısmen temas edebildiği için kesme işlemlerinde genelde helisel ağızlı takımların kullanılmaktadır. Helisel ağızlı frezelerin kullanılması hem kesici takım üzerinde oluşan kesme kuvveti ve torkun daha düşük olmasına sebep olur hem de tırlamalar azaltılarak daha rahat bir kesme işlemi gerçekleştirilmiş olur (Aydın 2014).



**Şekil 2.6.** Çevresel frezeleme ile talaş kaldırma işlemi (Çakmak 2013)

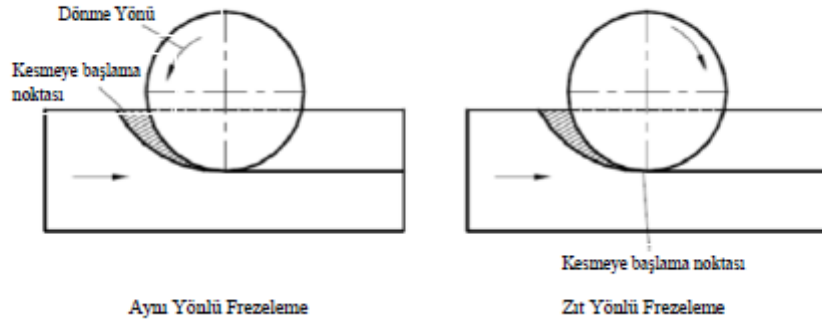
Alın frezeleme işleminde ise kesici takımın dönme eksenini iş parçasının işlenecek yüzüne dikler. Bu yöntemde kesme işlemi kesici takımın yan kesici kenarları ile gerçekleştirilir. Alın frezeleme yöntemi ile kesme işleminde kullanılan kesici takımın geometrisi ve boyutu çok önemli bir parametredir. Eğer talaş kaldırılacak iş parçasının yüzeyi kullanılan kesici takımın boyutundan daha küçük ise frezeleme simetrik ya da asimetric olarak yapılabilir. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi simetrik frezeleme ile talaş kaldırma işleminde iş parçası yüzeyinin eksenini ile kesici takımın eksenini çakışmaktadır. Asimetrik frezeleme ile talaş kaldırma işleminde ise Şekil 8’de görüldüğü gibi kesici takımın eksenini ile iş parçası yüzeyinin eksenini çakışmamaktadır. Kesme işleminde kullanılan kesici takımın çapı iş parçasının işlenen yüzeyinin genişliğine eşit ise yapılan işlem tam kavramalı frezeleme; kesici takımın çapı işlenen yüzeyin genişliğinden büyük ise kısmi kavramalı frezeleme adını alır (Çakmak 2013). Frezeleme ile kesme işlemleri, parçanın ilerleme doğrultusu ve kesici takımın dönme yönüne göre zıt yönlü ve aynı yönlü olmak üzere iki gruba ayrılır.



**Şekil 2.7.** Simetrik aynı ve zıt yönlü frezeleme (Çakmak 2013)

Zıt yönlü frezeleme işleminde kesici takım iş parçası yüzeyinden malzeme kaldırmaya başladığı anda takımın dönme hareketinin yönü iş parçasının ilerleme yönüne zıttır. Bu yöntem ile malzeme kaldırma işleminde talaş kalınlığı, sıfırdan başlar ve maksimum değere doğru artış gösterir. Zıt yönlü frezelemenin avantajı kesme işleminin başladığı anda kesme kuvvetlerinin sıfır olması ve işlemin devamında zamanla artmasıdır. Fakat asimetric frezeleme işlemi yapılırken bu yöntemin en büyük dezavantajı ise takımın kesme anında iş parçasını tezgâh tablasından kaldırmaya çalışmasıdır (Çakmak 2013).

Zıt yönlü frezelemede kesme işlemi yüzey karakteristiklerine bağlı değildir ve iş parçası yüzeyindeki oksit katmanı kesici takım ömrünü olumsuz etkilemez. Aksi durumda, kesici takım kesme işlemine başlamadan önce yüzeye sürtünmesi sonucunda körelir. Yine de kesme işlemi sırasında iş parçası yukarı doğru harekete, kesici takım ise tırlamalara eğilim gösterebilir. Bu sebeple iş parçası tezgâha güvenli ve kesme işlemine uygun bir şekilde bağlanmalıdır (Aydın 2014).



**Şekil 2.8.** Asimetrik aynı ve zıt yönlü frezeleme (Çakmak 2013)

Aynı yönlü frezeleme işleminde, kesme anında iş parçasının ilerleme yönü ile kesici takımın ağzının dönme yönü aynıdır. Bu yöntem ile kesme işleminde talaş kalınlığı, maksimum değerinden sıfıra doğru azalır. Bunun sebebi kesme işleminin yönünün yukarıdan aşağıya doğru olmasıdır. Aynı yönlü frezeleme işleminde kesmeye başlandığı anda kesme kuvvetinin maksimum değerinde takım ömrü açısından dezavantajlı bir durum olmasına rağmen iş parçasını tezgâha bastırması avantajlı bir durumdur. Kesme kuvvetlerinin iş parçasını tezgâha doğru bastırması tezgah ile parça arasındaki boşlukların minimum seviyeye inmesine ve kesme anında bu boşlukların sebep olduğu titreşimlerin azalmasına neden olur. Buna bağlı olarak daha az titreşimden dolayı işlenen parçanın yüzeyi daha kaliteli olur (Çakmak 2013).

Aynı yönlü frezeleme işlemi döküm ve dövme yöntemleriyle üretilmiş yüzeyinde oksit tabakası bulunan parçaların işlenmesi için uygun bir proses değildir. Parçanın yüzeyinde oluşan oksit katmanı sert olduğundan kesme işlemi sırasında takımı aşındırarak ömrünün kılmasına neden olur. Aynı yönlü frezeleme işleminde oluşan talaş uzunluğu zıt yönlü



frezeleme işleminde elde edilen talaş uzunluğuna göre daha kısadır. Bu da takımın kesici ağzının iş parçası yüzeyine daha kısa temas etmesi manasına gelir ve bu durum takım ömrünün artmasına yol açar (Aydın 2014).

### 2.3.1. Frezelemede Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Kesme işleminde kesmenin meydana gelmesi ve talaş oluşabilmesi için kullanılan kesici takım malzemesinin işlenecek iş parçası malzemesinden daha sert olması gerekir. Kesme işlemi sırasında kesici takım vasıtasıyla iş parçası üzerine belirli bir yük biner ve iş parçasının yüzeyinden talaş kaldırılarak parçaya istenen şekil verilir. Takım ömrü ve yüzey kalitesi açısından en yüksek değerler, işlem maliyeti ve işlem süresi açısından en düşük değerler sağlanarak ideal kesme işlemine yaklaşılmaya çalışılır. Kullanılan kesici takımın malzemesi ve kesme anında kullanılan kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı gibi kesme parametreleri talaş oluşumunu doğrudan etkileyen en önemli etkenlerdir.

Frezelemede kesme hızı; kesici takım tarafından iş parçası yüzeyinden malzeme kaldırmak amacı ile bir dakikada metre cinsinden alınan yol olarak ifade edilir. Kesme hızına ait formüller ve birimler aşağıda gösterildiği şekildedir.

$$V = \frac{\pi * D * N}{1000} \quad (2.1)$$

Burada;

V: Kesme Hızı (m/dk)

D: Kesici Takımın Çapı (mm)

N: Devir Sayısı (dev/dk)

Kesme hızı çoğunlukla kesici takıma ait kataloglardan seçilir. Kesici takım kataloglarında kullanılan takımın çapı, malzemesi ve işlenecek iş parçası malzemesine göre önerilen kesme hızı değerleri mevcuttur. Kesme hızı değeri olması gerekenden daha yüksek seçildiğinde kesici takım aşındığı için daha çabuk bozulur ve takım ömrü kısalmır; bu da takım değişikliğini mecburi kılar. Kesme hızı değeri olması gerekenden daha düşük

seçildiğinde ise talaş kaldırma esnasında talaşlar kesici takım ağzına yapışır ve parça üretim hızını düşürür. Bu sebeple talaş kaldırma sırasında kullanılacak kesme hızı çok düşük ya da çok yüksek olmamalı, hem takım ömrü hem de talaş kaldırma miktarı göz önünde bulundurularak optimum kesme hızı değeri seçilmelidir. Kesme hızı belirlenirken aşağıda verilen faktörler dikkate alınmalıdır;

- Kesici takım malzemesi
- Kesici takım çapı
- Talaş derinliği
- Kullanılan tezgâh ve bağlantı elemanlarının rijitliği
- İş parçası malzemesi
- Talaş kaldırma işlemi sonunda istenen yüzey kalitesi

Frezelemede ilerleme hızı; iş parçasının kesme işlemi yapmak için döndürülen kesici takımın altından bir dakikada milimetre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir. İlerleme hızına ait formüller ve birimler aşağıda gösterildiği şekildedir.

$$F = F_z * Z * N \quad (2.2)$$

Burada;

F: İlerleme hızı (mm/dk.)

F<sub>z</sub>: Ağız başına ilerleme miktarı (mm/ağız)

Z: Takımın kesici ağız sayısı (adet)

N: Devir sayısı (dev/dk.)

Frezelemede talaş derinliği; kesici takımın malzeme kaldırırken iş parçasının içine doğru dikey olarak aldığı yol olarak ifade edilir.

Talaş derinliği ve ilerleme hızı kesme hızına oranla takım ömrüne daha az etki etmektedir. Bu sebeple hızlı bir talaş kaldırma işlemi yapılmak isteniyor ise, kesme işlemi sırasında takım ömrü açısından öncelik kesme hızını arttırmak değil, ilerleme hızını ve talaş derinliğini arttırmak olmalıdır (Domaç 2011).

Kesme parametreleri (kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı) belirlenirken aşağıdaki durumlar göz önünde bulundurularak maksimum önceliğe göre seçme işlemi yapılmalıdır.

- En kısa parça üretim süresi,
- En yüksek kesici takım ömrü (en az kesici takım kırılması),
- En iyi ölçüsel hassasiyet,
- En küçük yüzey pürüzlülüğü (en iyi yüzey kalitesi),
- Tek seferde kaldırılacak en fazla talaş miktarı,
- Kesintisiz en güzel kesme işleminin elde edilmesi,
- İşleme sırasında tezgâhta meydana gelebilecek titreşim ve aşınmanın azaltılması,
- Kesme işlemi için minimum birim maliyet (Domaç 2011).

### **2.3.2. Kesme Kuvvetleri ve Frezeleme İşleminde Oluşan Kuvvetler**

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takıma gelen kuvvetler kesici takım aşınması ve talaş kaldırma işleminden sonra iş parçasının yüzey kalitesini etkilemektedir. Kesici takım üzerine gelen kuvvetler takım aşınmasına sebebiyet verip takım ömrünü azalttığı için maliyet artışına sebep olmaktadır. Bu sebeple kesici takım üzerine gelen kuvvetler geçmişten günümüze üzerine birçok çalışma yapılmış önemli bir konudur. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte talaş kaldırma işlemi operatör tecrübesine dayanan klasik yöntemler yerine bilimsel seviyeye çıkartılmıştır. Kesici takım malzemesi olarak sert karbürler kullanılmaya başlandıktan sonra kesme işlemi sırasında daha yüksek kesme hızları ve işlem sonucunda daha kaliteli yüzeyler elde edilmeye başlanmıştır. Kesme işlemi anında kesici takıma gelen kesme kuvvetlerini doğru bir şekilde ölçmek ekonomiklik ve elde edilecek yüzey kalitesi gibi faktörler açısından önem arz eder.

