

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SOĞUK ŞEKİL DEĞİŞTİRMİŞ FARKLI MALZEMELERİN  
YIĞILMASINDA MALZEME AKIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğuhan Ufuk IŞIK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Makine Mühendisliği Programı

Temmuz, 2018



T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SOĞUK ŞEKİL DEĞİŞTİRMİŞ FARKLI MALZEMELERİN  
YIĞILMASINDA MALZEME AKIŞININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğuhan Ufuk IŞIK  
(Y1513.080006)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Hüseyin Erol AKATA

Temmuz, 2018





T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı **Y1513.080006** numaralı öğrencisi **Doğuhan Ufuk IŞIK** 'ın "**SOĞUK ŞEKİL DEĞİŞTİRMİŞ FARKLI MALZEMELERİN YIĞILMASINDA MALZEME AKIŞININ İNCELENMESİ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 04.07.2018 tarih ve 2018/12 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *oybirliği* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak  *Kabul*...edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

**Tez Savunma Tarihi : 16/07/2018**

1)Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin Erol AKATA

*H. Erol Akata*

2) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye DAHİL

*L. Dahil*

3) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ

*T. Gülmez*

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Soğuk Şekil Değiştirmiş Farklı Malzemelerin Yığılmasında Malzeme Akışının İncelenmesi ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../20..)

**Doğuhan Ufuk IŞIK**







## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı hocam Prof.Dr. Hüseyin Erol AKATA'ya en içten dileklerimizle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Aydın Üniversitesi'ne İnşaat Mühendisliği Bölümü Yönetici ve çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

**Temmuz, 2018**

**Doğuhan Ufuk IŞIK**



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞİMİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Plastik Şekil Değişimine Etkileyen Faktörler .....	5
2.1.1 Sıcaklığın Etkisi .....	5
2.1.2 Şekil Değiştirme Hızının Etkisi .....	5
2.1.3 Sürtünme Şartlarının Etkisi .....	5
2.2 Halka Yığılma Deneyi .....	7
<b>3. SÜRTÜNME .....</b>	<b>11</b>
3.1 Sürtünme Ve Triboloji İçin Temel Esasları .....	11
3.2 Sürtünme .....	13
3.3 Sürtünme Katsayısı .....	14
3.4 Sürtünmede Yüzey Alanı Değişimleri İçin Analitik Yaklaşımlar .....	15
3.4.1 Sürtünmesiz Hal İçin Yüzey Alanı Bulunması .....	15
3.4.2 Sürtünmeli Hal İçin Yüzey Alanının Bulunması .....	17
3.4.2.1 Yanal Alanın Bulunması .....	18
3.4.2.2 Toplam Yüzey Alanının Değişimi .....	18
<b>4. KONUNUN ÖNEMİ, ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR VE ÇALIŞMA PLANLARI</b>	<b>21</b>
4.1 Konunun Önemi .....	21
4.2 Önceki Çalışmalar .....	21
4.3 Güz Dönemi İçin Oluşturulan Çalışma Planı .....	26
4.4 Bahar Dönemi İçin Oluşturulan Çalışma Planı .....	26
<b>5. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>29</b>
5.1 Deneyde Kullanılan Kalıp Elemanları .....	29
5.2 Deneyde Kullanılan Parçalar .....	39
5.2.1 İçi Dolu Deney Numuneleri .....	39
5.2.2 Halka Deney Numuneleri.....	43
5.3 Deney Düzenekleri .....	45
<b>6. BULGULAR .....</b>	<b>51</b>
6.1 Halka Yığılma Deneyi Sonuçları.....	51
6.2 İçi Dolu Silindirik Parçaların Yığılma Deneyi Sonuçları.....	54
<b>7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>57</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>61</b>



## KISALTMALAR

$\epsilon$	: Gerçek genleme
$e$	: Mühendislik genlemesi
$\tau$	: Sürtünme gerilmesi
$\sigma_n$	: Normal gerilme
$\sigma_{ak}$	: Akma gerilmesi
$\mu$	: Sürtünme katsayısı
$m$	: Kayma faktörü
$k$	: Şekillendirilen malzemenin basit kayma halindeki akma sınırı
$A_g$	: Gerçek temas yüzeyi
$N$	: Normal kuvvet
$P$	: Sürtünme kuvveti
$b$	: Kalıp genişliği
$A_o$	: Ekstrüzyondan önceki kesit alanı
$A_f$	: Ekstrüzyondan sonraki kesit alanı
$D_o$	: İlk çap
$h_o$	: İlk yükseklik
$D_{max}$	: Max çap
$D_{ort}$	: Ortalama çap
$D_{alt}$	: Alt çap
$D_{üst}$	: Üst çap
$h$	: son yükseklik
$R$	: Fıçılaşılan yüzeyin yarıçapı
$A$	: Alan
$\alpha$	: Kullanılan açı
$F_{rs}$	: Statik sürtünme (rölatif hareket olmadan)
$F_{rd}$	: Dinamik sürtünme (rölatif hareket varken)
$M_r$	: Sürtünme Momenti
$A_r$	: Sürtünme İşii
$P_r$	: Sürtünme Gücü
$D_d$	: Dış çap
$D_i$	: İç çap
$H$	: Yükseklik



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Gerilme- % Şekil Değişimi Diyagramı .....	2
Şekil 2.1: Etkin gerilme türüne göre plastik şekil verme yöntemleri .....	4
Şekil 2.2: İki kuru yüzey arasında temas .....	6
Şekil 2.3: Halka basma deneyi .....	8
Şekil 2.4: Halka basmada teorik değişim eğrisi-1 .....	9
Şekil 2.5: Halka basmada teorik değişim eğrisi-2 .....	9
Şekil 3.1: Habig ve Czichos'a göre bir tribosistemin şematik olarak gösterilmesi ...	12
Şekil 3.2: Basit bir sürtünme modeli .....	14
Şekil 3.3: Sürtünme ile alakalı basit bir modelleme .....	15
Şekil 3.4: Üniform basma sırasında deforme olmuş bir silindir geometrisi.....	15
Şekil 3.5: Üniform basma sırasında yüksekliğe bağlı olarak alanın değişimi .....	17
Şekil 3.6: Üniform olmayan basma sırasında deforme olmuş bir silindir geometrisi	17
Şekil 4.1: Yığmada fıçılama: Deney numunesinin ilk hali (a), deney numunesinin sürtünmesiz .....	23
Şekil 4.2: Yığmada malzeme akış değişimi .....	23
Şekil 4.3: Yığmada yükseklik/çap oranının malzeme akışına etkisi .....	24
Şekil 4.4: Asimetrik yığma ve yanal yayılan numunenin üstten görünüşü .....	25
Şekil 5.1: İçi dolu olan parçaların sertifika ön yüzü(Katalog Bilgisi).....	30
Şekil 5.2: İçi dolu olan parçaların sertifika arka yüzü(Katalog Bilgisi).....	30
Şekil 5.3: Malzeme tabanlığı olarak kullanılan 30 mm'lik küçük parça.....	31
Şekil 5.4: Yük uygulama amacıyla kullanılan 30 mm'lik .....	31
Şekil 5.5: 30 mm'lik deney kalıp parçalarının üstten görünümü.....	32
Şekil 5.6: 30 mm'lik deney kalıp parçalarından alt tabanlığın önden görünümü.....	32
Şekil 5.7: 30 mm'lik deney kalıp parçalarından yük uygulayacak.....	33
Şekil 5.8: Et kalınlığı 5 mm olan içi boş borunun kalite belgesinin ön yüzü(Katalog Bilgisi).....	33
Şekil 5.9: Et kalınlığı 5 mm olan içi boş borunun kalite belgesinin arka yüzü(Katalog Bilgisi).....	34
Şekil 5.10: Eksenelliği sağlamak amacıyla .....	35
Şekil 5.11: 40 mm'lik deney kalıp parçasının üstten görünümü .....	36
Şekil 5.12: 40 mm'lik deney kalıp parçasının önden görünümü .....	36
Şekil 5.13: Alt tutucu olarak kullanılacak deney kalıp parçası .....	37
Şekil 5.14: Alt tutucu olarak kullanılacak deney kalıp parçasının .....	37
Şekil 5.15: Alt tutucu olarak kullanılacak deney kalıp parçasının yan görünümü ....	38
Şekil 5.16: Yığma öncesi ve sonrası normal silindirik numune .....	40
Şekil 5.17: Yığma öncesi numune ölçümleri.....	41
Şekil 5.18: Kullanılan alüminyum numunelerin standart kimyasal bileşimleri(Katalog Bilgisi).....	41
Şekil 5.19: 5 mm boyutundaki numuneler.....	42
Şekil 5.20: 10 mm boyutundaki numuneler.....	42

Şekil 5.21: 15 mm boyutundaki numuneler .....	42
Şekil 5.22: Deney parçası .....	43
Şekil 5.23: Halka yığıma numunelerindeki değişim .....	43
Şekil 5.24: Halka numunenin ön görünümü .....	44
Şekil 5.25: Halka numunenin yan görünümü .....	45
Şekil 5.26: Kullanılan Üniversal Malzeme Test makinesi .....	46
Şekil 5.27: Alt ıstampının yerleştirilmesi.....	47
Şekil 5.28: Merkezlemeyi sağlamak amacıyla kullanılan borunun yerleştirilmesi ...	48
Şekil 5.29: Merkezlemeyi sağlamak amacıyla kullanılan borunun yerleştirilmesi ..	48
Şekil 5.30: Üst ıstampının yerleştirilmesi .....	49
Şekil 6.1: Halka yığıma deney sonuçları .....	53
Şekil 6.2: Alüminyum Halka Numune Yığıma Deneyleri.....	54
Şekil 6.3: Alüminyum ve Pirinç çubuk numune çalışmaları .....	56





## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 6.1: Alüminyum halka1.nin numune sonuçları .....	52
Çizelge 6.2: Alüminyum halka2.nin numune sonuçları .....	52
Çizelge 6.3: Alüminyum halka3.nün numune sonuçları .....	52
Çizelge 6.4: pirinç halka numune sonuçları .....	52
Çizelge 6.5: Alüminyum içi dolu silindir numune sonuçları.....	55
Çizelge 6.6: Numune 1-2-3 değerleri .....	55



## SOĞUK ŞEKİL DEĞİŞTİRMİŞ FARKLI MALZEMELERİN YIĞILMASINDA MALZEME AKIŞININ İNCELENMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada yığma karşısında malzemenin şekil değişimi ve sürtünmenin bu şekil değişimine etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın ilk kısmında plastik şekil değişiminden bahsedilmiştir. İkinci kısmında sürtünmenin önemi ve plastik şekil değişimine etkisi anlatılmıştır. Son kısımda ise deney tesisatı ve elde edilen verilerle elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Sürtünme katsayılarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi, deformasyon işlemlerinde malzeme akış örüntüsü ve deformasyon yükleri üzerindeki etkisinden dolayı çok önemli bir konudur. Halka sıkıştırma testi, sürtünme katsayılarının belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bir deney prosedürüdür. Dış ve iç çaplar ve deforme edilecek malzeme halkalarının yükseklikleri, 6: 3: 2 oranına göre işlenir ve çeşitli deformasyon oranları için iç çap ve yükseklikteki değişiklikler kaydedilir ve katsayıları belirlemek için standart eğrilerle karşılaştırılır. Halkaların yüzeylerindeki deformasyonun değişiminin incelenmesi, halka sıkıştırma testlerinin daha iyi analiz edilmesine yardımcı olacaktır.

Sunulan çalışmada, halka numunesi yüzeylerindeki deformasyonun varyasyonunu analiz etmek için bir girişimde bulunulmuştur. Halkaların yan ve üst yüzeylerinde bir ızgara deseni çizilir ve ızgaraların son konumlarının fotoğrafları farklı üzgün oranlar için alınır. Halka sıkıştırma testlerini analiz etmek için ızgara deformasyonları ve standart sürtünme katsayısı belirleme prosedürü kullanılmıştır.

Testlerde iki farklı test malzemesi kullanılır ve düzensiz koşullar için sürtünme katsayıları, beklendiği gibi benzer test sonuçları ile uyumludur. Deformasyon oranlarına ve numunedeki pozisyonlarına göre grid boyutlarındaki değişim, halka deformasyonlarının daha iyi bir analizini vermektedir.

**Anahtar kelimeler:** *Sürtünme, Halka yığma, deformasyon.*



## **COLD SHAPED CHANGED DIFFERENT MATERIALS PRESSING INVESTIGATION OF MATERIAL FLOW**

### **ABSTRACT**

Determination and evaluation of the friction coefficients is a very important issue due to its effect on the material flow pattern and deformation loads in deformation processes. Ring-compression test is a widely used experimental procedure for determination of the friction coefficients. Outer and inner diameters and the heights of the rings of material to be deformed are machined according to the 6:3:2 ratio and the change in inner diameter and height for various deformation ratios are recorded and compared with standard curves to determine the coefficients. Examination of the variation of the deformation on the rings' surfaces would help to better analyse the ring compression tests. In the presented study, an attempt is done to analyse the variation of the deformation on the ring specimen's surfaces. A grid pattern is drawn on the side and upper surfaces of the rings and photos of the final positions of the grids are taken for different upset ratios. Grid deformations and the standard friction coefficient determination procedure are used to analyse the ring-compression tests. Two different test materials are used in the tests and the friction coefficients for unlubricated conditions are harmonious with similar test results as expected. Variation in the grid dimensions with respect to deformation ratios and their positions on the specimen give a better analyse of the ring deformations.

**Keywords:** *Friction, Ring-compression, deformation*



## 1. GİRİŞ

Mühendislikte kullanılan çoğu malzemelerin yüklü gerilmeler altında şekilleri kalıcı olarak değişebilir. Dolayısıyla bu malzemeler plastik şekil değişimine uğramış olurlar. Plastik şekil değişimine uğrayan malzemelerin şartlarını ve nasıl kalıcı şekil değişimine uğrayacaklarını bilmemiz gerekir. Mühendislik malzemelerinin veya makinelerde kullanılan parçaların yüklü gerilmeler altında şekillerinin değişmesi istenmeyen bir durumdur.

