

**SİLİNDİRİK TORNALANAN BİR İŞ PARÇASININ ÜZERİNDE
MEYDANA GELEN DEFORMASYONUN DENEYSEL VE
SONLU ELEMANLAR METODUYLA ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emrah ÖZALP**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2010

**T.C.
AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLİNDİRİK TORNALANAN BİR İŞ PARÇASI ÜZERİNDE MEYDANA
GELEN DEFORMASYONUN DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR
METODUYLA ARAŞTIRILMASI**

Emrah ÖZALP

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2010

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT danışmanlığında, Emrah ÖZALP tarafından hazırlanan “Silindirik Tornalanan Bir İş Parçasının Üzerinde Meydana Gelen Deformasyonun Deneysel ve Sonlu Elemanlar Metoduyla Araştırılması”; başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca;
08/06/ 2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan

Doç. Dr. Şükrü TAKTAK

Üye

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Üye

Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. MATERYAL VE METOD	14
3.1. Tornalama.....	14
3.1.1 Tornalamada Kesme Hızı, İlerleme ve Talaş Derinliği	16
3.1.2 Tornalamada Takım Geometrisi	18
3.2. Talaş Kaldırma Yöntemleri	19
3.3 Talaş Kaldırma ve Talaş Oluşum Mekanizması	20
3.4 Tornalama İşleminde İşlem Hataları	27
3.4.1 Takım-Tezgah Sisteminin Geometrik ve Kinematik Hataları.....	28
3.4.2 Isıl Deformasyon Hataları	28
3.4.3 Takım ve Tezgah Elemanlarının Aşınmasından Kaynaklanan Hatalar	29
3.4.4 Cihaz Hataları	29
3.4.5 Diğer Hatalar	29
3.4.6 Kesme Kuvvetlerinden Kaynaklanan Hatalar	31
3.5 Deneysel Çalışmalar	34
3.5.1 Lazer Uzunluk Sensörü (LUS)	34
3.5.2 İş Parçası Numunesinin Genel Özellikleri.....	39

3.6 Deney Düzenekinin Oluşturulması.....	39
3.6.1 İki Ucundan Bağlı İş Parçası Tornalama İşlemi.....	41
3.6.2 Bir Ucundan Bağlı İş Parçası Tornalama İşlemi	43
3.7 Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
4.1 DeneySEL Bulgular	48
4.1.1 İki Ucundan Bağlı İş Parçasında Oluşan Sehimlerin DeneySEL Grafikleri.	48
4.1.2 Bir Ucundan Bağlı İş Parçasında Oluşan Sehimlerin DeneySEL Grafikleri	52
4.2 Nümerik Bulgular	57
4.2.1 Uygulanan Kesme Kuvvetinin Hesaplanması	57
4.2.2 İki Ucundan Bağlı İş Parçasındaki Sehimlerin Sonlu Elemanlar Metoduyla çözülmesi	57
4.2.3 Bir Ucundan Bağlı İş Parçasındaki Sehimlerin Sonlu Elemanlar Metoduyla çözülmesi	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
6. KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	72

ÖZET

Yüksek Lisans

SİLİNDİRİK TORNALANAN BİR İŞ PARÇASININ ÜZERİNDE MEYDANA GELEN DEFORMASYONUN DENEYSEL VE SONLU ELEMENLAR METODUYLA ARAŞTIRILMASI

Emrah ÖZALP

**Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi**

Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT

Bu çalışmada, AISI 1045 çeliğinin tornalanması esnasında üzerinde meydana gelen sehimler deneysel ve sonlu elemanlar metoduyla araştırılmıştır. Bu amaçla iş parçasında oluşan sehimlerin belirlenmesi için Lazer Uzunluk Sensörü (LUS) cihazı kullanılarak deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Boyları farklı iki iş parçası üzerinde yapılan deneylerde iki ucundan bağlı iş parçası ve bir ucundan bağlı iş parçası kullanılmıştır. İş parçalarının boy ve çaplarındaki değişmelere göre sehimlerin değiştiği gözlenmiştir. Aynı boyda tornalama ile çapın küçülmesi sonucu sehimin arttığı deneysel sonuçlarla ve hesaplamalarla açıkça görülmüştür. Deneysel çalışmalarda torna tezgahının mekanizmalarındaki esneklik elde edilen sonuçları olumsuz yönde etkilemiştir. Deneysel çalışmaların yanında sonlu elemanlar metodu ve ANSYS programı yardımıyla çözümler yapılmıştır. Deneysel ve nümerik çözümlerin sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

2010, 67 Sayfa

Anahtar Kelimeler: İş parçası, Deformasyon, Çap hatası, Sonlu Elemanlar Metodu, Kesme Kuvveti, Sehim,

ABSTRACT

Master Science

INVESTIGATION OF DEFORMATION ON THE WORKPIECE DURING CYLINDRICAL TURNING BY USING EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENT METHOD

Emrah ÖZALP

**Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences**

Supervisor: Asst. Assoc. Dr. Abdurrahman KARABULUT

In this study, Deflections which are forming at the turning AISI 1045 steel are investigated with experiment and finite element method. With this work aim results are determined with using laser length sensor to determine deflections which are forming at workpiece. Experiments conducted on two different lengths of workpiece in the workpiece and connected by two edges, one end connected to the work piece is used. According to the changes in height and diameter of the workpiece deflection change was observed. Turning to the smaller diameter of the same size as a result of my deflection increased with experimental results and calculations are clearly visible. In experimental studies, the flexibility mechanisms of the lathe and the results were adversely affected. In addition to experimental work and finite element method using ANSYS software solutions have been made. Experimental results and numerical solutions were found to be compatible.

2010, 67 Pages

Keywords: Workpiece, deformation, diameter error, Finite Element Method, Cutting Force, Deflection,

TEŞEKKÜR

Hazırladığım tez çalışmamı belirlememde ve çalışmalarım süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve problem çözümünde bana destek olan, çalışmalarımı gerçekleştirmemde maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, değerli görüşleri ile bana yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar sırasında ve nümerik çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde, literatür araştırmalarında bana yardımını ve desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ, sayın Arş. Gör. İrfan UCUN ve sayın Arş. Gör. A. Fatih YURAN' a teşekkür ederim.

Bu çalışmamda manevi desteğiyle her an yanımda olan, bilgi birikimi ve görüşleriyle bana her zaman yardım eden hayatımda büyük önemi olan sevgili Birsen DURAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince manevi desteğini hiçbir zaman üzerimden esirgemeyen başarılarımda benden daha fazla hak sahibi olan ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan annem Gülistan ÖZALP'a ve babam Şevki ÖZALP'a teşekkürü bir borç bilirim.

Emrah ÖZALP

AFYONKARAHİSAR, Haziran 2010

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

V_c	Kesme hızı
s	İlerleme
a	Talaş derinliği
n	Devir
t_0	Deforme olmamış talaş
t_c	Deforme olmaya başlamış talaş
F_r	Radyal kuvvet
F_t	Teğetsel (ana kesme) kuvvet
F_a	İlerleme kuvveti
h	Talaş kalınlığı
b	Talaş genişliği
A	Talaş kesit alanı
k	Kenar açısı
k_v	Kesme hızı faktörü
k_γ	Talaş açısı faktörü
k_a	Talaş aşınma faktörü
k_t	Takım gereci faktörü
ϕ	Kayma açısı
d_n	Teorik paso derinliği
d_a	Gerçek paso derinliği
δ_{tx}	Takımın x eksenindeki esnemesi
δ_{ty}	Takımın y eksenindeki esnemesi
δ_w	İş parçasının esnemesi
δ_{wx}	İş parçasının x eksenindeki esnemesi
δ_{wy}	İş parçasının y eksenindeki esnemesi
K	Eleman rijitlik matrisi

Kısaltmalar

AISI	American Iron and Steel Institute- Amerikan demir elik ensitüsü (Amerikan elik standartı)
LUS	Lazer Uzunluk Sensörü
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız eliği)
FEM	Finite Element Method (Sonlu elemanlar metodu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1 Tornalama çeşitleri	14
Şekil 3.2 Talaş kaldırma işleminde kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği.....	18
Şekil 3.3 Talaş Kaldırma İşlemi	19
Şekil 3.4 Talaş geometrisi	21
Şekil 3.5 Tornalama esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri.....	22
Şekil 3.6 Kesme kuvvetinin kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine göre değişimi	23
Şekil 3.7 Talaş Kesiti.....	24
Şekil 3.8 Talaş kalınlığı ile malzemenin özgül kesme direnci arasındaki ilişki.....	25
Şekil 3.9 Genel işleme hataları	30
Şekil 3.10 Eksenel deformasyon	31
Şekil 3.11 İş parçasında oluşan eksen kayması	33
Şekil 3.12 Deney düzeneği şematik gösterimi	41
Şekil 3.13 İki ucundan bağlı iş parçası bağlama şekli.....	41
Şekil 3.14 İş parçasındaki kayma	42
Şekil 3.15 Deney sonucu elde edilen grafikler	43
Şekil 3.16 Bir ucundan bağlı iş parçası bağlama şekli	44
Şekil 3.17 Bir ucundan bağlı iş parçasının kesme esnasındaki davranışı.....	45
Şekil 3.18 Bir giriş eleman ve sınır şartları	45
Şekil 4.1 Çap 15 mm için boya göre sehim değerleri.....	48
Şekil 4.2 İki ucundan bağlı iş parçası için sehim ve çap hatası arasındaki ilişki	50
Şekil 4.3 İki ucundan bağlı iş parçası için farklı çaplardaki LUS sonuçları	50
Şekil 4.4 İki ucundan bağlı iş parçası için çap 17 mm deki çap hatası geometrisi.....	51
Şekil 4.5 Farklı çaplardaki çap hataları	52
Şekil 4.6 Çap 16 mm için boya göre sehim grafiği	53
Şekil 4.7 Sehim ve çap hatası arasındaki ilişki.....	54
Şekil 4.8 Bir ucundan bağlı iş parçası için farklı çaplardaki LUS sonuçları.....	55
Şekil 4.9 Bir ucundan bağlı iş parçası için çap 17 mm deki çap hatası.....	56
Şekil 4.10 Bir ucundan bağlı iş parçası için farklı çaplardaki çap hataları	56

Şekil 4.11 İki ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar modeli	57
Şekil 4.12 İki ucundan bağlı iş parçası için lazer ve nümerik olarak bulunan sehim değerlerinin karşılaştırılması	59
Şekil 4.13 İki ucundan bağlı iş parçası için deneysel, F.E.M. ve ANSYS sonuçlarının kıyaslanması	61
Şekil 4.14 Bir ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar modeli.....	61
Şekil 4.15 Bir ucundan bağlı iş parçası için lazer ve nümerik olarak bulunan sehim değerlerinin karşılaştırılması	63
Şekil 4.16 Bir ucundan bağlı iş parçası için deneysel, F.E.M. ve ANSYS sonuçlarının kıyaslanması.....	64

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa No

Resim 3.1 Torna tezgahı ve aparatları	15
Resim 3.2 Lazer Uzunluk Sensörü	35
Resim 3.3 LK-Navigatör	35
Resim 3.4 LK-Navigatör programının oluşturduğu grafik	37
Resim 3.5 Deney düzeneği	40
Resim 3.6 İki ucundan bağlı iş parçası deney düzeneği	42
Resim 3.7 Bir ucundan bağlı iş parçası deney düzeneği	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1 İş parçası malzemesi ve kesme hızı arasındaki ilişki	17
Çizelge 3.2 Farklı malzemeler için m ve k_{11} değerleri	26
Çizelge 3.3 Değişik kesme hızı değerleri için kesme hızı düzeltme faktörleri (k_v) değerleri	29
Çizelge 3.4 Kimyasal özellikler.....	39
Çizelge 3.5 Fiziksel özellikler	39
Çizelge 4.1 İki ucundan bağlı iş parçası deney sonuçları.....	49
Çizelge 4.2 Bir ucundan bağlı iş parçası deney sonuçları	54
Çizelge 4.3 İki ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar metodu sonuçları.....	59
Çizelge 4.4 İki ucundan bağlı iş parçası için ANSYS sonuçları	60
Çizelge 4.5 Bir ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar metodu sonuçları	62
Çizelge 4.6 Bir ucundan bağlı iş parçası için ANSYS sonuçları.....	64

1. GİRİŞ

Üretim sektöründe talaşlı imalat eski metotlardan biridir. Talaşlı üretim metodu kullanım alanı genel itibariyle prizmatik parçaların imalatında kullanılmaktadır. Prizmatik şekillerin üretiminde dairesel olanlarda parça hareketli, köşegen yapıya sahip olan parçalarda ise, kesici takım hareketlidir.

İş parçası hareketli üretim dalında olan tornalama, en çok kullanılanıdır. Mekanik uygulamalardaki hareketli sistemlerde kayma hareketi veya dönme hareketi gerçekleştirilir. Dönme hareketi olan dairesel parçalar torna ile imal edilen parçalar sınıfında yer almaktadır. Tornalama işleminde alın tornalama, delik tornalama, vida açma, tırtıl çekme ve raybalama gibi işlemler yapılmaktadır.

Makine imalat endüstrisinde silindirik malzemeler sıkça kullanılmaktadır. Bu malzemelerin işlenmesi esnasında da değişik hatalar meydana gelmektedir. Kesme kuvvetlerinden oluşan hatalar, ısıl deformasyon hataları, takım ve tezgâhın aşınmasından kaynaklanan hatalar başlıca hatalardır. Bu hataların başlıca kaynakları ise torna tezgâhının rijitliği, işlenecek parçanın malzemesi, kesici takımın malzemesi, kesici takımın geometrisi ve kesme kuvvetleri gösterilebilir. Talaş kaldırma esnasında uygun kesme kuvvetlerinin kullanılması işlenen parçanın istenen tamlıkta olmasını sağlayacaktır.

Tornalama işleminde silindirik parçaların işlenmesi diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre yüzey kalitesi ve işleme zamanı açısından daha iyi olduğundan tornalama yöntemi daha önemli hale gelmiştir. Makine imalat endüstrisinde kullanılan dairesel millerin önemli yeri vardır. Boyu çapına göre çok büyük olan millerin yani uzun ince parçaların imalat endüstrisinde sağladığı avantajlardan dolayı geniş kullanım alanına sahiptir. Bu sebeple uzun ince millerin makine sektöründe kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Yüksek tamlıkta iş parçası elde edebilmek için uygun parametrelerde talaş kaldırma işleminin yapılması gerekmektedir. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme parametreleri belirlenmeden önce kesici takımın malzemesi ve takım geometrisi belirlenmelidir.

Kısa uzunluğa sahip parçaların tornalanmasında hassasiyet yüksek olarak karşımıza çıkmaktadır. Çap-uzunluk oranı düşük olan parçalarda tornalama esnasında meydana gelen kuvvetler dolayısı ile hassasiyette düşüklük meydana gelmektedir. Parçanın kalem yüzeyden eksene paralel yönde talaş kaldırma işleminde kesici takımdan tepki yönlü olarak parçaya kuvvet gelmektedir. Parçaya gelen bu kuvvetler en-boy oranı düşük olan parçalarda burkulmaya neden olmaktadır. Burkulma esnasında tornanın ayna ekseninden uzaklaşan parçada çap hatası meydana gelmektedir. Bu hatalar ayna ve tutucu punta noktasında sifira yaklaşmaktadır, bununla birlikte parçanın ayna ve punta da tutulma miktarına göre çaptaki sapma parçanın orta noktasına yakın bir konumda gerçekleşmesidir. Çalıştığı konumda belirli bir sıklık veya yüksek paralellik istenilen parçalarda parçanın orta noktasında meydana gelen deformasyon miktarı belirleyici unsur olmaktadır. Bu nedenle parçadaki paralellik hatasını kontrol altında tutmak amacıyla, çeşitli uygulama parametrelerine bağlı olarak uygulanan kuvvetler ışıyla çap hatasının miktarı ölçülmüştür.

Makine sektöründe millerin sıkça kullanılması ve kullanılacak olan bu millerin talaş kaldırma esnasında hata oluşmasından dolayı bu alanda çalışma yapılmasının önemini artırmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde kesme kuvvetlerinden oluşan hata türlerinin diğer hata türlerinden daha önemli olduğu anlaşılmıştır. Fakat bu alanda az sayıda çalışma yapılmıştır. Bu konuda yapılan önemli çalışmaların bazıları aşağıda anlatılmıştır.

Liu Zhan Qiang yaptığı bir çalışmada kademeli iş parçasının kesme kuvvetlerinden dolayı olan çap hatasını araştırmak için sonlu farklar modeli geliştirmiştir. Teorik olan sonuçların doğruluğunu kıyaslamak için sonlu farklar modelini kullanmıştır. Kops ise yaptığı deneysel bir çalışmada her talaş kaldırma işleminden sonra çaptaki küçülmeden dolayı çaptaki hatanın arttığını gözlemiştir. Bu hatanın da sehime bağlı olarak ortaya çıktığını belirtmiştir. Guo Jianliang ve Han Rongdi ise tornalama işlemi sırasında yatağın ve kesme kuvvetlerinin çap hatası üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yang ve arkadaşları da tornalama işlemi sırasındaki kesme kuvvetlerini bir sensor yardımıyla ölçüm yapıp çap hatasını hesaplamıştır. Tezgaha geri besleme yaparak ta hatayı azaltmaya çalışmıştır. A.-V. Phan, L. Baron, J.R.R. Mayer ve G. Cloutier

alışmalarında kesme kuvvetleri- takım tutucu- iş parçasında oluşan sehimleri tahmin etmek için sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir.

Yapılan bu tez çalışmasında farklı çaplarda tornalanan AISI 1045 eliğinde meydana gelen sehimler araştırılmıştır. Bu alışma deneysel ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılmıştır. Bu alışma sonucunda;

- Lazer Uzunluk Sensörü ile bilgisayara bağlı cihaz aldığı sehim değişmelerini grafiklere dönüştürmekte, bu grafikler yardımıyla sehim miktarı belirlenmektedir.
- Kesme kuvvetlerinin etkisiyle bir ucundan bağlı iş parçasında meydana gelen sehimler,
- Kesme kuvvetlerinin etkisiyle iki ucundan bağlı iş parçasında meydana gelen sehimler,
- Sehime bağlı olarak iş parçasında meydana gelen çap hataları,
- Nümerik olarak modellenen kiriş sisteminin özölmesi,
- Sonlu elemanlar modeliyle deneysel ve nümerik sonuçların doğrulanması,

verileri elde edilecektir.

Kesme kuvvetlerinin iş parçası üzerindeki sehimlerin belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneyler iki aşamada yapıldı. Birinci aşamada iş parçası iki ucundan sabitlenip talaş kaldırma işlemi yapıldı. İkinci aşamada ise iş parçası bir ucu bağlı diğer ucu serbest şekilde talaş kaldırma işlemi yapıldı. Her iki aşama içinde aynı işlemler uygulandı. Her pasoda Lazer Uzunluk Sensörü (LUS) ile iş parçasındaki sehimlerin dataıları alınarak bilgisayara aktarıldı ve grafikler şeklinde sonuçlar incelendi. Aynı zamanda da her pasodan sonra ölçüm cihazı ile iş parçasının çapı ölçüldü ve sonuçlar karşılaştırıldı.

Kesme kuvvetlerinin iş parçası üzerindeki eksenel deformasyonlarının deneysel yolla gözlenmesi bazı zamanlar yeterli olmayabilir. Deneysel verilerin yeterli olmadığı zamanlarda veya deneysel sonuçların doğruluğunu ispatlamak amacıyla bazı nümerik hesaplamalara başvurulmuştur. Nümerik modelleme için iş parçası iki boyutlu bir kiriş eleman olarak modellenmiş ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca nümerik

sonuçları doğrulamak içinde iş parçası ANSYS de modellenmiştir. Uygun sınır şartları programda uygulanmış ve sonuçlar alınmıştır. Yapılan nümerik modellemelerle elde edilen değerler deneysel sonuçlarla uyumludur.

Yapılan bu çalışma silindirik iş parçasından talaş kaldırma esnasında oluşan sehim miktarları sonlu elemanlar ve deneysel olarak araştırılması yapılmıştır. Çalışmanın giriş kısmında talaş kaldırma yöntemlerine ve talaş kaldırma esnasında oluşacak hatalar kısaca anlatılmıştır. Literatür taraması kısmında bu güne kadar sehim ve çap hatasıyla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Materyal ve metot kısmında tornadan, talaş kaldırma yöntemlerinden, talaş kaldırmayı etkileyen faktörlerden bahsedilmiştir, talaş oluşumu ve talaş mekaniği anlatılmıştır. Deney düzeneğinin kurulması ve deneyin aşamaları anlatılmıştır. Bu bölümün son kısmında da sonlu elemanlar metodu ile yapılan işlemler anlatılmıştır. Çalışmanın bulgular ve sonuç kısmında ise deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan sonuçlar karşılaştırılıp öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

A. Karabulut yaptığı çalışmada tornalama işleminde punta kullanmadan, iş parçasını tek noktadan sabitleyerek yapılan kesme işleminde oluşan çap hatalarını deneysel olarak ve sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla gözlemlemiştir. Tornalamayla yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan kesme kuvvetleri nedeniyle iş parçası üzerinde sapmalar oluştuğunu gözlemlemiştir. Oluşan hataları lazer uzaklık sensörüyle iş parçasına temas olmadan ölçümler yapmıştır. Bununla birlikte her tornalama işleminde iş parçasının farklı noktalarından çap ölçümleri almıştır. Karabulut yaptığı deneysel çalışmada lazer uzaklık sensörüyle iş parçasından ölçtüğü sapmaların pik yaptığı noktalarda çap hatalarının da arttığını görmüştür (Karabulut, 2009).

Liu Zhan Qiang yaptığı çalışmada tornalanan iş parçalarında oluşan deformasyonu sonlu farklar yöntemiyle modellemiştir. Yaptığı çalışmada kesme kuvvetlerinin, iş parçası malzemesinin, iş parçası geometrisi ve iş parçası bağlama tekniklerinin kesme işlemi sonrasında iş parçasının deformasyonuna olan etkisini incelemiştir. Aynı zamanda sonlu farklar yöntemiyle geliştirdiği modelden elde ettiği sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Qiang, 1998).

L. Carrino v.d. yaptıkları çalışmalarda uzun parçaların tornalama işleminde işleme hassasiyetini ve iş parçasının çap hatalarını araştırmışlardır. Kesici takımında kesme esnasında oluşan sapmalar ve takım tutucudan kaynaklanan hatalar nedeniyle iş parçasında meydana gelecek çap hatalarını modellemişlerdir. Kesme işlemini modellerken üç boyutlu ve gerçeğe yakın değerler elde edebilmek için kesme kuvvetini klasik Armagero'nun genelleştirilmiş talaş kaldırma mekaniği yaklaşımına göre hesaplamışlardır. Diğer talaş kaldırma mekaniği yaklaşımlarının aksine kesme derinliğini üç boyutlu olarak hesaba katana bu yaklaşıma göre geliştirdikleri modelden elde ettikleri sonuçlar, gerçek tornalama işleminde oluşabilecek iş parçası hatalarına oldukça yaklaşılmıştır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda elde ettikleri nümerik çözümleri deneysel çalışmalarla karşılaştırarak geliştirdikleri modelin gerçeğe oldukça yakın olduğunu gösterilmiştir (Carrino et al, 2002).

