

**T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**TEKRARLI EKSTRÜZYON BASMASI  
DENEY TESİSATI GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Batuhan ÇETİN**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Makine Mühendisliği Programı**

**AĞUSTOS 2019**



T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEKRARLI EKSTRÜZYON BASMASI  
DENEY TESİSATI GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan ÇETİN  
(Y1713.080010)

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. H. Erol AKATA

AĞUSTOS 2019





T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1713.080010 numaralı öğrencisi **Batuhan ÇETİN**'in "**TEKRARLI EKSTRÜZYON BASMASI DENEY TESİSATI GELİŞTİRİLMESİ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 02.08.2019 tarih ve 2019/16 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *aybı ile* Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 06/08/2019

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

2) Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Vedat ÖZTÜRK

3) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ

*H. Erol*  
.....  
*V. Öztürk*  
.....  
*T. Gülmez*  
.....

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



## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “TEKRARLI EKSTRÜZYON BASMASI DENEY TESİSATI GELİŞTİRİLMESİ” 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. (06/08/2019)

**Batuhan ÇETİN**





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan İstanbul Aydın Üniversitesi öğretim üyelerinden çok değerli danışman hocam, Prof. Dr. H. Erol AKATA'ya sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ve deneysel çalışmalarım boyunca yardımda bulunan teknisyenlere, deneysel çalışmalarımda emeği geçen tüm arkadaşlarıma ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Aydın Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmalarımın deney bölümünün malzemelerinin teminini sağlayarak destek veren BRS Kalıp Makine San. Tic. Ltd. Şti çalışanlarına ve Yalman Torna'nın sahibi Necati Yalman'a içten duygularımda teşekkür ederim.

Tüm yaşantım boyunca sevgi ve ilgisini esirgemeyen, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve hep yanımda olan aile üyelerime teşekkür ederim.

**Ağustos 2019**

**Batuhan ÇETİN**  
**(Makine Mühendisi)**



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	iii
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b> .....	vii
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	ix
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xi
<b>ÖZET</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	5
2.1. Plastik Şekil Verme Yöntemleri.....	5
2.1.1. Kütle şekillendirme yöntemleri.....	6
2.1.1.1. Dövme.....	6
2.1.1.2. Haddeleme .....	8
2.1.1.3. Ekstrüzyon .....	9
2.1.1.4. Tel ve çubuk çekme .....	13
2.1.2. Sac şekillendirme yöntemleri.....	14
2.1.2.1. Kesme .....	14
2.1.2.2. Bükme.....	15
2.1.2.3. Derin çekme.....	15
2.1.2.4. Karışık yöntemler .....	16
2.2. Aşırı Plastik Deformasyon .....	18
2.2.1. Eş kanallı açısız presleme .....	19
2.2.2. Yüksek basınç burulması .....	21
2.2.3. Biriktirmeli hadde yapıştırması.....	22
2.2.4. Farklı kesitli kanalda açısız presleme .....	23
2.2.5. Engellenmiş kanallı presleme .....	24
2.2.6. Tekrarlı ekstrüzyon basması .....	25
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	27
3.1. Tekrarlı Ekstrüzyon Basması Kalıp Ve Hidrolik Devre Tasarımı .....	27
3.1.1. Kalıp tasarımı .....	27
3.1.2. Hidrolik devre tasarımı .....	28
3.2. Deneysel Çalışma Planı.....	29
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	39
<b>KAYNAKLAR</b> .....	41
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	43