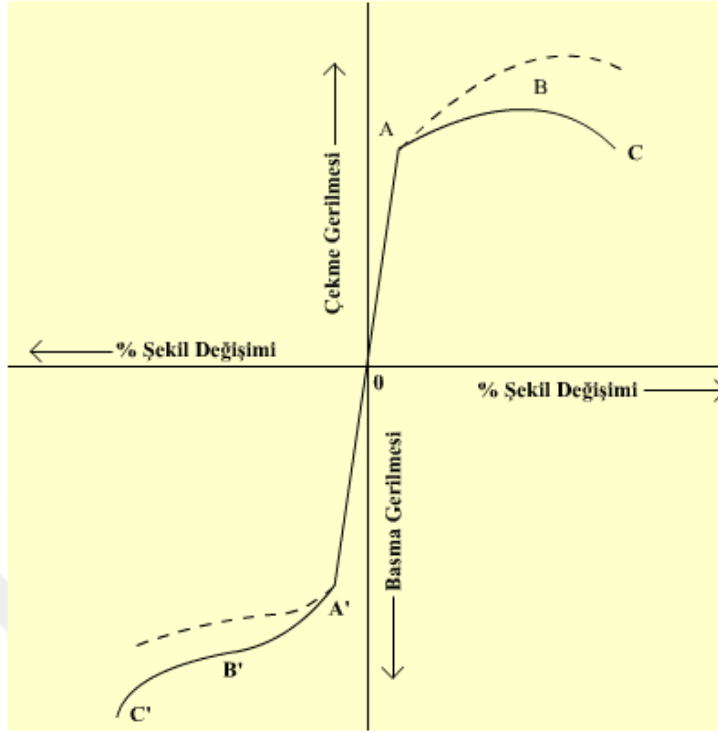
Yığıma deneyi, basma deneyinin bir nevi benzeridir. Çekme deneyinin de tam tersi olarak kabul edebiliriz. Yığıma deneyi de çekme deneyi makinelerinde yapılır. Yaptığımız bu deneyde homojen bir gerilim dağılımı elde etmek için yuvarlak ve silindirik kesitli parçalar kullanılır.

Ancak dik kesitli (kare veya dikdörtgen) parçalarda kullanılabilir. Yığıma deneyinde kullanılan parçalarda, parça yüksekliği ( $h_0$ ) ve parça çapı ( $d_0$ ) arasındaki  $h_0/d_0$  oranının önemi oldukça büyüktür. Parçanın  $h_0/d_0$  oranının çok az ya da çok fazla olması yapılan deneyde istenmeyen deformasyonlara heterojen olan gerilim dağılımına neden olur. Bu oranın azalması parçanın, deneyde kullanılan ıstampalar arasında oluşan sürtünme deney sonuçlarının değişmesine sebep olur. Bu nedenle deneyde kullanılacak içi dolu parçadaki  $h_0/d_0$  oranının  $1,5 \leq h_0/d_0 \leq 10$  arasında olması beklenir.  $h_0/d_0 \leq 10$  oranının beklenmesinin sebebi, deney sırasında parçanın bükülmeye uğramasına engel olmak içindir. Yığıma parçalarının yüksekliğinin çapına göre oranı çok kısa olması da istenmeyeceği için alt sınırında  $h_0/d_0 \geq 1,5$  olması önerilir. İçi dolu metalik mühendislik malzemelerinin yığıma parçalarında ise bu oran genellikle  $h_0/d_0 = 2$  olması önerilir.

Kullanılan parça içi dolu silindir değil de belli bir et kalınlığına sahip içi boş bir silindir ise dış çap, iç çap ve yükseklik arasında bir oran belirlenir. Bu oran sırasıyla 6:3:2 şeklindedir.

Bu oranlamadaki amaç da içi dolu silindirde de olduğu gibi yığıma sırasında herhangi istenmeyen bir deformasyondan kaçınılması ve homojen bir dağılım elde

edilebilmesidir. Bu deney esnasında parça kesiti sürekli olarak arttığından dolayı, çekme deneyinde oluşan "boyun verme" problemi gözükmez.



**Şekil 1.1:** Gerilme- % Şekil Değişimi Diyagramı[1]

Yığılma deneyi özellikle gevrek ve yarı gevrek malzemelerin sünekliğini ölçmede kullanılır. Çünkü bu malzemelerin sünekliği çekme deneyi ile tam olarak ölçülemez.

Bu deneyin avantajlarından bir tanesi çok küçük parçaların bile tercih edilebilmesidir. Bu sayede çok büyük ve fiyatı yüksek olan malzemelerle çalışıldığında daha küçük parçalar ile malzemenin durumu hakkında bilgiler edinebiliriz.



## 2. PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞİMİ

Metal malzeme birleşiminde ve toplam kütlesinde herhangi bir değişiklik olmaksızın bir katı cismin şeklini, istenilen başka bir şekle dönüştürmek için tercih edilen üretim yöntemlerine denir. Metal malzemelerin bazı özelliklerinden yararlanılarak istediğimiz şekle sokulabilir. Aynı zamanda talaşlı imalat ihtiyacını azaltmış oluruz. Plastik şekil verme yöntemleri, yaşadığımız zamanda mutfakta kullandığımız aletlerden, motorlu taşıt ve denizcilikte kullanılan malzemelere kadar oldukça geniş kullanım ve uygulama alanına sahiptir. Ayrıca demir olmayan alaşımlı çelikler, alüminyum, bakır ve çinko gibi malzemelere de plastik şekil verme uygulayabiliriz. Malzemelere plastik şekil verilerek imalat; kazandırdığı yüksek mekanik özellikler, düzgün yüzey kalitesi, düşük parça başına olan maliyet ve birçok geometride parçanın üretilebilmesi gibi avantajları sebebiyle en fazla tercih edilen üretim yöntemlerinden birisidir.

Aşağıda plastik şekil değiştirme ile üretilen parçalarının en önemli uygulama yerlerini teknik önemiyle beraber verilmiştir:

- Torna vidalar, çekiçler, el takımları ve tıbbi cihazların üretiminde kullanılması,
- Metal içecek kutularının üretiminde kullanılması,
- Cıvata ve perçin gibi bağlama özelliği olan elemanların yapımında kullanılması,

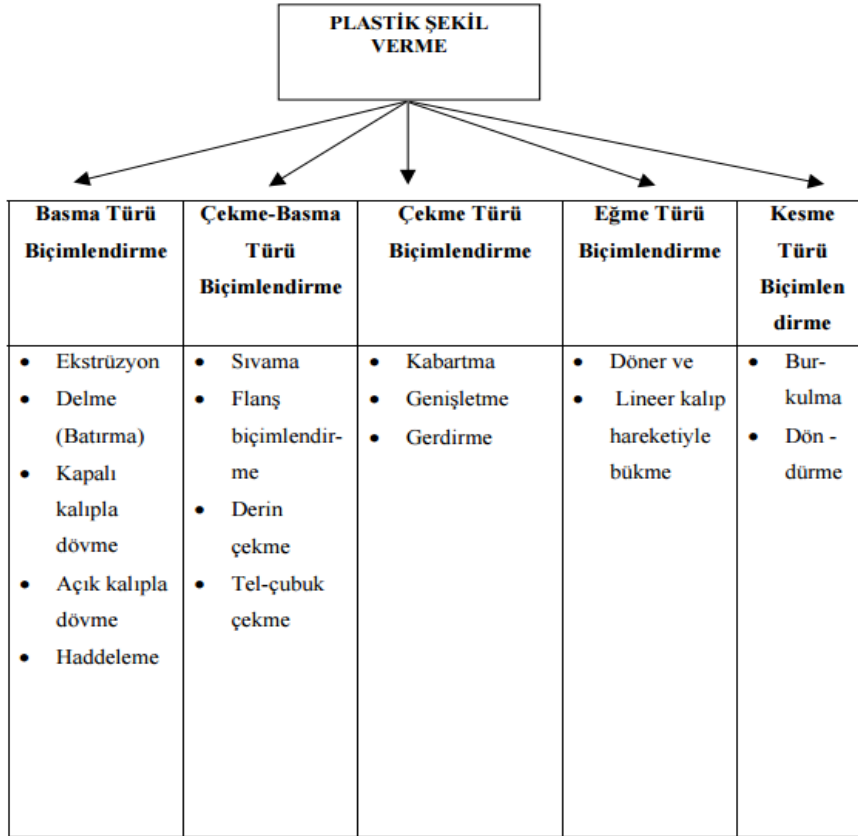
Ortaya çıkan parçaların büyüklüğü ve malzemelerine göre birtakım farklılıklar görülmesine rağmen plastik şekillendirme yöntemleri başlıca karakteristik durumları şu şekilde yazabiliriz:

- Malzemedeki şekil değişimi için gereken kuvvet değerleri ve gerilme çok yüksektir. Gerilmeler 50-2500 Megapascal aralığında değişebilmektedir. İş parçasının tamamının ya da büyük bir kısmı deforme edilmesi gerektiği için gerekli kuvvet değerleri de çok yüksek olmalıdır.

Yukarıdaki sınıflandırmanın haricinde işlemlerinde etkin gerilme çeşidinin esas alınacağı başka bir sınıflandırma da söz konusu olmuştur. Bunlar 5 etkin

gerilme durumuna göre hazırlanan bu gruplandırılmış durum Şekil 2.1'de verilmiştir:

- Basma türü şekillendirme işlemleri
- Birleşik basma ve çekme türü şekillendirme işlemi
- Çekme türü şekillendirme işlemleri
- Eğme türü şekillendirme işlemleri
- Kesme türü şekillendirme işlemleri



**Şekil 2.1:** Etkin gerilme türüne göre plastik şekil verme yöntemleri [2]

Plastik şekil vermenin belirgin karakteristikleri özellikleri:

- Bu yöntemde kütle ve hacim sabit kalıp, yalnızca şekil değişimi olur.
- Eğer bu yöntemde yüksek sıcaklık uygulanırsa, malzemenin birincil katılaşması sırasında oluşan gözenek ve boşluklar kapanır.

- Plastik şekillendirme eğer soğuk olarak uygulanırsa oluşan pekleşmeden yararlanarak malzemenin dayanımı artırılabilir.
- Plastik biçimlendirme yöntemleriyle dar toleranslara sahip hassas dereceli parçalar üretilebiliriz.

## **2.1 Plastik Şekil Değişimini Etkileyen Faktörler**

Malzemelerin plastik şekil değişimi karşısındaki durumları; malzemenin kimyasal bileşimi ve içyapısı değişikliğini, şekil verme sıcaklığını, şekil verme hızının durumuna ve sürtünme şartlarının durumuna bağlı oluşmaktadır.

Malzemelerin kimyasal bileşimi ve içyapısına göre; malzeme kolaylıkla şekil değiştirebilir ve istenen şekli alabilir, ya da zor şekil değiştirebilir ve istenen şekli almadan kırılabilir [3].

### **2.1.1 Sıcaklığın Etkisi**

Sıcak şekil değişimlerinde; şekil değişmesinin ortaya çıkarabildiği içyapı ve mekanik özelliklerinin değişimleri şekil değişimi sırasında ortadan kalkıp malzeme şekil değişiminden önceki özelliklerine geri döner. Soğuk şekil değiştirmede ise şekil değişikliği sonucundaki özellikler, başlangıçtaki özelliklerden farklı olmuştur ve herhangi işlem yapmadan eski özelliklerini geri dönemez.

### **2.1.2 Şekil Değiştirme Hızının Etkisi**

Malzemenin sünek halden gevrek hale geçmesi, hızlı şekillendirme proseslerinde daha fazla görülmektedir. Örneğin; çelik ve demir oda sıcaklığının altında çekiçlenmek istenirse çatlaklar. Ama benzer sıcaklıkta yavaş bir şekil değişimi olduğunda çatlama görülmemektedir.

### **2.1.3 Sürtünme Şartlarının Etkisi**

Bir plastik biçim verme işlemlerinde basınç, yük ve iş hesaplarının yapılabilmesi gerektiği için iş parçası / kalıp ara yüzeylerindeki sürtünmenin nicel haliyle ifade edilmesi gerekmektedir. N normal kuvvetiyle birbirine bastırılan iki cisim kaydırabilmek amacıyla teğetsel bir kuvvet (P) uygulanmalıdır. (Şekil 2.2)

$$N = \sigma \cdot Ag \quad (2.1)$$

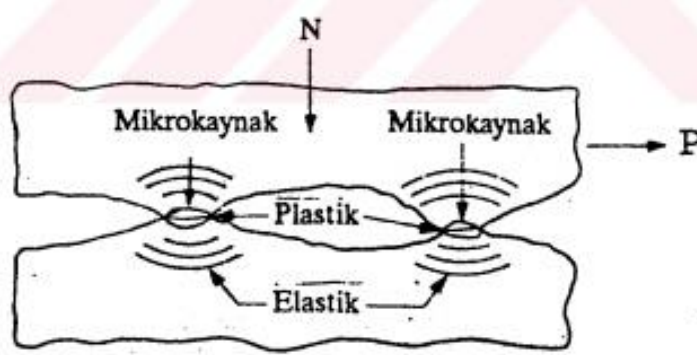
ve

$$P = \tau \cdot Ag \quad (2.2)$$

Olduğu için denklem 2.3 'den

$$(\mu = \tau / \sigma)$$

elde edilmiştir. [4]



Şekil 2.2: İki kuru yüzey arasında temas [4]

Bu nedenle sürtünme kayma gerilmesi

$$\tau = \sigma \cdot \mu \quad (2.3)$$

veya  $0 \leq m \leq 1$  olması için

$$\tau = m \cdot k \quad (2.4)$$

şeklinle ifade edilir.  $\sigma$ , kalıp parçası / iş parçası ara yüzey gerilmesi,  $\mu$  sürtünme katsayısı,  $m$  kayma faktörünü,  $k$  ise şekil verilmiş malzemelerin basit kayma halindeki akma sınırlarını ifade eder.

Çeliklerin, alüminyum alaşımlarını ve bakırın fosfat-sabun yağlayıcı veya sıvı yağları kullanarak yapılan soğuk şekil verme işlemleri  $m = 0.05 \dots 0.15$ ; çelikleri, bakır ve alüminyum alaşımlarının grafit esaslı (grafit-su veya grafit-sıvı yağ) yağlayıcılar kullanarak yaptığı sıcak şekil verme işlemleri  $m = 0.2-0.4$  değerleri arasındadır [4].

Normal kuvvet arttığı müddetçe bu gerilmeler de git gide büyürler ve sonunda pürüzlerin temas yüzeylerinin de plastik şekil değişimi görünür. Normal kuvvetin artması ile birlikte pürüzlerin temas yüzeyi de büyüdüğünden ötürü önceden temas etmemiş yüzeylerine de etkileyen normal gerilmeler elastik olup bazılarının da plastik olmasına sebep olur. Normal kuvvetin ve dolayısıyla pürüzlerin temas yüzeylerinde normal gerilmelere aşırı miktarlarda artması pürüzler arasındaki mikro kaynakları doğurmuştur.