Frezeleme ile talaş kaldırma işlemi iş parçasının doğrusal hareketi ve kesici takımın kendi eksenini etrafında dönme hareketi ile gerçekleşir.

Frezeleme ile kesme işlemlerinde oluşan kuvvetler aşağıda belirtilen faktörlere bağlıdır;

- Frezeleme yöntemi
- Kesici takım malzemesi

- İş parçası malzemesi
- Kesici takım geometrisi
- İş parçası geometrisi
- Kesici kenarlar arasındaki mesafe
- Kesme eğim açısı
- Kesme hızı
- Talaş derinliği
- İlerleme miktarı
- Aşınma (Domaç 2011).

Frezeleme ile kesme işleminde kullanılan kesici takımların kesme kenarlı ağız şeklindedir dolayısı ile iş parçasının yüzeyiyle teması sürekli olmadığında frezeleme ile kesme işlemi aslında kesintili bir kesme işlemidir. Bu nedenle kesme işlemi sonucunda oluşan talaş kesiti ve talaş yükü de sürekli değişir. Kesme kuvvetleri hesaplanırken hesabı kolaylaştırmak amacıyla ortalama talaş kesitine karşı gelen ortalama kesme kuvveti kullanılır. Frezeleme ile kesme işleminde kesici takımın bir kesici ağızı üzerine gelen kuvvetler; bir kesici uca karşılık gelen ortalama talaş kaldırma kuvveti ( $F_{Zz}$ ), ortalama radyal kuvvet ( $F_{rz}$ ), ortalama kesme kuvveti ( $F_{Cz}$ ) ve ortalama ilerleme kuvvetidir ( $F_{fz}$ ).

Eş zamanlı olarak iş parçasından malzeme kaldıran kesici takımın kesici uç sayısı;

$$Z_e = Z_x \phi_s/360 \quad (2.3)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımın kesici ağızlarının hepsine karşılık gelen ortalama kesme kuvvetleri;

$$F_c = Z_e \times F_{Cz} \quad (2.4)$$

$$F_f = Z_e \times F_{fz} \quad (2.5)$$

$$F_r = Z_e \times F_{rz} \quad (2.6)$$

bağıntıları ile bulunur. Burada  $Z_e$ , kesici takımın toplam kesici ağız sayısını ifade eder.

### 2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü; kullanılan kesici takımın cinsi, kesme metodu ve talaş kaldırılan parçanın malzemesine bağlı olarak, kesme işlemi anında kimyasal, fiziksel ve ısı faktörleri ile, kesici takım ve iş parçası arasındaki mekanik hareketlerin de etkisi ile talaş kaldırılmış yüzeylerde nominal yüzey çizgisinin üstünde ve altında düzensiz sapmalar oluşturan izler olarak ifade edilir.

Kesme işlemi sırasında kullanılan metot ne olursa olsun talaş kaldırılan yüzeyde belirli bir yüzey pürüzlülüğü oluşur. Aynı malzemedeki farklı kesme metotları kullanılarak talaş kaldırıldığında işlem sonunda yüzey pürüzlülüğünün sayısal değeri aynı olmasına rağmen korozyon, aşınma ve yorulma dirençleri farklı olabilir. Bu nedenle en iyi kesme işlemi gerçekleştirmek için istenen yüzey pürüzlülüğü değerinin yanında seçilen kesme metodu da önem arz eder.

Talaş kaldırılan parçaların ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ( $R_a$ )  $1,6 \mu\text{m}$ 'yi geçtiğinde yüzey pürüzlülüğünü ölçmek yerine imalatçılar gözle kontrolü tercih eder. Yüzey pürüzlülüğünün önemli olduğu durumlarda kalite kontrol gerekir ve bu kontrol için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları baz alınır. Ülkemizde TS 2040 no'lu yayın ile yüzey kaliteleri belli bir standarda bağlanmıştır. Daha sonraki dönemde ise bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir (Domaç 2011).

Kullanılan kesici takım geometrisi, kullanılan soğutma sıvısı, kullanılan tezgâhın rijitliği, iş parçası malzemesi, kesici takım malzemesi, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği) kesici takımın aşınması kesme işlemi anında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler arasında sayılabilir.

Kesme işlemi sırasında kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi faktörler büyük miktarda kontrol edilebilir. Fakat kesici takım aşınması, talaş yükleri, kesici takım geometrisi gibi faktörler kesme anında kontrol edilemeyen özelliklerdir.

Kullanılan kesici takım tezgâhında kesme işlemi sırasında oluşan titreşimler, iş parçası malzemesinin yapısındaki hasarlar, kesici takımda meydana gelen aşınmalar veya oluşan talaşın düzensizliği gibi faktörler kesme işlemi sırasında talaş kaldırılan yüzeyin bozulmasına neden olur.

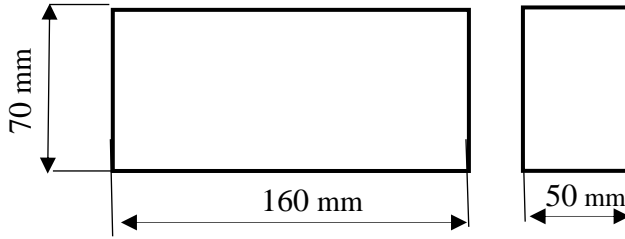
Talaş kaldırma işlemi sonucunda elde edilecek yüzey pürüzlülüğü değerini önceden tahmin edebilmek kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi kontrol edilebilir kesme parametrelerini daha uygun değerler seçerek daha kaliteli bir yüzey elde etmeyi mümkün kılar.

Talaş kaldırma işlemi sırasında kullanılan yüksek kesme hızı değerleri sonucunda daha kaliteli bir yüzey elde edilir fakat yüksek kesme hızı kesici takımın daha çabuk körelmesine sebebiyet verdiği için aynı kalitedeki yüzeyi uzun süre muhafaza edemez.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deney Numunesi ve Kesici Takımlar

Bu çalışmada iş parçası malzemesi olarak makine imalat alanında yaygın olarak kullanılan AISI 1040 imalat çeliği kullanılmıştır. Deney numunesinin ve üzerine bağlanan kuvvet sensörünün bağlanma şeklinin tasarımı yapılırken Catia programı kullanılmıştır. Deney numunesinin talaş kaldırılacak yüzeyine herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Deney numunesinin şekli ve ölçüleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Temin etmesi kolay ve kullanımı yaygın olduğu için iş parçası malzemesi olarak AISI 1040 çeliği seçilmiştir. AISI 1040 çeliğinin mekanik ve fiziksel özellikleri ile kimyasal bileşimi Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan iş parçası ölçüleri

Çizelge 3.1. AISI 1040 malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri

Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Kesme Mukavemeti (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Sertlik (HB)	Yoğunluk (kg/cm <sup>3</sup> )	Poisson Oranı
600	361	410	190-210	190	7845	0,27-0,3

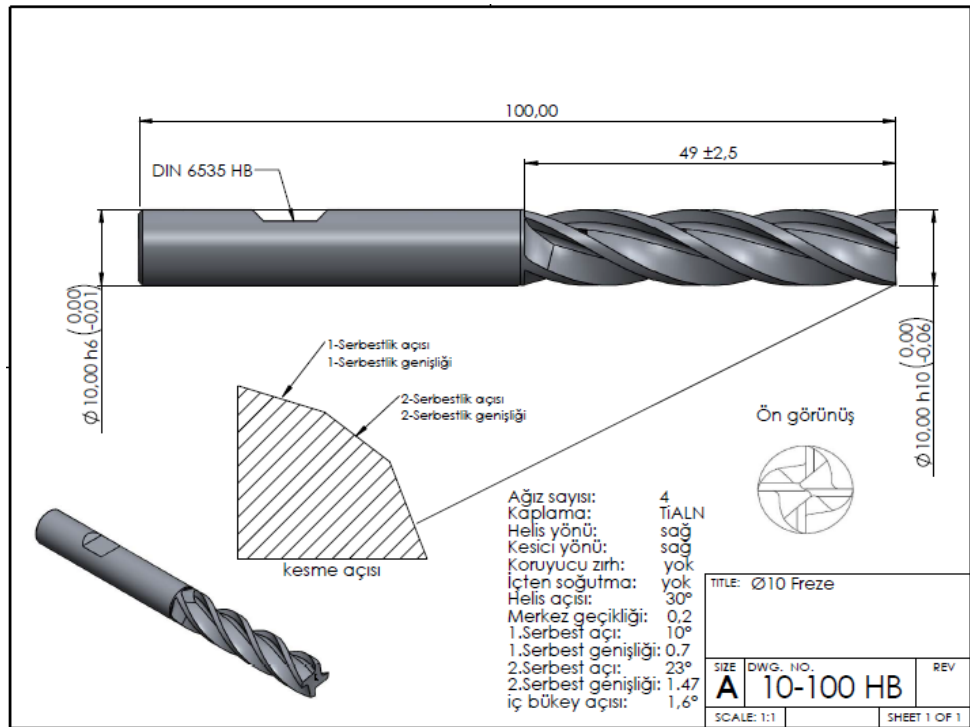
Çizelge 3.2. AISI 1040 malzemenin kimyasal bileşimi

Karbon (C)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
0,38-0,40	0,69	0,017	0,04-0,05

**Çizelge 3.3.** TiAlNi kaplamalı sert karbür kesici ucun mekanik ve fiziksel özellikleri

Elastiklik Modülü (GPa)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Poisson Oranı
172	4,8	0,21

Yapılan çalışmada, sanayide yaygın olarak kullanılan 10 mm çapında TiAlN kaplamalı sert karbür kesici takım kullanılmıştır. Kesici takım malzemesi seçilirken talaş kaldırılacak parçanın malzemesinden daha sert olması göz önünde bulundurulmuştur. Kesici takım olarak parmak freze seçilmiştir. Kullanılan kesici takım tersine mühendislik kullanılarak taratılmış ve tüm ölçüleri tarama işlemi yardımıyla çıkarılmıştır. Kullanılan kesici takımın boyutsal ölçüleri Şekil 3.2’de verilmiştir. Kesici takıma ait mekanik ve fiziksel özellikler Çizelge 3.3’te verilmiştir.