Guo Jianliang ve Han Rongdi tornalama işleminde uzun parçaların tornalanması sırasında oluşan çap hatalarını araştırmışlardır. Uzun parçaların işlenmesinde kullanılan yatakların çap hatası ve diğer parametrelere olan etkisini analiz ederek bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model çap hatasının geometrik analizini, iş parçasında oluşan sapmanın sonlu eleman analizini ve kesme kuvvetlerinin istatistiksel verilerini bir arada incelemektedir. Aynı zamanda bu modele göre bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Modelden elde edilen hata tahminleri deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen modelden elde edilen verilerle deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin büyük oranda benzediğini gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte uzun parçaların tornalanması sırasında oluşan çap hatasının temel olarak kullanılan yatağın konumu, kesme derinliği ve ilerleme hızına bağlı olduğunu ortaya çıkarmışlardır (Jianliang and Rongdi, 2006).

İ. Tekait ve arkadaşları tornalama işleminde malzemenin işlenmesi esnasında, titreşime etki eden faktörlere bağlı olarak, kesici takımında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceleyerek, ideal kesme şartlarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla, kuru kesme şartları altında, talaş kırıcı kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak AISI 1050 malzeme üzerinde işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesme parametreleri olarak, sabit kesme derinliği (2,5 mm) dört farklı kesme hızı (200, 250, 300, 350 m/dk.) ve üç farklı ilerleme (0,15, 0,25, 0,35 mm/dev) kullanılmıştır. Talaş kaldırma esnasında titreşimler ve kesme kuvvetleri eşzamanlı, yüzey pürüzlülüğü ise daha sonra ölçülmüştür. Titreşim ivmesinin (rms) artan değerleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerleri de artış göstermiştir. Yaptıkları deneylerden elde ettikleri veriler titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki olumsuz etkisini açıkça ortaya koymaktadır (Teakit vd, 2009).

J. Lipski ve arkadaşları yaptıkları deneysel çalışmalarda iş parçasından talaş kaldırma işlemi sırasında kesme parametrelerine bağlı olarak mekanik titreşimler oluştuğu gibi, kesici takım tutucusunun geometrik yapısına, bağlantı tipine ve takım bağlama uzunluğuna bağlı olarak da titreşimlerin oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Kontrolsüz olarak oluşan bu titreşimlerin, iş parçasının yüzey kalitesi, kesici takım aşınması ve

kesme kuvveti karakteristikleri olarak ölçülebilen işleme performansını olumsuz olarak etkilediği gösterilmiştir (Lipski et al, 2002).

E. Topal yaptığı çalışmada bilgisayar sayısal denetimli tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin etkisiyle iş parçasında oluşan çap hatasını incelemiş ve oluşan hatanın düzeltilmesini hedeflemiştir. Kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için gerinim ölçer esaslı bir kuvvet dinamometresi tasarlayıp imal etmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve işlemeyle ilgili parametrelerin çap hatasıyla olan ilişkilerini deneysel olarak incelemiştir. Çap hatasının düzeltilmesi için bir hata düzeltme yöntemi önermiştir. Önerilen hata düzeltme yönteminin güvenilirliğini istatistiksel verilerle kontrol etmiştir. Geliştirilen bu yöntemle iş parçasında oluşan çap hatasını % 90 oranında azaltmıştır (Topal, 2003).

D. Apaydın yaptığı çalışmada AISI 4340 malzemesinin tornalanması esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri deneysel ve nümerik olarak araştırmıştır. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri dinamometre ile ölçülmüştür. Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel sonuçları ve nümerik sonuçlarla kıyaslamıştır. Yapılan araştırmada sonuçların birbiriyle örtüştüğünü gözlemiştir (Apaydın, 2009).

A. V. Phan ve arkadaşları talaşlı imalatla çap hatalarını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada bir model geliştirerek işlenen parçada oluşan elastik sapmaları tezgah ve takımındaki parametreleri de göz önünde bulundurarak kesme kuvvetlerine göre geometrik analizini yapmışlardır. Yaptıkları deneylerden elde ettikleri sonuca göre iş parçası çapında oluşan sapmaların takım tutucunun rijitliğiyle bağlantılı olduğunu görmüşlerdir. Buna rağmen takım tutucuları tam rijit olduğunu varsayarak sonlu eleman analizini yapmışlardır. Takım tutucu faktörünü sonlu eleman analizinden ayrı olarak hesaplayıp çalışmalarına eklemişlerdir (Phan et al, 2002).

R. Mayer ve arkadaşları tornalama işleminde çap hatasının tespitine yönelik önceden tahmin sistemi için bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada kesici takım, takım tutucu ve kesme parametrelerinin yanında termal genleşme etkisinin de uzun parçalarda çap hatası oluşmasına sebep olduğunu göstermişlerdir. Tornalama

işlemi için bu modele dayanan bir bilgisayar yazılımı geliştirerek çap hatalarını önceden tahmin edecek bir program oluşturmuşlardır (Mayer et al, 2000).

P.G. Benardos ve arkadaşları tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin iş parçası üzerinde oluşturduğu elastik sapmaları ve bu sapmalar nedeniyle oluşan işleme hatalarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada tornalama ile işlenen uzun iş parçaları üzerine gelen kuvvetler değişkenlik gösterdikçe talaş derinliğinin bu kuvvetlerden etkilendiğini görmüşlerdir. Buna göre yapay sinir ağı yardımıyla kesme parametreleri ve buna göre oluşan çap hatasını gösterecek bir model geliştirmişlerdir. Cnc torna tezgahında yaptıkları hassas deneylerden aldıkları sonuçlara göre yapay sinir ağı yardımıyla çap hatalarının önceden tahmininin mümkün olduğunu göstermişlerdir (Benardos et al, 2006).

C. N. Erkoç AUTOCAD ve ANSYS paket programlarını kullanarak mil tasarımı yapmıştır. Milin statik elastik gerilme analizi ANSYS programında yapılmıştır. Bu amaçla eleman boyutu verilerek mil sonlu elemanlara bölünmüştür. Sınır şartlarını, malzeme özellikleri ve dış yükleri verdikten sonra problemi çözmüştür. Problemin çözümünden sonra milde oluşan gerilmeleri grafik ve tablo haline getirerek incelemiştir (Erkoç, 2000).

S. Köksal ve arkadaşları yaptıkları çalışmada talaş kaldırma işleminde takım ile talaş arasındaki sıcaklığı ölçmüşlerdir. Takım-Talaş ara yüzey sıcaklığının doğrudan ölçülmesi pratik olarak zor olduğu için bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Sonlu elemanlar modelinin geliştirilmesinde esas alınan deneysel verilerin elde edilmesinde takıma gömülmüş ısı çift yöntemi kullanmışlardır. Deneysel veriler dik tornalama yöntemiyle ST44 çelik malzemesinin HSS kesici takımlar işlenmesi sonucunda elde etmişlerdir. Geliştirilen modelden alınan sonuçlarla deneysel veriler kıyaslandığında, takım-talaş ara yüzeyi sıcaklık dağılımının %90 bir doğrulukta tahin edilebildiğini görmüşlerdir (Köksal vd, 2009)

S. Taşgetiren ve arkadaşları kesme işlemi esnasında meydana gelen kuvvetlerin takım üzerindeki etkilerini ve bu etkilerin iş parçası üzerinde meydana getirdiği sonuçları

araştırmışlardır. Kesme kalemi göz önüne alarak kesme kuvvetleri ve sürtünme durumlarının neden olduğu gerilmeleri sonlu elemanlar metodunu kullanarak hesaplamışlardır. Tresca kriterine göre yaptıkları değerlendirme sonucunda aim aşınmasının öncelikli hasar türü olduğunu gözlemlemişlerdir. (Taşgetiren vd, 2000)

A. Kurt ve U. Şeker Al 2007 alüminyum alaşımlı malzemenin dik kesme işleminde kullanılan beş farklı talaş derinliğinin kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS paket programını kullanarak analiz etmişlerdir. Esas kesme kuvveti ve pasif kesme kuvvetinin kesici takım üzerindeki etkisi, takım-talaş uzunluğu dikkate alınarak oluşturulan sonlu eleman modellerinde talaş yüzeyinde ve yardımcı yüzeyde normal ve teğetsel kuvvet bileşeni biçiminde uygulamışlardır. Sonlu eleman analizlerinden talaş derinliğindeki artışa paralel olarak en büyük asal gerilme ve von Mises gerilme dağılımlarında da yükselmelerin olduğunu gözlemlemişleridir (Kurt ve Şeker, 2004).

H. M. Şahin ve A. Acır talaş kaldırma işleminde kesici takım ve talaş arasında oluşan sıcaklık dağılımını sonlu farklar metodunu kullanarak araştırmışlardır. Sürekli işleme halinde takım ve talaş ara yüzeyindeki sıcaklığı belirlemek için, sonlu farklar metoduna dayalı nümerik bir model seçilmişleridir. Dik kesme işlemlerinde, sürekli kesme halinde takım talaş kesme yüzeyi temas bölgesinde, takım talaş arasında oluşan ısı transfer analizi yapılmıştır. Birinci bölgede oluşan kayma enerjisi, ikinci bölgedeki kesici yüzey ile talaş temas bölgesinde oluşan sürtünme enerjisi ve sabit haldeki kesici takım ve hareket halindeki talaş arasındaki ısı dengesini ele almışlardır. Birinci ve ikinci bölgedeki sıcaklık dağılımı sonlu farklar metodunu kullanan FORTRAN dilinde bir bilgisayar programıyla çözmüşlerdir. Matematiksel model ve elde edilen simülasyon sonuçları literatürde belirtilen deneysel değerlerle uyumlu çıktığını gözlemlemişlerdir (Şahin ve Acır, 2003).

İ. A. Özkan ve arkadaşları tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin tahmini için oluşturulan yapay sinir ağı modeli geliştirdikleri bir çalışma yapmışlardır. Yapay sinir ağı modelinde, tornalama işleminde değişik kesme şartlarında elde edilen kesme kuvvetleri ve sıcaklık değerleri tahmin tahmin edilmektedir. Oluşturdukları model ile

elde ettikleri sonuçlarla deneysel olarak elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda iki yöntem arasında 0,988 regresyon değeri bulmuşlardır. Geliştirmiş oldukları yapay sinir ağı modelinin, kesme kuvvetlerinin tahmini işleminde güvenle kullanılabileceğini görmüşlerdir (Özkan vd, 2009).

H. Gürbüz yaptığı çalışmada tornalama işlemlerinde kullanılan farklı talaş kırıcı geometrilerinin, talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve takım gerilmeleri üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırmıştır. Talaş kırıcı formunun değişik parametrelere bağlı olarak kesme kuvvetlerine etkisi deneysel olarak ölçülmüş ve kesme kuvvetlerindeki değişimin, kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisini analiz etmiştir. En yüksek kesme kuvvetlerine genellikle SA talaş kırıcı formunda ulaşıldığını gözlemlemiştir. Talaş kırıcı geometrisinin kesici takım üzerindeki etkisini, bir sonlu eleman paket programı olan ANSYS yardımıyla incelemiştir. Kaplamalı kesici takımların kaplamasız kesici takımlara göre daha yüksek gerilmelere maruz kaldığını gözlemlemiş, özellikle çok ağır işleme şartlarında kaplamasız kesici takımlardaki gerilmeler, kaplamalı kesici takımlara göre yüksek çıkmıştır. Genel olarak en büyük asal gerilme (S1) , en küçük asal gerilme (S3) ve von Mises (SEQV) gerilmelerindeki en yüksek değerlere kaplamalı SA, MA ve en düşük değerlere ise kaplamasız STD talaş kırıcı formunun sebep olduğu sonucuna varmıştır (Gürbüz, 2006).

M. Günay dönel parçalardan sabit kesici takımlarla talaş kaldırma işlemlerinde, kesici takım talaş açısının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştıran bir çalışma hazırlamıştır. Bu amaçla kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için bir dinamometre tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, özellikleri iyi bilinen AISI 1040 malzeme kullanarak, beş farklı kesme hızında, ilerleme ve talaş derinliğini sabit tutarak, negatiften pozitif doğru 8 farklı talaş açısı için asıl kesme kuvveti (Fc) ve ilerleme kuvveti (Fa) belirlemiştir. Yaptığı değerlendirme sonucunda, talaş açısının pozitif olarak değiştirilmesi ile asıl kesme kuvvetinde düşme eğilimi gözlemlemiştir. İlerleme kuvveti için, özellikle 0° talaş açısında en düşük değerlerin elde edildiği, talaş açısının negatif ve pozitif olarak artmasıyla ilerleme kuvvetinin arttığını görmüştür. İşlenen numunelerin yüzey pürüzlülüklerini değerlendirdiğinde, talaş açısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok etkili bir parametre olmadığını tespit etmiştir (Günay, 2003).

A. Kurt talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi, kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlar metoduna dayalı çözüm yapan ANSYS paket programı kullanılarak analizini ve elde edilen bulgular ışığında esas kesme kuvveti ve gerilmelerin matematiksel olarak modellenmesini üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu amaçla, değişik kesme parametreleri kullanarak her biri çeşitli geometrilerde olan farklı kesici takımlarla işlenen, Inconel 718 ile AISI 1117 iş parçası malzemeleri üzerinde çeşitli kesme deneyleri yapmış ve kesici takım geometrisinin etkilerinin incelenmesi amacıyla Inconel 718, AISI 1040 ve AISI 4320 için literatürde yer alan deney sonuçlarından da yararlanmıştır. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerini 9257B (Kistler) dinamometre yardımıyla ölçmüştür. Kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel ölçümlerle belirlenen ve literatür den alınan kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerindeki üç boyutlu gerilme etkilerini, sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS programı yardımıyla analiz etmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve dolayısıyla da kesme parametrelerinin kesici takımda gerçekleşecek takım aşınmalarının yeri ve değişimi ile ilgili gerçekçi bilgiler verdiğini gözlemlemiştir. Takım tutucu ve kesici uç açıları ile talaş kırıcı formu gibi kesici takım geometrilerinin gerilmeler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kesme deneyleriyle ölçülen esas kesme kuvveti verilerini kullanarak, esas kesme kuvveti için uygulanabilir bir matematiksel model geliştirmiştir. Esas kesme kuvveti ve gerilme bileşenleri için geliştirilen model sonuçları ile deneysel ve analiz sonuçlarının çok yakın bir dağılım sergilediği ve pratik olarak kullanılabileceği gösterilmiştir (Kurt, 2006).

M. Şimşek yaptığı çalışmada kafes kiriş sistemlerinde belirli düğüm noktalarına uygulanan kuvvetlerin çubuklarda oluşturdukları gerilme ve yer değiştirmelerin analizi amaçlamıştır. Bu amaca ulaşmak için bir örnek problem olarak bir kafes kiriş sisteminde belirli düğüm noktalarına uygulanmış kuvvetlerin, önceden kabul edilmiş sınır şartları altında, sonlu elemanlar metodu kullanılarak kiriş elemanlarda meydana gelen gerilme ve yer değiştirmelerin teorik olarak analizini yapmıştır ve buna uygun sonlu elemanlar bilgisayar programı geliştirmiştir. Ayrıca bilgisayar programı kullanılarak kiriş elemanlarındaki gerilme ve yer değiştirmeleri hesaplamıştır. Bu çalışmalar neticesinde sayısal bir çözümleme tekniği olan sonlu elemanlar yönteminin

klasik çözüm yöntemlerine göre daha hassas ve ekonomik olduğu, ayrıca son derece karmaşık problemlerin çözümü içinde daha kullanışlı olduğunu gözlemlemiştir (Şimşek, 1995).

R. Mergen yaptığı çalışmada; farklı talaş açılarına sahip HSS torna kalemlerindeki gerilmeleri analiz etmiştir. Bunun için AISI 1040 çelik malzeme ile 30, 50, 70, 90 ve 120'lik talaş açılarına sahip HSS torna kalemleri kullanmıştır. Deneylerde; talaş derinliği değerlerini (a) = 1 mm, 1,5 mm ve 2 mm olarak seçmiştir. Kesme hızını (V_c)= 45 m/dk ve ilerlemeyi (s)= 0,2 mm/dev olarak sabit tutmuştur. Deneylerde kullandığı iş parçasının çapı 39 mm, boyu da 200 mm'dir. Kesme kuvvetlerini ölçmek için 10 sn talaş kaldırılarak saniyede 3000 veri almıştır. Talaş kaldırma esnasında oluşan esas kesme kuvveti (F_c), ilerleme kuvveti (F_a) ve pasif kuvvet (F_p) KISTLER 9257B model piezoelektrik bir dinamometre ile ölçülmüştür. Ölçülen bu kuvvetleri kullanarak, ANSYS 7.0 paket programı yardımıyla kesici takımdaki gerilmeleri hesaplamıştır. Hesaplamalarda üç eksendeki kuvvetler, takım-talaş temas yüzeyine normal ve teğetsel yükler şeklinde ayrı ayrı uygulamıştır. Analizler sonucunda elde edilen eşdeğer gerilmelerin 1028,8 MPa ile 1910,5 MPa arasında değiştiğini gözlemlemiştir (Mergen, 2005).

A. Duran araştırmasında; tornalama esnasında oluşan üç eksendeki kesme kuvvetlerini ölçebilecek streyn geyç tipi sekizgen halka dinamometresi tasarlamış ve Ç1060 malzemeden yapımı gerçekleştirmiştir. İmal edilen dinamometrenin kapasitesi 5N-3000N'luk kesme kuvvetini ölçebilecek büyüklüktedir. Sabit kesme şartları ve açılarında ve lik kesici kenar ayar açısına sahip HSS torna kalemleri ile Ç 1060 malzemenin işlenmesi esnasında oluşan kuvvetler 1680-1325 N arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Bu kuvvetlerin torna kalemi üzerinde yarattığı gerilmeleri ANSYS sonlu elemanlar paket programı ile hesaplamıştır. Kesme şartları ve kesme açıları parametreleri sabit kalmak kaydıyla, kesici kenar ayar açılarının değişimine göre gerilmelerin değişimleri araştırmıştır (Duran, 1998).

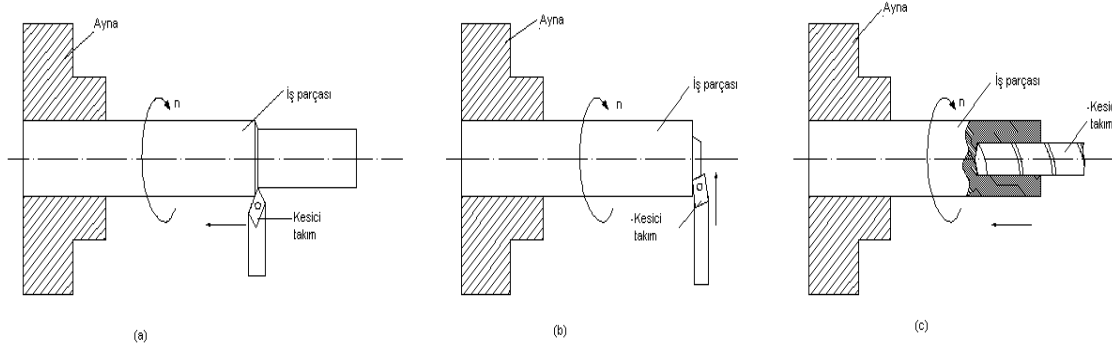
H. İnan yaptığı çalışmada; ANSYS sonlu elemanlar programı ile torna tezgahındaki takım tutucularda meydana gelen gerilmelerin analizi incelemiştir. Bunun için AISI

1040 elik malzeme ile farklı profillerdeki takım tutucular kullanmıştır. Deneyler; kesme hızı (Vc) 80 m/min, talaş derinliği (a) 2 mm ve ilerleme (s) 0,2 – 0,3 mm/dev’lik kesme şartlarında, 40mm çapında ve 300mm boyundaki AISI 1040 elik malzemelerin üzerinden niversal torna tezgahı ve CNC torna tezgahlarında en az 100 mm’lik boyundan talaş kaldırarak gerçekleştirmiştir. Talaş kaldırma esnasında oluşan esas kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Ff) ve pasif kuvvet (Fp)’ler KİSTLER 9257b marka piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda elde edilen maksimum kuvvetler, daha önce katı modeli oluşturularak ANSYS paket program ortamına taşınan takım tutucu modellerine, Zorev’in takım talaş ara yüzeyi yaklaşımı da dikkate alınarak, talaş temas yüzeyine normal ve teğetsel kuvvetlerin bileşenleri olarak yayılı yük şeklinde uygulanmıştır. Analizler sonucunda eşdeğer gerilmelerin takım tutucuların n kısmında yoğunlaştığını ve 16,263 Mpa ile 112,906 Mpa arasında değişim gösterdiği gözlemlemiştir (İnan, 2004).

3. MATERYAL VE METOD

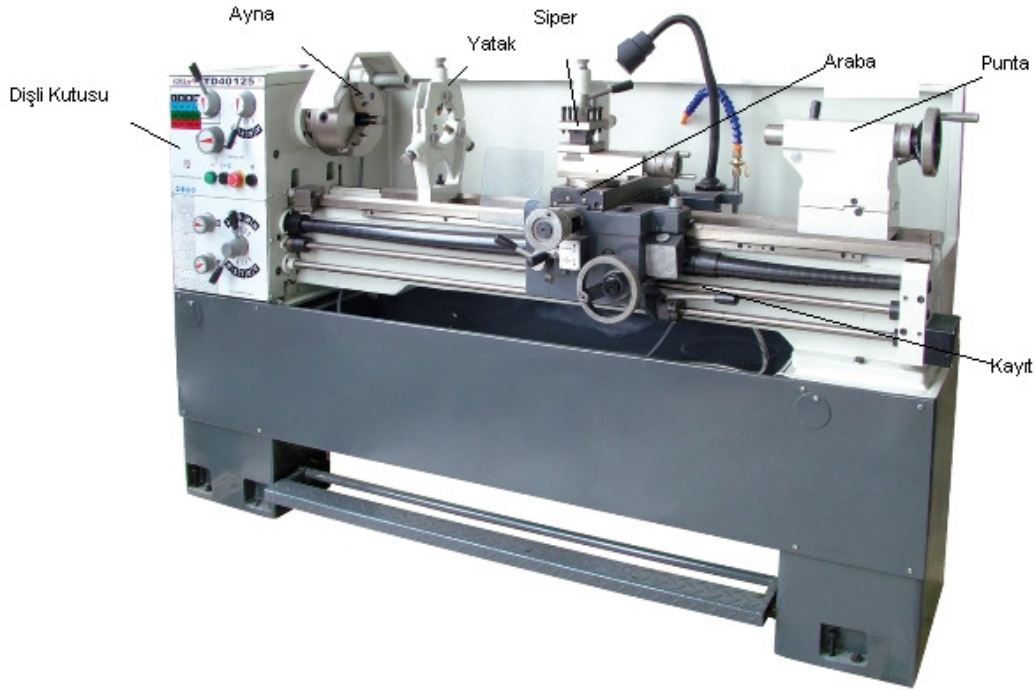
3.1 Tornalama

Tornalama işleminde aynaya bağlanan iş parçasının dönmesi ile kesici ucun bağlandığı takım tutucunun ilerleme hareketi yapması sonucu talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Tornalamanın boyuna tornalama, alın tornalama, delik tornalama gibi çeşitleri vardır. Şekil 3.1 de tornalama çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Torna çeşitleri a) boyuna tornalama b) alın tornalama c) delik tornalama

Klasik bir torna tezgahında ayna, karşılık puntası, araba, ilerleme mili gibi bir çok aparat bulunmaktadır. Resim 3.1 de torna tezgahında bulunan aparatlar gösterilmiştir. Ayna iş parçasının tornaya bağlanmasını sağlayan makine elemanıdır. Üniversal üçayaklı ayna, dört ayaklı ayna ve fır döndü ayna olmak üzere üç çeşit ayna tipi vardır. Üniversal üçayaklı aynaya silindirik olan parçalar bağlanırken manuel sıkma anahtarı ile açılıp veya sıkıldığında ayaklar aynı anda hareket ederler. Dört ayaklı ayna ise prizmatik parçaların bağlanması için kullanılır. Ayakların hareketi üçayaklı aynanın tersine birbirinden bağımsız olarak her bir ayak için ayrı sıkma ve gevşetme işlemi yapılır. Fır döndü aynası ise silindirik parçaları sıkma çeneleri olan aynalar kullanmaksızın tezgaha bağlamak amacıyla kullanılır. İş parçası iki punta arasında işlenmiş olur.