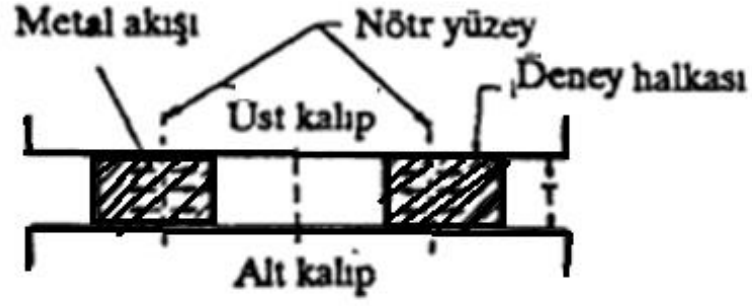
Sürtünmeyi azaltabilmek amacıyla kullanılan yağlayıcıların özellikleri şunlardır:

- Sıcak iş parçasından nadiren soğuk olan kalıplara ısı iletimini engelleyebilmektedir.
- Korozyif veya aşındırıcı olmamalıdır.
- Zehirli ve çevreyi kirletici olmamalı.

Bu özelliklerin tamamını sağlayan bir yağlayıcı bulabilmek zordur. Bu sebeple yağlayıcıları değerlendirmek ve sürtünme şartlarını anlamak amacı ile bazı yöntemler bulunmuştur. Dövmede sürtünme olayını sayısal olarak değerlendirmek için halka basma deneyi en fazla tercih edilecek yöntemlerdendir.

## **2.2 Halka Yığma Deneyi**

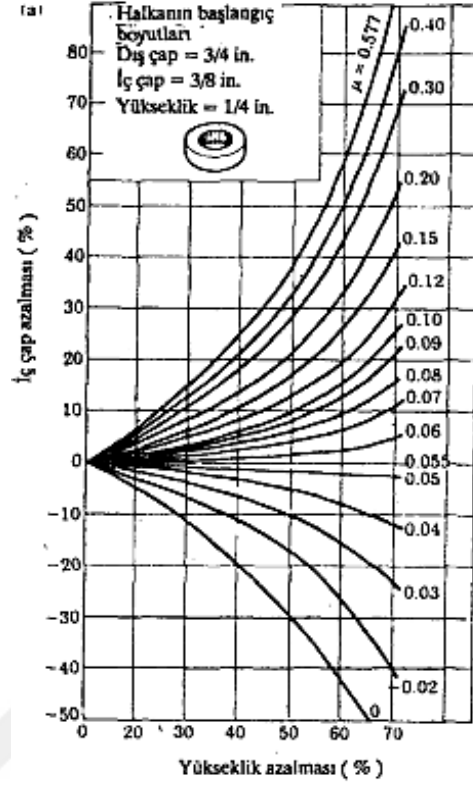
Yapılan bu çalışmaların esası Kunogi tarafından ekstrüzyonda kullanılan yağlayıcı çeşitlerini karşılaştırmak için yapılan bir deneye dayanır. Buradan hareketle, halka şeklinde bir parçanın yüksekliği doğrultusunda iki düzlem kalıbının arasındaki iç çapında oluşan değişimler yardımıyla sürtünme katsayısını bulmuştur. (Şekil 2.3) Sürtünme katsayısı değeri ( $\mu$ ) sıfıra eşit iken halkanın iç çapı artmıştır;  $\mu$  arttıkça iç çapın artışı azalmış olup kritik bir  $\mu$  değeri için sıfır bulmuştur [3].



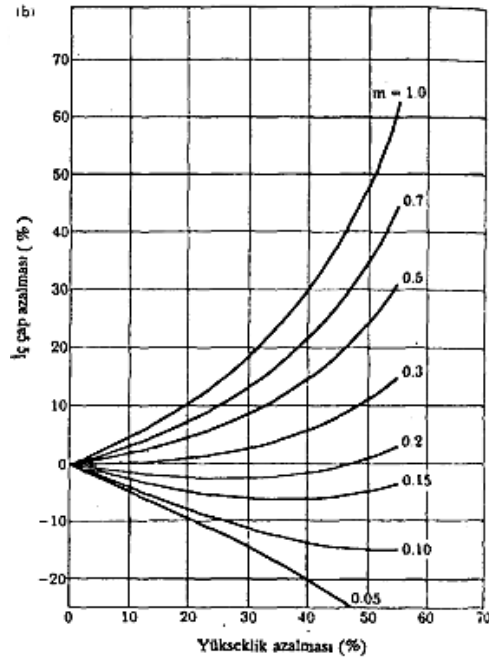
Şekil 2.3: Halka basma deneyi [5]

Halka yığıma (basma) deneyinde, halka yüksekliğindeki azalma  $\Delta h$ , başlangıç yüksekliği de  $h_0$  ile gösterilmişse, farklı sürtünme katsayıları için halka iç çapının  $\Delta h/h_0$  ile değişimi Şekil 2.3’de gösterilmektedir [3].

Belirli boyutlarda halkalar için, iç çap azalmasının halka yüksekliği birim kısalma ile değişim eğrisi teorik olarak çizilmiştir. Bir halka yığıma deneyinde, halka yüksekliğindeki % şekil değiştirmesi ile halka iç çapındaki % azalması tarafından belirlenmiş noktaların konumu teorik eğrilerle kıyaslanarak deney koşullarındaki  $m$  (kayma faktörü) ve  $\mu$  (sürtünme katsayısı) değerleriyle bulunabilir [4].



Şekil 2.4: Halka basmada teorik değişim eğrisi-1 [4]



Şekil 2.5: Halka basmada teorik değişim eğrisi-2 [4]





### 3. SÜRTÜNME

Günlük işlerimizde hemen hemen her yerde kullandığımız makineleri oluşturan metal veya metal olmayan makine elemanları, birbirleriyle hareketli veya hareketsiz olarak temasta bulunurlar.

Temasta olan rölatif hareket yapan iki elemanın temas yüzeyleri arasında hareketi engelleyecek özelliklere mevcut, şiddeti sınırlı olan sürtünme kuvveti vardır. Bu kuvvet sonucu elemanlarda aşınma meydana gelirken, sistemde de sıcaklık artışına bağlı olarak enerji kaybı da ortaya çıkar.

Makine ve makine elemanlarının yaklaşık olarak %75'inin çalışmaz hale gelmesinin nedeni aşınmadır. Aşınmanın bilinmesi ve önlenmesi ya da en azından azaltılması için gerekli tedbirlerin alınması aşınmayı ortaya çıkaran sürtünmenin kontrol altına alınmasıyla mümkün olabilecektir.

#### 3.1 Sürtünme Ve Triboloji İçin Temel Esasları

Sürtünme ve aşınma, katı cisim yüzeylerinin rölatif hareketi sonucu olur. Sürtünme, genel olarak birbiri üzerinde temas eden katı cisimlerin hareket ve hareket ihtimaline karşı gösterdiği dirençtir.

Aşınma ise, mekanik olaylar sonucu, küçük parçacıkların kopmasıyla, yüzeyde meydana gelen ve arzu edilmeyen değişimlerdir. Ancak bu tarifler, bugünün bakış açısıyla biraz değişiklikler göstermektedir.

Sürtünme, yalnızca kuvvet ve momentle değil, ayrıca mekanik enerjinin, büyük ölçüde

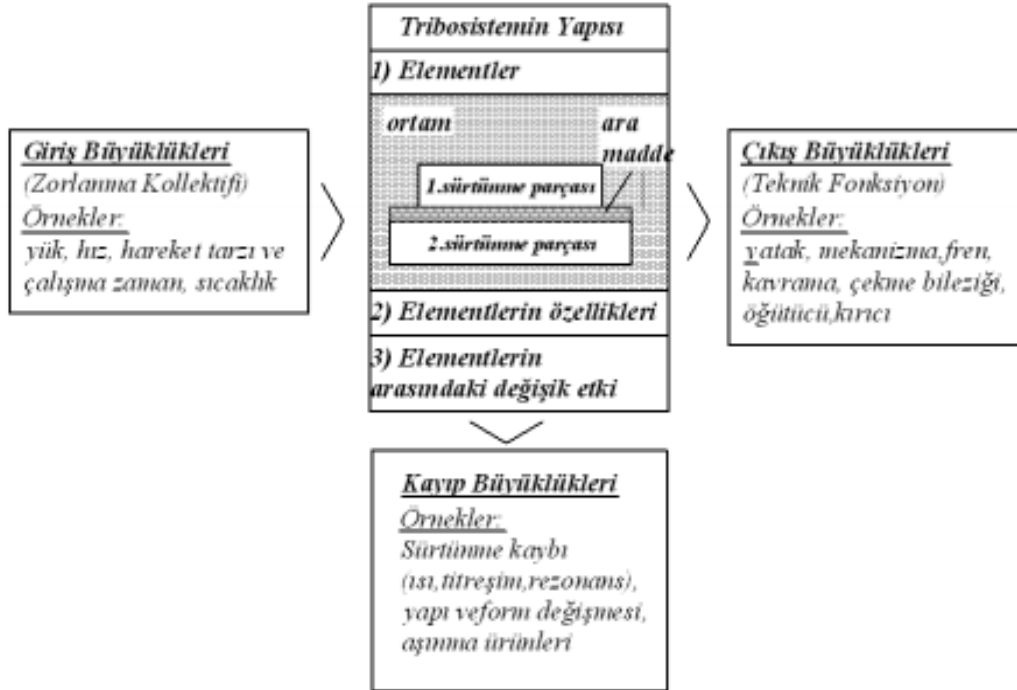
ısı olmak üzere diğer enerji formlarına dönüşmesiyle olur. Sürtünme kavramının, rölatif harekette, hareketin başlamasında ve sona ermesinde, temas eden madde yüzeylerinde meydana gelen mekanik enerji kaybı olarak ayrı ayrı incelenmesi gerekir.

Sürtünme ve aşınma ile ortaya çıkan tribolojik olaylar, yalnızca iştirak eden malzeme ve onların özelliklerine değil, tüm madde çiftlerinin karşılıklı etkileri ve dıştan etki eden zorlama çiftlerine bağımlı olur. Tribolojiye esas olan triboteknik yapı elemanlarını açıklayabilmek ve amaçlanan malzeme seçimini yapabilmek için, çoğu zaman Şekil 3.1’de şematik olarak gösterildiği gibi sistem analizine gidilir.

Tribo sistem, ana cisim, karşı cisim, ara madde ve çevre olmak üzere dört elemandan meydana gelir. Tribo işlem esnasında çeşitli değişken etkiler meydana gelebilir ve malzeme çiftinin yüzey özelliklerinde önemli değişimler olabilir.

Dıştan etki eden yük, hız, hareket tarzı ve çalışma, yol, zaman ve sıcaklık temel büyüklükler (birleşik zorlanma) tribo sistemin yapısı üzerinde arzu edilen yararlı büyüklüklere de dönüştürülebilir. Bu duruma örnek olarak, hareket ve dönme momentinin taşındığı kaymalı taşıyıcılar, burçlar, yataklar, malzeme şekillendiren çekme silindirleri ya da hareketi durduran frenler söylenebilir.

Tüm bu olaylarda, sürtünme ve aşınmanın sebep olduğu kayıp büyüklükler görülür ve tribo sistem, teknik fonksiyona uygun olarak düzenlenebilir[6].



**Şekil 3.1:** Habig ve Czichos’a göre bir tribosistemin şematik olarak gösterilmesi[6]

### 3.2 Sürtünme

Sürtünme, katı cismin kendisi ile temas eden bir başka katı cismin bağıl hareketinin veya hareket ihtimalinin hareketine karşı gösterebildiği dirençtir. Birbiriyle temasta olan yüzeyler arasındaki sürtünme hareketi yuvarlama, kayma veya bu iki hareketin bileşimi şeklindedir.

Sürtünme genelde kuvvete ve enerjiye bağlı ölçü büyüklükleri ile tanımlanır. Bu büyüklükler şunlardır: [6]

- Sürtünme Kuvveti (P): Bu kuvvet sürtünmeden dolayı bir rölatif harekete karşı mekanik direnç olarak meydana gelir ve hareket yönüne zıttır. İki şekli vardır ve bunların arasında belli bir farkın gözetilmesi gerekir.

$F_{rs}$  → Statik sürtünme (rölatif hareket olmadan)

$F_{rd}$  → Dinamik sürtünme (rölatif hareket varken)

- Sürtünme Momenti ( $M_r$ ): Sürtünmeden dolayı dönen rölatif harekete karşı direnç olarak ortaya çıkar.
- Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ ): Sürtünme kuvvetinin normal kuvvete oranıdır. Normal kuvvet  $F_n$  ile gösterilirse denklem (3.1) elde edilir.

$$\mu = F_r / F_n \quad (3.1)$$

- Sürtünme İş (A<sub>r</sub>): Sürtünme altında bir hareket olayının meydana getirdiği iştir.
- Sürtünme Gücü (P<sub>r</sub>): Sürtünme altındaki hareket ile harcanan güçtür.
- Sürtünme Açısı ( $\alpha$ ): Normal kuvvetin doğrultusu ile sürtünme kuvveti ve normal kuvvetin bileşkesinin doğrultusu arasındaki açıdır.

$$\alpha = \text{Arctan}(\mu)$$

veya

$$\mu = \text{Tan}(\alpha) \quad (3.2)$$

Sürtünme ölçü büyüklüğü tek bir maddenin veya malzemenin özelliği olarak değil, bilakis malzeme çiftiyle, yani genelde triboloji ile ilgili sistemle belirlenir. Bu da basitleştirilmiş olarak;

Sürtünme Ölçü Büyüklüğü = f (Sistemin yapısı, Birleşik zorlama)

şeklinde yazılır. Sistem yapısında, sürtünmeye doğrudan iştirak eden cisimler ve malzemeler ile onların özellikleri yer alır.

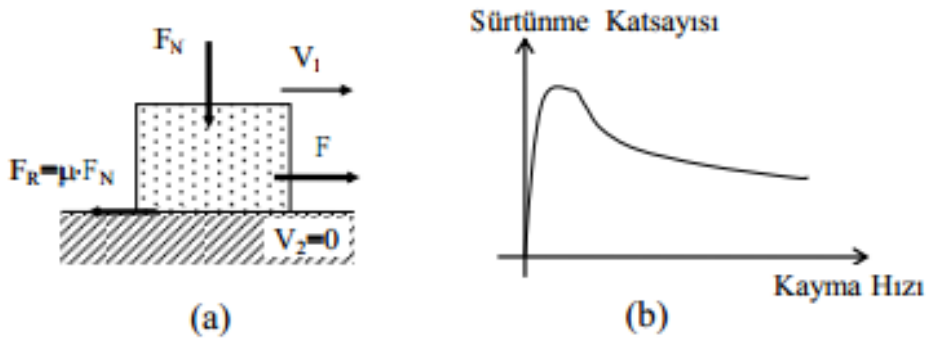
Birleşik zorlama denilince kinematik, normal kuvvet, hız, sıcaklık ve zorlama süresi anlaşılır. Sürtünmenin karmaşıklığından dolayı, sürtünme büyüklüklerini genelde teorik olarak hesaplamak mümkün değildir [7].