**Şekil 3.2.** TiAlNi kaplamalı sert karbür kesici uca ait ölçüler



### 3.2. Takım Tezgâhı

Deneyley, Orau Orhan Otomotiv Kontrol Sistemleri San. A.Ş. proses atölyesinde bulunan Quaser MV203II/10 model CNC dik işleme tezgahında yapılmıştır. Deneyleylerin gerçekleştirildiği kesme tezgâha ait teknik bilgiler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Kullanılan CNC tezgâhının özellikleri

Model	MV204II/10
X Eksenindeki Hareket	1000 mm
Y Eksenindeki Hareket	550 mm
Z Eksenindeki Hareket	500 mm
Motor Gücü	30 kVA



**Şekil 3.3.** Deneyleylerde kullanılan CNC tezgâhı

### 3.3. Kuvvet Ölçüm Sistemi

Deneylelerden elde edilen kesme kuvveti değerleri, Şekil 3.7’de görölen deney düzeneğine bağlanan kuvvet sensörü ve bu sensörün üzerine bağlanan deney numunesinden talaş kaldırılması esnasında alınmıştır.

Talaş kaldırma anında kesme kuvvetlerinin ölçümü için literatürdeki çalışmalar incelendiğinde genellikle üç eksendeki kuvveti aynı anda ölçebilen Şekil 3.4’te gösterilen Kistler-9272 kuvvet sensörünün kullanıldığı görölmüştür.



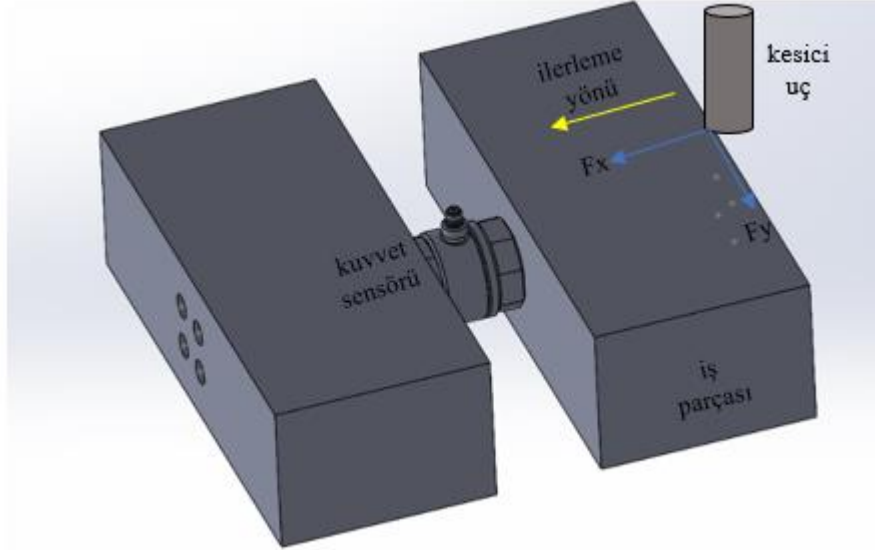
**Şekil 3.4.** Kesme kuvvetlerinin ölçümü için yaygın olarak kullanılan sensör

X, y ve z ekseninde kuvvet ölçümü yapabilen Kistler-9272 kuvvet sensörü maliyet açısından oldukça yüksek olduğu için temin edilememiş; yapılan deneylerde kuvvet sensörü olarak Şekil 3.5’te göröldüğü gibi Kistler-9333A kullanılmıştır. Kistler-9333-A kuvvet sensörü ile basma yönündeki kuvvet değeri ölçülebilmektedir. Bu sebeple deney düzeneği tasarlanırken, Şekil 3.7’de göröldüğü gibi kuvvet sensörü deney numunesine yatay şekilde bağlanmıştır. Deney düzeneği, Şekil 3.6’da gösterildiği şekilde kesici takım iş parçasının yüzeyinden talaş kaldırırken x yönünde (yatay yönde) oluşan  $F_x$  kuvvetini ölçmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu nedenle y ve z yönlerinde oluşan kuvvetler ihmal edilmek zorunda kalınmıştır.



**Şekil 3.5.** Yapılan deneylerde kullanılan kuvvet ölçüm sensörü

Deneyleer esnasında oluşan kesme kuvveti verileri Kistler-9333A kuvvet sensörü yardımı ile alınarak Kistler-5877B0 amplifiyer'a (yüksekteç) oradan da veri okuma kartı ve VNC programı sayesinde bilgisayara aktarılmıştır. Deneyleer esnasında ve sonrasında verileri almada/ölçmede kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri Çizelge 3.5' te verilmiştir.



**Şekil 3.6.** Kesici takımın kesme yönü ve oluşan kesme kuvvetleri

**Çizelge 3.5.** Deneyleerde kullanılan cihaz/donanım ve özellikleri

Cihaz/Donanım	Özellik
Kuvvet Sensörü	Kistler-9333A
Amplifier (Yükselteç)	Kistler-5877B0
Yazılım	VNC-Maxymos

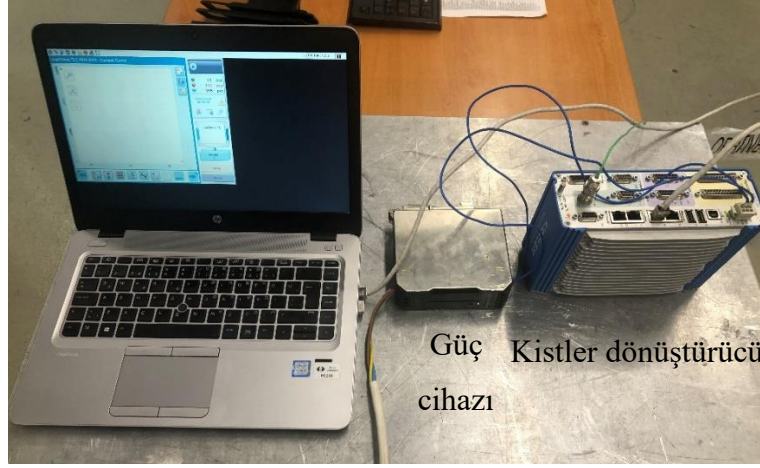
### 3.4. Deney Düzenegi

160x70x50 mm ölçülerine sahip AISI 1040 malzemedan yapılmış iş parçasına Kistler kuvvet sensörü Şekil 3.7’de görüldüğü şekilde bağlanmıştır. Kuvvet sensörünü sabitlemek için sensör arkasından da bir parçaya bağlanmıştır. Yapılan deneyler sırasında iş parçası ve dolayısıyla üzerine bağlanan kuvvet sensörü sabit tutulup kesme için gerekli hareket kesici takım tarafından sağlanmıştır.



**Şekil 3.7.** Kuvvet sensörünün iş parçasına bağlanma şekli

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi kesme anında oluşan kesme kuvveti verilerini iş parçasına bağlı kuvvet sensöründen alabilmek için kuvvet sensörü Kistler veri dönüştürücü cihazına özel kablosu ile bağlanmıştır. Kesme işlemi anında oluşan kesme kuvvetlerini N cinsinden okuyabilmek için VNC programı bilgisayara kurulmuştur. Dönüştürücü cihaz ethernet kablosu ile kullanılacak bilgisayara bağlanmıştır. Son olarak dönüştürücü güç cihazına bağlanmış ve güç cihazına elektriğin gelmesi ile dönüştürücü çalışmıştır.



**Şekil 3.8.** Kuvvet sensöründen kesme anında veri almak için kurulan deney düzeneği

Şekil 3.8'deki düzenek kurulduktan sonra üzerine kuvvet sensörü bağlanmış olan iş parçası Şekil 3.9'da gösterildiği şekilde tezgâha bağlanmıştır. Her deney için birbirinin aynısı olan ayrı takım kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan takımlar yeni alınmış olup, daha önce herhangi bir işlemde kullanılmamıştır. Deneyler soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Yapılan her deney için kullanılan kesme parametreleri CNC tezgâhının ekranına Çizelge 3.6'da verilen şekilde girilmiştir. Kesme işlemi başlatılmadan önce bilgisayardan VNC programı açılıp gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Kesme işlemi başlatıldığında eş zamanlı olarak VNC programından kesme kuvvetini görebilmek için manuel veri kaydı çalıştırılmıştır. Okunan değerler dönüştürücüye bağlanan bir USB belleğe kaydedilmiştir. Kesme kuvveti değerleri kesme zamanına bağlı olarak maxymos programıyla otomatik olarak grafiğe aktarılmıştır. Her deney için aynı işlem tekrarlanmıştır.



**Şekil 3.9.** Kesme işleminin gerçekleşeceği deney düzeneği

### **3.5. Deney Değişkenleri**

Deneylerde talaş derinliği sabit tutulmuş ve 1 mm olarak belirlenmiştir. Kesme hızı için 100m/dk, 120 m/dk ve 150 m/dk olmak üzere üç farklı değer, ilerleme miktarı için 0,1 mm/diş; 0,2 mm/diş; 0,3 mm/diş; 0,4 mm/diş olmak üzere dört farklı değer kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametresi değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Toplamda 12 adet TiAlNi kaplamalı sert karbür kesici uç ile 12 farklı deney yapılmıştır.

Kullanılan deney değişkenleri Çizelge 3.6'da açık olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Deneylerde kullanılan kesme parametresi değerleri

<b>Deney Numarası</b>	<b>Talaş Derinliği (mm)</b>	<b>Kesme Hızı (m/dk)</b>	<b>Dönme Hızı (d/dk)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/diş)</b>	<b>İlerleme Hızı (mm/dk)</b>
<b>Deney 1</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	3184	0,1	1273
<b>Deney 2</b>			3184	0,2	2547
<b>Deney 3</b>			3184	0,3	3820
<b>Deney 4</b>			3184	0,4	5094
<b>Deney 5</b>		<b>120</b>	3821	0,1	1528
<b>Deney 6</b>			3821	0,2	3056
<b>Deney 7</b>			3821	0,3	4585
<b>Deney 8</b>			3821	0,4	6113
<b>Deney 9</b>		<b>150</b>	4777	0,1	1910
<b>Deney 10</b>			4777	0,2	3821
<b>Deney 11</b>			4777	0,3	5732
<b>Deney 12</b>			4777	0,4	7643

### **3.6. Deney Şartları**

Kesme deneyleri sırasında soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deney ortamında herhangi bir sıcaklık değişimi yapılmamış, oda sıcaklığında deneyler gerçekleştirilmiştir.

### **3.7. Sonlu Elemanlar Metodu**

Sonlu elemanlar ile analiz metodu (FEM), mühendislik ve matematiksel modellerde yaygın olarak kullanılır.

Sonlu elemanlar ile analiz metodunun amacı karışık olan problemleri alt programlara ayırmak ve programları kendi içinde çözümlenerek sonucunu bulmaktır. Daha sonrasında bu problemler bilgisayar çözümüne uyarlanarak matris şeklinde denklemler kullanılır. Bu yöntem ilk olarak Clough tarafından 1960 senesinde uçakların yapısal analizlerini yapmak amacı ile kullanılmıştır. Sonlu elemanlar ile analiz metodu sayesinde maliyeti yüksek ve süresi uzun olan deneyler yerine makine elemanlarının tasarımları ve mukavemet analizleri minimum sürelerde gerçekleştirilebilir (Çapkın 2007).