Resim 3.1 Torna tezgahı ve aparatları

Dişli kutusu, motordan alınan hareketi aynaya iletirken farklı iletim oranlarına bağlı olarak farklı devir sayıları elde etme imkanı sağlar. Karşılık puntası, torna tezgahının kayıtları üzerinde hareket edebilen ve uzun parçaların bağlanmasında kullanılan yardımcı bir elemandır. Araba, kesici takımı taşıyan elemandır. Torna tezgahının kayıtları üzerine oturtulmuş ve bu kayıtlar üzerinde sağa sola hareket edebilmektedir. Siper, araba üzerine yerleştirilmiş ve çevresinde 360° dönebilen aparattır. Yatak uzun iş parçaları işlenirken salınım yapmamasını sağlayan aparattır.

Tornalama işlemi sırasında iş parçası tornaya genelde iki şekilde bağlanır. İlk metotta iş parçasının bir ucu aynaya diğer ucu serbest olacak şekilde bağlama. İkincisinde ise iş parçasının bir ucu aynaya diğer ucu puntaya sabitlenerek bağlama yapılır.

Tornalama işleminde uygulanan temel parametreler kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğidir.

3.1.1 Tornalamada Kesme Hızı, İlerleme ve Talaş Derinliği

Tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi başlangıç parametrelerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu parametrelerin dışında birçok faktör vardır. Bu faktörlerin iyi ayarlanması ile tornalama işlemi sorunsuzca yapılabilir. Diğer faktörler için değişik tablo ve çizelgeler vardır. Bu çizelgelerden uygun olanlar seçilerek tornalama işlemi yapılır. Bu faktörlerin seçiminde malzemenin cinsi, sertliği ve kesici ucun malzemesi gibi özellikler göz önüne alınmalıdır.

Kesme Hızı

Bir torna tezgahında iş parçası devir/dakika cinsinden belirli bir ana mil hızıyla (n) döner. Bu dönme hızı iş parçasının işlendiği noktada, işlenen çapa bağlı olarak, bir kesme hızının veya çevresel hızın (V_c m/dak) ortaya çıkmasına neden olur. Bu hız kesici takımın iş parçası yüzeyini işlediği hızdır (Çakır, 2000). Kesme hızı şekil 3.2 de gösterilmiştir. Kesme hızı dönme sayısı ve çap değişmediği sürece sabittir.

Kesilen malzemenin cinsi, kullanılan kesici takımın cinsi, torna tezgahının gücü ve kapasitesi, ilerleme miktarı, talaş derinliği, işleme cinsi kesme hızını etkileyen faktörlerdir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte üreticiler kesme işleminin daha hızlı yapılarak daha çok parça üretimini istemektedirler. Bu nedenle de işlenecek iş parçası için uygun kesme hızı kullanılmalıdır. Uygun seçilmemiş bir kesme hızıyla yapılan talaş kaldırma sonucunda talaş aşınacak veya iş parçası yüzeyi istenen hassasiyette olmayacaktır. Bu sebeple de üretim aksamış veya maliyet artmış olacaktır. Çizelge 3.1 de iş parçası malzemesine göre kesme hızı değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 İş parçası malzemesi ve kesme hızı arasındaki ilişki

İş Malzemesi	Kesme Hız (m/dak)
Aluminum Alaşımları	300-3000
Dökme Demir	90-1300
Bakır Alaşımları	90-1000
Çelikler	60-450
Paslanmaz Çelikler	90-500
Termoplastikler ve Termosetler	90-1400
Titanyum Alaşımları	40-150

Tornalama işleminde kesme hızı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$V = \frac{\pi.D.n}{1000} \quad m/dak \quad \dots\dots\dots(1)$$

Bu bağıntıda V : Kesme hızı (m/dak), D : İş parçası çapı (mm), n : İş parçasının dakikadaki devir sayısı (dev/dak) dır.

Kesme hızı iş parçasının malzemesine, kesici takım malzemesine, talaş kesidini (kaba talaş, ince talaş) tayin eden talaş derinliğine, ilerlemeye, kesme sıvısına ve tezgahın tasarımına bağlıdır (Akkurt, 2004).

İlerleme

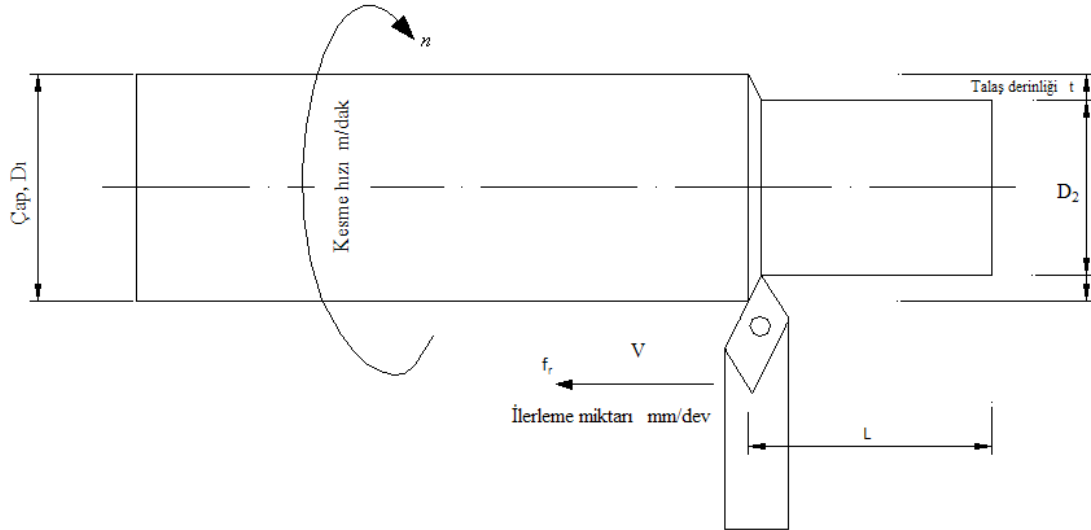
Kesici takımın dakikada iş parçasının eksenini boyunca yaptığı ilerleme olarak tanımlanabilir. Şekil 3.2 de ilerleme gösterilmiştir. Yüzey tornalamada ilerleme iş parçasının eksenine paralel, alın tornalamada ise ilerleme iş parçasının eksenine diktir. İlerlemenin birimi mm/dak dır.

Talaş Derinliği

Kesici ucun iş parçasına daldığı miktar olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle tornalanmamış çap ile tornalanmış çapın yarısı olarak ifade edilebilir. Genellikle talaş derinliği t ile gösterilir. Talaş derinliği (t) Şekil 3.2 de gösterilmiştir.

$$t = \frac{D_1 - D_2}{2} \dots\dots\dots(2)$$

Talaş derinliği her zaman kesici kenara değil, takımın ilerleme yönüne dik açı yapacak şekilde ölçülür (Çakır, 2000).



Şekil 3.2 Talaş kaldırma işleminde kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği
(Şahin, 2000)

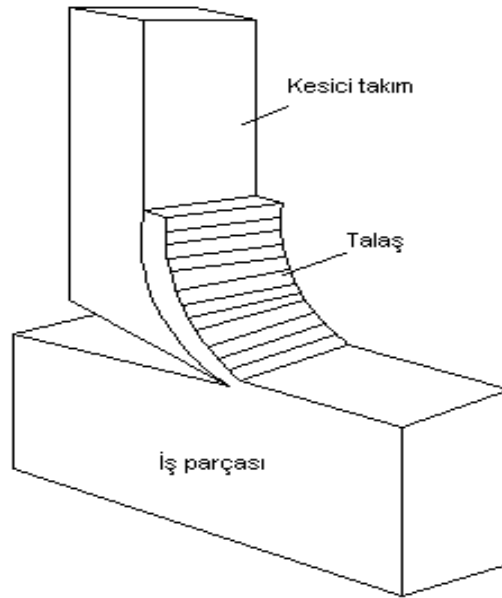
3.1.2 Tornalamada Takım Geometrisi

Tornalama işleminde talaş kaldırmak için kullanılan kesme işini yapan aparata takım denir. Tornalamada takımlar iki kısımdan oluşur. Bunlar sap ve kesici kısımlardır.

Takımın kesici kısmının geometrisi belirli bir referans sistemine göre tayin edilir. DIN 6851 standardına göre kesme yönünü esas alan takım referans sistemi ve etki yönünü esas alan etki referans sistemi olmak üzere iki referans sistemi vardır (Akkurt, 2004).

3.2 Talaş Kaldırma Yöntemleri

Makine imalat sanayisinde metal alaşım ve dökme demirlerden yapılan makine parçalarının üretiminde torna, freze, taşlama vb gibi tezgahlar kullanılır. Bu takım tezgahlarına bağlanan iş parçalarının istenilen boyut ve geometriye getirilebilmesi için fazla olan malzemenin parçadan ayrılmasına talaş kaldırma işlemi denir. Başka bir deyişle keskin bir takımla parça üzerinden malzeme kaldırma işlemine talaş kaldırma denir. Bu şekilde çıkan malzemeye de talaş denir. Şekil 3.3 de talaş kaldırma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Talaş kaldırma işlemi

Talaş kaldırma işlemi takım tutucunun iş parçası üzerinde izafi hareketiyle sağlanır. Talaş kaldırma sırasında iş parçası ve kesici takım arasında üç tür hareket vardır. Bunlar kesme, ilerleme ve ayar hareketleridir. Bu hareketlerden kesme hareketi aslı yapılmak istenen işlem olan talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi ise kesici takımın iş parçası üzerindeki işlenecek kısmın belirlenmesini sağlayan harekettir. Ayar hareketi ise kesici takımın iş parçasına yaklaşmasını ve talaş kaldırma işlemi bittikten sonra kesici takımın tekrar başlangıç noktasına dönmesini sağlayan harekettir.

3.3 Talaş Kaldırma ve Talaş Oluşum Mekanîği

Talaş Kaldırma

Makine imalat endüstrisinde iş parçasının istenen şekilde işlenebilmesi için sadece iş parçası malzemesinin özelliklerinin bilinmesi yeterli değildir. Kesici takımın, kesme şeklinin ve hangi tezgahla işleneceğinde bilinmesi gerekmektedir.

Kesici takımın işlenecek olan iş parçası yüzeyinden parça koparması işlemine talaş kaldırma denir. Metal kesmede talaş oluşumu bir plastik akma işlemidir. Bu olay sürtünme, ısı üretimi, talaşın oluştuktan sonra tekrar deformasyonu (veya kırılması), iş parçası yüzeyinin pekleşmesi ve takımın aşınması gibi olayları da beraberinde getirir (Topal, 2003).

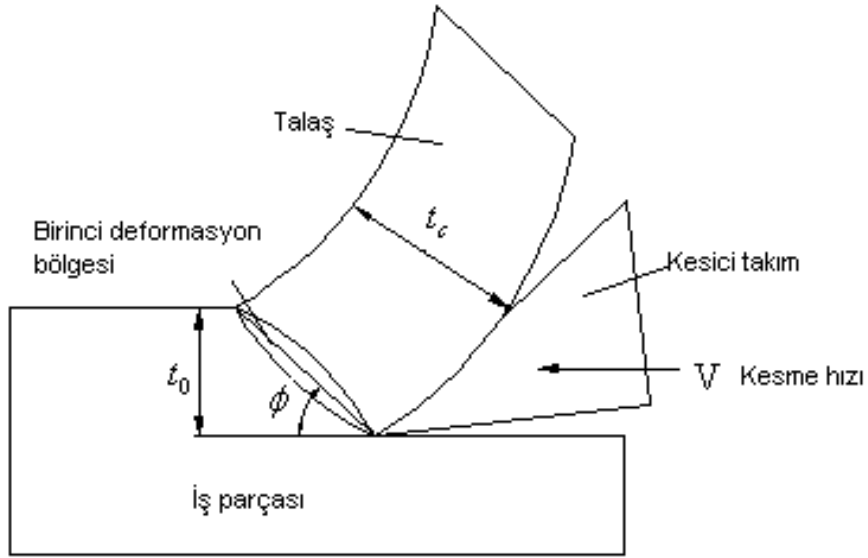
Talaş Oluşum Mekanîği

Talaş oluşum mekanîğinde talaş kaldırma esnasında, işlenecek olan iş parçası, kesici takım ve tezgah ilişkisinin iyi kurulması gerekmektedir. Talaş oluşumunun meydana gelebilmesi için bazı gereksinimlere ihtiyaç vardır. Bunları şu şekilde özetlenebilir.

- Seçilen kesici takımın talaş kaldırabilmesi için belirli bir uç geometrisine sahip olması gerekir.
 - Kullanılan kesici takımın iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı dirençli olması gereklidir.
 - Kesici takım malzemesinin, kesmeye karşı göstermiş olduğu direnci yenebilmesi için takım ile iş parçası arasında belirli bir kesme hızı olması gerekir (Apaydın, 2009).

Şekil 3.4 de görüldüğü gibi deforme olmamış talaş derinliği (t_0) kesici takımın talaş kaldırmaya başlamasıyla beraber (t_c) şeklini almaktadır. Talaş kaldırma işleminde talaşın deformasyonu birinci bölgede başlar. Talaş kaldırma işleminde kesiciye ait kesme kenarı iş parçasının belirli bölümünü deforme ederek parça üzerinden talaşı

ayırır. Talaş kaldırılacak malzeme üzerindeki gerilmeler kesici kenara yaklaştıkça artış gösterir. Gerilmelerin artması ve malzemenin akma sınırını geçmesi ile plastik deformasyon meydana gelir. Bu esnada talaş birinci deformasyon bölgesinden geçerken kesme için harcanan enerjinin büyük çoğunluğu ısı enerjisine dönüşür. Kesme işleminde kayma düzlemi elde edilene kadar metal deforme olmaz.



Şekil 3.4 Talaş oluşumu

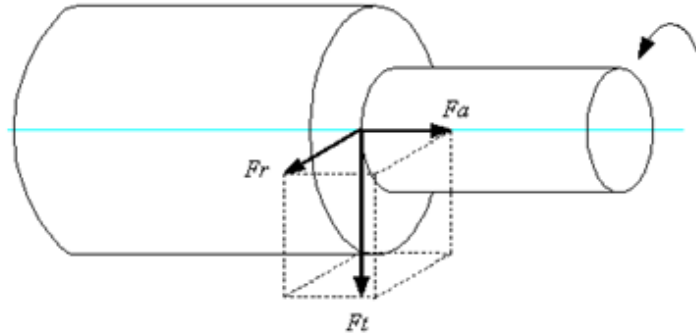
Talaş Oluşumuna Etki Eden Faktörler

İş parçasından talaş kaldırma işleminde talaş oluşumu için kesici takımın iş parçasından daha sert olması ve aşınmaya karşı dirençli olması gerekmektedir. İş parçası ve takım arasında dalmayı sağlayacak olan kesici uç geometrisinin uygun şartlara sahip olması ve talaş kaldırmak için iş parçasının kesici takıma göstereceği direnci yenebilecek bir kesme hızının olması gerekmektedir. Talaş kaldırma işleminde kullanılan kesme parametreleri talaş oluşumunu doğrudan etkilemektedir. Kesme hızının artması kesme sıcaklığının artmasına sebep olacaktır. Kesme sıcaklığının artmasından dolayı malzemeden daha kolay talaş kaldırılacaktır. Bu da kesme kuvvetinin azalmasını sağlayacaktır. İlerleme değerinin artması ile birim zamanda kaldırılan talaş miktarı arttığından kesme kuvvetleri artmaktadır. Talaş derinliğinin artmasıyla da kaldırılan talaşın kesiti artacağından kesme kuvvetleri artmaktadır.

Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma sırasında kesici takımın iş parçasına uyguladığı kesme kuvvetlerinin işlenen parçanın tamliğini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Kesme kuvvetleri talaş kaldırma sırasında ilerleme hızı, talaş derinliği, kesme hızı, takım ve talaş geometrisi, iş parçası, tezgahın titreşimi, sıcaklık gibi değişkenlerden etkilenmektedir. İş parçasına etki eden kesme kuvvetleri işlenen iş parçasının tamlığı konusunda önemli bir bilgi kaynağıdır.

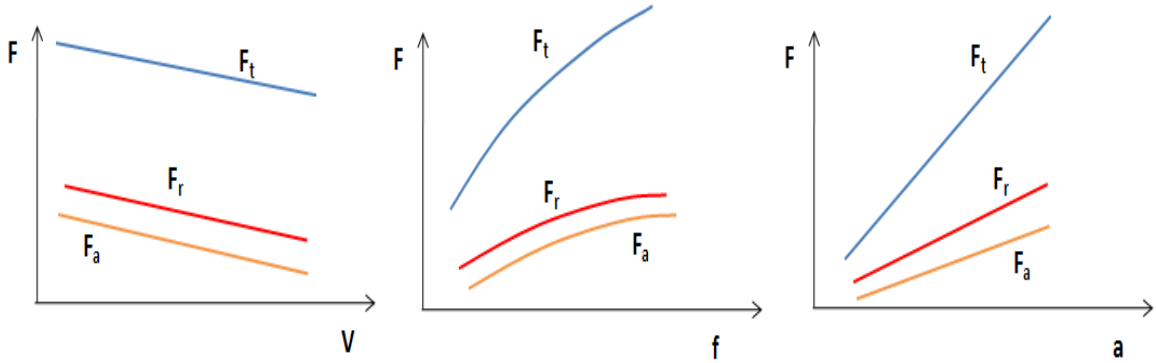
Bir talaş kaldırma işleminde malzeme direncini yenerek talaş kaldırabilmek için kesicinin belirli kuvvetlere karşı koyabilmesi gerekmektedir. Bu kesme kuvveti üç bileşende incelenebilir; Teğetsel kesme kuvveti olan F_r iş parçasına teğet bir kuvvet olup iş parçasının dönme yönüne zıt bir kuvvettir ve radyal kuvveti olarak da bilinir. Eksenel kuvvet olan F_t ise iş parçasının eksenine dik yönde etki eden bir kuvvettir ana kesme kuvveti olarak da ifade edilir. İlerleme kuvveti olan F_a ise iş parçasının eksenine paralel ve kesici takıma zıt yönlü olan kuvvettir. Şekil 3.5 de oluşan kesme kuvvetinin bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Tornalama esnasında meydana gelen kesme kuvvetleri

Talaş kaldırma sırasında kesici takımın iş parçasına uyguladığı kesme kuvvetleri seçilen kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi parametrelere göre farklılıklar göstermektedir. Şekil 3.6 daki ölçeksiz grafiklerde kesme parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde kesme hızının

artmasıyla malzeme daha çabuk deformasyona uğrayacağından şekil değiştirme hızı artacaktır. Artan şekil değiştirme hızı kesme sıcaklığını artırır. Artan kesme sıcaklığı ise malzemenin daha kolay kesilmesine sebep olacağından kesme kuvveti azalmaktadır. Artan ilerleme değeri birim zamanda kaldırılan talaş miktarını arttıracığından kesme kuvvetleri artmaktadır. Benzer şekilde talaş derinliğinin artması da talaş miktarını arttıracığından kesme kuvvetleri artmaktadır.



Şekil 3.6 Kesme kuvvetinin kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine göre değişimi

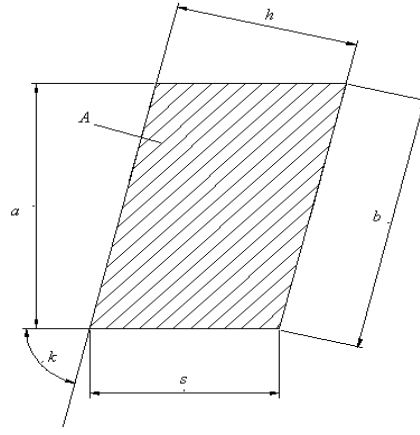
(K Aslantaş, 2007)

F_t Teğetsel (Asıl Kesme) Kuvvetinin Hesaplanması

Ana kesme kuvvetinin hesaplanabilmesi için talaş kesitinin ve işlenecek olan iş parçasının özgül kesme kuvvetinin bilinmesi gerekir. Bu asıl kesme kuvveti formüle edilecek olursa;

$$F_t = \text{Talaş Kesiti} \times \text{Özgül Kesme Kuvveti}$$

Talaş kesiti hesaplanırken kesit üzerinde oluşan parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Şekil 3.5 de $(a)mm$ cinsinden talaş derinliğini, $(s) mm/devir$ cinsinden ilerlemeyi, $(h)mm$ cinsinden talaş kalınlığını, $(b)mm$ cinsinden talaş genişliğini, $(A)mm^2$ cinsinden talaş kesit alanını (k) ise kesme kenar açısını ifade etmektedir.



Şekil 3.7 Talaş Kesiti

Talaş kesitini tayin eden en önemli faktör (k) kesme kenarı açısıdır. Şekil 3.5. daki taralı alan, talaş kesitini ifade etmektedir. $k = 90^\circ$ 'de talaş kesiti dikdörtgen, $k < 90^\circ$ olması durumunda ise kesit, paralelkenar şeklindedir. Talaş kesitinin geometrik yapısı, alan hesabı açısından önemlidir (Mendi, 2006).