### 3.3 Sürtünme Katsayısı

Sürtünme katsayısının, kayma mesafesi ve süresi, sertlik, temas yüzeyinin ortalama tane büyüklüğü ve yüzey pürüzlülüğü gibi özelliklere bağlı olduğu için çeşitli deneylerle gösterilmiştir.

Bu katsayı değeri, artan kayma mesafesi ile artan kayma süresi, yüzey tabakasının artan tane büyüklüğünde belirli bir değere kadar artıp ve daha sonra yaklaşık bir değer ile devam etmiştir.

Kayma hızı arttıkça kinematik sürtünme katsayısı az da olsa azalır. Şekil 2.2’den de görüldüğü gibi sürtünme katsayısının en büyük değeri hareketin başlangıcındadır [8].



Şekil 3.2: Basit bir sürtünme modeli

Hareketin başlangıcında ilk harekete geçiş anında bir kay-dur olayı gerçekleşir.

Burada statik sürtünme değeri, kinematik sürtünme değerinden daha büyük olmasını ve sürtünme halinde bulunan elemanın harekete geçiren ara elemanın, şekil değiştirme kimyasına sahip olup olmamasına bağlıdır. Ara elemanı yay olarak düşünürsek, olayı incelemek için Şekil 3.3’deki model oluşturulabilir.



Yazılır. Bunu düzenlersek eğer:

$$dh / h = -2 dr / r \quad (3.5)$$

$$\ln h \Big|_{h_0}^h = -\ln r \Big|_{r_0}^r \quad (3.6)$$

$$\ln h - \ln h_0 = -(\ln r^2 - \ln r_0^2) \quad (3.7)$$

$$\ln h / h_0 = \ln r_0^2 - \ln r^2 = \ln r_0^2 / r^2 \quad (3.8)$$

$$h / h_0 = r_0^2 / r^2 \quad (3.9)$$

$$h_0 / h = r^2 / r_0^2 \quad (3.10)$$

elde edilmiştir.

$$A = 2 \pi r^2 + 2 \pi r^2 h \quad (3.11)$$

Şeklinde belirlenen yüzey alanı artışı gösterildiğinde

$$A + dA = 2 \pi (r + dr)^2 + 2 \pi (r + dr) (h - dh) \quad (3.12)$$

ve denklem (3.4) ve (3.9)'den yararlanarak

$$dA = -(2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left( r_0 \frac{\sqrt{h_0}}{h^2} + \frac{1}{\sqrt{h}} + \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{h}} \right) dh \quad (3.13)$$

Bu ifade integre edilirse;

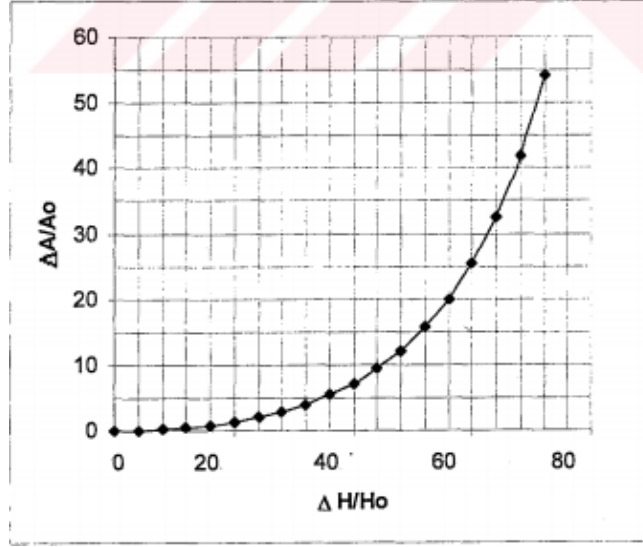
$$\int_{A_0}^A dA = \int_{h_0}^h -(2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left( r_0 \frac{\sqrt{h_0}}{h^2} + \frac{1}{\sqrt{h}} + \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{h}} \right) dh \quad (3.14)$$

$$= (2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left[ r_0 \sqrt{h_0} \left( -\frac{1}{h} \right) + 2\sqrt{h} + \sqrt{h} \right]_{h_0}^h \quad (3.15)$$

elde edilir.

$$\Delta A = (2 \pi r_0 \sqrt{h_0}) \left[ r_0 \sqrt{h_0} \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{h_0} \right) + 2(\sqrt{h_0} - \sqrt{h}) + (\sqrt{h_0} \sqrt{h}) \right] \quad (3.16)$$

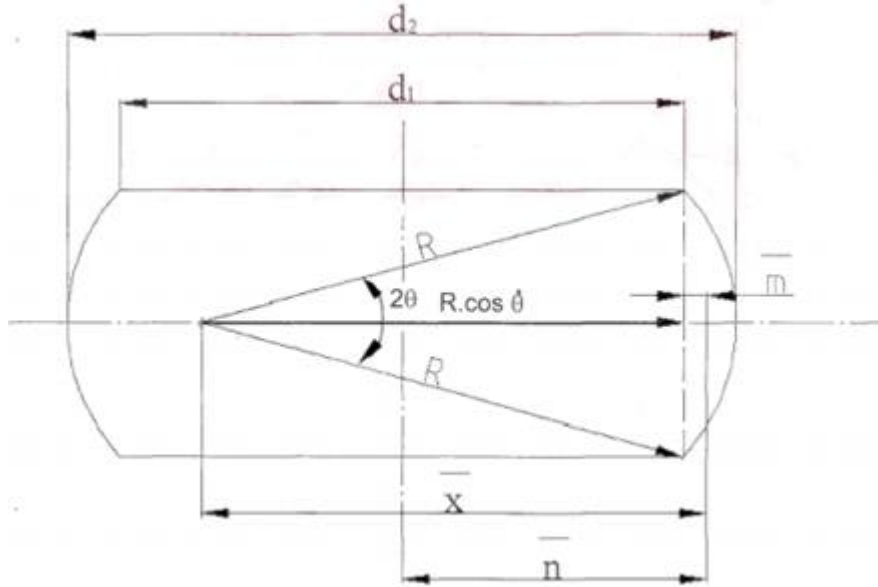
olarak bulunmuş olur.



Şekil 3.5: Uniform basma sırasında yüksekliğe bağlı olarak alanın değişimi ( $h_0/d_0^2$ )[5]

### 3.4.2 Sürtünmeli Hal İçin Yüzey Alanının Bulunması

Sürtünmeli halinde, sürtünme sebebiyle parçanın yanal yüzeylerinin fıçılşması görülmektedir. Bu durumda parçalarda yüzey alanını bulmak için deforme olmuş parçaların yanal yüzey alanları ve alt-üst yüzeylerinin alanları ayrı ayrı bulunarak sonrasında toplanarak toplam yüzey alanı ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.6: Üniform olmayan basma sırasında deforme olmuş bir silindir geometrisi[5]

### 3.4.2.1 Yanal Alanın Bulunması

Eğri parça ağırlık merkezi;

$$\bar{x} = R \sin\theta / \theta \quad (3.17)$$

Bu durumda, ağırlık parçasının ağırlık merkezine orta eksene uzaklığını  $\bar{n}$  ile belirtmişizdir.

$$\bar{m} = \bar{x} - R \cdot \cos\theta \quad (3.18)$$

$$\bar{n} = \frac{d_1}{2} + \bar{m} \quad (3.19)$$

$$S = 2 R \theta \quad (3.20)$$

S, tanımlandıktan sonra yanal alan bulunabilmesi için Pappus–Guldenus teoreminden yararlanılmıştır.

$$Y.A = 2 \pi \bar{n} S \quad (3.21)$$

$$2\pi \left( \frac{d_1}{2} + \bar{x} - R \cdot \cos\theta \right) S = 2\pi \left( \frac{d_1}{2} + \frac{R \sin\theta}{\theta} - R \cos\theta \right) S \quad (3.22)$$

$$= 4 \pi R \cdot \theta \left( \frac{d_1}{2} + \frac{R \sin\theta}{\theta} - R \cdot \cos\theta \right) \quad (3.23)$$

### 3.4.2.2 Toplam Yüzey Alanının Değişimi

Burada deformasyon sonucunda üst ve alt yüzeyler daire olarak büyümektedir, deney parçasının yanal yüzeyi ise, çember parçasının parça eksenine etrafında döndürmesiyle tanımlanır. Oluşan yanal alan yüzeyi de, bir torr' un dış yüzeyine benzeyeceğinden, hesaplar yanal yüzey alanı olarak adlandırılır.

Buna durumda ilk hali bulmak için üst ve alt yüzeyler ile yanal yüzey toplamı;

$$\int_0^{h_1} dA = 2.2 \pi \cdot \int_0^{r_0} r \, dr + \int_0^{h_1} 2 \pi \cdot r_0 \cdot dh \quad (3.24)$$

ifade edilir.

Torr yaklaşımıyla aşağıdaki durum yazılabilir;

$$\int_0^A dA = 2.2 \pi \int_0^{r_1} r \, dr + dA_{\text{Torr}} \quad (3.25)$$

şekilde ifade edilir. Yanal alan;



$$dA_{\text{torr}} = \bar{n} S \int_0^{2\pi} d\Phi \quad (3.26)$$

Olarak tanımlanıp, denklem 3.25'de yerine konulursa, torr oluştuktan sonraki hali;

$$\int_0^i dA = 2.2 \pi \int_0^i r dr + \int_0^{2\pi} \bar{n} S d\Phi = 4\pi \int_0^i r dr + \int_0^{2\pi} 2R\theta \left( \frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) d\Phi \quad (3.27)$$

$$\int_0^A dA = 4\pi \int_0^{r_1} r dr + 2R\theta \left( \frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) \int_0^{2\pi} d\Phi \quad (3.28)$$

şekilde yazılır.

Sürtülmeli durumda ilk hal ve son hal yüzey alanlarını farkını, denklem 3.29 ile bulunur;

$$\Delta dA = \int_0^i dA - \int_0^{i_0} dA \quad (3.29)$$

$$\Delta dA = \int_{A_0}^A dA = 4\pi \int_{r_0}^{r_1} r dr + 2R\theta \left( \frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) \cdot \int_0^{2\pi} d\Phi - \int_0^{h_0} 2\pi r_0 dh \quad (3.30)$$

$$\theta = \theta (r, h) \quad R = R (r, h) \quad \phi = \text{Torun çevresini tarayan açı.}$$

$$\Delta A = 2\pi (r_1^2 - r_0^2) + 4\pi R\theta \left( \frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) - 2\pi r_0 h_0 \quad (3.31)$$

$$A - A_0 = 4\pi \left[ \left( \frac{r_1^2}{2} - \frac{r_0^2}{2} \right) + R\theta \left( \frac{d_1}{2} + \frac{R \sin \theta}{\theta} - R \cos \theta \right) \right] - 2\pi r_0 h_0 \quad (3.32)$$

Denklem 3.32 kullanılarak deney parçasında yüzey alanı değişimin belirlenmesi için; başlangıç değerleri (Do, Ho) ile son büyüklüklerinin (D1, D2, H) ölçülerek, R değeri kullanılır.



## **4. KONUNUN ÖNEMİ, ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR VE ÇALIŞMA PLANLARI**

### **4.1 Konunun Önemi**

Plastik şekil vermede malzeme davranışını; malzeme bileşimlerini ve içyapısını, şekil verilme sıcaklığını, şekil verilme hızı da sürtünme şartlarına bağlı bulunmuştur. Bizim yaptığımız bu çalışma da ise yığma, bu olay esnasında iş parçası-kalıp ara yüzeylerinde sürtünme sonuçların da oluşan fiçilaşma olaylarını, yüzey alanlarının değişimi konusu araştırmaktadır.

Sürtünmeli ve sürtünmesiz olan hallerde ise, farklı malzeme çeşitlerinde yüzey alanlarının ne şekilde değişmesi gerektiğini, ilk haline göre nasıl değiştiklerini araştırılmıştır.

Sürtünme katsayısını belirlerken, literatürde yazıldığı gibi halka yığma methodu kullanılmaktadır. Bu yöntem ile belirli bir yük uygulama sonucu oluşan deformasyon ile halka iç çapı, dış çapı değerlerindeki değişmeler, kalıp/halka ara yüzeyindeki sürtünmelere büyük ölçüde bağlıdır.

Bu deneyler ile sürtünme katsayısının aynı malzemeler üzerinde farklı yüklemeler sonucu değişimleri analitik olarak incelenip devam eden kısımda bu yöndeki durumlar ile ilgili bir literatür araştırmasıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

### **4.2 Önceki Çalışmalar**

Yığmadaki malzeme akışı; basma, sürtünme, fiçilaşma ve katlanma olaylarıyla yakından ilişkilendirilmiştir. Bundan dolayı bu konularla ilgili çalışmalar incelenmiştir.

Yığma ile ilgili olarak birçok deneysel ve kuramsal çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar şu soruların cevaplarını bulmak içindir:

- Yığma kuvveti, malzemelerin özellikleri ve yığma işlemi sırasında değişkenleri arasındaki durum nedir?
- İş parçasında malzemeler nasıl şekil değiştirmektedir?

- İş parçasında herhangi bir hasar olmadan, yüksekliğini ne kadar azaltılabiliriz?

Yığılma konusunda çalışmalar çok eskilere dayanmaktadır. Örneğin, şeritlerin ve aksel simetrik (silindirik/yuvarlak kesitli) parçaları iki rijit plaka arasında basmak gibi konular 20. yy'ın başlarından itibaren incelenmeye başlanılmıştır.

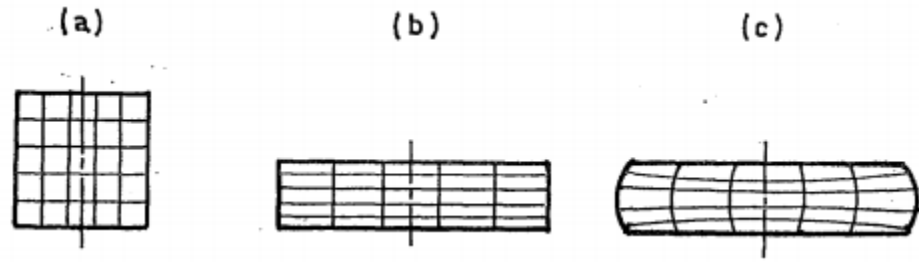
Bu çalışmalarda genellikle sürtünmeli ve/veya sürtünmesiz hallerinde, parça ile rijit plakaların temas yüzeylerindeki gerilme analizi, buna bağlı olarak da kuvvet hesabı kuramsal olarak incelenmiştir.

Yığılma ile alakalı deneysel çalışmalar oldukça eskiye de dayanmaktadır. Cook ve Larke[3] bakır ve bakır alaşımlarından yapılmış silindirik deney parçaları ile oda sıcaklığında yığılma deneyleri yapmıştır.