Sonlu elemanlar metodu ile analizde Lagrangian, Eulerian ve Arbitrary Lagrangian-Eulerian yaklaşımı olmak üzere üç ana yaklaşım vardır.

Lagrange metodu, daha çok katı formdaki malzemelerin analizinde kullanılır. Bu yöntem ile malzemeye mesh atıldığında elemanların düğüm noktaları birbirinden ayrılmaz şekilde malzemeye bağlanır. Malzeme deforme olurken eş zamanlı olarak mesh de deforme olur ama elemanlar arasında kütle alışverişi olmaz.

Lagrange metodu analiz süresinin kısa ve sınır şartlarının daha kolay uygulanabilir olmasından dolayı avantajlı bir analiz yöntemidir. Bununla birlikte “eleman yüksek oranda deforme olmaya başladı” hatası bu yöntemin en büyük dezavantajıdır. Bu hata, malzemede oluşan yüksek deformasyon ile birlikte elde edilen yüzey kalitesinin yüksek oranda bozulduğu anlamına gelir.

Euler metodu; genel olarak akışkanların analizinde kullanılır ve yüksek deformasyon içeren analizler için uygun bir yöntemdir. Bu yöntem ile malzemeye mesh atıldığında elemanların düğüm noktaları Lagrange metodunda olduğu gibi malzeme yerine uzayda noktalara bağlanır. Malzeme deforme olsa bile mesh uzayda sabit bir noktaya bağlı olduğu için bu durumdan etkilenmez, malzeme meshin içinde akar ve elemanlar arası kütle alışverişi meydana gelir.

Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) metodu, yukarıda bahsedilen Lagrange” ve “Euler” metodlarının birlikte kullanıldığı bir sonlu elemanlar ile analiz yöntemidir. ALE metodunda, malzemeye mesh atıldığında eleman düğüm noktalarının birbirinden bağımsız ve rastgele hareket etmesine izin verilir. Elemanlar yüksek deformasyon altındayken bile çarpılma olmadan malzemede şekil değişimi gerçekleşir. Bunun sonucunda analiz boyunca yüksek kaliteli mesh elde edilir ve çözüme ulaşılır.

ALE metodu ile analizde, hem Lagrange metodunda olduğu gibi malzemeye mesh atıldığında mesh malzemeye bağlanır hem de Euler metodunda olduğu gibi kütle alışverişine de (malzemenin mesh içinde akmasına) izin verir. Euler metodu ile analizin (bir eleman içinde çoklu malzeme ve boşluğa izin verir) aksine eleman sınırları içerisinde tek bir malzemeye izin verir ve eleman %100 malzeme ile doludur. Elemanlar arasında herhangi bir boşluk mevcut değildir.



ALE metodu;

- Metal şekillendirme, talaş kaldırma gibi yüksek deformasyonun olduğu analizlerde,
- Yüksek hızların kullanıldığı analizlerde,
- Sıvı-katı etkileşimli analizlerde yaygın olarak kullanılır.

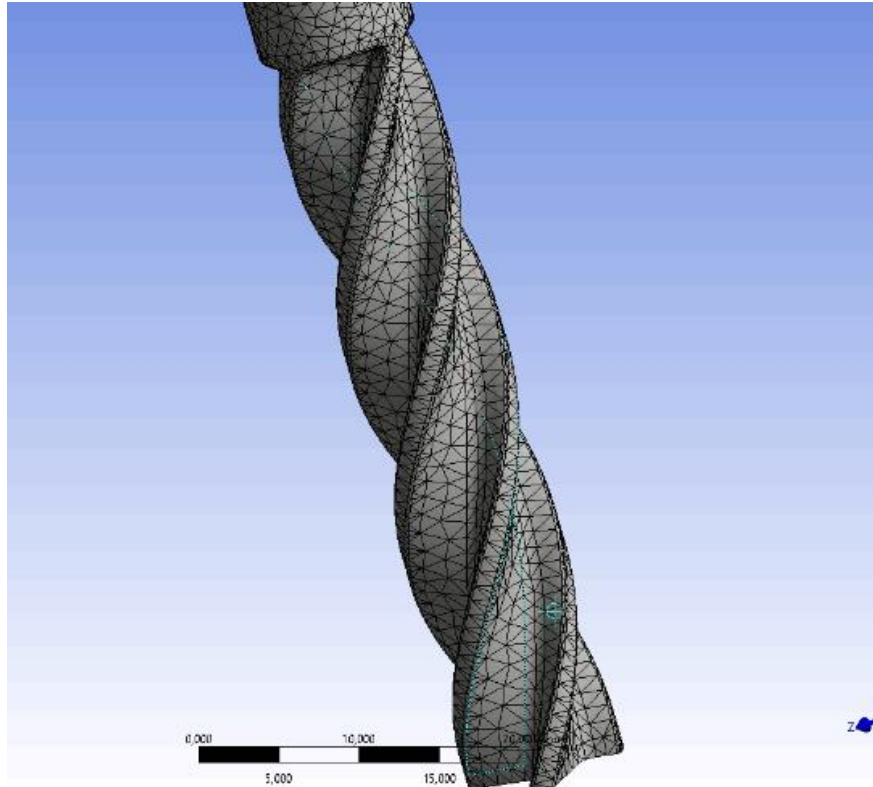
Sonlu elemanlar metodu ile analiz, deneysel yöntemlere göre maliyet açısından daha uygun olduğu için günümüzde her türlü yapısal analiz, statik ve dinamik analiz, akışkan analizlerinde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodu, dünya genelinde havacılık, otomotiv, makine sanayisi gibi birçok sektörde oldukça rağbet gören bir yöntemdir.

Talaşlı imalatta kesme işlemini gerçekleştiren kesici takımın hayli pahalı ürünlerdir, dolayısıyla maksimum takım ömrü istenmektedir. Kesme işlemi istenen kalitede yapılırken aynı zamanda maksimum takım ömrünü elde etmek için her kesici takım ve iş parçası malzemesi için optimum kesme parametreleri kullanılmalıdır. Bu optimum kesme parametrelerini deneysel yollar ile belirlemek maliyetli bir işlem olduğu için sonlu elemanlar ile analiz metoduna başvurulur. Bunun yanı sıra kesme işlemi sırasında ortaya çıkan problemleri çözmek amacıyla da yaygın olarak kullanılır. Literatürde yer alan önceki çalışmaların incelenmesi sonucunda elde edilen bilgiler analizlerden elde edilen sonuçlar deneylerden elde edilen sonuçları yüksek oranda doğruladığını gösterir.

Talaşlı imalat açısından deneysel ve analitik yöntemler kıyaslandığında sonlu elemanlar metodunun bazı avantajları bulunur. Bu avantajlar;

- Malzeme özellikleri; şekil değiştirme hızı, şekil değiştirme miktarı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir.
- Kesici takım talaş ara yüzeyi yapışma ve kayma bölgesi olarak ayrı ayrı modellenebilir.
- Talaşın serbest yüzeyi gibi düzgün olmayan geometrik sınırlar kullanılabilir.
- Kesme kuvveti, oluşan talaş şekli ve ilerleme miktarı gibi değişkenlere ek olarak bölgesel oluşan gerilmeler ve sıcaklık dağılımları da elde edilebilir (Çapkın 2007).

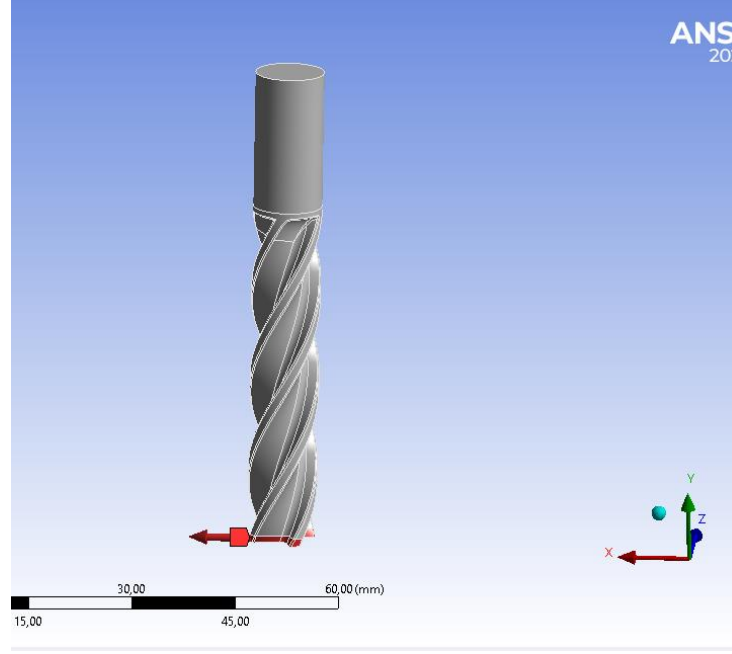
Bu çalışmada deneyler sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin takıma nasıl etki ettiğine bakmak için analiz yapılmıştır. Gerilme analizi yapılırken ANSYS programının Static Structural modülü kullanılmıştır. Takımın modellenmesi Catia programında yapılmış ve ANSYS'e aktarılmıştır. Kesici takım normalde TiALN kaplamalıdır fakat bu kaplamanın akma dayanımı değerine ulaşamadığı için kesici takım malzemesi olarak ANSYS kütüphanesindeki titanyum alaşım malzeme tanımlanmıştır. Takıma Şekil 3.10'da görüldüğü gibi 1 mm'lik mesh atılmıştır.



**Şekil 3.10.** Kesici takıma atılan mesh

Analiz sırasında ıraksama olayından olabildiğince uzaklaşıp daha doğru bir sonuç elde etmek için keskin köşeler çok az yuvarlatılmıştır. Her bir deney sonucunda ölçülen kesme kuvveti değeri Şekil 3.11'de gösterildiği şekilde takıma yatay yönde uygulanmıştır. Kesici takım iş parçasının yüzeyinden 1 mm talaş kaldırdığı için kesme ucundan 1 mm'lik kısmı seçilmiş ve kuvvet o şekilde uygulanmıştır. Kuvvetin uygulama yönüne karar verilirken yapılan deneyler göz önünde bulundurulmuştur. Deneyler sırasında kesici takım -x yönünde parçaya doğru hareket etmektedir. Bu sebeple takım üzerine gelen

kuvveti Şekil 3.11’de gösterildiği gibi x yönünde uygulanmıştır. Deney düzeneğini daha iyi simüle edebilmek adına takımın tezgaha bağlanan üst kısmı analizde de sabitlenmiştir.



**Şekil 3.11.** Kesici takıma uygulanan kesme kuvveti

Analizler sırasında sıcaklık 22 °C kabul edilmiştir, aynı zamanda Şekil 3.11’e göre -y yönünde yer çekimi de hesaba katılmıştır. Her bir deneyde ölçülen kesme kuvveti değerinin Von-mises gerilmelerinin yanında takımın oluşturduğu toplam deformasyona da bakılmıştır. Kesici uca gelen kesme kuvvetinin etkisiyle kesici takımındaki toplam deformasyon dağılımı da incelenmiştir.