## SİMGELER ve KISALTMALAR

$\mu$	: Yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı
<b>APD</b>	: Aşırı Plastik Deformasyon
<b>BHY</b>	: Biriktirmeli Hadde Yapıştırması
<b>C</b>	: Katsayı
<b>D</b>	: Katsayı
<b>D<sub>0</sub></b>	: Numunenin başlangıç yarıçapı
<b>EKAP</b>	: Eş Kanallı Açısal Presleme
<b>EKP</b>	: Engellenmiş Kanallı Presleme
<b>FKKAP</b>	: Farklı Kesitli Kanalda Açısal Presleme
<b>k</b>	: Sürtünme yapışması katsayısı
<b>kN</b>	: Kilo Newton
<b>L</b>	: Ekstrüzyon alıcısının uzunluğu
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>MPa</b>	: Mega Paskal
<b>N</b>	: Newton
<b>P<sub>eks</sub></b>	: Ekstrüzyon basıncı
<b>PŞV</b>	: Plastik Şekil Verme
<b>R</b>	: Numune yarıçapı
<b>r<sub>c</sub></b>	: Kayma ve yapıştırma sınır yarıçapı
<b>t</b>	: Doldurulmamış bölge kalınlığı
<b>YBB</b>	: Yüksek Basınç Burulması
<b><math>\sigma</math></b>	: Gerilme
<b><math>\sigma_{ger}</math></b>	: Gerçek gerilme
<b><math>\Phi</math></b>	: Kalıp İç Köşe Açısı
<b><math>\Psi</math></b>	: Kalıp Dış Köşe Açısı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1 Kurşun malzeme için ekstrüzyon kuvveti değerleri..... 31







## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 Sünek bir malzeme için gerilme-genleme diyagramı .....	1
Şekil 2.1 PŞV yöntemlerinde malzemeye uygulanmakta olan kuvvetler .....	5
Şekil 2.2 Plastik şekil verme yöntemlerinin sınıflandırılması .....	6
Şekil 2.3 Açık kalıpla dövme işlemi .....	7
Şekil 2.4 Kapalı kalıpla dövme işlemi .....	8
Şekil 2.5 Haddeleme işlemi .....	8
Şekil 2.6 Ekstrüzyon işlemi .....	9
Şekil 2.7 Direkt ekstrüzyon işlemi .....	10
Şekil 2.8 Direkt ekstrüzyonda malzeme akışının görünümü .....	10
Şekil 2.9 Direkt ve endirekt ekstrüzyonda kuvvet-strok değişim eğrisi .....	11
Şekil 2.10 Hidrostatik ekstrüzyon işlemi .....	12
Şekil 2.11 (a) İleri (b) Geri darbeli ekstrüzyon yöntemi şematik gösterimi .....	13
Şekil 2.12 Tel ve çubuk çekme işlemi şematik gösterimi .....	13
Şekil 2.13 Zımbalama İşlemi .....	14
Şekil 2.14 Bükme işlemi .....	15
Şekil 2.15 Derin çekme yöntemi .....	16
Şekil 2.16 Germe yönteminin sembolik görünümü .....	17
Şekil 2.17 Sıvama yöntemi adımları .....	17
Şekil 2.18 EKAP yönteminin şematik gösterimi .....	20
Şekil 2.19 EKAP işleminde uygulanan temel işlem rotaları .....	21
Şekil 2.20 Yüksek basınç burulması kalıbı .....	22
Şekil 2.21 Biriktirmeli hadde yapıştırması ile aşırı plastik deformasyon .....	23
Şekil 2.22 Farklı kesitli kanalda açısız presleme şematik gösterimi .....	24
Şekil 2.23 Engellenmiş kanallı presleme ile parça deformasyonu .....	25
Şekil 2.24 Tekrarlı ekstrüzyon basması yapısal çekme bölgeleri .....	26
Şekil 2.25 Tekrarlı ekstrüzyon basması kalıbı .....	26
Şekil 3.1 Parçalı kalıp yaklaşımıyla tasarlanan “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması” kalıp düzenlemesi .....	28
Şekil 3.2 Tekrarlı ekstrüzyon basması hidrolik devre şeması .....	29
Şekil 3.3 Deneysel çalışma kısmında kullanılan yeni kalıp montaj şeması .....	30
Şekil 3.4 Deformasyon Bölgesi .....	32
Şekil 3.5 Tekrarlı Ekstrüzyon Basması deney kalıbı .....	32
Şekil 3.6 Tekrarlı Ekstrüzyon Basması kalıbının üstten görünümü .....	33
Şekil 3.7 TEB kalıbının basma cihazındaki görünümü .....	34
Şekil 3.8 TEB’de ekstrüzyon olup yığılan kurşunun görünümü .....	35
Şekil 3.9 Kurşun numunenin TEB deneyi sonrası görünümü .....	36
Şekil 3.10 Dört parçalı ekstrüzyon alıcısı arasına giren numunenin görünümü .....	37