Burada;

Talaş kesiti,

$$A = a.s = b.h \text{ mm}^2$$

Talaş kalınlığı,

$$h = s.\sin(k) \text{ mm}$$

Talaş genişliği,

$$b = a / \sin(k) \text{ mm}$$

Asıl kesme kuvveti,

$$F_t = A.k_s \text{ N}$$

Özgül kesme kuvveti,

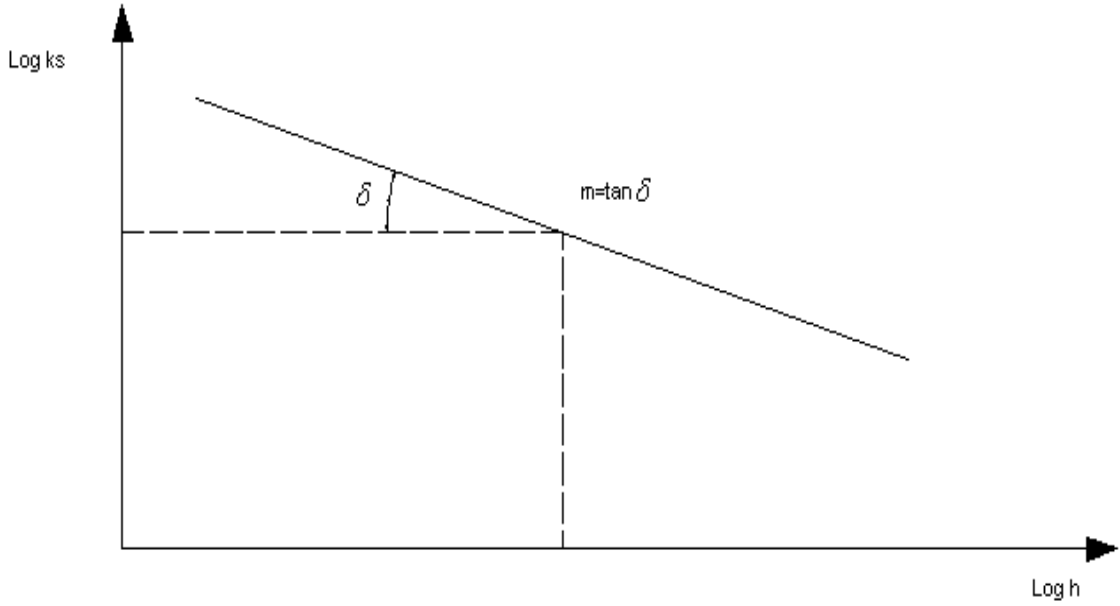
$$k_s = k_{11} / h^m \text{ N / mm}^2$$

Bağıntıları ile hesaplanır.

Talaş kesiti ve özgül kesme kuvveti asıl kesme kuvveti formülünde yerine koyulursa bağıntı aşağıdaki gibi olur.

$$F_t = a.s.k_{11} / h^m \dots\dots\dots(3)$$

Bu bağıntıdaki k_{11} ; talaş kalınlığı 1mm ve talaş derinliği 1mm olan bir kesitin özgül kesme kuvveti, m ise Şekil 3.8 deki doğrunun karakteristik eğimidir.



Şekil 3.8 Talaş kalınlığı ile malzemenin özgül kesme direnci arasındaki ilişki

Şekil 3.8 deki diyagram, işlenen bir gerecin talaş kalınlığı ile (h), aynı gerecin özgül kesme kuvveti arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Buna göre, talaş kalınlığının (h) artan değerlerine karşılık, malzemenin özgül kesme kuvveti (ks) azalır. (m) eğimi, her gereç cinsi için farklı değerler taşır (Mendi, 2006). Çizelge 3.2 de farklı malzemeler için m ve k_{11} değerleri verilmiştir.

Deneysel çalışmalar talaş kaldırma sırasında asıl kesme kuvvetini (F_t) olumlu veya olumsuz yönde etkileyen birçok faktörün olduğunu göstermiştir. Bunlardan en önemlileri (k_v) kesme hızı faktörü, (k_γ) talaş açısı faktörü, (k_a) takım aşınma faktörü, (k_t) takım gereci faktörü olarak sıralanabilir. Kesme hızı faktörü, kesme hızına göre tablodan seçilmektedir. Talaş açısı faktörü, 5 nolu bağıntıdan hesaplanmaktadır. Takım aşınma faktörü, kullanılan takıma göre seçilmektedir. Takım gereci faktörü ise kesici takımın malzemesine göre seçilmektedir. Bu faktörlerden sonra asıl kesme kuvveti F_t 'yi aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$F_t = a \cdot s \cdot k_s \cdot k_v \cdot k_\gamma \cdot k_t \cdot k_a \dots\dots\dots(4)$$

Çizelge 3.2 farklı malzemeler için m ve k_{11} değerleri (Mendi, 2006)

Malzeme	Brinell Sertliği	m	k_{11} (N/mm ²)
St 34, St 37, St 42	150	0,17	1780
St 50	200	0,26	1990
St 60	150-200	0,17	2110
St 70	200-280	0,3	2260
% 0,15 C li çelik (C 15)	200-280	0,22	1820
% 0,15 C li çelik (C 35)	280-330	0,2	1880
Kükürt ve fosfor oranı çok az olan asil çelik (C _k 45)	330	0,14	2220
Alaşımlı çelik (18 Cr Ni 6)	280-300	0,3	2260
Alaşımlı çelik (30 Cr Mo 8)	330-440	0,2	2600
Paslanmaz çelik	150-200	0,18	2550
Mn li çelik	150-240	0,22	3300
Döküm (Ft 15)	200	0,21	950
Döküm (Ft 25 ve Ft 26)	200-350	0,26	1160
Kızıl döküm	<500	0,25	628
Dövülebilir döküm (Fte)	>500	0,24	1180
Bronz	300-600	0,17	1780
Pirinç	300-500	0,18	780
Alüminyum döküm	80-120	0,25	625

Deneysel çalışmalar sonucunda genel olarak kesme hızının artmasıyla ana kesme kuvvetinin azaldığı gözlenmiştir. Bir başka deyişle kesme hızı ile ana kesme kuvveti arasında ters orantı vardır. Çizelge 3.3 de değişik kesme hızı değerleri için kesme hızı düzeltme faktörleri (k_v) değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 Değişik kesme hızı değerleri için kesme hızı düzeltme faktörleri (k_v) değerleri (Mendi, 2006)

V m/dak	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150	200	250	300	400	500	600	800	1000
K _v	1,25	1,20	1,15	1,11	1,08	1,05	1,02	1,01	1,00	0,99	0,97	0,956	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,875	0,86

(k_γ)Talaş açısı düzeltme faktörü ise;

$$k_\gamma = 1 - \frac{\gamma - \gamma_0}{66,7} \dots\dots\dots(5)$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıda γ efektif talaş açısını, γ_0 da talaş açısı referans değeridir. Çelik malzemelerin işlenmesinde $\gamma_0 = 6^\circ$, döküm ve diğer malzemelerin işlenmesinde $\gamma_0 = 2^\circ$ alınır (Akkurt, 2004).

(k_t) Takım gereci düzeltme faktörü ise;

Yüksek hız çelikleri ve sert metal uçlar için $k_t = 1-1,05$, yüksek hız çeliği takımlar için (kuru çalışma) $k_t = 1,05-1,1$ alınır (Akkurt, 2004).

(k_a) Takım aşınması düzeltme faktörü ise;

Yeni ve yeni bilenmiş takımlarda $k_a = 1-1,01$, yıpranmış veya ömrü dolmuş takımlarda $k_a = 1,3-1,5$ alınır (Akkurt, 2004).

3.4 Tornalama İşleminde İşlem Hataları

Tornalama işlemi sırasında iş parçasının işlenmiş olan ölçüsüyle istenen ölçüsü arasındaki fark hata olarak tanımlanabilir. İşleme sırasında iş parçası üzerinde kabul edilebilen en büyük hata tolerans olarak ifade edilir. Bütün bunlar işleme ve ölçme sisteminin kabiliyetine bağlıdır. Elde edilebilecek sonuçların hassasiyeti tezgahın hassasiyetinden daha düşük seviyelerde olmak zorundadır. Örneğin bir tezgahın konumlanma hassasiyeti 5 mikron ise bu tezgahta işlenen iş parçasının hassasiyeti 5 mikrondan küçük olmak zorundadır (Ramesh et al, 2000).

Torna tezgahında talaş kaldırma işlemi yapılırken yüksek hıza ve basınca ulaşılmaktadır. Bu yüzden de takım-tezgah sistemleri de buna uygun şekilde yapılmalıdır. Bu uygunlukta tezgahın rijitliği artırılarak sağlanmaktadır. Dolayısıyla da işlem hataları bu şartların etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Tornalama işlemleri için hatanın yapısına göre dinamik veya yarı statik olarak sınıflandırılan işleme hataları, kaynakları açısından altı temel sınıfta incelenebilir (Liu et al, 1999, Chun et al, 2000, Ramesh et al, 2000).

1. Takım-Tezgah sisteminin geometrik ve kinematik hataları
2. Isıl deformasyon hataları
3. Takım ve tezgah elemanlarının aşınmasından kaynaklanan hatalar
4. Alet cihaz hataları
5. Kesme kuvvetlerinden kaynaklanan hatalar
6. Diğer hatalar

Muhtemel hatalar ve bunların sınıflandırılması Şekil 3.9 da görülmektedir. Isıl deformasyon ve takım aşınması kaynaklı hatalar çapta en fazla 10 mikron civarında seyrederken, kesme kuvvetlerine bağlı sehinden kaynaklanan hatalar 100 mikron seviyelerine kadar yükselir. Bu sebeple toplam hatada işleme sisteminin kesme kuvvetleri altındaki sehim hakimdir (Chun et al, 2000).

3.4.1 Takım-Tezgah Sisteminin Geometrik ve Kinematik Hataları

Takım-tezgah sisteminde geometrik hataların en temel sebebi tezgah kaynaklıdır. Tezgahın tasarım ve imalat sürecinden veya işletmeyle ortaya çıkan hataları kapsar. Genelde tezgahı oluşturan parçaların uygun işlenmemesinden kaynaklanır. Montajlanmış parçaların yerlerinden oynamasıyla beraber tezgahın rijitliğini kaybetmesiyle de bu hatalar başlayabilir. Kinematik hatalar ise tezgahın hareket eden parçalarının sebep olduğu hatalardır. Örneğin elektronik olarak tanımlanan bir konuma mekanik olarak hatalı gidilmesi veya bir konumlamamanın tekrarında önceki konumdan sapılması bu türdendir (Ni, 1997).

3.4.2 Isıl Deformasyon Hataları

Isıl deformasyon hataları iş parçasının, kesici takımın, tezgah ve tezgah elemanlarının ısı farkları nedeniyle boyut değiştirmesinden kaynaklanan hatalardır. Günümüzde iklimlendirilen talaşlı işleme merkezleri sayesinde hem iş parçası hem de işleme sisteminin kontrollü sıcaklıkta kalması ve bunun sonucunda bu hata bileşeninin en aza indirilmesi mümkün olmaktadır (Ramesh, 2000).

3.4.3 Takım ve Tezgah Elemanlarının Aşınmasından Kaynaklanan Hatalar

Eğer seri imalat süreci söz konusuysa takım aşınması önemli boyutlarda hata üretebilir. Dikkatli bir takım değiştirme ve takım telafi stratejisinin uygulanmasıyla bir miktar ek maliyet karşılığında bu hata türü de büyük ölçüde azaltılabilir. Aşınma hatalarının diğer bir ögesi de kızak ve bilyalı vidaların aşınmasıdır. Bu durum her işleme operasyonunda kendini gösteren ve zamanla artan bir işleme hatası üretir (Chun et al, 2000, Chungchoo et al, 2002).

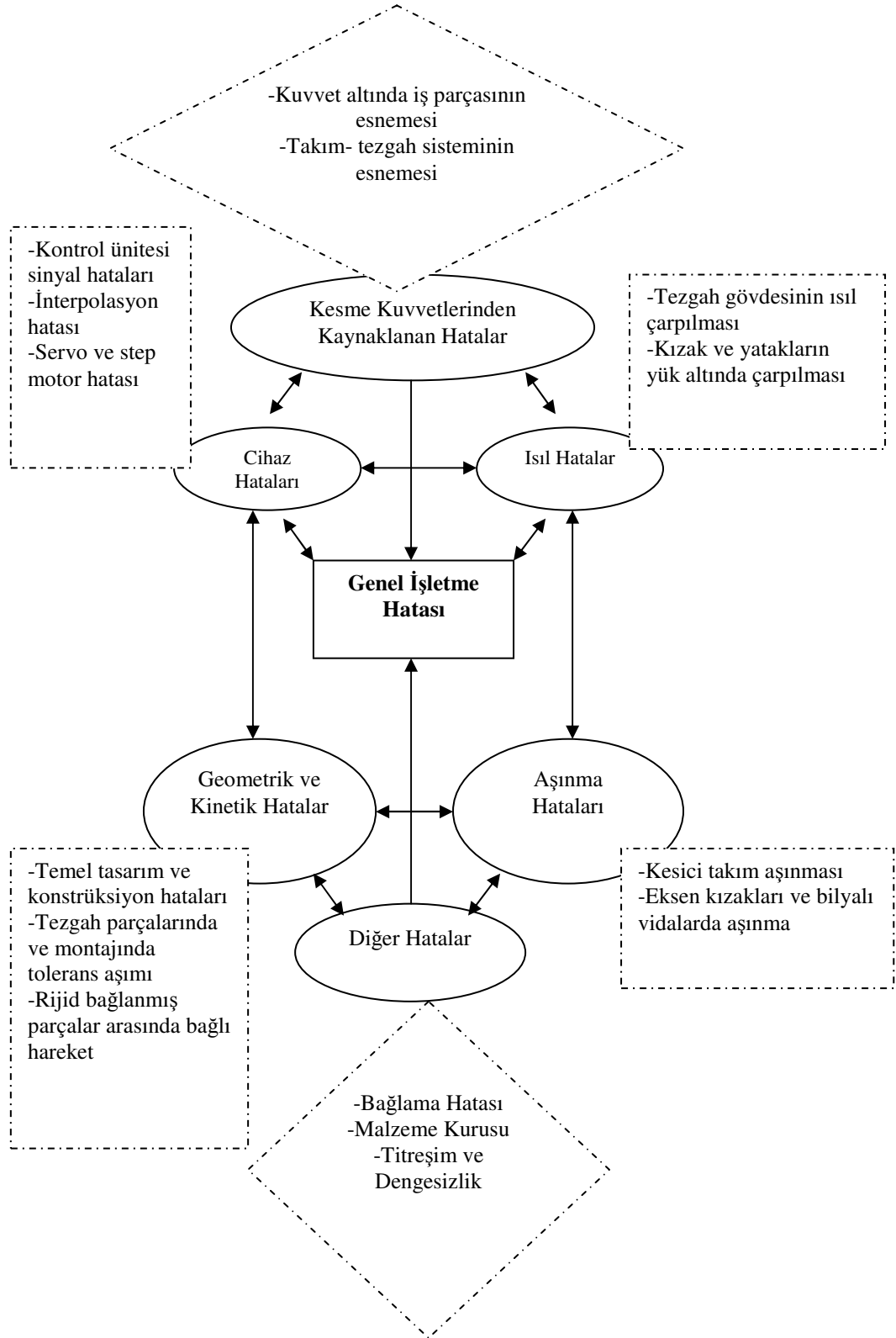
3.4.4 Cihaz Hataları

Tezgah kontrol ünitesinde bulunan sensör, anahtar gibi elektronik donanımdan kaynaklanan hata türüdür. Sensör ve anahtarların sinyal üretmemesi veya algılamamasından kaynaklanan hatalardır. Ayrıca eksenlerin konik, dairesel vb. hareketlerini sağlayan interpolasyon fonksiyonlarının hataları da bu kapsamda değerlendirilir. Bu grup hatalar gerek sistematik oluşu, gerekse farklı disiplinleri ilgilendirmesi nedeniyle imalatçılar tarafından fazlaca incelenmiştir. Bu hata türünün genel hata toplamındaki oranı da oldukça düşüktür (Chun et al, 2000).

3.4.5 Diğer Hatalar

İş parçasının tornaya yanlış bağlanmasından kaynaklanan hatalardır (Lechniak, 1998). İşlenecek olan malzemenin tornaya yanlış bağlanmasından dolayı iş parçası eksen kayacak ve bu sayede hata oluşacaktır.

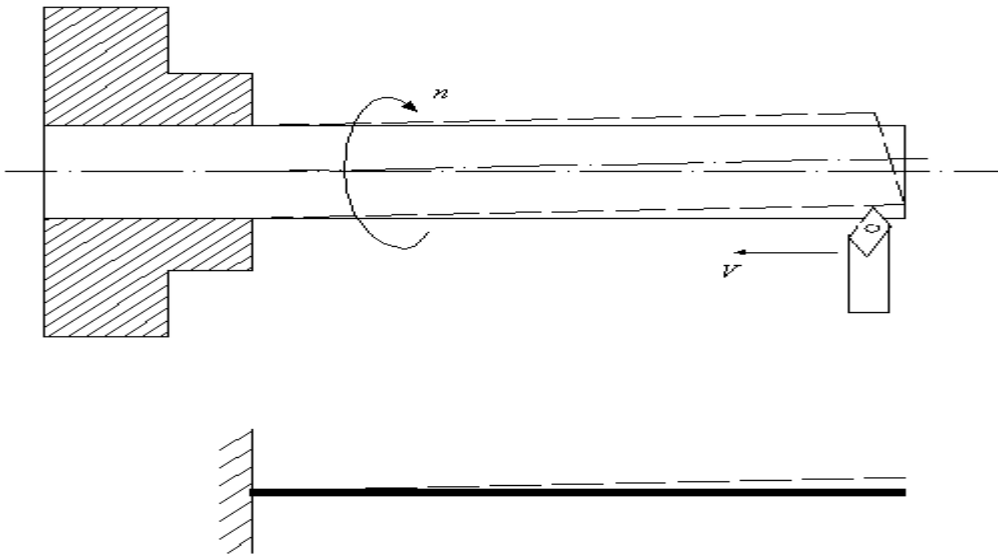
İş parçası malzemesinin üretimi sırasında meydana gelmiş kusurlardır (Schmitz, 1999). Malzeme üretimi esnasında içinde kalan yığılmalar hatalara sebep olmaktadır.



Şekil 3.9 Genel işleme hataları (Topal, 2003)

3.4.6 Kesme Kuvvetlerinden Kaynaklanan Hatalar

Talaş kaldırma sırasında büyük kesme kuvvetleri olduğu için kesme kuvvetlerinden oluşan hatalar önemli hata türlerindendir. Takım ve iş parçasının birbirine göre konumu kuvvetin bir sonucu olarak iş parçasının ve çeşitli tezgah elemanlarının esneme miktarına bağlı olarak değişir (Topal, 2003). Bilindiği gibi tornalama işleminde talaş kaldırılırken üç farklı kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvetlerden en büyüğü olan F_t kuvveti ve radyal kuvvet olan F_r kuvvetleri etkiye doğrultusunda önemli bir hata kaynağıdır. Üçüncü bileşen F_a kuvveti büyüklük ve doğrultu açısından hatayı etkilemediği için genellikle çalışmalarda ihmal edilir (Yang, 1997). Kesme kuvvetlerinin tornalama sırasında iş parçasının sehim yapmasına sebep olmasından tornalanan iş parçasının uç noktası ile orta noktadaki çaplarda farklılık meydana gelmektedir. Bunun üzerine birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Tornalama sırasında talaş kaldırılırken iş parçasına etkiyen F_t kuvvetinden dolayı parça yukarı, F_r kuvvetinden dolayı da parça yana doğru itilmektedir. Bu kuvvetlerin etkisiyle iş parçasının ekseninde bir miktar kayma gözlenir. İş parçasına etkiyen kesme kuvvetlerinden dolayı iş parçasında meydana gelen sehim Şekil 3.10 da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Eksenel deformasyon

İş parçası kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan boyutsal hata üstel karakterli bir fonksiyondur. Kesme kuvvetlerinin iş parçası boyunca değişimi ihmal edilecek olursa, kesici takım ve takım tutucuların esnemesi iş parçası uzunluğu boyunca yaklaşık olarak sabittir. Şekil 3.11 de kesme işlemi esnasında iş parçası sıfır noktasının serbest uçta nasıl kaydığını göstermektedir. Şekilde d_n teorik paso derinliğini, d_a ise gerçek paso derinliğini, δ_{tx} ve δ_{ty} ise takımın x-y yönündeki esnemesini, δ_w de iş parçasının esnemesini göstermektedir (Topal, 2003).

Takım merkezlemesindeki kaymalarda, iş parçasının çökme bileşenleri (δ_{wx} ve δ_{wy}) oluşmasına sebep olur. İş parçaları ve tutucularının her ikisinin yaylanması da iş parçasının çökmesine sebep olacaktır. Talaş derinliği d, ilk çapı D olan bir iş parçasını tornalama işlemini göz önüne alalım. Şekil 3.11 a'da iş parçası üzerindeki çap hatası genelde bağlama elemanları-iş parçası-kesici takım sisteminin oluşturacağı çökmeden bulunur. Şekil 3.11 b'de x doğrultusunda iş parçasındaki çökme δ_{wx} olarak gösterilir. Bu çökmeye, radyal kuvvet F_r ve eksensel kuvvet F_a sebep olacaktır. Benzer olarak δ_{wy} ise y yönündeki çökmedir. Bu çökmeye de F_t teğetsel kuvveti sebep olacaktır. Ayrıca azda olsa F_r ve F_t kuvvetleri x ve y yönündeki δ_{tx} , δ_{ty} takım çökmesine sebep olur. Tahmin edilen çap hatasına F_a dan dolayı meydana gelen eksensel çökme çok küçük olmasından dikkate alınmamıştır. Açıklanan elastik çökmelerin sonucu olarak kesmenin gerçek derinliği nominal değerden farklı olup D_p ile gösterilir. Şekil 3.11 de gösterilen geometrik analiz işlemi tornalamadan sonra z-ekseni boyunca tahmini çap hatası, $D_p(z)$ aşağıdaki ifadelerle açıklanır.

$$D_p = 2\sqrt{\left(\frac{D}{2} - d + \delta_{tx} + \delta_{wx}\right)^2 + (\delta_{ty} + \delta_{wy})^2} \dots\dots\dots(6)$$

Kesici takımın yer değiştirmesi küçük olmasından dolayı eşitlik;

$$D_p = 2\sqrt{\left(\frac{D}{2} - d + \delta_{wx}\right)^2 + \delta_{wy}^2} \dots\dots\dots(7)$$

3.5 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, AISI 1045 malzemesinin işlenerek, elde edilen deformasyon değerleri deneysel ve nümerik olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada kesme parametreleri ve kesici takım özellikleri sabit tutulmuş deney numunesi üzerindeki kesim hızının etkileri araştırılmıştır. Tornaya bağlanmış olan iş parçasında devir ve ilerleme hızları sabit tutularak farklı çaplarda işlenen iş parçasının deformasyon değerleri alınmıştır. Bu değerleri Lazer Uzunluk Sensörü (LUS) cihazı kullanılarak Navigatör programına aktararak grafiğe dönüştürülmüştür. Deney düzeneği Şekil 3.10 da gösterilmiştir. Parçanın nümerik modellenmesinde iki düğümlü giriş eleman kullanılmıştır. Her iki iş parçası içinde ayrı ayrı modelleme yapılmıştır. İki ucu bağlı iş parçası için aynaya bağlı uç x ve y eksenlerinde hareketsiz kabul edilmiş, puntaya bağlı uçta ise sadece y ekseninde hareketsiz kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bir ucu bağlı diğer ucu serbest iş parçası içinde aynaya bağlı uç x ve y ekseninde hareketsiz kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu nümerik modelleme sonucunda alınan değerler, her iki deney türü için sonrasında kıyaslanmıştır.