#### 4. BULGULAR (BULGULAR ve TARTIŞMA)

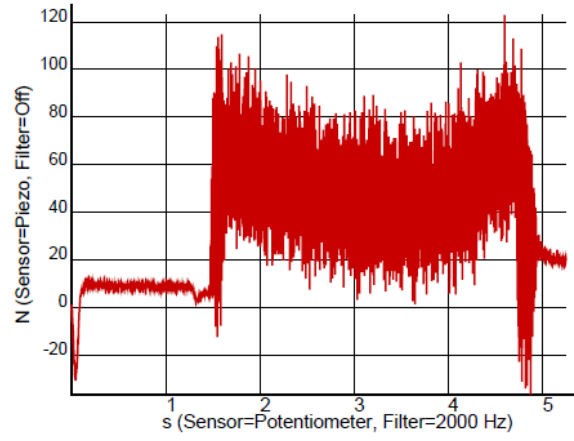
Yapılan deneyler sonucunda Çizelge 4.1’de verilen kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.1’de de görüldüğü gibi kesme deneyleri sırasında talaş derinliği daima sabit tutulup, değeri 1 mm’dir.

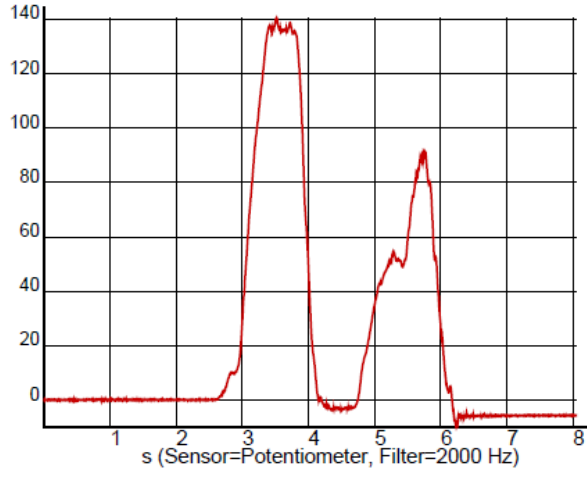
Çizelge 4.1. Deneylerden elde edilen kesme kuvveti değerleri

	<b>Kesme Hızı (m/dk)</b>	<b>İlerleme Miktarı (mm/diş)</b>	<b>Talaş Derinliği (mm)</b>	<b>Kesme Kuvveti <math>F_x</math> max (N)</b>
<b>Deney 1</b>	100	0,1	1	122
<b>Deney 2</b>	100	0,2	1	140
<b>Deney 3</b>	100	0,3	1	157
<b>Deney 4</b>	100	0,4	1	209
<b>Deney 5</b>	120	0,1	1	114
<b>Deney 6</b>	120	0,2	1	168
<b>Deney 7</b>	120	0,3	1	258
<b>Deney 8</b>	120	0,4	1	280
<b>Deney 9</b>	150	0,1	1	161
<b>Deney 10</b>	150	0,2	1	278
<b>Deney 11</b>	150	0,3	1	380
<b>Deney 12</b>	150	0,4	1	509

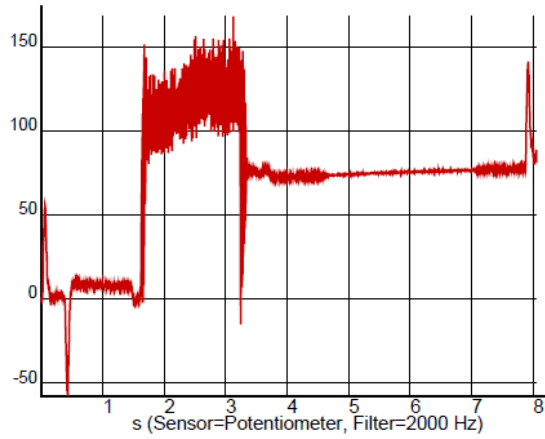
Yapılan her bir deney için kesme anında ölçülen yatay kesme kuvveti Kistler dönüştürücü ile VNC programına aktarılmış ve aynı program yardımıyla aşağıdaki kuvvet-zaman grafikleri elde edilmiştir.



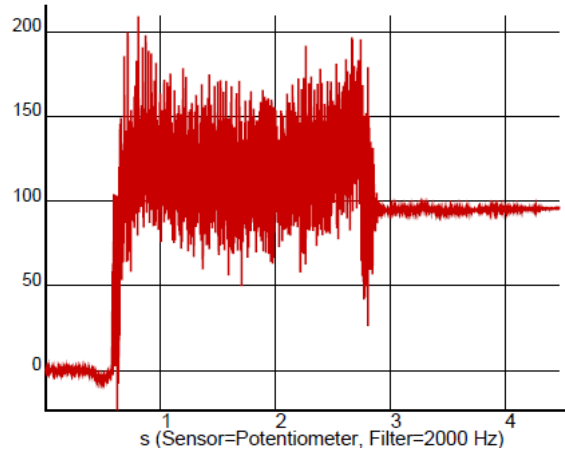
Şekil 4.1. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 1)



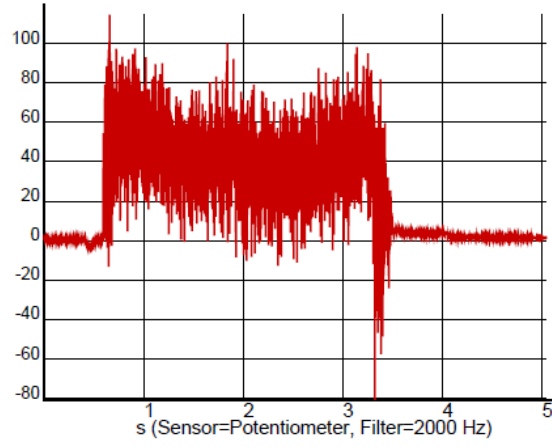
Şekil 4.2. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 2)



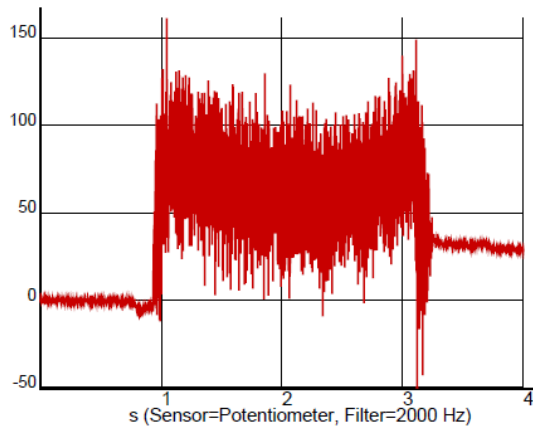
Şekil 4.3. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 3)



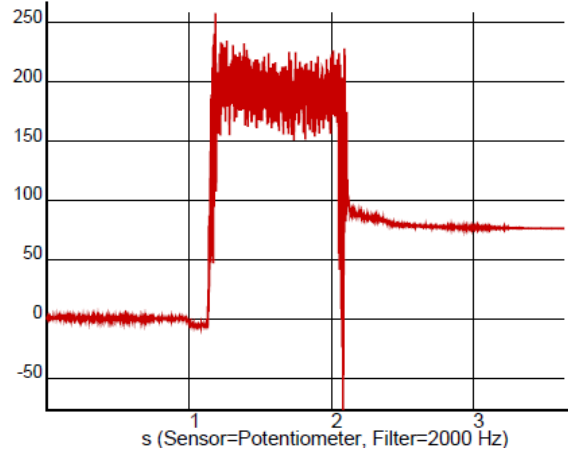
Şekil 4.4. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 4)



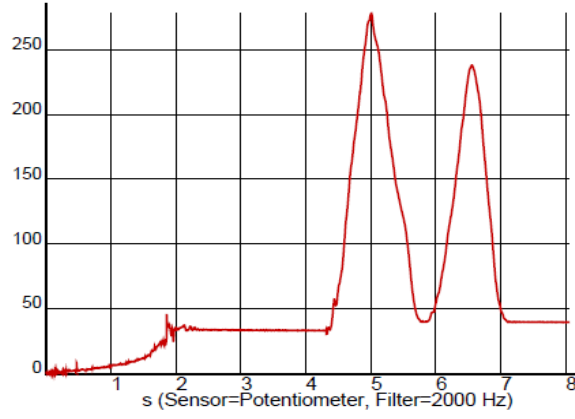
Şekil 4.5. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 5)



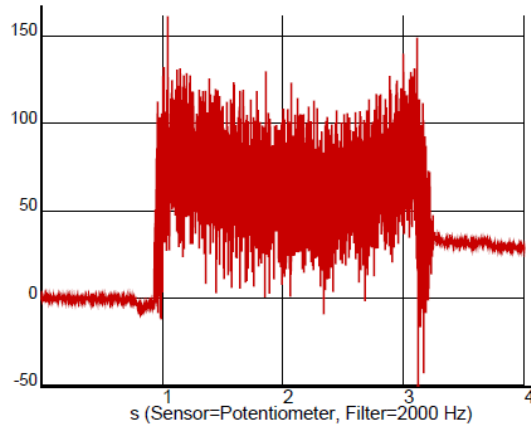
Şekil 4.6 Kuvvet-zaman grafiği (deney no 6)



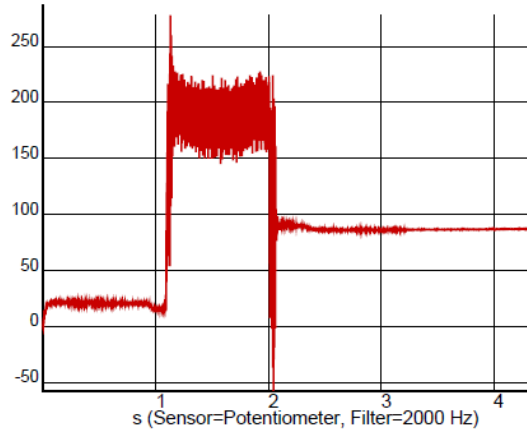
Şekil 4.7. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 7)



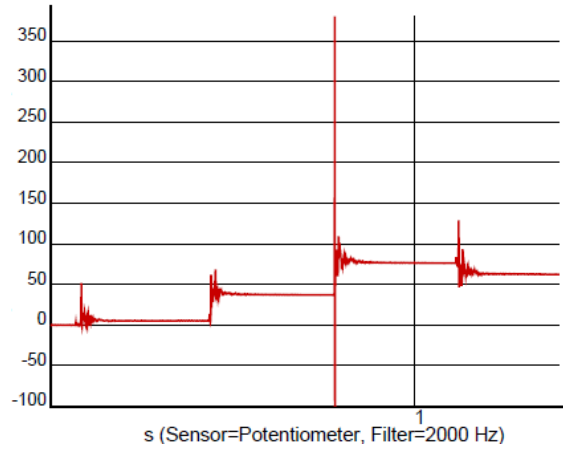
Şekil 4.8. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 8)