Bu deneylerde değişik çaplarda ve bu çaplara ait farklı "yükseklik/çap" değerleri kullanarak parça geometrisinin basma kuvveti ve gerilmesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu deneyden çıkan sonuçlara göre belirli çap için parça yükseklik değeri arttıkça aynı miktarlarda şekil değişimi miktarı için daha düşük basma gerilmeleri elde edilmelidir.

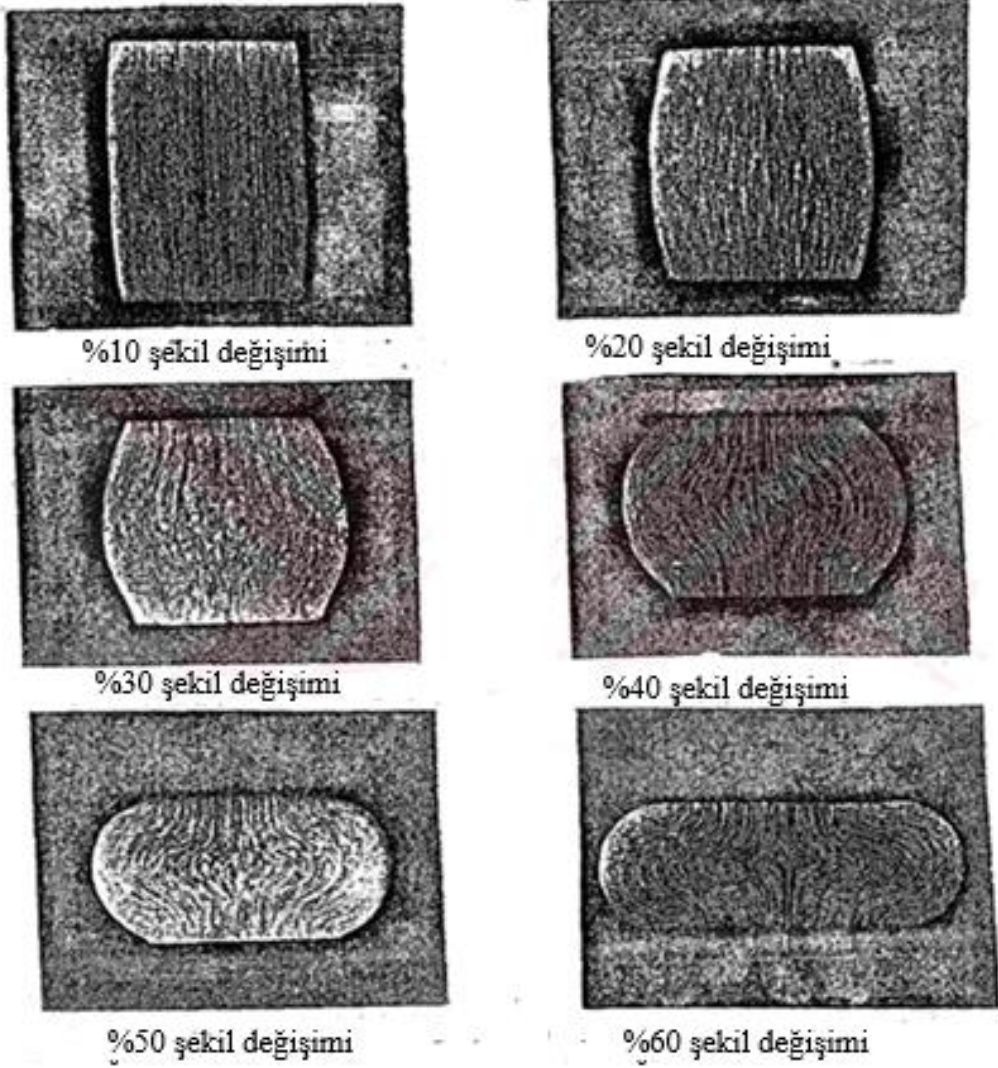
Bu konuda hakkında en temel araştırma çalışması Schroeder ve Webster[3] (1949) tarafından yürütüldü. Bu çalışmada dairesel ince plakaların basılması olayı, değişik yağlayıcıları kullanılarak oluşturulmuş farklı sürtünme şartları altında incelenmiştir. Oda sıcaklığı civarında yapılmış bu deneyler sonucunda sürtünme katsayısının yağlamanın şartlarına bağlılığı, deney parçası malzemelerinin sürtünme katsayısının etkilemediği gözlemlenmiştir.

Bilindiği üzere, yığılmanın sürtünmesi, parçanın fıçı şeklinde şişmesine yol açar. (Şekil 4.1) Fıçılama da sonuçların pratiğe uygulanması sınırlayacağı gibi belirli bir yığılma değerinden sonra deney parçasının serbest yüzeylerinde çatlak oluşması görülmektedir.

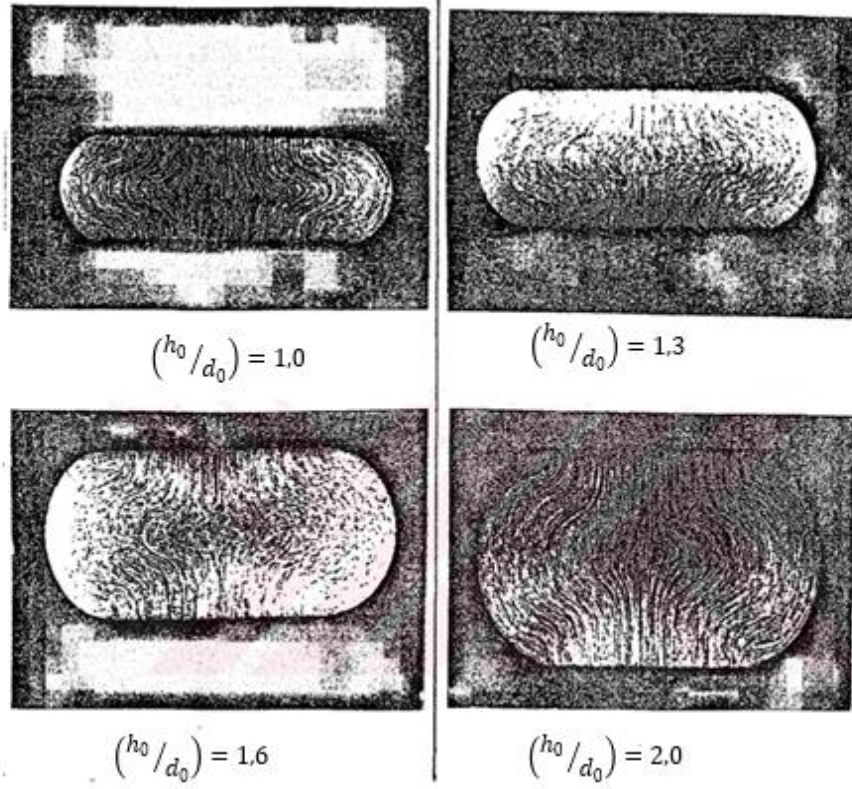


**Şekil 4.1:** Yığmada fiçilaşma: Deney numunesinin ilk hali (a), deney numunesinin sürtünmesiz haldeyken değişimi (b), deney numunesinin sürtülmeli haldeyken değişimi (c) [3]

Akata, düz dipli ıstampaları kullanarak, çeşitli yığma oranlarında AISI 1040 çeliğinde malzeme akışım (Şekil 4.2) ve yükseklik / çap oranının malzeme akışına etkisini (Şekil 4.3) incelemiştir [3].



**Şekil 4.2:** Yığmada malzeme akış değişimi [3]



**Şekil 4.3:** Yığmada yükseklik/çap oranının malzeme akışına etkisi  
(Tüm numuneler %50 yığılmıştır.) [3]

Plastisite Deformasyon Teorisi desteğiyle asimetrik yığma işlemlerinde sonlu eleman analizleri konusunda da çalışmalar yapmıştır[10]. Tavlanmış alüminyumundan silindirin yığılmasını, ortaya çıkan fıçılama eğriliğini daire yayına benzeterek yapılan bir araştırmada fıçılama eğrilik yarıçaplarında silindirin yükseklik / çap oranına' bağlı olmadan yeni geometrik şekil faktörü ile ilgili olduğunu ileri sürmüştürler.[10]

Ayrıca, fıçılama eğriliği ölçülmüş eğrilik yarıçap değeri ile hidrostatik gerilme ve gerilme oran parametreleri gibi diğer değişkenlerin arasında ampirik ilişkilerde bulunmuştur. Bu çalışmada da eğrilik yarıçapı;

$$R^{1/2} = [H_0 / 2 (D_2 - D_1)^{1/2}] * [3D_0^2 / (2D_2^2 + D_1^2)] \quad (4.1)$$

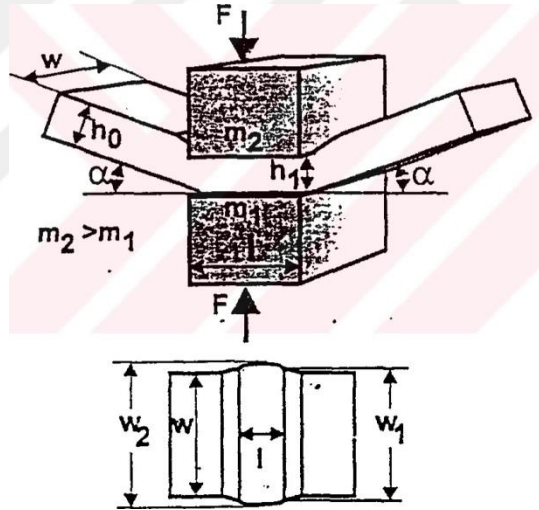
olarak bulunmuştur.

Pawelski, Rasp ve Volff sürtünme katsayısını belirlemek amacı ile bir takım çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalara göre, dikdörtgen plaka desteğiyle

yapılan basma deneylerinde alt ve üst takımlarda da sürtünme koşulları da farklı ise numune bir  $\alpha$  açısıyla üst takıma doğru eğilir. Bu açı  $\alpha = (m_1, m_2, l/h, h_1, \sigma_f)$  olacak durumda pek fazla parametrenin fonksiyonudur. Böyle bir deneyde sürtünmeleri ölçmenin iki öz yolu vardır.

1. Maximum eğilme metodu: Herhangi yüzdeki sürtünme değeri biliniyorsa eğilme açısı  $\alpha$ , diğer yüz ise sürtünme katsayısının ölçüsü olmuştur.
2. Karşılaştırma metodu: Bir yüzde bilinmeyen bir sürtünme faktörü ise, diğer yüzdeki farklı sürtünme halleriyle karşılaştırılır.

Çalışmalarında bu yöntemleri de kullanan Pawelski ilk yöntem için üst zımba yüzeylerinde farklı sürtünme koşulu oluşturmuş ve bu yaptığı deneyleri, geliştirdiği matematiksel metotlarla karşılaştırmıştır[10]. 2.yöntem Şekil 4.4 de görüldüğü gibi yüksek hızlı şekillendirmelerinin yapıldığı çalışmalarda ise açının değişimi incelenmiş.



**Şekil 4.4:** Asimetrik yığılma ve yanal yayılan numunenin üstten görünüşü[10]

Silindir şeklinde parçaların yığılması olayında da deformasyon profilinin detaylı olarak incelenmesi önem kazanmıştır. Sunulan bitirme projesi çalışmasında bu tartışmalara katkıda bulunmak amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, takip eden bölümde silindirik parçaların ve halka şekline getirilmiş parçaların sürtünme etkisinde nasıl bir fiçilaşmaya uğradığı, yüzey profillerinin ve yüzey alanlarının da ilgili bilgileri verilmektedir. Ayrıca halka yığılma için sürtünme katsayısı tayininin gösterimine yer verilmiştir.

### 4.3 Güz Dönemi İçin Oluşturulan Çalışma Planı

- Hangi konu üzerine çalışılacağına karar verilmiştir.
- Seçilen konu üzerine bir çalışma planı belirlenmiştir. Bu çalışma planına göre güz dönemi için aşağıdaki plan izlenmiş olup, bahar dönemi için de bir planlama yapılmıştır:
- Deney kalıp tesisatının nasıl olması gerektiği üzerine çalışmalar yapıldı. Bu çalışmada ilk olarak kalıp parçalarının tasarımı ve tahmini ölçülendirilmesi yapıldı. Daha sonra yapılan tasarımın ölçülendirmesiyle birlikte teknik çizimi yapıldı.
- Plastik şekil değişimi ve plastik şekil değişimi yöntemleriyle alakalı literatür araştırılması yapıldı, bu konu hakkında daha önceki çalışmalardan bilgiler edinildi.
- Tasarımı planlanmış deney tesisatı için piyasa araştırılması yapılmış olup, bunların nereden alınabileceği konusunda konuşulmuştur.
- Belirlenen ölçülendirme yaklaşık bir ölçülendirme olup, yapılan deney tesisatının güz dönem için sunumu yapılmıştır ve sunum içerisinde yapılan literatür araştırmasına da kısa bir yer verilmiştir.

### 4.4 Bahar Dönemi İçin Oluşturulan Çalışma Planı

- Deney tesisatının kesin ölçüleri belirlenmiş ve buna göre alınan parçalardan bir tesisat oluşturulmuştur.
- Önceki kısımlarda belirtilen konular ışığında (güz dönemi yapılmış planlamalar da dahil), plastik şekil vermenin temel yöntemlerinden olan yığmada karşılaşılan fiçilaşma olayı, sürtünme durumunda alüminyum malzemede yarıçap ve yüzey alanı değişimleri belirlenmiştir.
- Alüminyum malzemenin iki farklı çapta çubukları alınmıştır. Bu çubuklar çapı 10 mm ve 16 mm'lik olan çubuklardır. Çapı 10 mm olan çubuklardan 5,5 mm, 10 mm, 15 mm'lik numuneler kesilmiştir. Bu numunelere hazırladığımız yığma deney tesisatıyla 250000 N'luk basma kuvveti uygulamış ve birtakım veriler elde edilmiştir. Çapı 16 mm olan alüminyum çubuklardan ise iç çapı 8 mm, yükseklikleri 5 mm, 8 mm, 16 mm olan numuneler oluşturulmuştur.



- İçi dolu numunelerde yapılan çalışmalarda  $h_o/d_o$  oranının 2'den büyük olmamasına dikkat edilmiştir.
- Normal olan numunelerden elde ettiğimiz değerler halka numunelerden 6:3:2 oranına uyulmuştur.

Sonunda 5. Bölümde ise deneylerin yapılışı ve deneysel çalışmalar hakkında bilgiler verilecektir. Kalan bölümlerde ise deneysel sonuçlar verilerek ilgili yorumlamalar yapılacaktır.