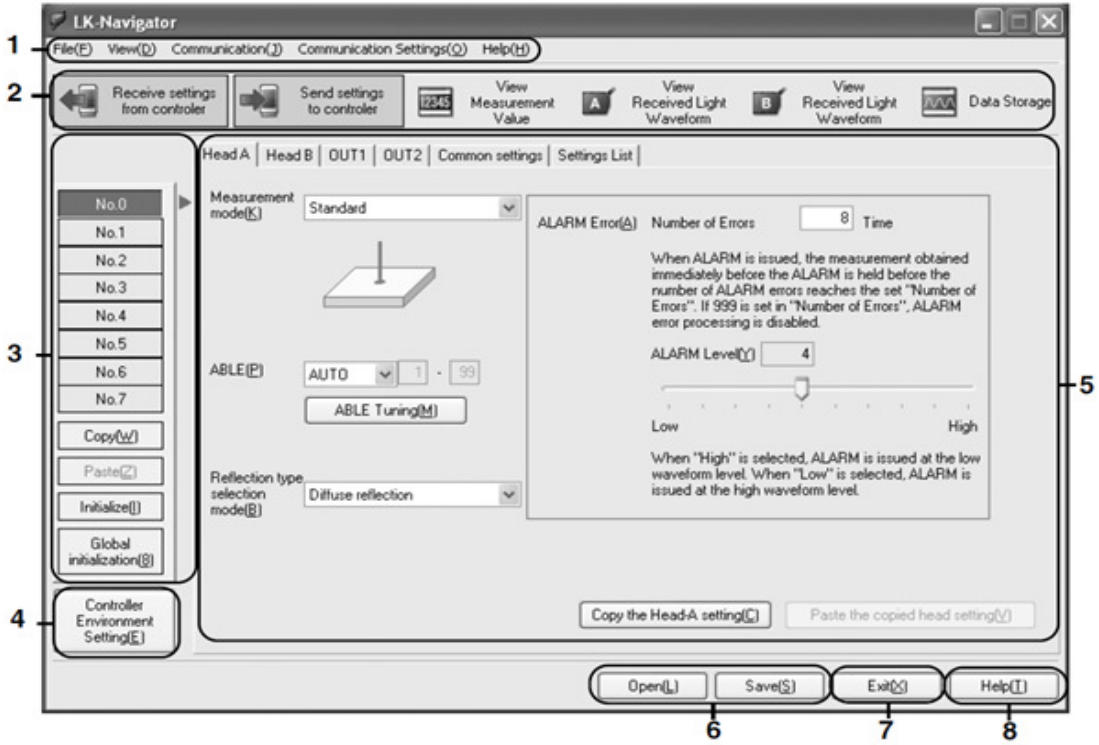
3.5.1 Lazer Uzunluk Sensörü (LUS)

Tornalama işleminde iş parçası üzerinden deformasyon değerleri KEYENCE marka çözünürlüğü 0,1 mikrometre olan LUS (lazer uzunluk sensörü) ile ölçülmüştür. LUS cihazının doğru ölçüm yapabilmesi için iş parçasından 6-10 cm uzağa sabitlenmiş olması gerekmektedir. Cihaz en fazla 65536 data alabilme kapasitesine sahiptir. Resim 3.2 de LUS cihazı gösterilmektedir.



Resim 3.2 Lazer Uzunluk Sensörü

LUS cihazının aldığı datalar LK-NAVİGATOR adlı arayüz programına aktarılmaktadır. Bu program LUS'un ışın göndererek aldığı dataları grafik haline getirmektedir. Resim 3.3 de LK-NAVİGATOR programı gösterilmiştir.



Resim 3.3 LK-Navigatör

1. Ana Menü:

LK-Navigator programının operasyonlarının yönetildiği genel menüdür. Bağlantı ayarları, görüntü seçenekleri, dosya kayıt işlemleri bu menüden yönetilebilir.

2. Araç Çubuğu:

Programın çalışması esnasında sık kullanılan komutlarla ilgili butonların bir arada gösterilmesini sağlar. Bu bölümdeki butonlar sayesinde Ölçüm değerlerinin gösterilmesi ve veri kayıt ayarlarına pratik yoldan erişilebilir.

3. Program Ayarları:

Program'ın veri alma özelliklerini ve çeşitli ayarlamaları barındıran bölümdür. Farklı ölçümler için programda yapılacak parametre değişikliklerini kısaca bu bölümden değiştirebiliriz.

4. Controller Environment Setting:

Ölçümler yapılmadan önce gerekli kontrol birimlerinin ayarlamalarının yapıldığı bölümdür.

5. Setting Window:

Cihazın kalibrasyonu, ölçüm metotları gibi birçok düzenlemenin yapıldığı kısımdır.

6. Open The Setting File:

LK-Navigator programının ilk kurulumuyla birlikte gelen standart ayarlara erişilen bölümdür. Burada yapılan ayarlamaları farklı bir isimle kaydedilerek kullanılacak farklı ayar seçenekleri bir arada tutulabilir.

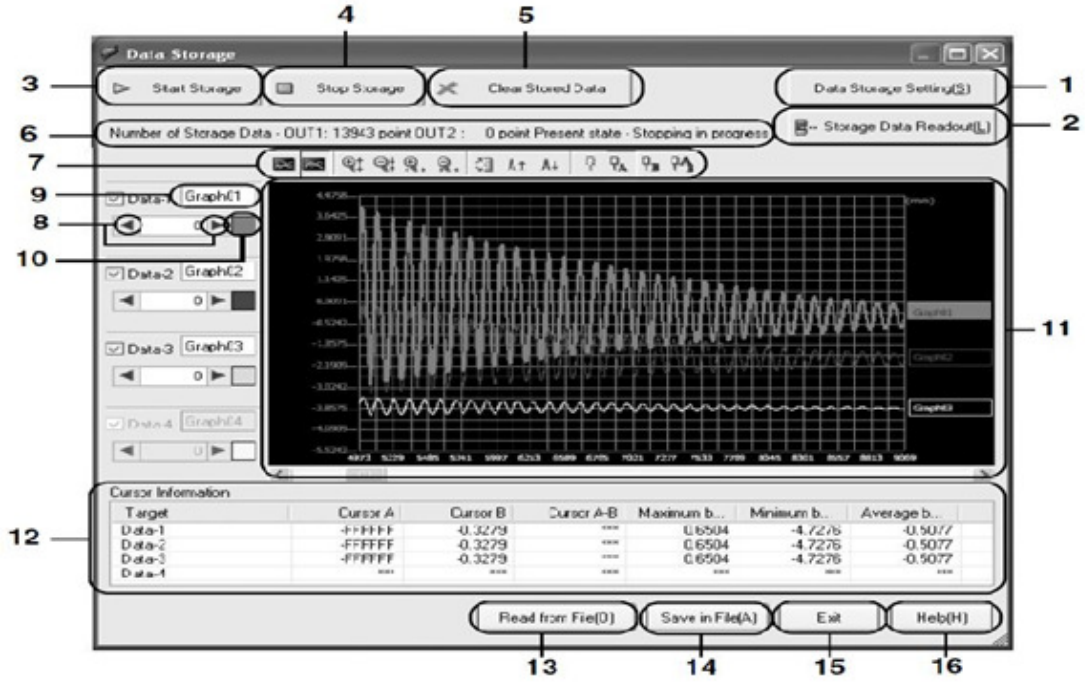
7. Quit:

LK-Navigator programını kapatmak için kullanılır.

8. Help:

LK-Navigator programının yardım dosyalarının açılmasını sağlar.

LUS cihazının aldığı dataları LK-NAVİGATOR programı resim 3.4 deki gibi grafik haline getirmektedir.



Resim 3.4 LK-Navigatör programının oluşturduğu grafik

1. Data Storage Setting:

Cihazdan alından verilerin nasıl kaydedileceğine dair ayarlamaların yapıldığı kısımdır.

2. Storage Data Readout:

Daha önceden kayıt edilmiş olan verinin okunmasını sağlayan kısımdır. Bu bölümden kaydedilen verilerin her birini incelemek mümkündür.

3. Start Storage:

Veri kaydının başlatılmasını sağlayan butondur.

4. Stop Storage:

Devam etmekte olan veri kaydının durdurulmasını sağlar.

5. Clear Stored Data:

Driver üzerinde kayıtlı bulunan verilerini silinmesini sağlayan butondur.

6. Status Display:

Driver üzerindeki veri saklama durumunu gösterir.

7. Waveform Display Change Bar:

Elde edilen verilerin görüntülenme şeklini değiştirir. Bununla birlikte programın oluşturduğu grafik üzerinde daha ayrıntılı inceleme yapabilmek için grafiğin istenen bölgesini büyütür ve daha ayrıntılı inceleme imkanı verir. Grafik skalasındaki düzenlemelerin yapılmasını sağlar.

8. Display Position Change:

Grafiğin görüntü üzerindeki pozisyonunun ayarlanmasını sağlar.

9. Waveform Name:

Oluşturulan grafiğe geçici bir isim verilmesini sağlar. En fazla 16 karakterden oluşan bir isim verilebilir. Aynı zamanda bu isim istenilen zamanda değiştirilebilir.

10. Change the Waveform Color:

Grafik rengini değiştirilmesini sağlar.

11. Display of Measured Value Waveform:

Sürücünden okunan verileri grafik olarak gösterir.

12. Cursor Information:

İmleç bilgilerini gösterir.

13. Read From File:

Bilgisayar üzerinde kaydedilen bir verinin program aracılığıyla okunmasını sağlar.

14. Save in File:

Driverde kayıtlı bulunan veriyi bilgisayara dosya olarak kaydedilmesini sağlar.

15. Exit:

Veri Kayıt penceresini kapatan butondur.

16. Help:

LK-Navigator programının yardım dosyalarına erişimi sağlar.

3.5.2 İş Parçası Numunesini Genel Özellikleri

Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerinden oluşan çap hatasını ölçmek için deneysel çalışmalarda iki adet çapları aynı boyları farklı olan AISI 1045 iş parçası kullanılmıştır. Kullanılan AISI 1045 çeliğinin sertliği 10 HRC dir (İnt kyn 1). Çeşitli makine ve motor parçaları, Dövme parçaları, çeşitli cıvata, Somun ve saplamalarda, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller ve dişlilerin imalinde kullanılır. Ayrıca indüksiyon ve alevle sertleştirilerek dişli çark, kanca vb. yapımında da kullanılırlar. Deneylerde kullanılan AISI 1045 iş parçasının kimyasal özellikleri çizelge 3.4 de, fiziksel özellikleri ise çizelge 3.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Kimyasal özellikler (İnt kyn 1).

C (Karbon)	Fe (Demir)	Mn (Manganez)	P (Fosfor)	S (Sülfür)
0,42 0,50	98,51 98,98	0,60 0,90	0,04 (max)	0,05 (max)

Çizelge 3.5 Fiziksel özellikler (İnt kyn 1).

Yoğunluk	Elastisite Modülü	Poisson Oranı	Kayma Modülü	Sertlik
7,87 Kg/m ³	200 GPa	0,29	80 GPa	10

3.6 Deney Düzeneklerinin Oluşturulması

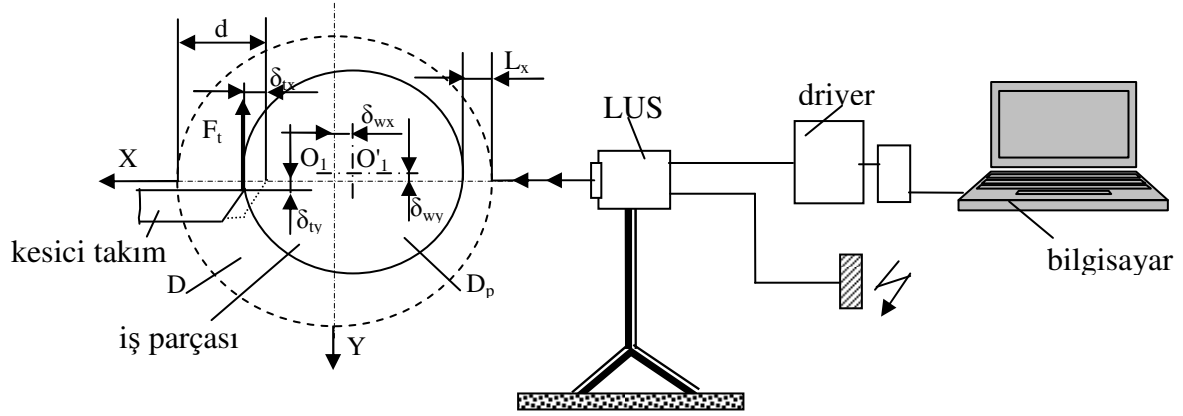
Tornalama işleminde AISI 1045 çeliği, sinterlenmiş karbür kaplı CCMT 060208-SM kodlu kesici takım ve SCLCR 1616H-09 takım tutucu kullanılmıştır. Talaş kaldırma sırasında kullanılan kesme parametreleri tedarikçi firmanın kesici takım için tavsiye

ettiği değerlerde alınmıştır. Talaş kaldırma sırasında 28,8 m/s kesme hızı, 1 mm talaş derinliği ve ilerleme oranı 0,16 mm/dev seğilmiştir. Deneysel alışmalar iki tip iş parçası üzerinde yapılmıştır. İlk olarak iş parçası iki ucundan bağlanarak diğerinde ise iş parçası bir ucundan bağlanarak sonuçlar LUS cihazı ile alındı. Resim 3.5 de deney düzeneği gösterilmiştir.



Resim 3.5 Deney düzeneği

Deney düzeneği şematik olarak şekil 3.12 de gösterilmiştir. Ölçümlerde tornadaki titreşimlerden kaynaklanabilecek hataları engellemek amacıyla LUS cihazı tornadan ayrı bir platforma yerleştirilmiş ve bu şekilde değerler okunmuştur. LUS cihazının ölçüm performansı göz önünde bulundurularak iş parçasından 8cm uzağa yerleştirilmiştir.

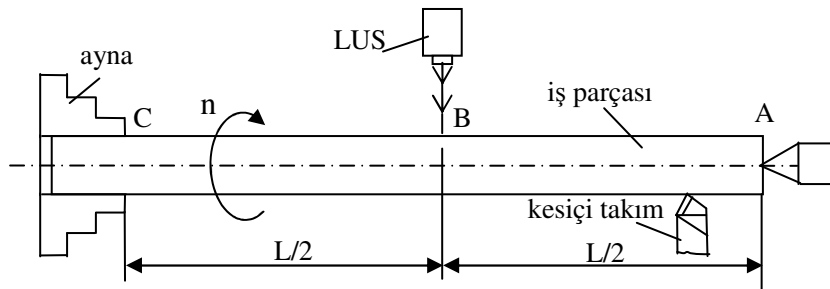


Şekil 3.12 Deney düzeneği şematik gösterimi

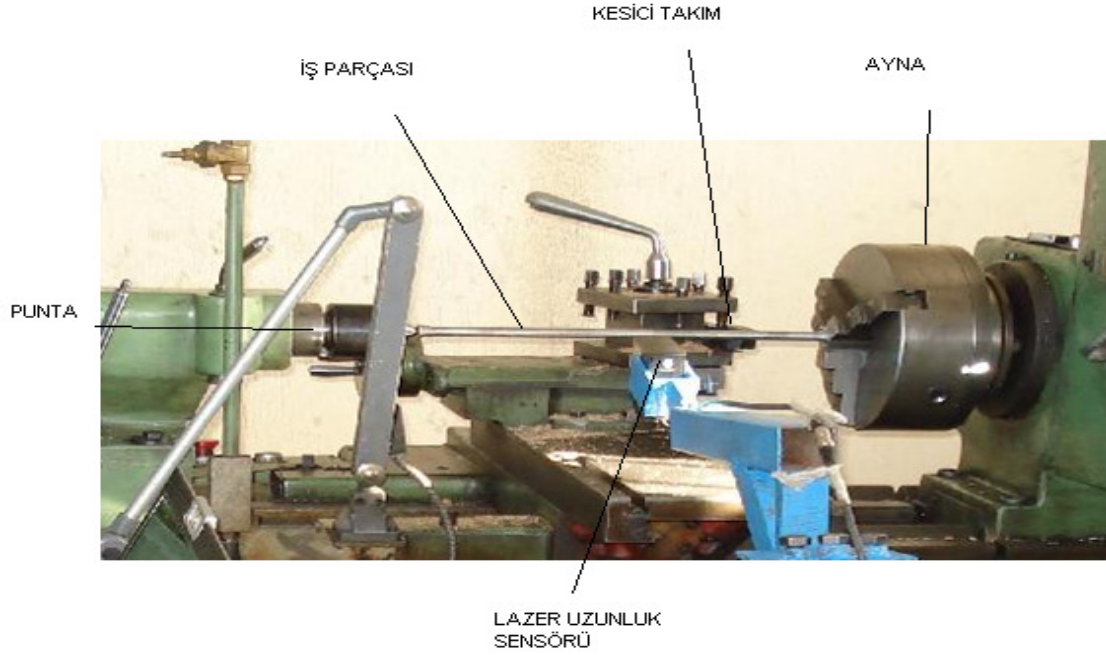
Şekil 3.12 den de anlaşılacağı gibi O_1 olan iş parçasının merkezi kesme kuvvetlerinin etkisiyle O'_1 ne kaymıştır. δ_{wx} -x yönündeki, δ_{wy} -y yönündeki yer değiştirmeyi göstermektedir. D talaş kaldırmadan önceki çapı D_p ise talaş kaldırıldıktan sonraki tahmini çapı ifade etmektedir.

3.6.1 İki Ucundan Bağlı İş Parçası Tornalama İşlemi

Boyu uzun olan çapı küçük olan iş parçası Şekil 3.13 ve Resim 3.5 de görüldüğü gibi tornaya bağlanmıştır. İş parçası A noktasından puntaya bağlanmıştır. B noktası iş parçasının tam ortasını ifade etmektedir. C noktası ise iş parçasının tornada aynaya bağlandığı kısımdır. Deneyler B noktasından LUS cihazlarıyla datalar alınarak gerçekleştirilmiştir. LUS cihazı iş parçasının 80 mm uzağına sabitlenmiştir. 28,8 m/sn kesme hızında, 0,16 mm ilerlemede ve 1 mm talaş derinliğinde talaş kaldırma işlemleri yapılarak deneysel veriler bilgisayar ortamına kaydedilmiştir.

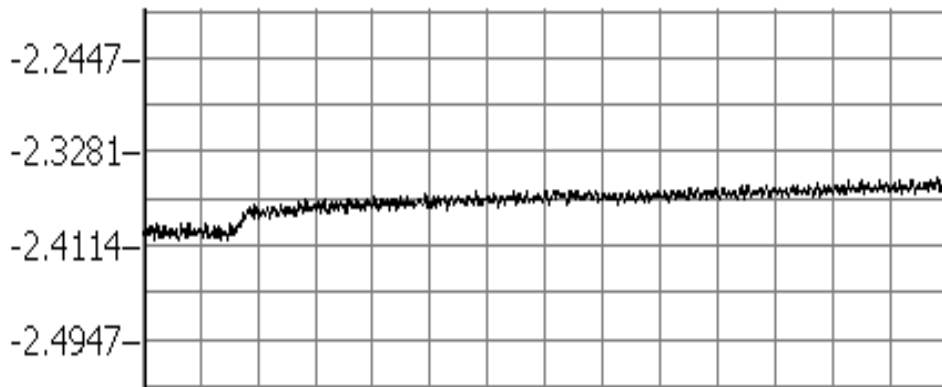


Şekil 3.13 İki ucundan bağlı iş parçası bağlama şekli



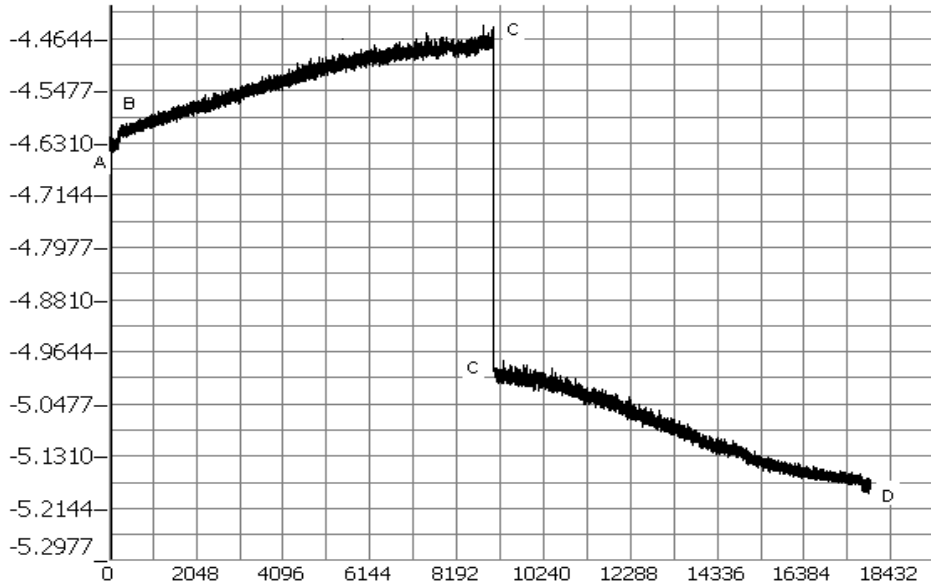
Resim 3.6 İki ucundan bağlı iş parçası deney düzeneği

Kesici takım A ve C noktaları arasında kesme işlemi yaparken oluşan sehim miktarı B noktasından LUS ile ölçülmüştür. Kesici takım B noktasında iken sehim maksimum olacaktır. Kesici takım A ve C noktalarında iken de sehim miktarları birbirinden farklı olacaktır. Bunun sebebi de A noktasından puntaya bağlanan iş parçasının rijitliğinin tam anlamıyla sağlanamamasıdır. Bu rijitliğin sağlanamaması da A noktasında kaymaya sebep olmaktadır. Şekil 3.14 deki grafikte A noktasında ki kayma gösterilmiştir.



Şekil 3.14 İş parçasındaki kayma

LUS cihazının aldığı datalar LK-Navigator programında Şekil 3.15 deki gibi görülmektedir. Grafikte A noktası puntaya bağlı kısmı D noktası ise aynaya bağlı olduğu kısmı ifade etmektedir. Şekil 3.15 deki grafikte A-B noktaları arasında kesici takımın iş parçasından talaş kaldırmaya başladığı anı, B-C noktaları arasında kesici takımın iş parçasının tam orta noktasına kadar ilerlemesini, C-D noktaları arasında da kesici takımın orta noktasından aynaya kadar olan kısmının tornalandığı andaki sehimleri göstermektedir. B-C arasındaki eğim artarken C-D arasında eğim azalmaktadır. İş parçasında en fazla çökme grafikten de anlaşılacağı C noktasında meydana gelmektedir. B-C arasındaki çökme de C-D arasındaki çökmeden fazladır. Bunun sebebi de D noktasının puntaya bağlı olması ve rijitliğin daha iyi sağlanmış olmasıdır.

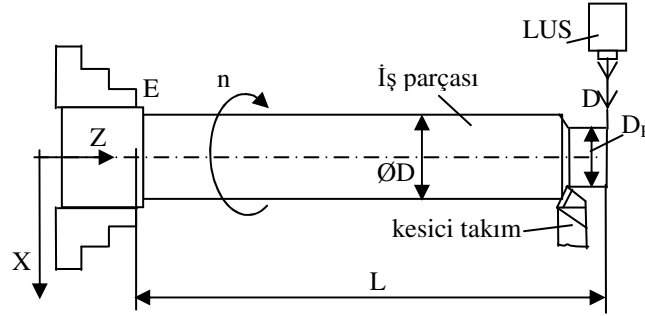


Şekil 3.15 Deney sonucu elde edilen grafikler

3.6.2 Bir Ucundan Bağlı İş Parçası Tornalama İşlemi

Boyü küçük olan iş parçası tornaya Şekil 3.16 ve Resim 3.7 de görüldüğü gibi bağlanmıştır. İş parçası E noktasından tornanın aynasına bağlanmış D noktasından ise serbest bırakılmıştır. Deneyler serbest olan D noktasından LUS ile alınan datalar ile gerçekleştirilmiştir. Bu iş parçası içinde LUS cihazı iş parçasının 80 mm uzağına

sabitlenmiştir. Bir ucundan bağlı iş parçası deneyleri içinde kesme parametreleri değiştirilmemiştir (28,8 m/sn kesme hızı, 0,16 mm ilerleme ve 1 mm talaş derinliği).