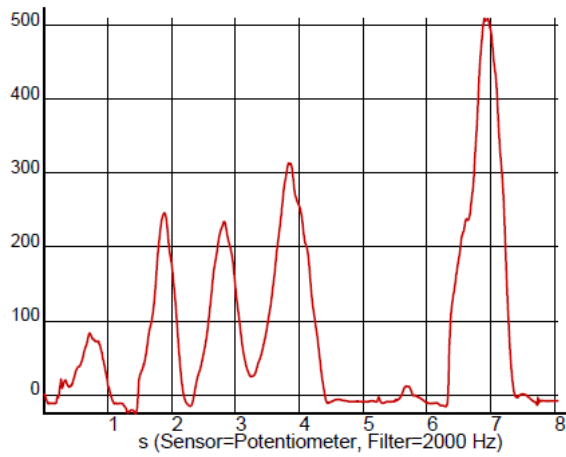
Şekil 4.9. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 9)



Şekil 4.10. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 10)



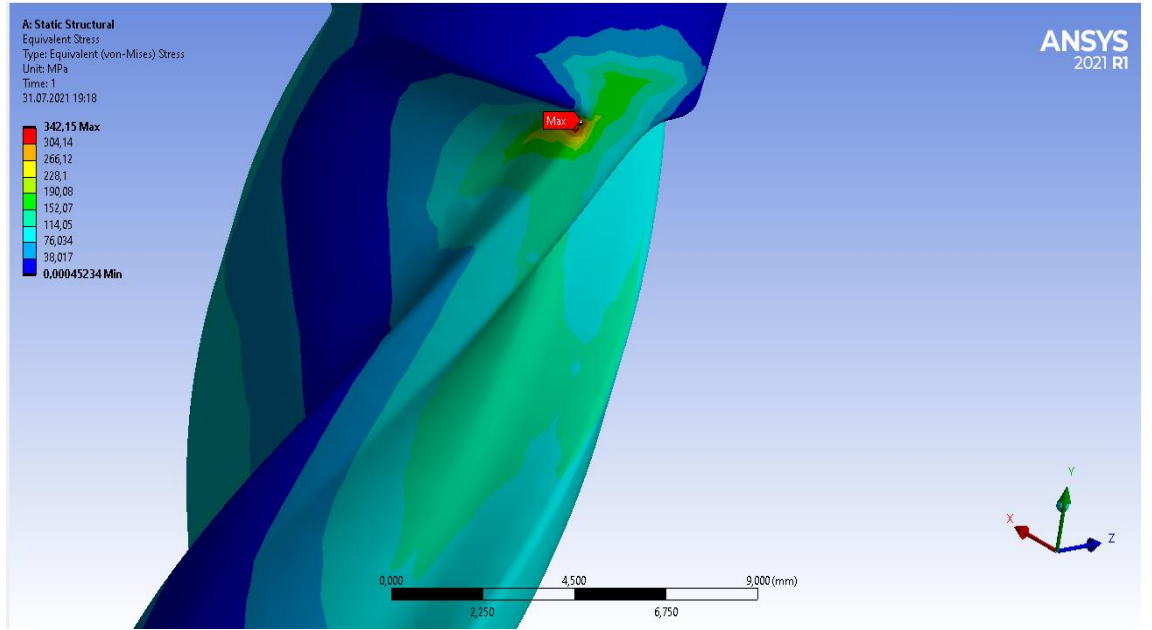
Şekil 4.11. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 11)



Şekil 4.12. Kuvvet-zaman grafiği (deney no 12)



Yapılan deneyler sonucunda ölçülen kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerinde oluşturduğu Von-mises gerilmelerinin dağılımı Şekil 4.13'te gösterildiği şekildedir. Şekil 4.13'te ilk deneyden elde edilen kesme kuvveti değeri kullanılmıştır. Von-mises gerilmesinin en yüksek değeri takımın tezgâha bağlandığı yerde gözlemlenmiştir. Örnek görsel teşkil etmesi açısından koyulmuştur. Kalan diğer on bir deneyde de gerilme dağılımı benzer şekilde fakat değerleri farklıdır. Her bir analiz için elde edilen Von-mises gerilme değeri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

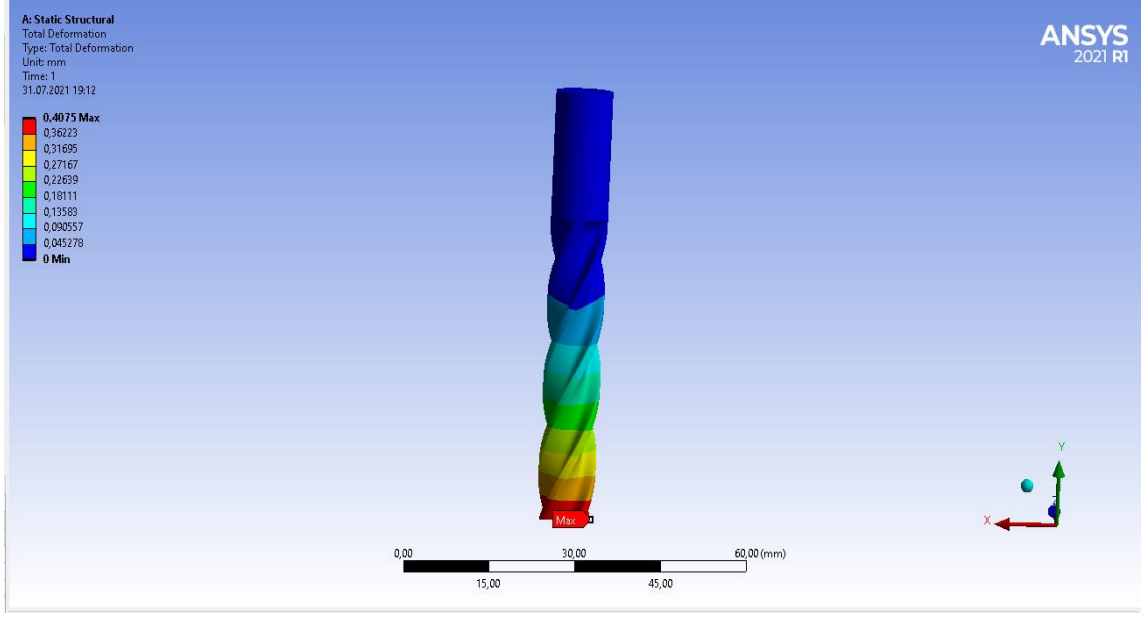


Şekil 4.13. Analizden elde edilen Von-mises gerilmesinin dağılımı

**Çizelge 4.2.** Analizlerden elde edilen Von-mises gerilmesinin değerleri

	<b>Kesme Kuvveti <math>F_x</math> max (N)</b>	<b>Von-mises Gerilmesi max (MPa)</b>
<b>Analiz 1</b>	122	342
<b>Analiz 2</b>	140	392
<b>Analiz 3</b>	157	440
<b>Analiz 4</b>	209	586
<b>Analiz 5</b>	114	319
<b>Analiz 6</b>	168	471
<b>Analiz 7</b>	258	723
<b>Analiz 8</b>	280	785
<b>Analiz 9</b>	161	451
<b>Analiz 10</b>	278	779
<b>Analiz 11</b>	380	1065
<b>Analiz 12</b>	509	1427

Yapılan deneyler sonucunda ölçülen kesme kuvvetlerinin kesici takımında oluşturduğu toplam deformasyon dağılımı Şekil 4.14' te gösterildiği şekildedir. Deformasyon kuvvetin uygulandığı Şekil 4.14'e göre +x yönündedir. Şekil 4.14'te ilk deneyden elde edilen kesme kuvveti değeri kullanılmıştır. Örnek görsel teşkil etmesi açısından koyulmuştur. Kalan diğer on bir deneyde de kesici uçta oluşan toplam deformasyon dağılımı benzer şekilde fakat değerleri farklıdır. Her bir analiz için elde edilen kesici uçtaki toplam deformasyon değeri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

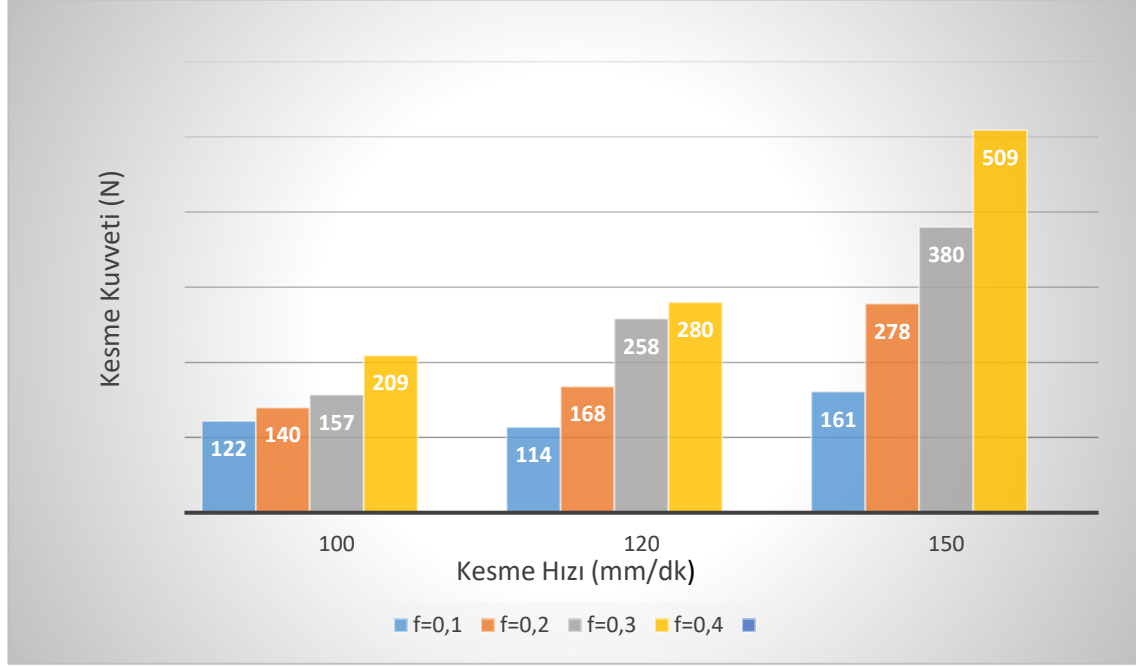


Şekil 4.14. Analizden elde edilen toplam deformasyon dağılımı

Çizelge 4.3. Analizlerden elde edilen kesici uçta oluşan toplam deformasyon değerleri

	<b>Kesme Kuvveti <math>F_x</math> max (N)</b>	<b>Toplam Deformasyon Miktarı max (mm)</b>
<b>Analiz 1</b>	122	0,4
<b>Analiz 2</b>	140	0,46
<b>Analiz 3</b>	157	0,52
<b>Analiz 4</b>	209	0,69
<b>Analiz 5</b>	114	0,38
<b>Analiz 6</b>	168	0,56
<b>Analiz 7</b>	258	0,86
<b>Analiz 8</b>	280	0,93
<b>Analiz 9</b>	161	0,54
<b>Analiz 10</b>	278	0,92
<b>Analiz 11</b>	380	1,26
<b>Analiz 12</b>	509	1,7

Deney sonuçlarına göre elde edilen kesme hızı-kesme kuvveti arasındaki bağıntıyı gösteren grafik Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.15.** Deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvveti-kesme hızı grafiği

Deneyler sonucunda elde edilen verilere göre; ilk deneyde ilerleme miktarı 0,1 mm/diş ve kesme hızı 100 mm/dk iken ölçülen kesme kuvveti değeri 122 N, beşinci deneyde aynı ilerleme değerinde kesme hızı 120 mm/dk'ye çıkarıldığında ise ölçülen kesme kuvveti değeri ters orantılı olarak 114 N'a düşmüştür. Dokuzuncu deneyde aynı ilerleme değerinde kesme hızı 150 mm/dk'ye çıkarıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri 161 N'dur, dolayısıyla kesme kuvvetinde artış söz konusudur.