## **5. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu bölümde, deneyde kullanılan kalıplar ile deney parçaları tanıtılmaktadır. Kullanılan kalıplarla oluşturulan mekanik tesisatın hangi şekillerde imal edildiği hakkında bilgiler verilecektir. Aynı zamanda deneyin nasıl işleneceğine dair bilgiler de aşağıda mevcuttur.

### **5.1 Deneyde Kullanılan Kalıp Elemanları**

Yaptığımız yığma deneyinde kullandığımız parçalar, iki tane soğuk çekme çubuk, iki tane soğuk çekme boru kafası, bir soğuk çekme boru ve içi dolu çelik bir parça şeklindedir.

Kullandığımız içi boş soğuk çekme borunun kesitleri; dış çap 40 mm, iç çap 30 mm, et kalınlığı 5mm şeklindedir. İçi dolu iki tane silindirik parça vardır. Bu içi dolu silindirlerin çapları 25 mm şeklinde olup, ikisinin de uzunlukları birbirlerinden farklıdır. Onlara uygun ıslatılmış çelik kafaların çapları da 30mm şeklindedir. Bahsedilen deney kalıp parçanın yerleştirilmesi için de farklı bir parça kullanılmıştır.

Bahsedilen iki tane içi dolu silindirin kullanılma amaçlarını şu şekilde açıklayabiliriz; Yüksekliği diğerinden daha küçük olan kalıp parçamızı numunenin altına koyup sabitlemek için kullanıyoruz ama parçamızın üstüne önce ek parçayı ekliyoruz sonrasında numune ekleniyor.

Yüksekliği daha büyük olan diğer kalıp parçamızı da tek ekseninde yük uygulamasını amaçlıyoruz. Kullandığımız diğer içi boş olan soğuk çekme boruyu kullanmamızdaki amaç ise eksenelliği sağlamaktır.

**CHANDAN STEEL LIMITED**  
(GOVT. OF INDIA RECOGNISED EXPORT HOUSE)  
ISO 9001 : 2008 CERTIFICATE No. 01 100 011022

ADM. OFFICE: 304, SUKH SAGAR, N. S. PATKAR MARG, MUMBAI-400 007, INDIA  
Tel.: 91-22- 66290600. Fax.: 91-22-66290633/34  
Website : www.chandansteel.net  
Email : csl@chandansteel.net  
L/c. No.:  
L/c. Date:

WORKS: Plot No. 35, G. I. D. C., Umbergaon  
Dist Valsad, Gujarat - 396 171  
Tel.: 91-260- 308 9999 Fax.: 91-260 308 9872  
E-mail : exports@chandansteel.net

F824 QC 09 / 02 / 10.12.2012

**MILL TEST CERTIFICATE**  
INSPECTION CERTIFICATE 3.1 ACCORDING TO EN 10204 : 2005

CONSIGNEE Emre Coskun Emre Paslanmaz Metal Ve Malzeme Sanayi Lkitelli OSB Demirciler San Sit D2 Blok No : 288 Basaksehir Istanbul Turkey				Test Certificate No. : EXP/01460 - 20/2016-2017 Date of Issue : 06.03.2017 P.O. No. : - SC_No. & Date : 16-17/00561, Dt.07.12.2016 Invoice No. & Date : EXP/01460/2016-17 Dt.06.03.2017			
PRODUCT DESCRIPTION STAINLESS STEEL ROUND BARS				LENGTH		Net Wt. 205 Kgs.	
				Ordered 6.0 - 6.10 Mtrs.	Actual 6.0 - 6.10 Mtrs.		
Heat No.	Grade AISI	Size mm/inches	Tolerance	Process Route Electric Melting, A.O.D. Refining, Continuous Casting			
CH-5627	304	30.00 mm	h9				

Şekil 5.1: İçi dolu olan parçaların sertifika ön yüzü(Katalog Bilgisi)

CHEMICAL COMPOSITION (Weight %)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ti	N
Min.	-	-	-	-	-	18.00	-	8.00	-	-	-
Max.	0.080	1.00	2.00	0.045	0.030	20.00	-	11.00	-	-	-
Results	0.023	0.40	1.81	0.037	0.025	18.15	-	8.03	-	-	-

MECHANICAL PROPERTIES

Specified Value	Yield Strength N/mm <sup>2</sup> /MPa (Rp0.2)	Tensile Strength N/mm <sup>2</sup> /MPa (Rm)	Elongation %	Reduction of Area %	Hardness (HB)
Min.	205	515	30	40	-
Max.	-	-	-	-	-
Results	285	635	44	68	193-196

Remarks:

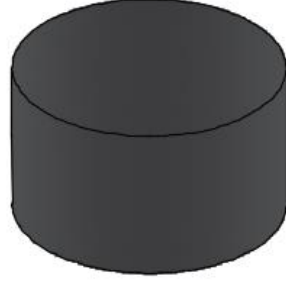
1. Smooth Turned and Polished.
2. Solution annealed at 1050 °C.
3. PMI test done 100% & found Satisfactory.
4. Material is free from radio-active contamination.
5. The material conforms to ASTM A276 - 15 Specifications.
6. The material is manufactured / melt in Chandan Steel Mill and is of Indian Origin.

BUNDLE NO.: 33 COLOUR: YELLOW

S. S. RAUTELA  
MANAGER - QUALITY ASSURANCE

It is hereby certified that the above results are true and correct in every details and are meeting the requirements of specification & purchase order.

Şekil 5.2: İçi dolu olan parçaların sertifika arka yüzü(Katalog Bilgisi)



**Şekil 5.3:** Malzeme tabanlığı olarak kullanılan 30 mm' lik küçük parça



**Şekil 5.4:** Yük uygulama amacıyla kullanılan 30 mm' lik büyük parça



**Şekil 5.5:** 30 mm'lik deney kalıp parçalarının üstten görünümü



**Şekil 5.6:** 30 mm'lik deney kalıp parçalarından alt tabanlığın önden görünümü



**Şekil 5.7:** 30 mm'lik deney kalıp parçalarından yük uygulayacak parçanın önden görünümü

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	N	Pb	V	Ti
0,1	0,24	0,52	0,009	0,1	0,05	-	0,04	0,02	-	-	-	-	-

**Şekil 5.8:** Et kalınlığı 5 mm olan içi boş borunun kalite belgesinin ön yüzü(Katalog Bilgisi)

# Kalibre

Soğuk Çekme Demir Çelik San. ve Tic. Ltd. Şti.  
 İkitelli Organize Sanayi Bölgesi Demirciler Sitesi  
 B 3 Blok No: 78 / Kuşlukçekmece - İstanbul  
 Tel: 0212 671 23 00 / 4 hat • Faks: 0212 671 33 04  
 İkitelli V.D. : 4920171413  
 Tic. Sic. No: 4876/41519

**Görsel Muayene** : Uygun      **Çelik Yapım Met.** : Elektrik Ark Ocağı

M.Vakumsuz    A.Vakumlu    C.Vakumlu +U.T. Kontrollü+Yüzey Çatlak Kontrollü    D.Dövme Uygun (Vakumlu+Yüzey Çatlak Kontrollü)

Bu belge yukarıda tanımlanan malzeme için ıslak imzalı olarak düzenlenmiştir. Çoğaltılmış kopyaların güvenilirliğinden Hasçelik sorumlu değildir. Malzemenin test edildiği ve sipariş şartlarına uygun olduğu onaylanır. Kuşku durumunda geçerli belge olarak Hasçelik'deki kaynak kopyaya başvurulmalıdır. Bu malzeme A1900-4400 sınıfı ile %100 radyoaktif testten geçirilmiş hammaddelerle üretilmiştir. HASÇELİK San. ve Tic. A.Ş. vakumlu / çatlak kontrollü / tamamlamalı ürünlerine kimyasal kompozisyon garantisini ille birlikte tedarikçilerinin HASÇELİK'e verdiği garanti kapsamında garanti şartlarını müşterilerine sunmaktadır. Vakumlu/ Vakumsuz ürünler için kimyasal kompozisyon dışında herhangi bir garanti verilmemektedir. Hasmalı ürünlerde ve tamamlamalı ürünlerde kimyasal kompozisyon garantisini verilmektedir. Çıkacak herhangi bir kalite sorunu HASÇELİK sadece malzeme bedeli kadar sorumludur. Garanti şartları dışında müşteride veya sonraki proseslerde ortaya çıkan olumsuz durumlarda boy kesilmemiş / selenmemiş malzemenin teknik / ticari olarak iade alınması dışında HASÇELİK San. ve Tic. A.Ş herhangi bir konuda yükümlü tutulamaz.

C: Vacuum degassed + U.T. Controlled+Eddy Current Controlled      A: Vacuum degassed  
 M: Non-vacuum degassed      D: For Forging(Vacuum degassed+Eddy Current Controlled)

**Visual Control** :OK      **Steel Making Method** : Electric Arc Furnace

This certificate is issued originally signed for the material described above. Hasçelik does not take any responsibility for the non-authorized copies. We hereby confirm that above mentioned material has been tested and the results meet the order requirements. In case of doubt, the original copy at Hasçelik should be consulted as authoritative test. This material is produced from 100% radioactive tested raw material with A1900-4400. HASÇELİK San. ve Tic. A.Ş. presents to its customers chemical composition and guarantee conditions of its suppliers for vacuum degassed / U.T. Controlled/Processed products. Vacuum degassed/Non-vacuum degassed products are not guaranteed except for chemical composition. Chemical composition guarantee is given for Hasmalı and Processed products. HASÇELİK is responsible for only at the value of materials in case of any quality problem which will occur. For any unfavorable out of guarantee condition arising in customers or during follow up processes, HASÇELİK is not responsible for any other issue than accepting technical and commercial restitutions of uncut/unprocessed materials.

**Bu ÜRÜNÜN Ø40x5 SOĞUK BORDU OLARAK GÖRÜLMÜŞTÜR.**

İSTANBUL	Mermerçiler Organize Sanayi Bölgesi 2.Sanayi Caddesi No:10 Tuzla
ÖZBZE	TOSB O.S.B. 1.Cadde No:17 Şekerpınar, Çayırova
KONYA	Ankara Yolu Üzeri No:252 Karatay
İZMİR	Kemalpaşa Organize Sanayi Bölgesi Gazi Bulvarı No:136 Ulucak
ANKARA	İstanbul Yolu 24 Km. 110 Sokak No:11 Saray Kazan
İKİTELLİ	Mehmet Akif Mahallesi Akarsu Bir Sokak No:21/3 İkitelli, K.Çekmece
ADANA	Yeşiloba Mahallesi Öğretmenler Bulvarı 46012 Sokak no :6 Seyhan

www.hascelik.com      T: + 90 262 444 4140 F: +90 262 444 5140

**Şekil 5.9:** Et kalınlığı 5 mm olan içi boş borunun kalite belgesinin arka yüzü(Katalog Bilgisi)





**Şekil 5.10:** Merkezlemeyi sağlamak amacıyla kullanılan 40 mm'lik çapa, 5 mm'lik et kalınlığına sahip deney kalıp parçası

Yukarıda şekilde görülen boru parçamızda hava çıkış yolunu sağlamak amacıyla 1mm çapında delikler delinmiş olup parçaların yığılma deneyi öncesi merkezlemeyi sağlamak amacıyla yapılmıştır.



**Şekil 5.11:** 40 mm'lik deney kalıp parçasının üstten görünümü



**Şekil 5.12:** 40 mm'lik deney kalıp parçasının önden görünümü



**Şekil 5.13:** Alt tutucu olarak kullanılacak deney kalıp parçası



**Şekil 5.14:** Alt tutucu olarak kullanılacak deney kalıp parçasının üstten görünümü



**Şekil 5.15:** Alt tutucu olarak kullanılacak deney kalıp parçasının yan görünümü  
Şekil 5.13-5.14-5.15'lerde görüldüğü gibi imalat çeliğinden elde edilen kalıbın alt tutucu görevini üstlenecek malzemelerimiz görülmektedir.

## 5.2 Deneyde Kullanılan Parçalar

Yapılan yığma deneyinde kullanılan numuneler;

- 10 mm çapta, 5.5 mm yüksekliğinde numune
- 10 mm çapta, 10 mm yüksekliğinde numune
- 10 mm çapta, 15 mm yüksekliğinde numune
- 16 mm dış çapta, 8 mm iç çapta, 10 mm yüksekliğinde numuneler kullanılmıştır.

10mm çapta olduğu bahsedilen parçalar içi dolu şekilde olanlardır. Ayrıca bu parçalara aynı yük uygulandığı durumlarda tabloları oluşturularak gerilme grafiği çizilmiş olup, sadece sürtünmeli ve sürtünmesiz durumda nasıl bir durum olduğu tespit edilmiştir.

Bahsedilen diğer parçalar halka şeklindedirler. Bu parçalara da farklı kuvvetler uygulanmış olup, bu durumlardaki iç çaplarının yüzdelik değişimleri ve yüksekliklerinin değişimleri saptanmıştır.

### 5.2.1 İçi Dolu Deney Numuneleri

Alüminyum doğa da bileşikler halinde bulunmaktadır. Alüminyumu diğer metallerle göre birçok alanda avantajlı kılan en önemli ana özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Hafif oluşu,
- Hafifliğine karşın alaşım andırıldığında yeterli olan mukavemeti,
- Tekrar tekrar kullanılabilirliği,
- Yüksek korozyon direnci,
- Çekilebilir olması,
- Şekillendirilebilir olması,
- Dövülebilir olması,
- İşlenebilir olması,
- Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği olması'dır.

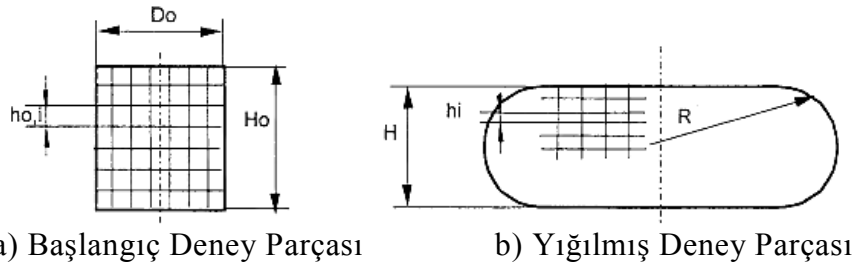
Deneyimizde kullandığımız numuneler alüminyumdan oluşmaktadır. Bu malzemeyi seçmemizin iki nedeni vardır;

- Kullanılabilecek diğer malzemelere göre daha kolay şekil alabilen, daha kolay istediğimiz plastik şekil değişimine uğrayacak bir malzemedir.
- Alüminyum kesilmek ya da basılmak istendiğinde, bu işlemi yapacak malzemelerin basma veya kesme kuvvetini artırır.