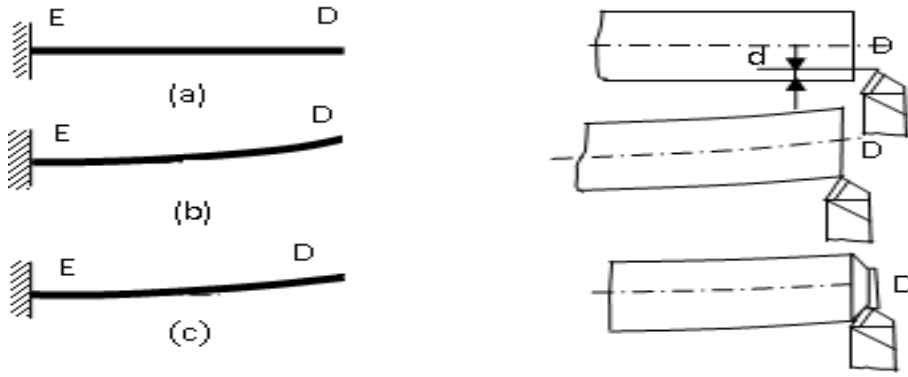


Şekil 3.16 Bir ucundan bağlı iş parçası bağlama şekli



Resim 3.7 Bir ucundan bağlı iş parçası deney düzeneği

Kesici takım D ve E noktaları arasında kesme işlemi yaparken oluşan sehim miktarı D noktasından LUS cihazı ile ölçülmüştür. Kesici takım D noktasından talaş kaldırmaya başladığı anda D noktasındaki sehim miktarı maksimum olacaktır. Kesici takım E noktasına yaklaştıkça iş parçasında ki sehimde azalarak sifira yaklaşacaktır.

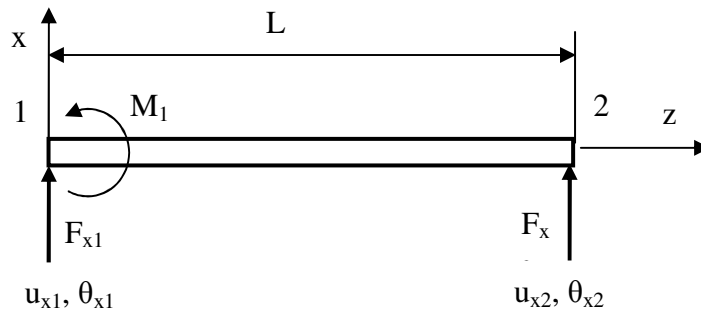


Şekil 3.17 Bir ucundan bağlı iş parçasının kesme esnasındaki davranışı

Şekil 3.17 (a) da kesici ucun iş parçasından talaş kaldırmaya başlamadan önceki hali (b) de kesici ucun iş parçasından talaş kaldırmak için ilk dalış anını, (c) de ise kesici ucun iş parçasından talaş kaldırdığı andaki serbest olan ucun hareketini göstermektedir.

3.7 Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada talaş kaldırılan iş parçasında oluşan sehimleri nümerik olarak hesaplamak için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Modelleme sırasında iş parçası kiriş eleman olarak ele alınmıştır. İki ucundan bağlı iş parçası modellenirken kiriş iki adet iki düğümlü elemandan oluşmuştur. Bir ucu bağlı diğer ucu serbest iş parçası modellenirken de iki düğümlü tek elemandan oluşmuştur. Kirişi oluşturan elemanların iki düğümlü olmasının sebebi tornalanan iş parçasının hem kaymaya hem de eğilmeye maruz kalmasıdır. Şekil 3.18 de tornalanan iş parçasının bir elemanının sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları verilmiştir.



Şekil 3.18 Bir kiriş eleman ve sınır şartları

Şekil 3.18 de M_1 iş parçasının tezgahın aynasına bağlanan kısımda oluşan momenti, L kiriş elemanın boyunu, F_{x1} ve F_{x2} 1 ve 2 nolu düğüme etkiyen dış kuvvetleri, U_{x1} ve U_{x2} 1 ve 2 nolu düğümlerdeki sehim, θ_{x1} ve θ_{x2} ise 1 ve 2 nolu düğümdeki dönme açılarını ifade etmektedir. Sonlu elemanlar metodunda kiriş eleman için eleman rijitlik matrisinin genel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$k = \int B^T EIB dz \quad \dots\dots\dots(10)$$

B matrisi ise şekil fonksiyonların Z 'ye göre ikinci türevlerine eşittir. Yani,

$$[B] = \frac{d^2}{dz^2} N_i \quad \dots\dots\dots(11)$$

dir. Burada N_i elemandaki her düğüme ait şekil fonksiyonudur. Buna göre $[B]$ matrisi eleman rijitlik matrisinin genel ifadesinde yerine yazılırsa;

$$[B] = \frac{1}{L_i^3} [-6L + 12Z - 4L_i^2 + 6ZL_i + 6L_i - 12Z - 2L_i^2 + 6ZL_i] \quad \dots\dots\dots(12)$$

İki düğümlü bir eleman için eleman rijitlik matrisi k_i bulunur.

$$k_i = \frac{EI}{L_i^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L_i & -12 & 6L_i \\ 6L_i & 4L_i^2 & -6L_i & 2L_i^2 \\ -12 & -6L_i & 12 & -6L_i \\ 6L_i & 2L_i^2 & -6L_i & 4L_i^2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(13)$$

Yapılan bu çalışmada da iş parçası iki adet kiriş eleman olarak modellendiği için eleman rijitlik matrisi K_1 ve K_2 aşağıdaki gibi olur. Denklemden E elastisite modülünü, I atalet momentini, L_1 birinci elemanın boyunu L_2 ise ikinci elemanın boyunu ifade etmektedir.

$$K_1 = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{L_1^3} & \frac{6}{L_1^2} & \frac{-12}{L_1^3} & \frac{6}{L_1^2} \\ \frac{6}{L_1^2} & \frac{4}{L_1} & \frac{-6}{L_1^2} & \frac{2}{L_1} \\ \frac{-12}{L_1^3} & \frac{-6}{L_1^2} & \frac{12}{L_1^3} & \frac{-6}{L_1^2} \\ \frac{6}{L_1^2} & \frac{2}{L_1} & \frac{-6}{L_1^2} & \frac{4}{L_1} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(14)$$

$$K_2 = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{L_2^3} & \frac{6}{L_2^2} & \frac{-12}{L_2^3} & \frac{6}{L_2^2} \\ \frac{6}{L_2^2} & \frac{4}{L_2} & \frac{-6}{L_2^2} & \frac{2}{L_2} \\ \frac{-12}{L_2^3} & \frac{-6}{L_2^2} & \frac{12}{L_2^3} & \frac{-6}{L_2^2} \\ \frac{6}{L_2^2} & \frac{2}{L_2} & \frac{-6}{L_2^2} & \frac{4}{L_2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(15)$$

Oluşturulan sonlu elemanlar eşitliğinin genel ifadesi aşağıdaki denklemde verilmiştir. Bu denklemde U yer değiştirme vektörünü, F ise yük vektörünü ifade etmektedir.

$$KU = F \dots\dots\dots(16)$$

Bu denklemdeki U ve F vektörleri 2 düğüm noktalı 2 eleman için aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$U = [U_{x1} \quad \theta_{x1} \quad U_{x2} \quad \theta_{x2}]^T \dots\dots\dots(17)$$

$$F = [F_{x1} \quad M_1 \quad F_{x2} \quad M_2]^T \dots\dots\dots(18)$$

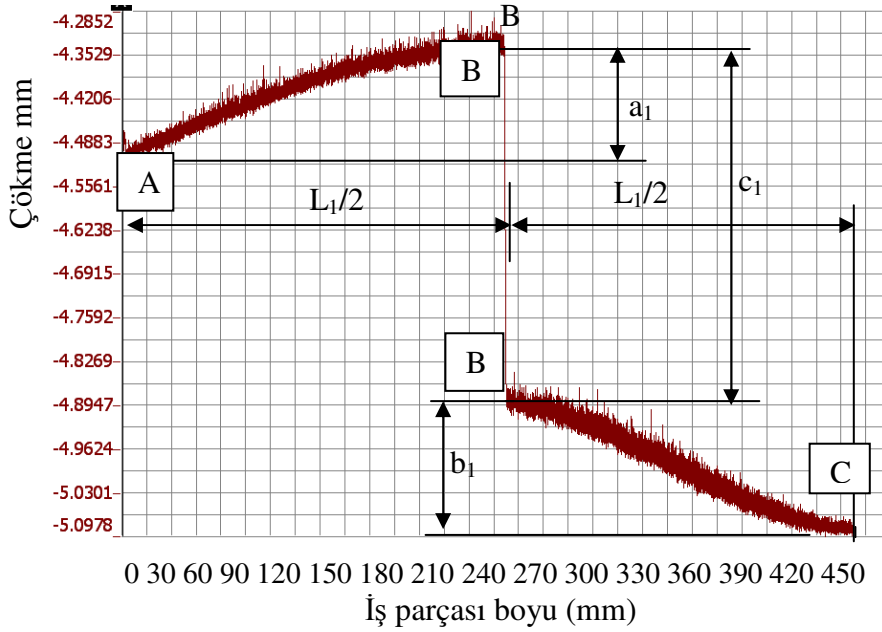
Bu denklemlerde U_{x1} ve U_{x2} düğümlerde meydana gelen sehim, θ_{x1} ve θ_{x2} düğümlerde meydana gelen dönme açısını, F_{x1} ve F_{x2} düğümlere uygulanan dış kuvvetleri, M_1 ve M_2 de düğümlerde kuvvetlerden oluşan momenti göstermektedir.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Deneysel Bulgular

4.1.1 İki Ucundan Bağlı İş Parçasında Oluşan Sehimlerin Deneysel Grafikleri

Ayna ve punta arasında sabitlenen 24mm çapta ve 450 mm boyundaki iş parçasından 0,16 mm/dev ilerleme hızında 28,8 m/s kesme hızında ve 1 mm talaş derinliğinde tornalama işlemi yapılmıştır. LUS ile iş parçasında meydana gelen sehimler ölçülmüştür. Şekil 4.1 de gösterilen grafik 15 mm çapındaki milin bir ucundan diğer ucuna kadar tornalanması sırasında milin oluşturduğu sehimini göstermektedir.



Şekil 4.1 Çap 15 mm için boya göre sehim değerleri

Şekil 4.1 deki grafikten de anlaşılacağı gibi AB arasında sehim miktarı artmakta, BC arasında ise sehim miktarı ise kesici takım aynaya yaklaştıkça azalmaktadır. AB arasındaki sehim miktarı a_1 , BC arasındaki sehim miktarı b_1 kadardır. AB ile BC arasındaki sehimler birbirine eşit değildir bunun sebebi de kesici uç talaş kaldırmaya başladığı anda uç kısımda kesici takım kaymaya sebep olmaktadır. B noktasında oluşan

ani kaymanın sebebi LUS sinyalinin temas ettiği noktanın talaş kaldırıldıktan sonra iş parçasına olan mesafesinin artmasından kaynaklanmaktadır.

İş parçasında talaş kaldırma işlemi A noktasından başlamaktadır. A noktası iş parçasının punta ile desteklendiği kısımdır. Puntanın hareketli olmasından dolayı iş parçası kesme kuvvetlerinden dolayı kaymaya zorlanmaktadır. Buda iş parçasının puntaya bağlanan kısmı ile aynaya bağlı kısımlarda oluşan sehimler farklı olmasına sebep olmaktadır.

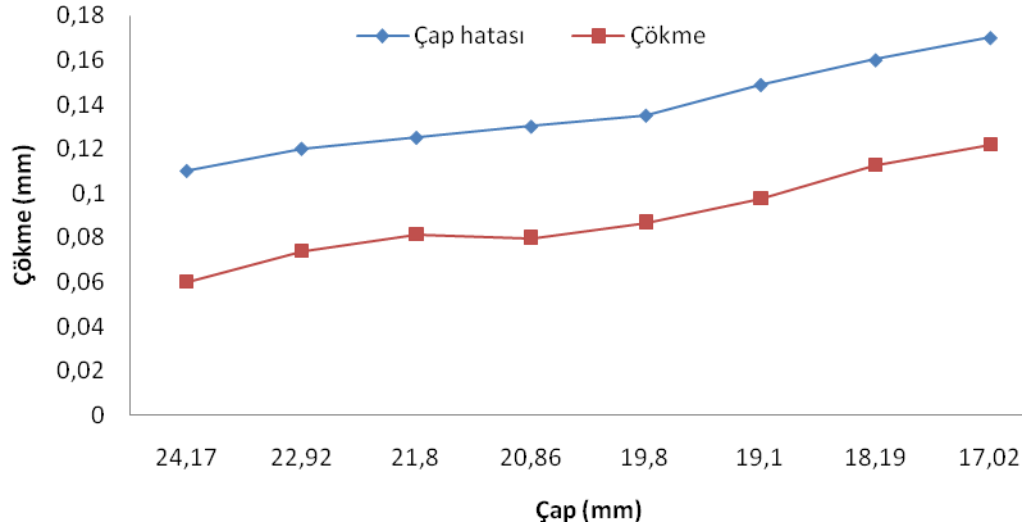
Çizelge 4.1 İki ucundan bağlı iş parçası deney sonuçları

B noktasındaki çap (mm)	C noktasındaki çap (mm)	B-C farkı (mm)	LUS B-C farkı (mm)
24,28	24,17	0,11	0,0601
23,04	22,92	0,12	0,074
21,925	21,8	0,125	0,0816
20,99	20,86	0,13	0,08
19,935	19,8	0,135	0,087
19,2488	19,1	0,1488	0,0978
18,35	18,19	0,16	0,113
17,19	17,02	0,17	0,122

İki ucundan bağlı iş parçası için kesme kuvvetleri etkisiyle birlikte iş parçasının orta noktasında oluşan sehim ve sehimle ilişkili olan çap hatası için deneyler yapılmıştır. LUS cihazından alınan datalar ve mikrometre ile çap değerleri kaydedilmiştir. Çizelge 4.1 de iki ucundan bağlı iş parçası için alınan sayısal değerler verilmiştir. Çizelge 4.1 de B noktası iş parçasının orta noktasını C noktası ise iş parçasının aynaya bağlı olduğu kısmı ifade etmektedir.

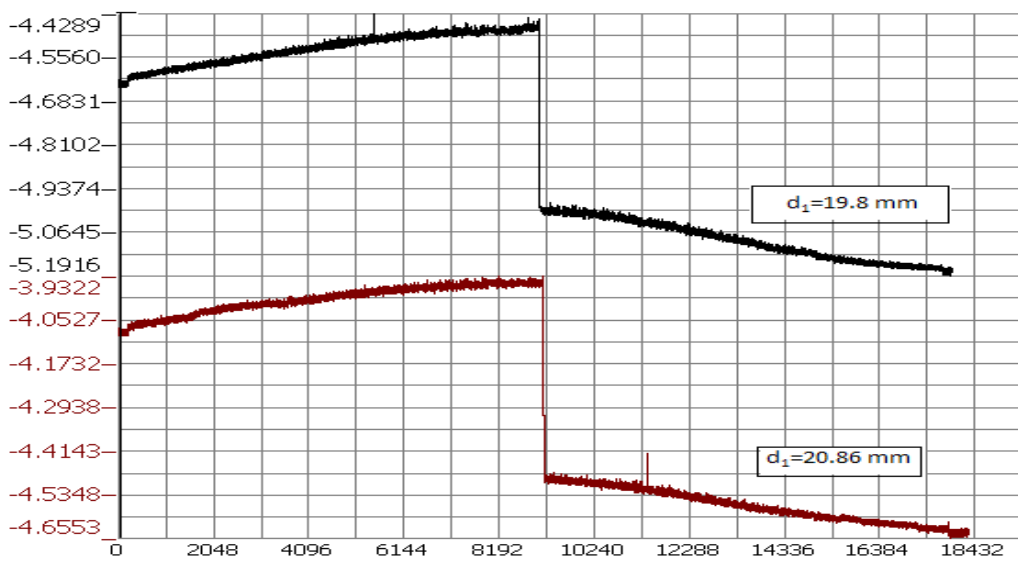
Çizelge 4.1 de üçüncü sütunda mikrometre ile ölçülen çap hatası dördüncü sütunda ise LUS ile ölçülen sehim miktarları verilmiştir. Şekil 4.2 deki grafikten de anlaşılabileceği gibi sehim ile çap hatasında belirli bir ilişki vardır. Çap 23 ile çap 20 arasında sehim miktarı fazla değişmemiş, çap 19 da bir miktar düşüş gösterip çap 18 den sonra tekrar

artış göstermiştir. Mikrometre ile yapılan ölçüm sonucu elde edilen çap hatası değerlerinin orantılı bir şekilde arttığı gözlenmiştir.



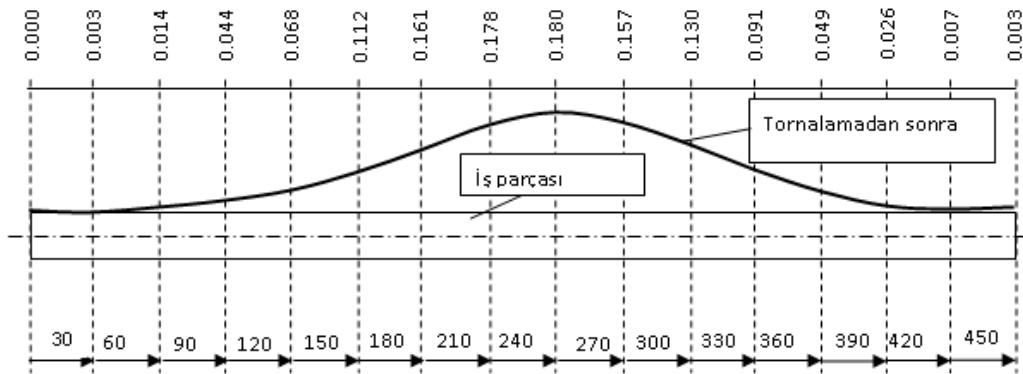
Şekil 4.2 İki ucundan bağlı iş parçası için sehim ve çap hatası arasındaki ilişki

Şekil 4.3 de farklı çaplarda LUS cihazı ile alınan sonuçlar gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi çap artmasıyla beraber çökme miktarı azalmaktadır. Çökme miktarının azalması grafiklerdeki eğimlere bakılarak da anlaşılabilir. Çap arttıkça grafiğin eğimi azalmakta ve sehim azalmaktadır.



Şekil 4.3 İki ucundan bağlı iş parçası için farklı çaplardaki LUS sonuçları

Çap 17 mm için Şekil 4.4 de boya göre tahmini çap hatası değerleri verilmiştir. Diyagramın üst kısmındaki değerler mm cinsinden çap hatasını, alt kısmındaki değerler ise iş parçası boyunu ifade etmektedir. Diyagram incelendiğinde iş parçasının puntaya bağlı kısmında çap hatası sıfıra yakın bir değer iken kesici takım ilerleyip orta noktaya yaklaştıkça çap hatası artmış kesici takım tam orta noktada iken çap hatası maksimum değere ulaşmıştır. Kesici takım orta noktayı geçip aynaya yaklaştıkça çap hatası azalmakta iş parçasının aynaya bağlı kısmında ise çap hatasının sıfır olduğu gözlenmiştir.

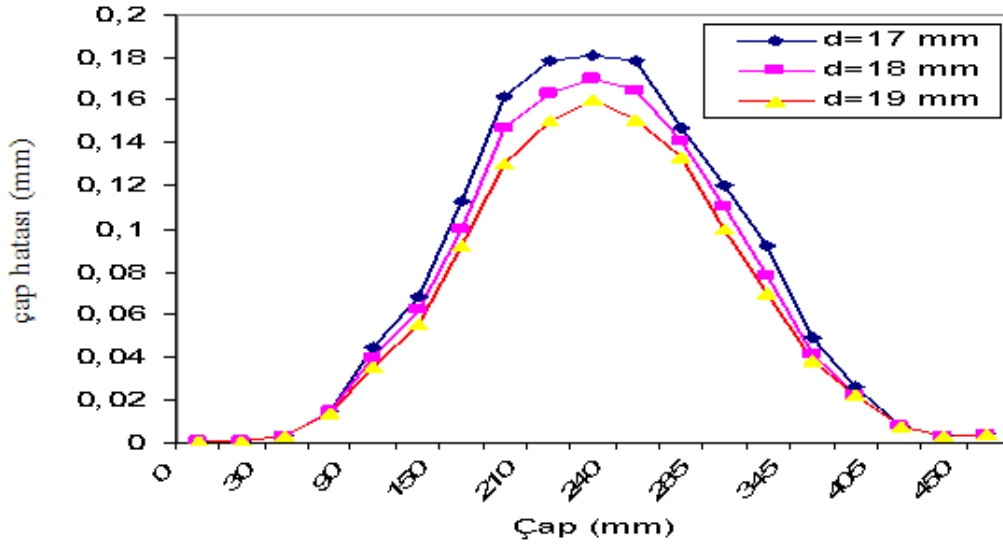


Şekil 4.4 İki ucundan bağlı iş parçası için çap 17 mm deki çap hatası geometrisi

Farklı çaplardaki iki ucundan bağlı iş parçası için, parçanın tam boyu ile iş parçasında oluşan çap hatası değişimi Şekil 4.5 deki grafikte verilmiştir. Şekil 4.5 deki grafikten çap küçüldükçe çap hatasının arttığı gözlenmektedir. İş parçasında meydana gelen en büyük sehim ve çap hatası değerleri iş parçasının orta noktasında oluşmaktadır. Uç noktada sıfır olan çap hatası kesme işleminin ilerlemesi ile beraber orta noktalarda 0,18 mm' ye kadar arttığı gözlenmiştir. Kesici takımın orta noktayı geçmesinden sonra çap hatasının tekrar düşmeye başladığı ve kesme işlemi biterken çap hatasının sıfıra yaklaştığı gözlenmiştir.

Her üç iş parçası içinde aynaya bağlı kısımda çap hatası sıfırdır. Puntaya bağlı kısımlarda ise çap hatası 0,05 mm gibi sıfıra çok yakındır. Bu değerlerin birbirinden farklı olmasının sebebi kesici takımın talaş kaldırmak için iş parçasında daldığı anda oluşan kaymadır. Kesici takım orta noktada iken çap hatası değerleri çapı 17 mm olan iş parçası için 0,18 mm iken çap 18 mm için 0,17 mm çap 19 içinde 0,16 mm civarındadır.

Buradan da ϕ azaldıkça ϕ hatasının arttığı açıkça gözlenmektedir. Üç iş parçası içinde orta noktadaki ϕ hatası değerleri farklılık gösterirken uç kısımlardaki ϕ hatası değerleri birbirine çok yakın değerlerdir. ϕ hatası değerlerinin azalması ve birbirine yakın çıkması uç kısımdaki rijitliğin daha iyi sağlanmasından kaynaklanmaktadır.