İkinci deneyde ilerleme miktarı 0,2 mm/dev. ve kesme hızı 100 mm/dk iken ölçülen kesme kuvveti değeri 140 N, altıncı deneyde aynı ilerleme değerinde kesme hızı 120 mm/dk'ye çıkarıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri 168 N'a çıkmıştır. Onuncu deneyde aynı ilerleme değerinde; kesme hızı 150 mm/dk'ye çıkarıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri 278 N'dur, dolayısıyla kesme kuvvetinde artış söz konusudur.

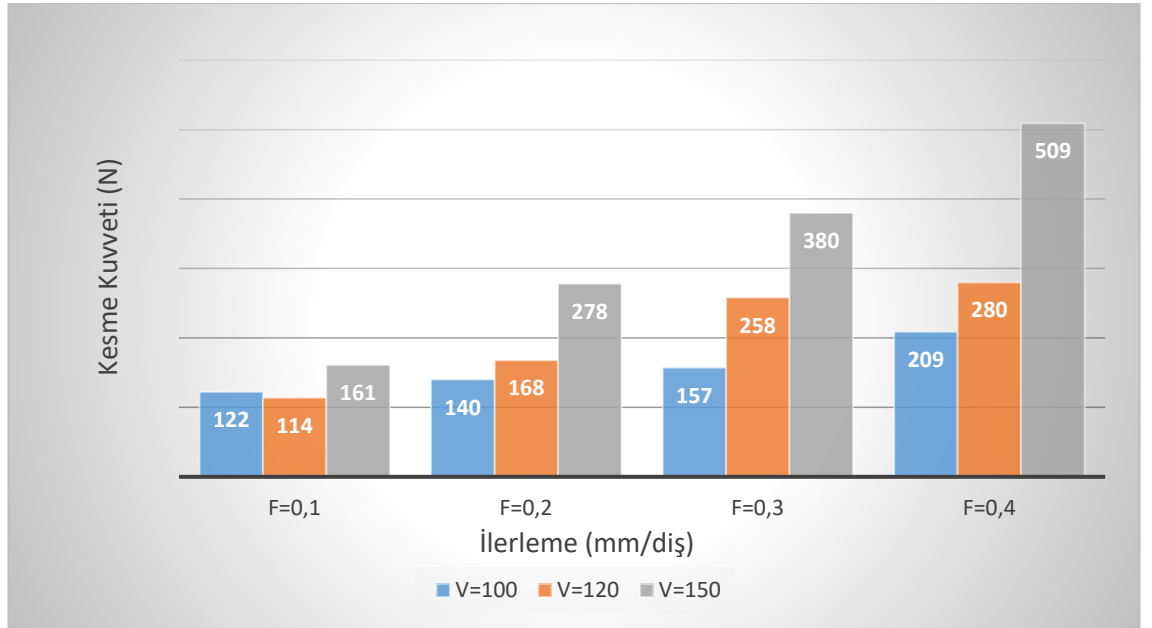
Üçüncü deneyde ilerleme miktarı 0,3 mm/dev. ve kesme hızı 100 mm/dk iken ölçülen kesme kuvveti değeri 157 N, yedinci deneyde aynı ilerleme değerinde kesme hızı 120

mm/dk'ye çıkarıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri 258 N'a çıkmıştır. On birinci deneyde aynı ilerleme değerinde kesme hızı 150 mm/dk'ye çıkarıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri 380 N'dur, dolayısıyla kesme kuvveti değerinde artış söz konusudur.

Dördüncü deneyde ilerleme miktarı 0,4 mm/dev. tutulurken ve kesme hızı 100 mm/dk iken ölçülen kesme kuvveti değeri 209 N, sekizinci deneyde aynı ilerleme değerinde kesme hızı 120 mm/dk'ye çıkarıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri 280 N'a çıkmıştır. On ikinci deneyde aynı ilerleme değerinde kesme hızı 150 mm/dk'ye çıkarıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri 509 N'dur, dolayısıyla kesme kuvveti değerinde artış söz konusudur.

Tüm veriler incelendiğinde genel olarak ilerleme miktarı sabit tutulup kesme hızı değeri arttırıldığında ölçülen kesme kuvveti değeri de artmıştır. Sadece beşinci deneyde birinci deneyle kıyaslandığında ilerleme miktarı sabit tutulup kesme hızı değeri arttırılmasına rağmen ölçülen kesme kuvveti değerinde çok az azalış görülmüştür.

Deney sonuçlarına göre elde edilen ilerleme miktarı-kesme kuvveti arasındaki bağıntıyı gösteren grafik Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvveti-ilerleme grafiği

Deneyley sonucunda elde edilen verilere göre; birinci deneyde kesme hz 100 mm/dk.'de sabit tutulurken ve ilerleme miktarı 0,1 mm/dev. iken ölçülen kesme kuvveti değeri 122 N' dur. Aynı kesme hz değeri için; ikinci deneyde ilerleme miktarı 0,2 mm/dev.'e ıkartldında ve ölçülen kesme kuvvetinin değeri 140 N, nc deneyde ilerleme miktarı 0,3 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvvetinin değeri 157 N, olarak ölçülmüştür. Dördüncü deneyde ilerleme miktarı 0,4 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvvetinin değeri 209 N'a kadar artış gstermiştr.

Beşinci deneyde kesme hz 120 mm/dk'da sabit tutulurken ve ilerleme miktarı 0,1 mm/dev., ölçülen kesme kuvveti değeri 114 N'dur. Aynı kesme hz değeri için; altnc deneyde ilerleme miktarı 0,2 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvveti 168 N, yedinci deneyde ilerleme miktarı 0,3 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvvetinin değeri 258 N, sekizinci deneyde ilerleme miktarı 0,4 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvvetinin değeri 280 N'a kadar artış gstermiştr.

Dokuzuncu deneyde kesme hz 150 mm/dk'de sabit tutulurken ve ilerleme miktarı 0,1 mm/dev., ölçülen kesme kuvveti değeri 161 N'dur. Aynı kesme hz değeri için; onuncu deneyde ilerleme miktarı 0,2 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvvetinin değeri 278 N, on birinci deneyde ilerleme miktarı 0,3 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvvetinin değeri 380 N. dur. Son olarak on ikinci deneyde ilerleme miktarı 0,4 mm/dev.'e ıkartldında ölçülen kesme kuvvetinin değeri 509 N' a kadar artış gstermiştr.

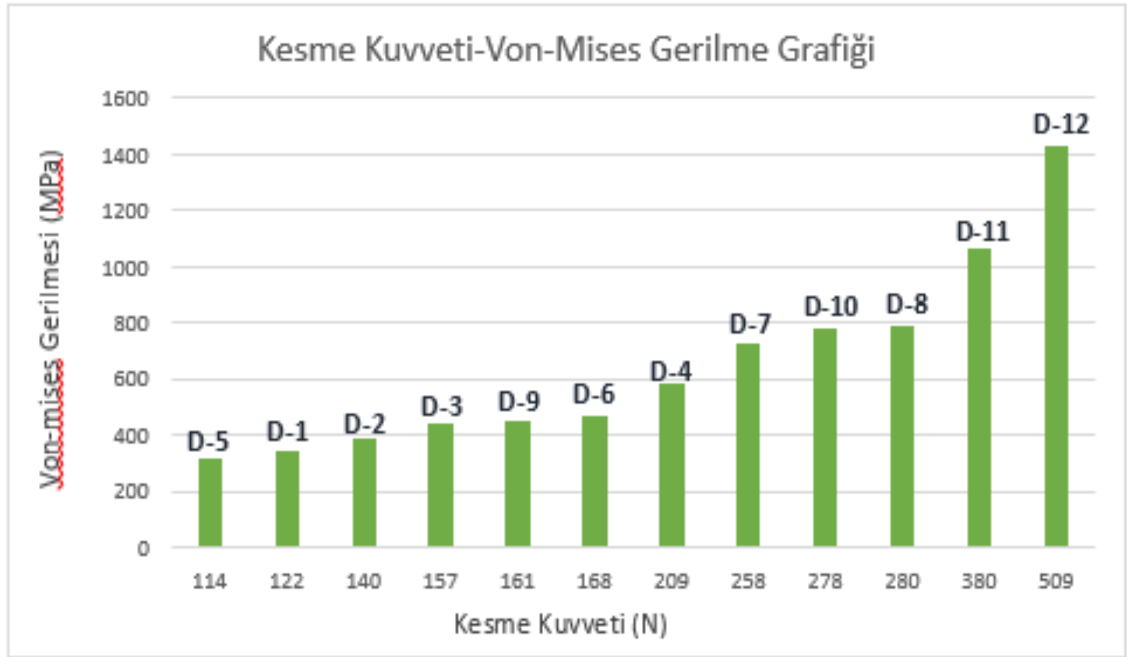
zet olarak; tüm veriler incelendiğinde genel olarak kesme hz sabit tutulup ilerleme miktarı değeri arttırldında ölçülen kesme kuvveti değeri de artmıştır.

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre; ilk analizde takımın 1 mm'lik ucuna yatay yönde 122 N'luk kuvvet uygulanmış ve Von-mises gerilme değeri 342 MPa, ikinci analizde 140 N'luk kuvvet uygulanmış ve Von-mises gerilme değeri de aynı Şekilde artış göstererek 392 MPa bulunmuştr. nc analizde uygulanan kuvvet değeri 157 N'a ıkarlmştr ve Von-mises gerilme değeri de 440 MPa'a kmştr. Dördüncü analizde 209 N'luk kesme kuvvetine karşılık Von-mises gerilme değeri 586 MPa bulunmuştr. Beşinci

analizde 114 N'a düşürülen kesme kuvvetinin etkisiyle Von-mises gerilme değeri de 319 MPa'a düşmüştür. Altıncı analizde kuvvetin biraz arttırılıp 168 N'a çıkarılmasıyla yine Von-mises gerilme değeri 471 MPa'a yükselmiştir. Yedinci analizde de kesme kuvveti arttırılarak 258 N'a çıkarılmış ve bunun sonucunda Von-mises gerilme değeri de 723 MPa'a çıkmıştır. Kalan diğer analizler için de ; sekizinci analizde 280 N'luk kuvvet uygulanmış ve Von-mises gerilme değeri 785 MPa, dokuzuncu analizde 161 N'luk kuvvet uygulanmış ve Von-mises gerilme değeri 451 MPa, onuncu analizde 278 N'luk kuvvet uygulanmış ve Von-mises gerilme değeri 779 MPa, on birinci analizde 380 N'luk kuvvet uygulanmış ve Von-mises gerilme değeri 1065 MPa ve son olarak on ikinci deneye ait analizde 509 N'luk kuvvet uygulanmış ve Von-mises gerilme değeri 1427 MPa olarak bulunmuştur.