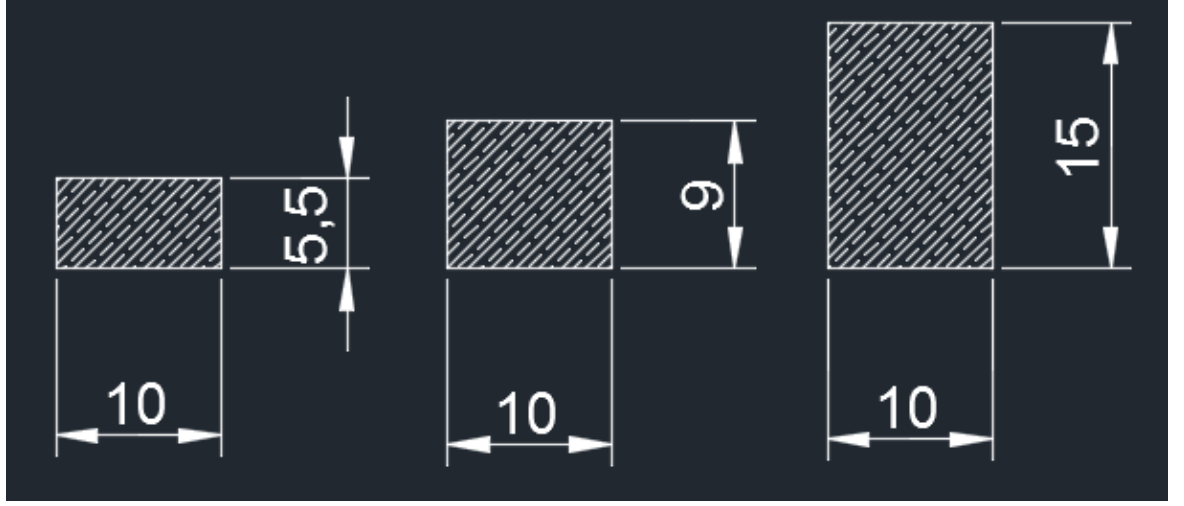
Pirinç malzemeler ise çokça sert ve kolay işlenebilen bir malzemelerdir. Dövülebilirliği bakır içeriğine bağlı olmuştur. % 55'ten az bakır içeren beyaz pirinçler, kolay işlenememektedir. Soğuk deformasyon için uygundur. Pirinç malzemelerin yararları;

- Mükemmel işlenebilirlik ve dövülebilirlik
- Korozyona dayanıklılık
- Yüksek verimlilik
- Geri dönüştürülebilirlik
- Tanımlanmış kimyasal özellikler
- Kalite
- Uzun ürün ömrü

şeklinde sıralama yapılabilir.



**Şekil 5.16:** Yığılma öncesi ve sonrası normal silindirik numune[5]



Şekil 5.17: Yığıma öncesi numune ölçümleri

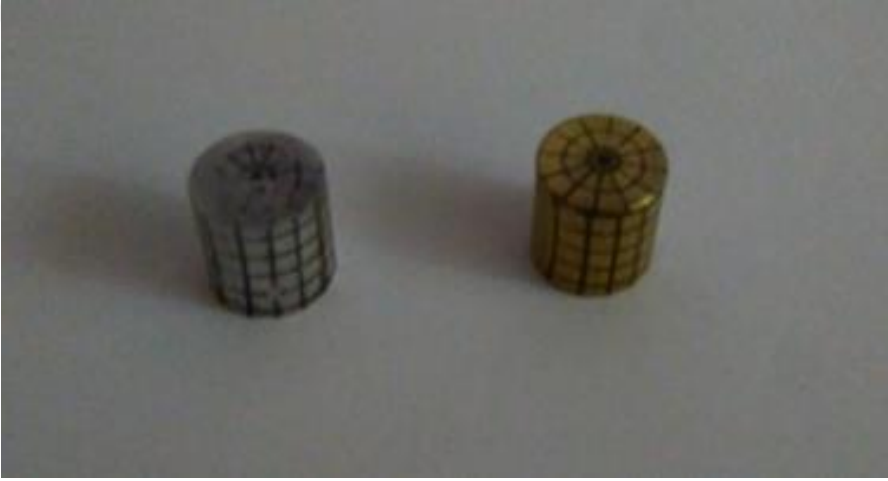
Bahsedilen bu alüminyum numunelerimizin özellikleri Resim 3.12’de gösterildiği gibidir.

Sipariş veren firma	İNÇİ ALÜMİNYUM YAVUZ KURU										
Adresi	I.O.S.B. DEMİRCİLER SAN SİT B-7BLOK NO163 İKİTELLİ BAŞAKŞEHİR İSTANBUL										
Telefon No	Fax: 0212 671 8119										
Malzemenin Cinsi	Alüminyum Çubuk										KİLOSU
Döküm Numarası	2574										
Alemin Cinsi	6013										
Çapı	Ø 10										
SPEKTRAL ANALİZ DEĞERLERİ										Rapor No:	
Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn
Teorik Değerler											
Ölçülen Değerler	0,95	0,50	0,91	0,46	0,98	0,08	0,01	0,01	-----	-----	-----
AD KULLANILAR											
<b>İNÇİ ALÜMİNYUM</b> YAVUZ KURU S.S. Demirciler San SİT B-7 Blok No-163 İKİTELLİ - BAŞAKŞEHİR - İSTANBUL Tel: (0212) 671 45 44 - 671 83 47 - 577 19 58 Fax: (0212) 671 81 19 Mersis No: 310 909 51114 Sicil No: 3-1093-9515-1400019 Sicil No: 784110											

Şekil 5.18: Kullanılan alüminyum numunelerin standart kimyasal bileşimleri(Katalog Bilgisi)



**Şekil 5.19:** 5 mm boyutundaki numuneler



**Şekil 5.20:** 10 mm boyutundaki numuneler

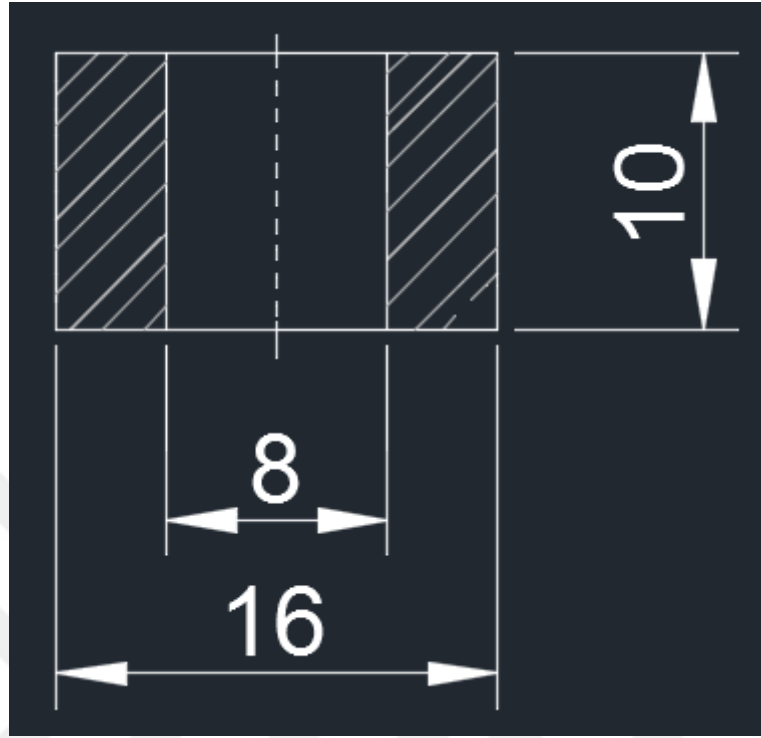


**Şekil 5.21:** 15 mm boyutundaki numuneler

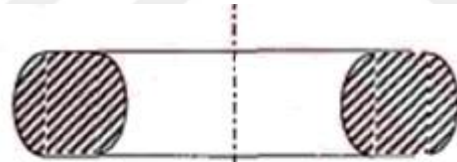


### 5.2.2 Halka Deney Numuneleri

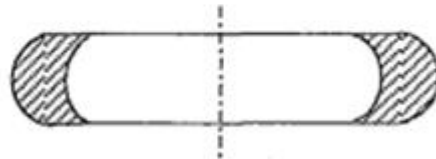
Literatürde belirtilen 6:3:2 boyutlarında alüminyum numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 5.22: Deney parçası



Yüksek Sürtünme Katsayısı



Düşük Sürtünme Katsayısı

Şekil 5.23: Halka yığma numunelerindeki değişim[11]

Halka yığma deneyinde kullanılan numunelerde içi dolu silindirik numunelerle aynı olduğu için aynı standart kimyasal bileşimlere sahiptir.

16 mm çapına sahip alüminyum ve pirinç çubuk halka şekline torna yoluyla getirilmiştir. Öncelikle uzun (500 mm) alüminyum çubuk 10 mm'lik parçalara bölünmüştür. Daha sonra 8 mm uca sahip torna yardımıyla iç çap açılmıştır. Bu şekilde halka numunelerine dönüştürölmüşlerdir.



**şekil 5.24:** Halka numunenin ön görünümü

Yukarıdaki resimde sol da alüminyum halka parçası, sağda ise pirinç halka parçasının önden görünümü ve serigrafî yardımıyla çizilen çizgiler gözökmektedir.30 derecelik açı ile 12 çizgi ve 2 mm aralıklı halka çizgi çizilmiştir.



**Şekil 5.25:** Halka numunenin yan görünümü

Yukarıdaki resimde sol da alüminyum halka parçası, sağda ise pirinç halka parçasının yandan görünümü ve serigrafi yardımıyla çizilen çizgiler gözükmemektedir. Dikey ve yatay olmak üzere kaplanan alan 2mm\*2mm olarak çizilmiştir.

### **5.3 Deney Düzenekleri**

Bu kısımda yer alan bilgiler İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin Laboratuvar sınıfında yapılan düzeneklerle oluşturulmuştur.

Laboratuvarda mevcut olan 1000 KN Kapasiteli Donatı Çeliği Çekme ve Basınç Gövdesi makinesi kullanılmıştır.

Çalıştırılması ise şu şekildedir;

- Hidrolik güç ünitesini çalıştırılır.

- Hangi aralıkta çalışacaksa numune özelliğine uygun tutucu uçla çenelere takınız. Numuneyi iki çene arasında uygun yüksekliğe getirip, çeneler ile kilitlenir.
- Bilgisayar programını çalıştırınız ve ilgili alanlara numune bilgilerini girilir.
- Hidrolik pompayı çalıştırarak deneyi başlatılır.
- Deney tamamlandıktan sonra(yükleme boşalmadan) çeneler arasındaki demiri alınır. Program menüsünden deney sonuçlarını kaydedilir.

Bu cihazın arasına yerleştirilen yaptığımız düzenekse yukarıda bahsedilen numunelerin basılması için kullanılmıştır. Denilen düzenek bu konunun en başında bahsedilen soğuk çekme borudan, içi dolu silindirik çubuktan ve torna ile içi işlenmiş içi dolu parçadır.



**Şekil 5.26:** Kullanılan Üniversal Malzeme Test makinesi

- Universal hidrolik çekme cihazı, metal malzemelerin akma yükü, kopma yükü, akma uzaması, kopma uzaması vb. mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılır.
- Universal hidrolik çekme-basma cihazıyla, çekme deneyleri yanı sıra basınç ve eğilme deneylerini de yapılabilir.
- Cihaz 100 ton kapasitede çalışmaktadır.
- Kullanımı kolay hidrolik çenelerle 0 ile 60 mm arasında düz yada yuvarlak numuneler test edilebilir.
- Hidrolik çene takımı bağımsız bir hidrolik güç ünitesine sahip olup çalışma basıncı 400 bar'dır.

Aşağıda verilen resimlerle düzeneğin parça parça nasıl birleştirildiği anlatılmıştır.



**Şekil 5.27:** Alt ıstampanın yerleştirilmesi

Şekil 5.27'de alt ıstampanın ve alt tutucunun içine üretilen sabitleme kafa ile sabitlenmesi ve parçanın yığma öncesi hali gösterilmiştir.



**Şekil 5.28:** Merkezlemeyi sağlamak amacıyla kullanılan borunun yerleştirilmesi (önden görünüm)



**Şekil 5.29:** Merkezlemeyi sağlamak amacıyla kullanılan parçanın yerleştirilmesi (üstten görünüm)

Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’de alt ıstampası yerleştirilmiş alt tutucuya eksenelliği sağlamak amacıyla içi boş soğuk çekme boru konumlandırılmıştır.



**Şekil 5.30:** Üst ıstampanın yerleştirilmesi

Üstteki Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30 de gösterilenleri kısaca şu şekilde anlatabiliriz;

Alt tutucuya yerleştirilen alt ıstampa, malzemenin düzgün bir zemine yerleştirilip, yığıma uygulandığı zaman alt yüzeyinde herhangi bir bozulma olmaması için kullanılmaktadır.

Üstten kuvvet uygulandığı zaman herhangi bir kayma olup yine test numunesinde bozulma, bükülme gibi olasılıklara sebebiyet vermemesi için ise içi boş soğuk çekme boru kullanılmaktadır. Üst ıstampa olarak kullanılan içi dolu soğuk çekme boru ise içi boş borunun içinde kaygan geçerek yük uygulamamızda etkilidir. İçindeki havanın çıkışı için borunun kenarlarında 1 mm'lik üç adet delik açılmıştır.





## 6. BULGULAR

Sunulan tezde yığıma işleminde, soğuk çekme çubuklardan kesme ve boy işleme olmak üzere talaşlı şekil verme yöntemiyle hazırlanan alüminyum ve pirinç deney parçaları kullanılmıştır. Alüminyum ve pirinç malzemeler uzun boyutlarda alınıp istenilen boyutlarda kesilmiş 16 mm çapındaki çubuk ise torna da matkap ucu yardımıyla 8 mm ile delinmiştir. 6:3:2 yani parçanın kendisi yarısı ve 3'de biri boyutunda kesilip serigrafi işlemi için uygun hale getirilmiştir.

Malzemeler halka ve çubuk şeklinde belirlenen boyutlarda kesilip, üzerlerine serigrafi yardımıyla hangi renk boya sürüleceği seçilmiş sonrasında ise 2mm aralıklarla düz çizgiler çizilmiştir. Yığıma işleminde parçalar iki düz basma yüzeyi arasında şekillendirilmiştir.

### 6.1 Halka Yığıma Deneyi Sonuçları

Halka yığıma deneyi yukarıdaki açıklamada bahsedildiği gibi standart dışı oranlarda yapılmıştır. Yani literatürde bahsedilen ve tavsiye edilen,  $D_d / D_i / H$  olmak üzere 6:3:2 oranlaması kullanılmıştır.

Uygulanan deneyden önce parçaların yükseklikleri ve çapları ölçüldükten sonra aynı ölçümler deney sonrası için de yapılmıştır. Ölçülen parça yükseklikleri ve iç çaplar, yükseklikteki oransal azalma yüzdesine karşılık iç çaptaki azalma yüzdesi değişimleri elde edilerek grafikler halinde ifade edilmiştir.