# TEKRARLI EKSTRÜZYON BASMASI DENEY TESİSATI GELİŞTİRİLMESİ

## ÖZET

Plastik deformasyon yöntemleri, bilindiği gibi diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek mukavemetli makine elemanlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda olmak üzere, son yıllarda geliştirilmekte olan “Aşırı Plastik Deformasyon (APD)” yöntemleri, nispeten basit kalıplar ve kalıp düzenlemeleriyle klasik deformasyon süreçlerinden farklı olarak, yüksek mukavemet yanında yüksek sünekliğe sahip parça üretimine de olanak sağlamaktadır. APD yöntemlerinin ortak noktaları, tek bir geçişte %100 mertebelerindeki ve daha da yüksek deformasyon oranlarının elde edilmesi ve dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda çok küçük tanelere ulaşılması olasılığıdır. Bu durum mikronaltı veya hatta nanometre boyutlarında tanelerin oluşmasına neden olur. Bu nedenle APD süreçleri nano metalurji çalışmaları olarak kabul edilmektedir. APD metotları arasındaki “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması” yöntemi, sünek ve yüksek mukavemetli silindirik makine elemanları üretiminde, yüksek yorulma ve kırılma dayanımı elde edilmek üzere hafif ancak düşük dayanımlı malzemelerin kullanılabilmesini sağlama potansiyeli nedeniyle, araştırma konusu olarak çalışılmaktadır.

Bu yöntemde göre, kalıp içinde eşit çapta iki kanal ve aralarında daha küçük çaplı bir kanal vardır. Aradaki kısım “ekstrüzyon matrisi” olarak görev yapmaktadır. Parçalar önce küçük çaplı kanaldan ekstrüzyon edilirken alt kısımdaki büyük çaplı tarafa yığılması sağlanmalıdır. Bu şekilde tamamlanan bir çevrim tekrarlanarak toplam deformasyon oranı da sürekli olarak arttırılabilir. Teknik olarak “ekstrüzyonun” arkasından “yığmanın” sağlanabilmesi için yığma tarafındaki direncin uygun olarak oluşturulması gerekmektedir.

Sunulan tez çalışmasında, “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması” sürecinin uygulanabilmesi için “parçalı kalıp yaklaşımı” kullanılarak özel bir kalıp ve kalıpların yönetileceği bir deney tesisatının tasarlanması ve geliştirilmesi çalışmalarının sonuçları verilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Tekrarlı ekstrüzyon basması, Mukavemet, Deney tesisatı.*



## DEVELOPMENT OF CYCLIC EXTRUSION COMPRESSION EXPERIMENTAL SETUP

### ABSTRACT

As is known, plastic deformation methods are widely used in the production of higher strength machine elements compared to other methods. In this context, the “Severe Plastic Deformation (SPD) olan methods, which have been developed in recent years, enable the production of parts with high ductility as well as high strength, unlike conventional deformation processes with relatively simple molds and mold arrangements. What SPD methods have in common is the possibility of achieving even higher deformation rates of 100% in a single pass and achieving very small grains as a result of rearrangement of dislocations. This results in the formation of particles of submicron or even nanometer dimensions. For this reason, SPD processes are considered as nano metallurgical studies. The “Cyclic Extrusion Compression Ek method among SPD methods is being studied as a research topic in the production of ductile and high strength cylindrical machine elements due to the potential of using light but low strength materials to obtain high fatigue and fracture strength.

According to this method, there are two channels of equal diameter in the mold and a channel of smaller diameter between them. The part serves as the “extrusion matrix”. The parts must first be extruded from the small diameter channel, while the bottom should be stacked on the large diameter side. By repeating a completed cycle in this way, the total deformation rate can also be continuously increased. Technically, the resistance on the stacking side must be suitably formed in order to provide the "stacking" behind the "extrusion".