Özet olarak; yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler incelenip birbirleriyle karşılaştırıldığında takımın ucuna uygulanan kesme kuvveti değeri arttıkça, takımda oluşan Von-mises gerilmesinin değeri de aynı şekilde artış göstermiştir. Uygulanan kesme kuvvetinin değeri azaldıkça, takımda oluşan Von-mises gerilmesinin değeri de azalmıştır.

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre elde edilen kesme kuvveti-Von-mises gerilme değerleri arasındaki bağıntıyı gösteren grafik Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.17.** Analizden elde edilen kesme kuvveti -Von-mises gerilme grafiği

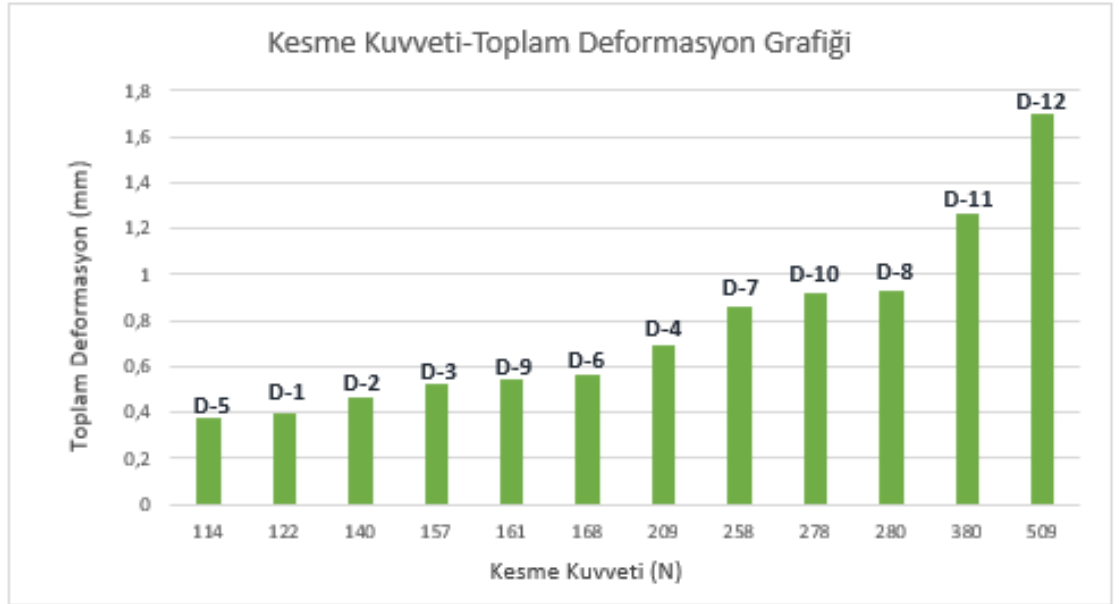
Yapılan analizlerin sonuçlarına göre; ilk analizde takımın 1 mm'lik ucuna yatay yönde 122 N'luk kuvvet uygulanmış ve takımın ucunda oluşan toplam deformasyon 0,4 mm, ikinci analizde 140 N'luk kuvvet uygulanmış ve oluşan toplam deformasyon aynı şekilde artış göstererek 0,46 mm bulunmuştur. Üçüncü analizde uygulanan kuvvet değeri 157 N'a çıkarılmıştır ve oluşan toplam deformasyonun değeri de 0,52 mm'ye çıkmıştır. Dördüncü analizde 209 N'luk kesme kuvvetine karşılık oluşan toplam deformasyonun 0,69 mm bulunmuştur. Beşinci analizde 114 N'a düşürülen kesme kuvvetinin etkisiyle oluşan toplam deformasyonun değeri de 0,38 mm'ye düşmüştür. Altıncı analizde kuvvetin biraz arttırılıp 168 N'a çıkarılmasıyla yine takımın ucunda oluşan toplam deformasyon 0,56 mm'ye yükselmiştir. Yedinci analizde de kesme kuvveti arttırılarak 258 N'a çıkarılmış ve bunun sonucunda toplam deformasyon da 0,86 mm'ye çıkmıştır. Kalan diğer analizler için de; sekizinci analizde 280 N'luk kuvvet uygulanmış ve takımın ucunda oluşan toplam deformasyonun değeri 0,93 mm, dokuzuncu analizde 161 N'luk kuvvet uygulanmış ve takımın ucunda oluşan toplam deformasyonun değeri 0,54 mm, onuncu analizde 278 N'luk kuvvet uygulanmıştır. Takımın ucunda oluşan toplam deformasyonun değeri 0,92 mm, on birinci analizde 380 N'luk kuvvet uygulanmış ve takımın ucunda oluşan toplam deformasyonun değeri 1,26 mm ve son olarak on ikinci



deneye ait analizde 509 N'luk kuvvet uygulanmış ve takımın ucunda oluşan toplam deformasyonun değeri 1,7 mm olarak bulunmuştur.

Özet olarak; yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler incelenip birbirleriyle karşılaştırıldığında takımın ucuna uygulanan kesme kuvveti değeri arttıkça, kesici takımın ucunda oluşan toplam deformasyonun değeri de aynı şekilde artış göstermiştir. Uygulanan kesme kuvvetinin değeri azaldıkça, kesici takımın ucunda oluşan toplam deformasyonun değeri de azalmıştır.

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre elde edilen kesme kuvveti-toplam deformasyon değerleri arasındaki bağıntıyı gösteren grafik Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Analizden elde edilen kesme kuvveti-toplam deformasyon grafiği

## 5. SONUÇ

Talaşlı imalatta dik kesme modelinin deneysel ve sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi konusunda yapılan deneylerde kesme hızı ve ilerlemenin, kesme kuvvetine olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen kesme kuvvetlerinin etkisiyle de takımda oluşan toplam deformasyon ve von-mises gerilmeleri hakkında analizler yapılmıştır. Kesme parametrelerinin de takımda oluşan toplam deformasyon ve gerilmeyi nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneysel sonuçlarda talaş kaldırma esnasında kesme hızı ve ilerlemenin artırılmasıyla oluşan kesme kuvvetleri artmıştır. Analizler sonucunda da kesme kuvveti ile hem takımda oluşan toplam deformasyon hem de Von-mises gerilmeleri arasında doğru bir orantı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buradan da aslında talaş kaldırma esnasında uygulanan kesme hızı ve ilerlemesinin artırılmasının takımda oluşan toplam deformasyonu da arttıracak kanısına varmak mümkündür. Aynı şekilde kesme hızı ve takımın ilerlemesinin artırılmasının takımda oluşan Von-mises gerilmelerini de arttırdığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

Anonim, Mechanical-Manufacturing Technology-Theory Of Metal Cutting. Erişim adresi: [https://www.brainkart.com/article/orthogonal-metal-cutting\\_5767/](https://www.brainkart.com/article/orthogonal-metal-cutting_5767/)

Anonim, Machining. Erişim adresi: <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/>

Anonim, İşlenebilirlik, Erişim adresi: [http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/18085\\_20471817776.pdf](http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/18085_20471817776.pdf)

Anonim, Deney 2 kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi, Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/48080984-Deney-2-kesme-hizinin-yuzey-puruzlulugune-etkisinin-incelenmesi.html>

Akkurt, M. (2000). *Talaşlı kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Aksu, B. (2008). *Experimental and analytical investigation on mechanics of metal cutting including edge forces* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Apaydın, D. (2009). *AISI 4340 malzemenin tornalanmasında oluşan kesme kuvvetlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Aydın, M. (2014). *Parmak freze takımı ile talaş kaldırmada kesme kuvvetleri ve boyut hatalarının kesme kuvveti dağılımı metodu ile analizi* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Bagheri, P. (2019). *Frezleme esnasında oluşan titreşim, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün deneysel olarak analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Çakır, E. (2015). *Dik ve eğik kesme işleminin termomekanik modellemesi ve torna işlemine uygulanması* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Çakmak, İ. (2013). *Frezeleme işleminde takım talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Çapkın, A. (2007). *Talaşlı üretimde kesme işleminin sonlu elemanlar modeli ile incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Çiftçi, İ., Gökçe, H. ve Gökçe, H. (2019). Frezeleme operasyonlarında kesme kuvvetlerinin deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi: saf molibdenin işlenmesi üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi*, 947-957. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/>

Çimenli, Y. (2008). *Üç boyutlu dik kesme simülasyonu ile kesici takım talaş-ara yüzü üzerine bir inceleme* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Dişbudak, T. (2015). *Alüminyum alaşımının talaşlı işlenmesinde ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey kalitesine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Domaç, H. (2011). *Frezeleme işleminde kesici uç yarıçapı ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Igboanugo, A. C., Onifade, M. K. ve Osarenmwinda, J. O. (2017). Modelling of responses from orthogonal metal cutting of mild steel using carbide insert tool. *Nigerian Journal of Technology*. 96-109. Erişim adresi: <https://www.ajol.info>

Jadhav, A. A. ve Ramgir, M. S. (2015). Finite element simulation of orthogonal cutting process for steel. *International Journal of Engineering Research & Technology*. Erişim adresi: <https://www.ijert.org/>

Kapoor, S.G. ve Radulescu, R. (1994). An analytical model for prediction of tool temperature fields during continuous and interrupted cutting. *Journal of Engineering For Industry*, 116, 135–140. Erişim adresi: <https://ur.booksc.eu/>

Karayel, B. (2015). *Ç 4140 malzemesinin tornalanmasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Kılıçaslan, C. (2009). *Modelling and simulation of metal cutting by finite element method* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Kurt, A. (2006). *Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve mekanik gerilmelerin deneysel olarak incelenmesi ve matematiksel modellerinin oluşturulması* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

şahin, N. (2012). *Kalıp çeliklerinin freze tezgahında işlenmesinde kesme parametrelerinin, takım talaş ara yüzey sıcaklığı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Turner, B., What is Machining?. Erişim adresi: <https://www.wisegeek.com/what-is-machining.html>

Tyan, T. Ve Yang, Wet H. (1992). Analysis of orthogonal metal cutting process. *International Journal For Numerical Methods In Engineering*, Vol. 34, 365-389. Erişim adresi:

[https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/50099/1620340122\\_ftp.pdf](https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/50099/1620340122_ftp.pdf)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ecenur Öztürk

Doğum Yeri ve Tarihi : Elazığ, 17.11.1994

Yabancı Dil : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Bursa Anadolu Erkek Lisesi

Lisans : Uludağ Üniversitesi/ Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Oran Orhan Otomotiv Kontrol Sistemleri A.Ş.

İletişim (e-posta) : ecenur.ozturk@hotmail.com

Yayımları :