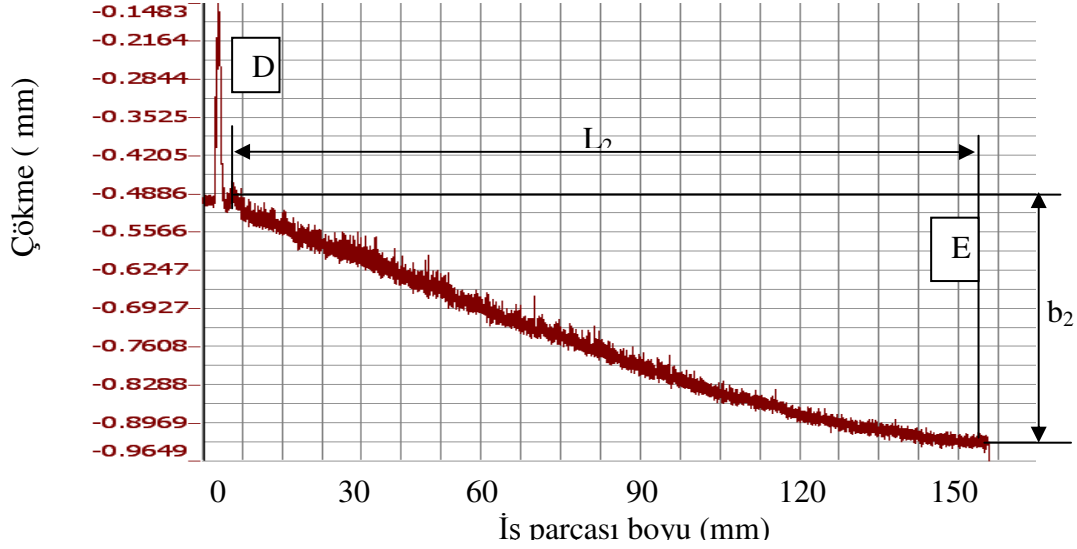
Şekil 4.5 Farklı çaplardaki ϕ hataları

4.1.2 Bir Ucundan Bağlı İş Parçasında Oluşan Sehimlerin Deneysel Grafikleri

Bir ucu bağlı diğer ucu serbest olan 24 mm ϕ taki 150 mm uzunluğundaki iş parçası kesme parametreleri değiştirilmeden tornalanmıştır. LUS iş parçasının serbest ucundan data alacak şekilde yerleştirilmiştir. Kesici takımın iş parçası boyunca talaş kaldırması esnasındaki serbest uçtaki sehim miktarları ölçülmüştür. Ölçülen sehim değerleri ile ϕ hatası değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.6 daki grafikte ϕ 16 için alınmış LUS sonucu gösterilmiştir.

Kesici takım iş parçasından talaş kaldırmaya başladığı anda küçük bir miktar kayma oluşmaktadır. Bu kaymanın sebebi de bir ucundan bağlı iş parçasındaki kayma ile aynı sebeptir. DE arasında ise iş parçasında oluşan sehim gösterilmektedir. b_2 miktarı bir

ucundan bağılı iş parçası için sehim miktarını göstermektedir. Bu deneylerden de çap azaldıkça sehimlerin arttığı gözlenmiştir



Şekil 4.6 Çap 16 mm için boya göre sehim grafiği

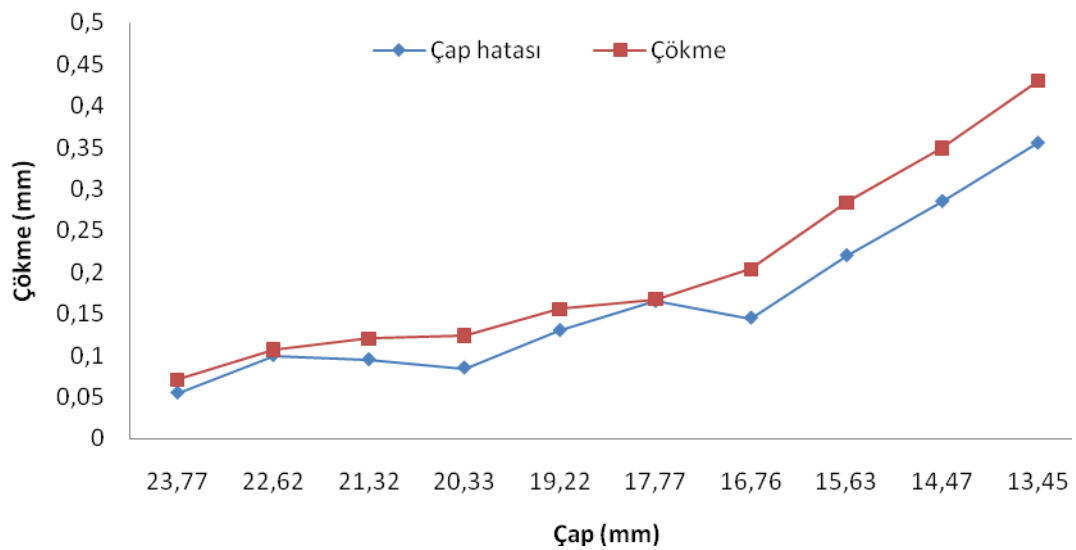
Bir ucu bağılı diğer ucu serbest iş parçası için serbest uçtan ölçüm yapılarak iş parçasında oluşan sehim ve çap hatası değerleri çizelge 4.2' de verilmiştir. Tabloda E noktası aynaya bağılı kısmı, D noktası ise serbest ucu ifade etmektedir.

Çizelge 4.2' deki değerler incelendiğinde bir ucu bağılı diğer ucu serbest iş parçası içinde sehim ile çap hatasının arttığı söylenebilir. Şekil 4.6 deki grafikte sehim miktarı ile çap hatasının arttığı daha ayırt edici şekilde görülmektedir. Sehim değerleri incelendiğinde çap küçüldükçe sehim değerinin arttığı gözlenmiştir. Çap hatası değerleri ise Çap 21 ve çap 17 de bir azalma göstermiştir ama genelde artış eğilimindedir.

Çizelge 4.2 Bir ucundan bağlı iş parçası deney sonuçları

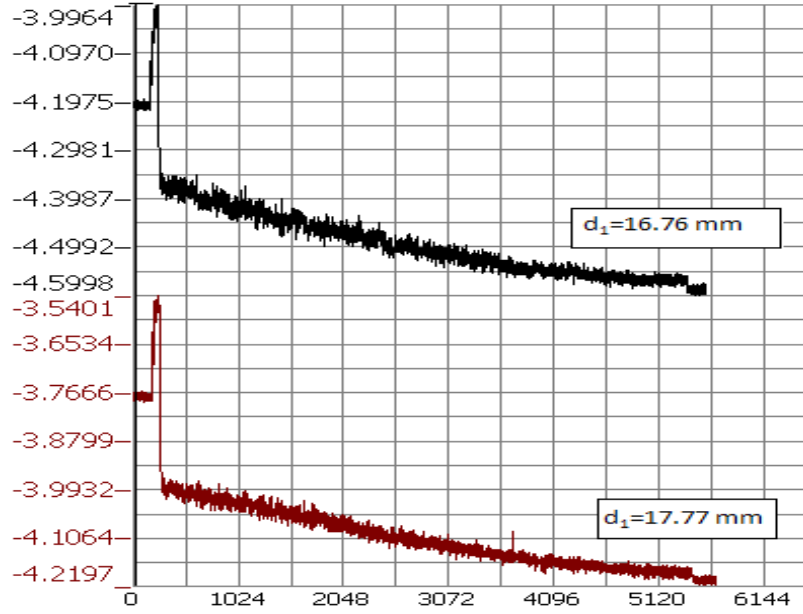
E noktasındaki çap (mm)	D noktasındaki çap (mm)	E-D farkı (mm)	LUS E-D farkı (mm)
23,88	23,77	0,055	0,0711
22,82	22,62	0,1	0,1072
21,51	21,32	0,095	0,1204
20,5	20,33	0,085	0,1241
19,48	19,22	0,13	0,1553
18,1	17,77	0,165	0,1674
17,05	16,76	0,145	0,203
16,07	15,63	0,22	0,2834
15,04	14,47	0,285	0,3488
14,16	13,45	0,355	0,429

Şekil 4.7 de bir ucundan bağlı iş parçası için çökme ve çap hatası değerleri kıyaslanmıştır. Çapın azalması çökme ve çap hatasının artmasına sebep olmaktadır. Diğer dikkat çekici hususta iş parçasının çapı büyükken çökme ve çap hatası değerleri birbirine yakinken çapın azalması ile bu değerler birbirinden uzaklaşmıştır.



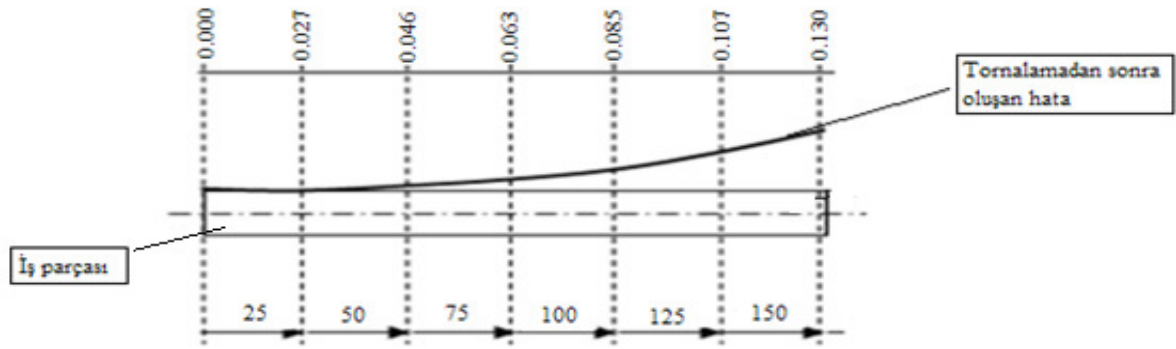
Şekil 4.7 Sehim ve çap hatası arasındaki ilişki

Şekil 4.8 deki bir ucundan bağlı farklı çaplardaki iş parçası için çökme değerleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde çapın artmasıyla grafiklerde oluşan eğim azalmaktadır. Kısa iş parçası içinde alınan sonuçlarda çap arttıkça iş parçasında oluşan çökmenin azaldığı yönündedir.



Şekil 4.8 Bir ucundan bağlı iş parçası için farklı çaplardaki LUS sonuçları

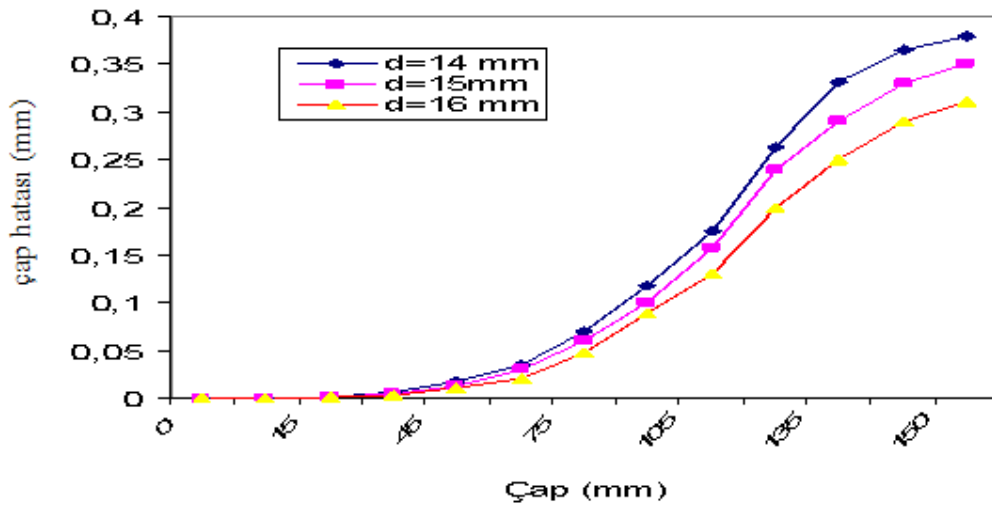
Çap 17 mm için Şekil 4.9 da boya göre tahmini çap hatası değerleri verilmiştir. Diyagramın üst kısmındaki değerler mm cinsinden çap hatasını, alt kısımdaki değerler ise iş parçası boyunu ifade etmektedir. Diyagram incelendiğinde serbest uçtaki çap hatasının en çok olduğu görülmektedir. Kesici takım aynaya yaklaştıkça çap hatası küçülmemekte aynaya bağlı kısımda sıfır olmaktadır. Serbest uçta iş parçasının kesme kuvvetine karşı gösterdiği direnç aynadaki kısımdan daha az olduğu için bu noktadaki çap hatası değeri daha çok çıkmıştır.



Şekil 4.9 Bir ucundan bağlı iş parçası için çap 17 mm deki çap hatası

Bir ucu bağlı diğer ucu serbest iş parçası için farklı çaplarda tam boyda oluşan sehimi miktarını gösteren grafik Şekil 4.10 de verilmiştir. Şekil 4.10 deki grafikten de anlaşılacağı gibi serbest olan noktadaki sehimin en çok olduğu ve kesici takım aynaya bağlı olan noktaya ilerledikçe sehimin azaldığı sifıra yaklaştığı gözlenmiştir.

Farklı çaplardaki her üç iş parçasında oluşan çap hataları incelendiğinde aynaya bağlı kısımda çap hatası değeri sıfırdır. Serbest olan uçta ise maksimum çap hatası oluşmuştur. Her üç iş parçası içinde orta noktalara yakın kısımlarda oluşan çap hatası değerleri birbirine yakinken uç kısımda birbirinden farklı değerler çıkmıştır. Bunun sebebi de uç kısımların rijit olmamasıdır. Çap 14 mm için çap hatası değeri 0,4 mm ye yakın ken çap 15 mm için 0,35, çap 16 için 0,3 mm civarındadır. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi çap azaldıkça çap hatası artmaktadır.



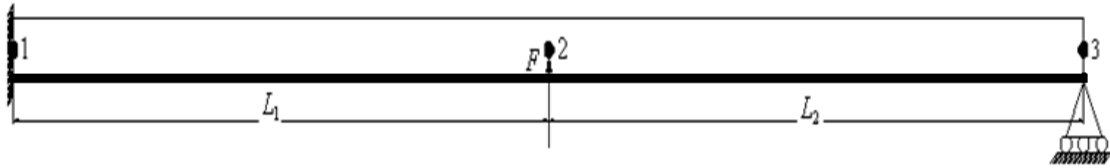
4.2 Nümerik Bulgular

4.2.1 Uygulanan Kesme Kuvvetlerinin Hesaplanması

Bu çalışmada nümerik hesaplamalarda kullanılan kesme kuvvetleri materyal ve metot kısmında kesme kuvvetlerinin hesaplanması konusunda ki yöntemle hesaplanmıştır. $F_t = a.s.k_s.k_v.k_\gamma.k_T.k_a$ eşitliğinde talaş derinliği ve ilerleme değerleri yazılıp diğer düzeltme faktörleri için verilen tablolardan faydalanılmıştır. (k_s) değeri için çizelge 3.1 deki AISI 1045 çeliği için uygun (k_{11}) ve (m) değerleri alınmıştır. (k_v) için çizelge 3.2 den uygulanan kesme hızları için verilmiş olan değerler seçildi. (k_γ) için talaş açısı düzeltme faktörü eşitliğinden yararlanarak sonuç bulundu. (k_t) için takım özelliğine uygun değer seçildi. (k_a) için de yeni takım için uygun değer seçildi.

4.2.2 İki Ucundan Bağlı İş Parçasındaki Sehimler Sonlu Elemanlar Metoduyla Çözülmesi

İki ucundan bağlı iş parçasının sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi, iş parçası 2 boyutlu kiriş eleman olarak modellenmiştir. Şekil 4.11 de iki ucundan bağlı iş parçasının sonlu elemanlar modeli verilmiştir.



Şekil 4.11 İki ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar modeli

Şekil 4.11 deki sonlu elemanlar modelinde 1 nolu düğüm iş parçasının aynaya bağlandığı kısmı, 3 nolu düğüm iş parçasının punta ile tutturulduğu kısmı, 2 nolu düğümde kesici takımın bulunduğu noktayı ifade etmektedir. 1 nolu düğümün ayna ile tutulmuş olmasından dolayı bir başka deyişle X ve Y ekseninde tutulmuş olmasından dolayı bu düğümde sehim ve burulma olmayacağından 1 nolu düğümdeki sınır şartları U_1 ve θ_1 sıfır olur. 3 nolu düğümde de sehim olmayacağından dolayı sınır şartları U_3

sıfır olur. Elde edilen veriler sonlu elemanlar metodunun genel ifadesinde yani 12 nolu bağıntıda yerine konduğu zaman ifade aşağıdaki şekilde yazılır.

$$[K] = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{L_1^3} & \frac{6}{L_1^2} & -\frac{12}{L_1^3} & \frac{6}{L_1^2} & 0 & 0 \\ \frac{6}{L_1^2} & \frac{4}{L_1} & -\frac{6}{L_1^2} & \frac{2}{L_1} & 0 & 0 \\ -\frac{12}{L_1^3} & -\frac{6}{L_1^2} & \frac{12}{L_1^3} + \frac{12}{L_2^3} & -\frac{6}{L_1^2} + \frac{6}{L_2^2} & -\frac{12}{L_2^3} & \frac{6}{L_2^2} \\ \frac{6}{L_1^2} & \frac{2}{L_1} & -\frac{6}{L_1^2} + \frac{6}{L_2^2} & \frac{4}{L_1} + \frac{4}{L_2} & -\frac{6}{L_2^2} & \frac{2}{L_2} \\ 0 & 0 & -\frac{12}{L_2^3} & -\frac{6}{L_2^2} & \frac{12}{L_2^3} & -\frac{6}{L_2^2} \\ 0 & 0 & \frac{6}{L_2^2} & \frac{2}{L_2} & -\frac{6}{L_2^2} & \frac{4}{L_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_1 \\ \theta_1 \\ U_2 \\ \theta_2 \\ U_3 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{1x} \\ M_{1x} \\ F_{2x} \\ M_{2x} \\ F_{3x} \\ M_{3x} \end{Bmatrix}$$

$$U_1 = 0$$

$$\theta_1 = 0$$

$$U_3 = 0$$

Bu sınır şartları uygulanarak K eleman rijitlik matrisi yazıldığı zaman ifade aşağıdaki hali alır.

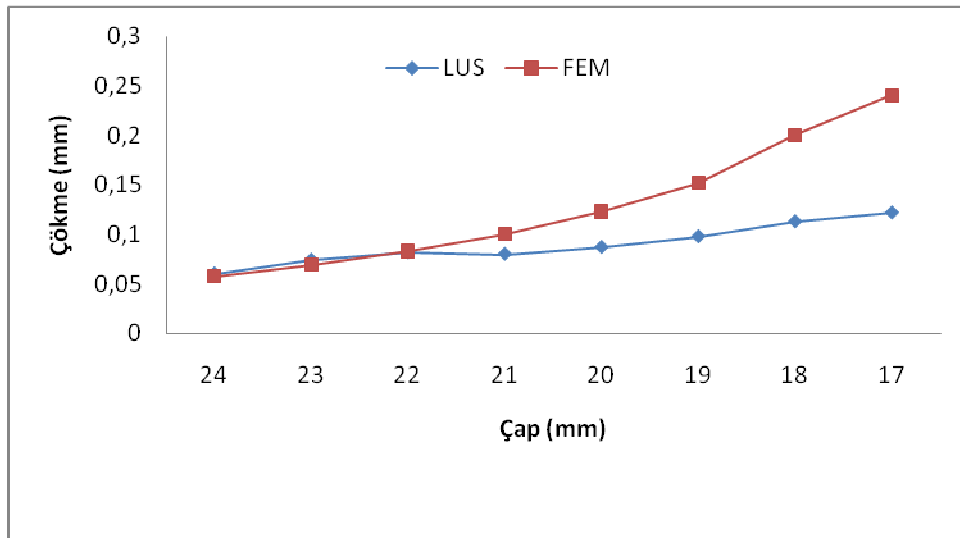
$$[K] = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{L_1^3} + \frac{12}{L_2^3} & -\frac{6}{L_1^2} + \frac{6}{L_2^2} & \frac{6}{L_2^2} \\ -\frac{6}{L_1^2} + \frac{6}{L_2^2} & \frac{8}{L_2} & -\frac{6}{L_2^2} \\ \frac{6}{L_2^2} & \frac{2}{L_2} & \frac{4}{L_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_2 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{2x} \\ M_{2x} \\ M_{3x} \end{Bmatrix}$$

Yukarıdaki denkleme göre M_{2x} ve M_{3x} herhangi bir dış kuvvet olmadığından dolayı sıfır kabul edilir. İş parçasından talaş kaldırılırken kesici takımın oluşturduğu kesme kuvveti xz ekseninde F_r radyal, yz ekseninde F_t teğetsel kuvvet şeklinde etmektedir. Bunun için bu basamaktan sonra çözüm xz ve yz eksenini için ayrı ayrı çözülür. Çizelge 4.3 de iki ucundan bağlı iş parçası için Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.3 İki ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar metodu sonuçları

Çap (mm)	FEM sonuçları (mm)
24	0,0577
23	0,0689
22	0,0828
21	0,1004
20	0,1229
19	0,1519
18	0,1998
17	0,2401

Sınır şartları uygulandığında çıkan sonuçlar deneysel sonuçlarla uyumlu bir sonuç vermektedir. Şekil 4.12 deki grafikte iki ucundan bağlı iş parçası için Lazer uzunluk sensörü ile alınan sonuçlar ve nümerik olarak hesaplamaların karşılaştırılması verilmiştir. Çap 24, 23 ve 22 de deneysel sonuçlarla nümerik sonuçlar birbirine çok yakın değerdeyken çap 21 den sonra deneysel sonuçlarla elde edilen sehimler nümerik sonuçlardan daha az çıktığı gözlenmiştir.