Bu değişimler, literatürde verilen kalibrasyon eğrileri ile kıyaslanarak  $\mu$  (sürtünme katsayısı) değerleri belirlenmiştir. Alüminyum halka numuneleriyle elde edilen sonuçlarla elde edilen Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3 te verilmektedir.

**Çizelge 6.1:** Alüminyum halka numune sonuçları

al 1 parça	0	1	2	3
h(mm)	7,7	6,04	4,5	3,35
dd(mm)	16,45	18,83	21,96	23,14
di(mm)	7,98	7,7	6,384	5,19
F(N)	0	99880	108620	244970
deltah/ho	0	21,55	41,55	56,49
deltadi/di0	0	3,5	20	34,9

**Çizelge 6.2:** Alüminyum halka numune sonuçları

al 2 parçası	0	1	2
h(mm)	7,68	5,41	3,9
dd(mm)	16,38	18,78	21,17
di(mm)	8,18	7,45	6,4
F(N)	0	98770	106650
deltah/ho	0	29,55	49,21
deltadi/di0	0	8,924	21,76

**Çizelge 6.3:** Alüminyum halka numune sonuçları

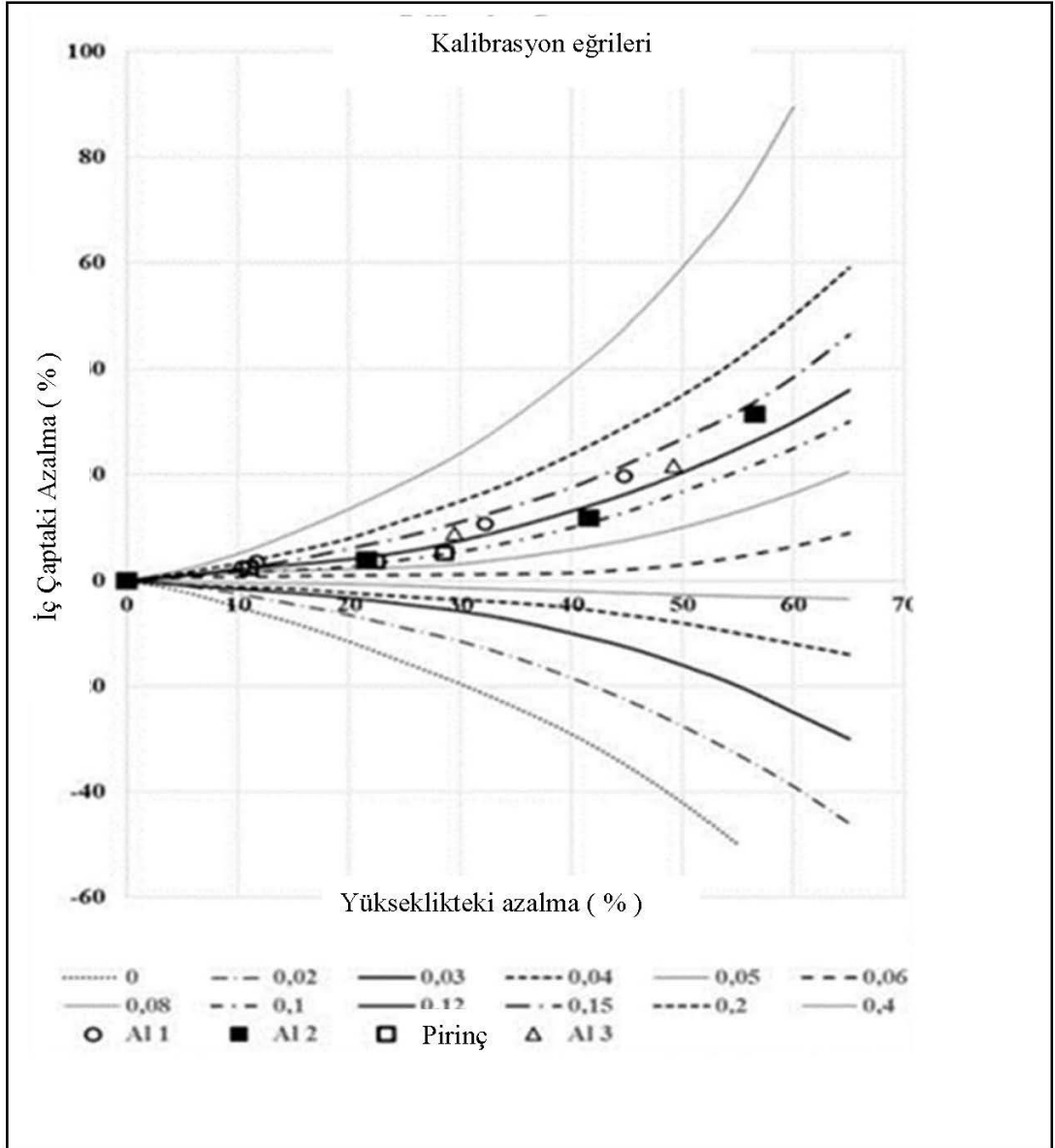
al 3 parçası	0	1	2
h(mm)	15,68	13,44	11,61
dd(mm)	16,42	17,5	18,35
di(mm)	8,2	8,15	8,02
F(N)	0	102645	103580
deltah/ho	0	14,28	25,95
deltadi/di0	0	-0,24	1,35

Prinç numuneler kullanılarak elde edilen sonuçlar da Çizelge 6.4 te verilmektedir.

**Çizelge 6.4:** pirinç halka numune sonuçları

pirinç par	0	1	2	3
h(mm)	5	4,45	3,88	3,57
dd(mm)	15,95	17,51	19,2	19,35
di(mm)	7,74	7,62	7,17	7,04
F(N)	0	101960	103980	138820
deltah/ho	0	11	22,4	28,6
deltadi/di0	0	1,55	7,39	9,04

Bu deney uygulamasında numunelere yığıma deneyi uygulanarak son boyutlar ölçülmüş ve daha önce açıklanan prosedüre uygun olarak halka iç çapındaki değişimin yığıma oranı ile değişimi Şekil 6.1 deki diyagramda verilmektedir.



**Şekil 6.1:** Halka yığıma deney sonuçları

Yukarıda bulunan kalibrasyon eğrisinde, belirli yükler altında yığıma etkisinde kalmış parçaların yükseklik ve iç çaptaki değişimlerinin oranlaması görülmektedir.

Al<sub>1</sub> parçası yuvarlak ile gösterilmektedir. Al<sub>1</sub> parçası 0,12-0,15 eğrileri arasındadır. Yığılma oranları literatür ile karşılaştırıldığında 6:3:2 oranlarına uymaktadır.

Al<sub>2</sub> parçası içi dolu kare ile gösterilmektedir. Al<sub>2</sub> parçası 0,10-0,15 eğrileri arasındadır. Çok ufak sapma değerleri olsa da yine de 6:3:2 oranına uygun bulunmuştur.

Pirinç parça içi boş kare ile gösterilmektedir. Pirinç parça gevrek bir malzeme olduğundan ötürü kırıldı, bundan ötürü en yakın değerleri kabul ettik. Pirinç parça 0,12-0,15 değerleri arasında bulunmuştur.

Al<sub>3</sub> parçası içi boş üçgen olarak gösterilmektedir. Al<sub>3</sub> parçası da 0,12-0,15 sürtünme katsayı değerleri arasında bulunmuştur. Çıkan sonuçlar doğrultusunda tablodaki yerini almıştır.

Tablo 6,1'deki koşullarla beraber sürtünme 0,15 – 0,12 arasında herhangi bir katsayısını ( $\mu$ ) işaret eder.



**Şekil 6.2:** Alüminyum Halka Numune Yığma Deneyleri.

## **6.2 İçi Dolu Silindirik Parçaların Yığma Deneyi Sonuçları**

Bölüm 6.1'de yapılan halka yığma deneyinde farklı kuvvetlerde sürtünme katsayısı dağılımları diyagramlar üzerinde gösterilmiştir. Buna karşılık dolu silindirik parçalara yığma deneyleri uygulanarak gerilme-İn ho/h diyagramlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. Boyutları verilen deney parçalarına 50 KN'luk kuvvetler uygulanmıştır. Uygulanan yük sonucunda oluşan veriler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Çizelge 6.5:** Alüminyum içi dolu silindir numune sonuçları

	1	2	3
D <sub>o</sub>	10 mm	10 mm	10 mm
h <sub>o</sub>	5,5 mm	9 mm	15 mm
h	4,4 mm	6,75 mm	11,35 mm
ln h <sub>o</sub> /h	0,128	0,39	0,28
D <sub>üst</sub>	11 mm	11,3 mm	11,1 mm
D <sub>alt</sub>	11,35 mm	11,1 mm	11,1 mm
D <sub>max</sub>	11,4 mm	11,7 mm	12,2 mm
D <sub>ort</sub>	11,2 mm	11,55 mm	11,5 mm

Yığıma deneyleri, Şekil 5.18'da fotoğrafı verilen 1000 KN kapasiteli ve 1 mm/sn (yaptığımız deneyde seyrettiğimiz hız buydu) hızındaki hidrolik pres ve Bölüm5’de bahsedilen kalıp düzenlemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Gerilme değerini bulurken  $\sigma = F/A$  formülü kullanılmıştır. Elimizde bulunan üç dolu numune içinde A<sub>max</sub>, A<sub>ort</sub>, A<sub>üst/alt</sub> değerleri bulunmuştur. Bulunan alanlarla birlikte kuvvetten yararlanılarak da gerilmeler bulunmuştur.

2 numaralı parçanın formül uygulanarak hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$d_0=10 \text{ mm}$$

$$d_1=11,55 \text{ mm}$$

$$h_0=9 \text{ mm}$$

$$h_1=6,75$$

$$e=\frac{9-6,75}{9} = 0,25 \quad \varepsilon = \ln \frac{9}{6,75} = 0,28$$

$$\sigma = F/A \text{ kullanılarak } F_{\max}=82,900\text{kN}$$

$$A=\pi \frac{d^2}{4} \text{ kullanılarak}$$

$$A= 121,09 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = 82,900/121,09$$

$$\sigma = 686^N/mm^2 \text{ bulunmaktadır.}$$

**Çizelge 6.6:** Numune 1-2-3 değerleri

.	gerilme ort(Mpa)	gerilme üst/alt(Mpa)	In ho/h
1	507,51	526,15	0,128
2	477,24	498,55	0,39
3	481,37	516,69	0,28

Şekil 6.3 teki fotoğrafta alüminyum ve pirinç dolu çubukların yığılmasından sonraki görünüşleri verilmektedir.



**Şekil 6.3:** Alüminyum ve Pirinç çubuk numune çalışmaları

## 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Plastik şekil verme, metallerde katı durumda ve hacimleri sabit kalacak şekilde yapılmış bir şekillendirme işlemidir. Plastik şekil verip malzemelerin plastik şekil değişimleri karşısında davranışlarını; malzemenin kimyasal bileşimi ve içyapısında, şekil verme sıcaklığına, şekil verme hızına ve sürtünme şartına bağlıdır. Malzeme ile kalıpların ara yüzeylerinde sürtünme değerleri malzeme akışını, basınç dağılımı, yük ve enerji büyüklüklerini de etkiler.

Sunulan çalışmada sürtünme katsayısının belirlenmesinde geniş olarak kullanılan “halka yığma” deneyinin yapılabilmesi ve deneysel ölçümlerin yapılabilmesi için bir deney düzeneği geliştirilmiş ve prosedürlere uygun olarak yapılan deneylerin sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada malzemelerde oluşan fiçilaşma gözlenmiştir. Halka malzemelerin iç çap değişimleri ile yükseklik değişimleri arasında ki grafik kalibrasyon eğrileri sırasında gösterilmiştir. Buna bağlı olarak halka numunedeki sürtünme katsayı değerinin hesabı gerçekleştirilmiştir. Farklı yükler altında kullanılan malzemeler, farklı sürtünme katsayı değerlerine ulaşmış olmaktadır. Sürtünme kuru ortamda hiçbir yağlayıcı olmadan gerçekleşmiştir.

Beklenildiği gibi literatüre uyumlu sonuçları elde edildi ve bu sonuçlar kalibrasyon eğrisinde görülmektedir. İleri ki çalışmalarda da bu konuya devam edilmesi, detaylandırılıp geliştirilmesi uygun olacaktır.





## KAYNAKLAR

- [1] **Aran, A., Demirkol, M.**, "Plastik Şekil Verme Teknolojisi-İmal Usulleri 2 Ders Notları" İ.T.Ü: Makine Fakültesi.
- [2] **Lange, K.**, 1985, "Handbook of Metal Forming", Mc Graw Hill, New York.
- [3] **Akata, H.E.**, 1987, " Çeliğin Dövülmesinde Kuvvet ve Malzeme Akışına Etkiyen Faktörlerin İncelenmesi", Doktora Tezi.
- [4] **Çapan, L.**, 1999, "Metallere Plastik Şekil Verme" ,Çağlayan Kitapevi.
- [5] **Dikicioğlu, A., Akata, H.E, Erdoğan, S.E.**, 1990, "Orta Karbonlu Çeliklerde Tane Boyutunun Halka Yığıma Deneyine Etkisi", Mühendis ve Makina, Cilt:31 , Sayı:369.
- [6] **Czichos, H. Habig, Karl H:** (1992). Tribologie Handbuch-Reibung und Verschleiss, Vieweg
- [7] **Weck, M.** (1991). Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme – Band 2: Konstruktion und Berechnung, VDI-Verlag
- [8] **Akkurt, M.** (1990). Makine Elemanları- Cilt I, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [9] **Anık, S., Dikicioğlu, A., Vural, M.**, 1994 "İmal usulleri" Birsen Yayınevi.
- [10] **Pawelski, O., Rasp, W., Wolff, C.**, 1998, "Analysis of the Asymmetric Upsetting Test with Extremely High Strain Rate as Tool for Friction Measurement". Journal of Materials Processing Technology. Vol.80-81. 287-291.
- [11] **Sahin M, Cetinarslan Cs, Akata He;** "Effect of Surface Roughness on Friction Coefficients During Upsetting Processes for Different Materials", Materials & Design 28 (2): 633-640 2007



## **ÖZGEÇMİŞ**

D.Ufuk IŞIK, 11.01.1993 senesinde İstanbul'da doğdu. İlköğretimini İstanbul'da tamamlamıştır. Lise öğrenimini sırasıyla İstanbul/Özel Tarhan Koleji ve Güner Akın lisesin'de tamamlamıştır. İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun olmuştur. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans programına devam etmektedir.

Doğuhan Ufuk IŞIK İngilizce bilmektedir.