Şekil 4.12 İki ucundan bağlı iş parçası için lazer ve nümerik olarak bulunan sehim değerlerinin karşılaştırılması

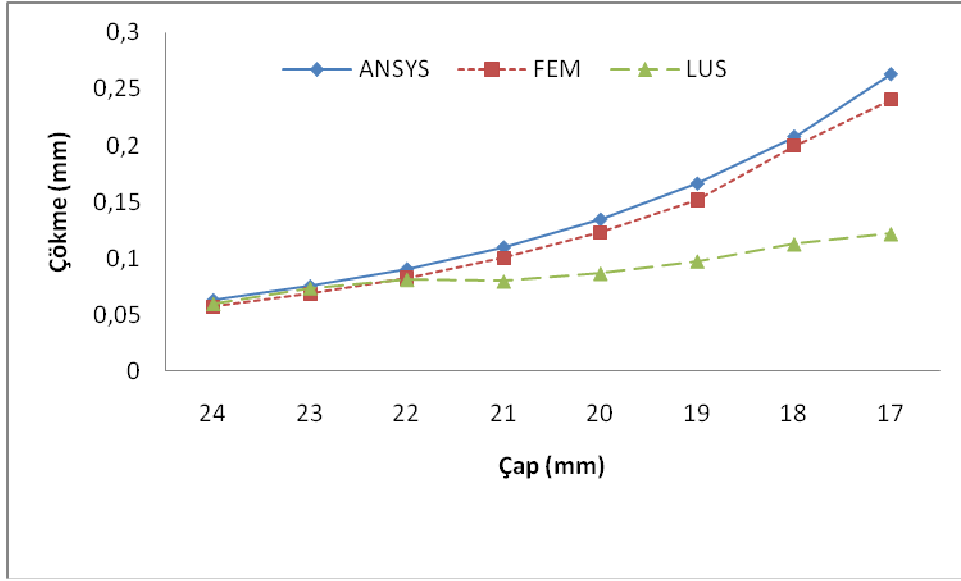
Bu çalışmada sonlu elemanlar metodu ile yapılan nümerik modellemenin doğrulanması için ayrıca ANSYS de de iş parçasının modellenmesi yapılmıştır. İki ucundan bağlı iş parçası için ANSYS deki modelleme sonuçları çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4 İki ucundan bağlı iş parçası için ANSYS sonuçları

Çap (mm)	ANSYS sonuçları (mm)
24	0,063177
23	0,075411
22	0,090686
21	0,109966
20	0,134549
19	0,166279
18	0,207766
17	0,262844

İş parçasının ANSYS de doğru modellenebilmesi için kullanılan iş parçasının özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca sınır şartlarının da doğru olarak programa girilmesi sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada modelleme yapılırken ilk olarak malzeme tipi seçilerek çözüme başlanmış oldu. Daha sonra model çizildi ve sınır şartları uygulandı. Çözümün doğruluğu ve hassasiyeti açısından önemli olan mesh yapısı oluşturuldu. Çözümün son basamağı olarak da ANSYS sonuçları alındı. İş parçasının aynaya bağlı kısmı x ve y ekseninde tutulmuş, puntaya bağlı kısım ise sadece y ekseninde tutulmuş ve orta noktadan kesme kuvveti uygulanmıştır. ANSYS de alınan sonuçlar da incelendiğinde sehmin orta noktada maksimum olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.13. deki grafikte iki ucundan bağlı iş parçası için deneysel sonuçlar, sonlu elemanlar metodu sonuçları ve ANSYS sonuçları kıyaslanmıştır. Sonlu elemanlar sonuçları ve ANSYS sonuçları birbirine çok yakın değerler çıkmıştır. Deneysel sonuçlar ise çap 22 civarına kadar birbirine çok yakın değerlerde iken çap azaldıkça sonuçlar arasındaki fark kısmen artmaya başlamıştır. Genel anlamda her üç çalışma sonucunda da çapın azalmasıyla beraber çökmelerin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.13 İki ucundan bağlı iş parçası için deneysel, F.E.M. ve ANSYS sonuçlarının kıyaslanması

4.2.3 Bir Ucu Bağlı İş Parçasındaki Sehimerin Sonlu Elemanlar Metoduyla Çözülmesi

Bir ucu bağlı diğer ucu serbest olan iş parçasının sonlu elemanlar modeli içinde 2 düğümlü kiriş eleman olarak düşünülmüştür. Şekil 4.14 de bir ucu bağlı diğer ucu serbest olan iş parçasının sonlu eleman modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Bir ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar modeli

Şekil 4.14 deki sonlu elemanlar modelinde 1 nolu düğüm iş parçasının aynaya bağlandığı kısmı, 2 nolu düğüm ise iş parçasının serbest uçlu kısmını ifade etmektedir. 2 nolu düğümde kesici takımın iş parçasına dalmaya başladığı anı göstermektedir. 1 nolu düğümün ayna ile tutulmuş olmasından dolayı bir başka deyişle x ve y ekseninde tutulmuş olmasından dolayı bu düğümde sehimer ve burulma olmayacağından 1 nolu düğümdeki sınır şartları U_1 ve θ_1 sıfır olur. Elde edilen veriler sonlu elemanlar metodunun genel ifadesinde yerine konduğu zaman ifade aşağıdaki şekilde yazılır.

$$[K] = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} & -\frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} \\ \frac{6}{L^2} & \frac{4}{L} & -\frac{6}{L^2} & \frac{2}{L} \\ -\frac{12}{L^3} & -\frac{6}{L^2} & \frac{12}{L^3} & -\frac{6}{L^2} \\ \frac{6}{L^2} & \frac{2}{L} & -\frac{6}{L^2} & \frac{4}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ \theta_1 \\ U_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{x1} \\ M_{x1} \\ F_{x2} \\ M_{x2} \end{Bmatrix}$$

$$U_1 = 0$$

$$\theta_1 = 0$$

Bu sınır şartları uygulanarak K eleman rijitlik matrisi yazıldığı zaman ifade aşağıdaki hali alır.

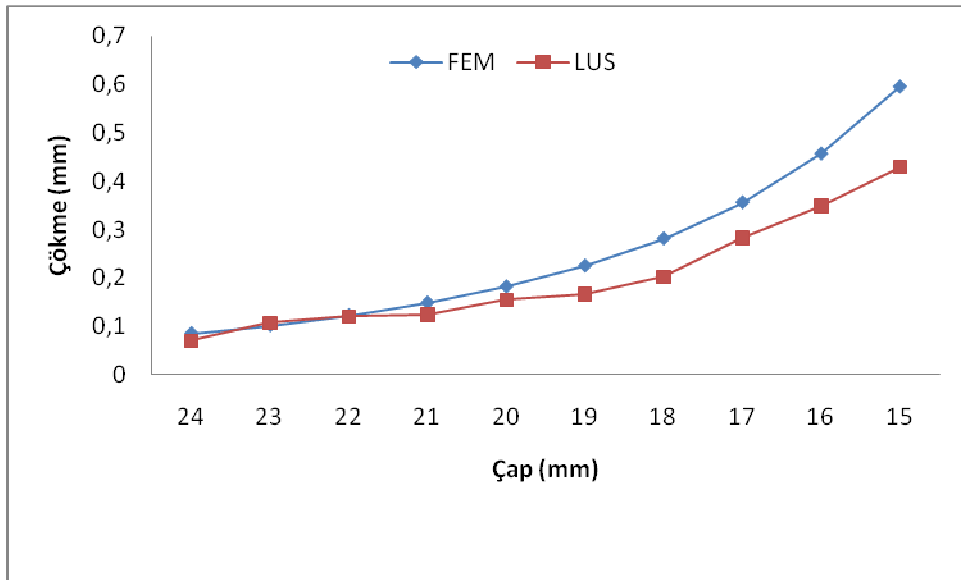
$$[K] = EI \begin{bmatrix} \frac{12}{L^3} & -\frac{6}{L^2} \\ -\frac{6}{L^2} & \frac{4}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{2x} \\ M_{2x} \end{Bmatrix}$$

xz ve yz eksenleri için ayrı iki çözüm yapılır. Çizelge 4.5 de bir ucundan bağlı iş parçası için Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) sonuçları verilmiştir. Tablo incelendiğinde çap azaldıkça iş parçasının uç noktasındaki çökme miktarının arttığı gözlenmektedir.

Çizelge 4.5 Bir ucundan bağlı iş parçası için sonlu elemanlar metodu sonuçları

Çap (mm)	FEM sonuçları (mm)
24	0,0856
23	0,1021
22	0,1228
21	0,1489
20	0,1822
19	0,2252
18	0,2814
17	0,3560
16	0,4566
15	0,5949

Sınır şartları uygulandığında çıkan sonuçlar deneysel verilerle uyumlu bir sonuç vermektedir. Şekil 4.15 deki grafikte bir ucu bağlı diğer ucu serbest iş parçası için Lazer uzunluk sensörü ile alınan sonuçlar ve nümerik olarak hesaplamaların karşılaştırılması verilmiştir. Çap 24 ile 20 arasındaki nümerik ve deneysel sonuçlar birbirine çok yakınken çap 19 dan sonra deneysel sonuçların nümerik sonuçlardan daha küçük çıktığı gözlenmiştir.



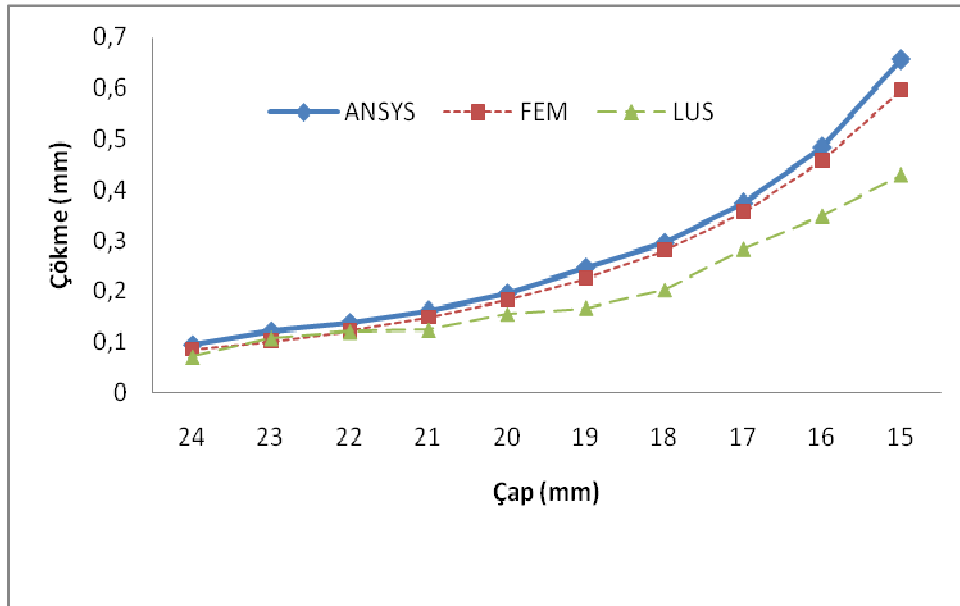
Şekil 4.15 Bir ucundan bağlı iş parçası için lazer ve nümerik olarak bulunan sehim değerlerinin karşılaştırılması

Nümerik sonuçların güvenilirliği için iş parçasının ANSYS programında da modellenmesi yapılmıştır. İş parçasının aynaya bağlı kısmı x ve y ekseninde tutulmuş, puntaya bağlı kısım ise serbest bırakılmış ve serbest uçtan kesme kuvveti uygulanmıştır. Bir ucu bağlı diğer ucu serbest olan iş parçası için ANSYS de yapılan sonlu elemanlar modeli sonuçları çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Bir ucundan bağlı iş parçası için ANSYS sonuçları

Çap (mm)	ANSYS sonuçları (mm)
24	0,085573
23	0,102144
22	0,122834
21	0,148949
20	0,182246
19	0,225225
18	0,281419
17	0,356022
16	0,456635
15	0,594944

Şekil 4.16 daki grafikte bir ucundan bağlı iş parçası için deneysel sonuçlar, sonlu elemanlar metodu sonuçları ve ANSYS sonuçları kıyaslanmıştır. Sonlu elemanlar sonuçları ve ANSYS sonuçları hemen hemen aynı değerdedirler. Deneysel sonuçlar ise çap azaldıkça nümerik sonuçlardan daha az değerlerde çıkmıştır. Genel anlamda her üç çalışma sonucunda da çapın azalmasıyla beraber çökmelerin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.16 Bir ucundan bağlı iş parçası için deneysel, F.E.M. ve ANSYS sonuçlarının kıyaslanması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tornalama sırasında oluşan çap hatası araştırılmıştır. Bu çalışmada hem deneysel hem de nümerik bilgiler elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar tornalama sırasında kesme kuvvetlerini iş parçasında yapmış olduğu deformasyon üç boyutlu olduğu için en fazla deformasyon eksene dik olarak kesme kuvveti tarafından meydana gelen sehimdir. İş parçasının eksenine dik gelen kuvvetin oluşturduğu xz sehimi LUS cihazı tarafından kayıt altına alınmıştır. Deneyde iki tip iş parçası kullanılmıştır. 450 mm ve 150 mm. Birinci iş parçası yeterince uzun olmasından iki ucundan bağlanmıştır. Diğer iş parçası ise bir ucundan bağlanmıştır. Birinci durumda sehim iş parçasının en fazla orta kısmında ikinci iş parçasında ise serbest ucunda oluşmuştur. İş parçaları 25 mm çaptan 16 mm çapa kadar 1,0 mm talaş derinliklerinde işlenerek çap küçültülmüştür.

Bu aşamaların tamamı LUS cihazı yardımıyla bilgisayara aktarılmış LK-Navigatör program kullanılarak grafikler ve sayısal değerler bulunmuştur. Bununla birlikte ANSYS ve sonlu elemanlar metodu da kullanılmıştır. Sonlu elemanlarda iş parçasının matrisi oluşturularak kesme kuvveti hesap edilerek iş parçasının sehimleri hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmaların yapıldığı tezgahın rijitliği ve hassasiyeti deneyi etkilemektedir. Dönen elemanlar arasındaki boşluk ve toleranslarının artması hassas bilgi elde etmeyi zorlaştırmaktadır. LUS cihazının tezgahtan bağımsız bir şekilde yerleştirilmesi düşünülmüştür. Bu şekilde tezgah titreşim ve sarsıntılardan LUS cihazı yalıtılmış ve ölçmeler tam değerinde elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda LUS cihazı bir aparat yapılarak kesme yapılan iş parçasının 8 cm uzağına kurulmuştur. LUS cihazının belli bir mesafede ölçme yapmasından daha uzak bir noktaya yerleştirilmesi mümkün olmamıştır.

LUS cihazı ile alınan grafik değerleri yanında aynı çap için mikrometre ile iş parçasının çapı ölçülmüş ve bu değerler karşılaştırılmıştır. Torna tezgahının rijitlik hataları giderilmeye çalışılmıştır.

İş parçasının her paso sonrası mikrometre ile çap ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerde çapın küçüldüğü değerlerde daha fazla sehim olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen bilgiler çap 16mm deki sehim çap 25 mm deki sehimden daha fazla olduğu deneysel bilgilerle görülmüştür. Aynı şekilde nümerik yollarla yapılan hesaplamalarında bu bilgileri doğruladığı görülmüştür. Çap hataları iki ucundan bağlı iş parçasında en fazla orta noktada bir ucundan bağlı iş parçasında ise serbest ucunda en fazla olduğu görülmüştür. Çap hatalarına kesme kuvvetleri iş parçasının boyu ve çapı iş parçasının malzemesi, kesici takım, talaş derinliği, ilerleme hızı ve diğer kesme parametreleri etki etmektedir. Bu konuda yapılan bir çok deneysel ve teorik çalışmaların çap hatasındaki etkili olan bu parametreleri vurgulamaktadırlar. Bu konuda çap hatasını aza indirmek için yeni metotlar geliştirilmektedir.

Çap hatalarını azaltmak için 200 mm boyu olan iş parçasını iki ucundan bağlamak ve 20 mm çaptan daha küçük çaplarda tornalamada daha fazla çap hatası olmasından iş parçası destek aparatı ile bağlanarak çap hatasını azaltmak mümkün olabilir. İki ucundan bağlı iş parçasının orta noktalarında maksimum çap hatası olmaktadır. 18 mm çaptan daha küçük çaplarda destek aparatı kullanılmalı bu şekilde çap hatası azaltılmış olacaktır.

Her iki iş parçasında sehimin maksimum olduğu noktalarda çap hatasının da maksimum olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak sehimin azaltılmasını sağlayan önlemlerin alınması gereklidir.

Kesici takımın ucunun yıpranmış aşınmış olmasında sehim arttıracak için kesici takıma uygun şartlarda kullanmak gereklidir.

İş parçasını işlerken talaş derinliği, ilerleme hızı uygun büyüklükte seçilmeli çap hatasını aza indirmek için önemli önlemlerdir.

Deneysel ve sayısal bilgilerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. İki ucundan bağılı iş parçasında kesici takım tam orta noktada iken çap hatası en büyük değerine ulaşmaktadır.
2. Bir ucundan bağılı iş parçasında kesici takım serbest uçta iken çap hatası en büyük değerine ulaşmaktadır.
3. Aynı boydaki her iki iş parçasının çap küçüldükçe çap hatası artmaktadır.
4. LUS cihazından elde edilen değerler mikrometre kullanılarak elde edilen değer ve teorik elde edilen değerler arasında uyum vardır.
5. Kesme kuvveti doğrudan talaş derinliğı ve ilerleme oranı ile orantılı olduğı için iş parçasının çökmesi talaş derinliğı ve ilerleme oranıyla artmaktadır.
6. Torna tezgahının rijitliğı çap hatasının azalmasında etkisi olmaktadır.
7. Deneysel sonuçlar ve nümerik sonuçlar arasında uyum vardır. Fakat aynı boydaki iş parçasının çapı küçüldüğünde iki sonuç arasında küçük bir fark meydana gelmektedir. Bunun sebebi torna tezgahındaki rijitliktir.

6. KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 2004, “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, Birsen Yayınevi, 2. Baskı, İstanbul.
- Apaydın. D., 2009, “AISI4340 Malzemenin Tornalanmasında Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Aslantaş, K., 2007, “Talaş Kaldırma Yöntemleri Ders Notları”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Eğitimi, Afyonkarahisar.
- Benardos, P. G., Mosialos, S., Vosniakos, G.-C., 2006, “Prediction of Workpiece Elastic Deflections Under Cutting Forces in Turning.”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 22, pp. 505-514,
- Carrino, L., Giorleo, G., Polini, W., Prisco, U., 2002, “Dimensional errors in longitudinal turning based on the unified generalized mechanics of cutting approach. Part I: Three-dimensional theory”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, July, Vol.42, pp.1509–1515.
- Chun, F., 2000, “Radial Error Feedback Geometric Adaptive Control for Bar Turning in CNC Turning Centers”, Phd Thesis, The Florida State University, Florida,
- Chungchoo, C., Saini, D., 2002, “On-Line Tool Wear Estimation in CNC Turning Operations Using Fuzzy Neural Network Model”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol.42, pp.29-40,
- Çakır, M. C., 2000, “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri”, Vipaş Yayıncılık, 1. Baskı, Bursa.
- Erkoç, C. N., 2000, “Autocad ve Ansys Yazılımlarını Kullanarak Mil Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Günay, M., 2003, “Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gürbüz, H., 2006, “Tornalamada Talaş Kırıcı Geometrisinin Takım Gerilmelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Jianliang, G., Rongdi, H., 2006, "A United model of diametral error in slender bar turning with a follower rest", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Oct., Vol.46, pp.1002-1012.
- Karabulut, A., 2009, "Determination of Diametral Error Using Finite Elements and Experimental Method", *Metalurgija*, July, Vol.49, pp.57-60.
- Köksal, S., Nart, E., Batman, F., 2009, "Dik Kesme İşleminde Takım-Talaş Ara Yüzeyi Sıcaklığının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13-15 Mayıs, 1-5.
- Kurt, A., 2006, "Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Kurt, A., Şeker, U., 2004, "Talaş Derinliğinin Kesici Takım Gerilmelerine Etkisi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Ankara, Ocak, 23-29.
- Lechniak, Z., Werner, A., Skalski, K., Kedzior, K., 1998, "Methodology of Off-Line Software Compensation For Errors in The Machining Process on The CNC Machine Tool" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 76, pp.42-48,
- Lipski, J., Litak, G., Rusinek, K., Szabelski, K., Teter, A., Warminski, J., Zaleski, K., 2002, "Surface Quality of a Work Materials Influence on The Vibrations of The Cutting Process", *Journal of Sound and Vibration*, Vol.252, pp.729-737,
- Liu, Z.Q., Vebuvino, P.K., 1999, "Error Compensation in CNC Turning Solely From Dimensional Measurements Previously Machined Parts", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol.48, pp.429-432.
- Mayer, J.R.R., Phan. A.V., Cloutier. G., "Prediction of Diameter Errors in Bar Turning: a Computationally Effective Model", *Applied Mathematical Modeling*, Vol.24, pp.943-956.
- Mendi, F., 2006, "Takım Tezgahları Teori ve Hesapları", Gazi Kitabevi, 2. Baskı, Ankara.
- Mergen, R., 2005, "HSS Torna Kalemindeki Talaş Açısının Kesmeye Etkisinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Ni, J., 1997, "CNC Machine Accuracy Enhancement Through Real-Time Error Compensation", ASME Transactions Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol.119, pp.717-724,
- Özkan, İ. A., Sarıtaş, İ., Yıldız, S., 2009, "Tornalama İşleminde Kesme Kuvvetlerinin ve Takım Ucu Sıcaklığının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13-15 Mayıs, 1-6.
- Qiang, L.Z., 1998, "Finite difference calculations of the deformations of multi-diameter workpieces during turning", Journal of Materials Processing Technology, Apr., Vol.98, pp.310-316.
- Phan, A.V., Baron, L., Mayer, J.R.R., Clouiter, G., 2002, "Finite Element and Experimental Studies Of Diametral Errors in Cantilever Bar Turning", Applied Mathematical Modeling, Vol.27, pp.221-232,
- Ramesh, R., Mannan, M.A., Poo, A.N., 2000, "Error Compensation In Machine Tools- a review Part I: Geometric, Cutting Force Induced and Fixture-Dependent Errors", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.40, pp.1235-1256,
- Ramesh, R., Mannan, M.A., Poo, A.N., 2000, "Error Compensation In Machine Tools- a review Part II: Thermal Errors", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.40, pp.1257-1284,
- Schmitz, T., Ziegert, J., 1999, "Examination of Surface Location Error Due to Phasing Of Cutter Vibrations" Precision Engineering, Vol.23, pp.51-62,
- Şahin, M. H., Acır, A., 2003, "Talaş Kaldırma İşlemlerinde Kesici Takım ve Talaş Arasında Oluşan Sıcaklık Dağılımının Sonlu Farklar Metodu ile Analizi", Politeknik Dergisi, Cilt.6, Sayı.3, 541-549.
- Şahin, Y., 2000, "Talaş Kaldırma Prensipleri", Nobel Yayınları, 1. Baskı, Ankara.
- Şimşek, M., 1995, "Kafes Kiriş Sistemlerinde Sonlu Elemanlar Metoduyla Gerilme Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Taşgetiren, S., Aslantaş, K., Kurt, A., 2000, "Torna Kesme Kaleminde Gerilmeler: Sürtünme Katsayısının Etkisi", Teknoloji Dergisi, Afyon, Cilt.3, Sayı. 2-3, 1-10.

- Teaküt, İ., Günay, M., Şeker, U., 2009, “Tornalama İşlemlerinde Kesici Takım Titreşiminin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09),Karabük, 13-15 Mayıs, 1-5
- Topal. E. S., 2003, “BSD Tornalamada Kesme Kuvveti Esaslı İşleme Hatasının İncelenmesi ve Bilgisayar Desteğiyle Düzeltilmesi”, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kayseri.
- Yang, S., Yuan, J., Ni, J., 1997, “Real-Time Cutting Force Induced Error Compensation on a Turning Center” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.37, pp.1597-1610,

İnternet Kaynakları

1- <http://www.matweb.com/index.aspx>

Erişim Tarihi

21.03.2010

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Emrah ÖZALP
Doğum Yeri	Polatlı/ANKARA
Doğum Tarihi	24/06/1986
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Polatlı Lisesi 2000
Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Resmi ve Konst. Öğretmenliği Bölümü 2004
Yüksek Lisans	

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

UKS Uzman Kazan A.Ş. Afyonkarahisar 2008
Özel Kampüs Erkek Öğrenci Yurdu Afyonkarahisar 2009