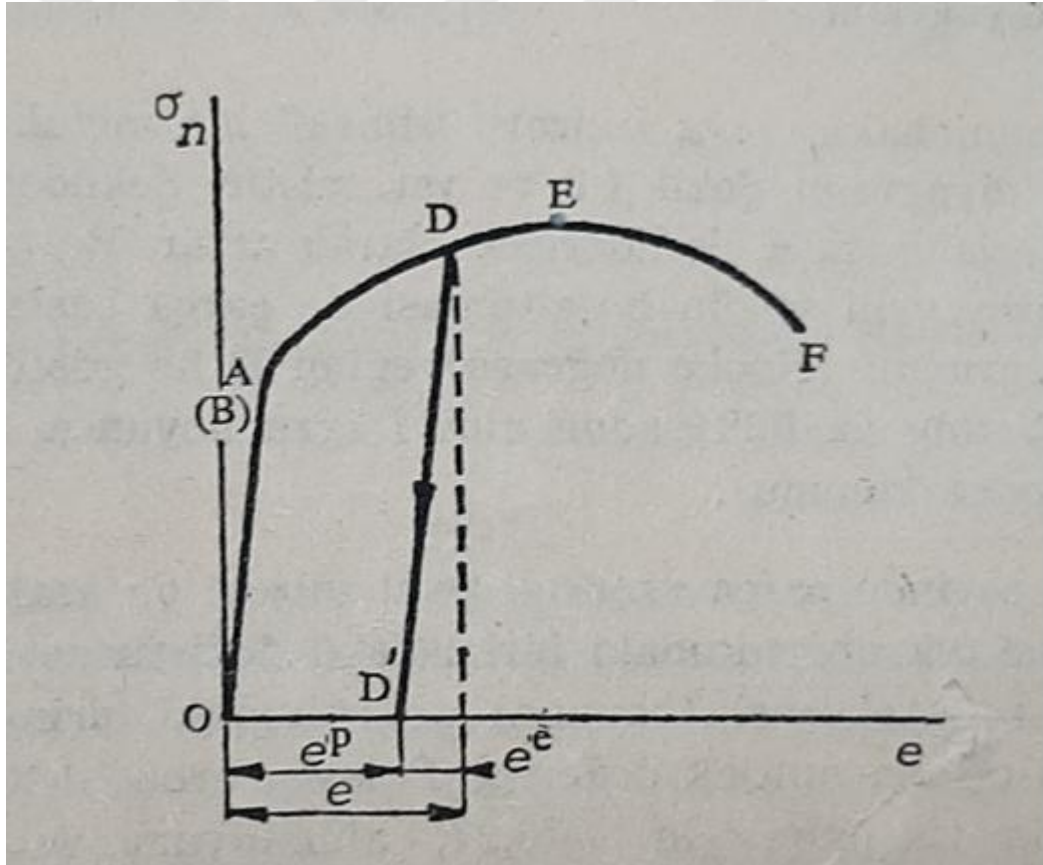
In the present study, the results of the design and development of an experimental installation in which a special mold and molds will be managed are shared by using a “piece mold approach için in order to implement the Cyclic extrusion compression process.

**Keywords:** *Cyclic extrusion compression, Strength, Test installation.*



## 1. GİRİŞ

Rijit malzemelerde deformasyon (şekil değişimi) genellikle üç yolla meydana gelmektedir. Bu yollar elastik, plastik ve elasto-plastik şekil değişimi olarak adlandırılmaktadır. Cisimlerde kuvvetlerin yarattığı gerilim sonucu oluşan geometrik değişimlere deformasyon adı verilmektedir. Elastik deformasyonda herhangi bir zorlanma meydana geldiğinde, malzemede şekil değişimi oluşmaktadır. Ancak kuvvetin etkisinin kalkmasıyla şekil değişimi ortadan kalkmaktadır. Tüm malzemeler zorlanma sonucunda malzemenin yapısına ve zorlanmanın iriliğine göre şekil değiştirmektedir. Bu durum Şekil 1.1'deki grafikte verilmektedir.



Şekil 1.1 Sünek bir malzeme için gerilme-genleme diyagramı [1]

Plastik şekil değişimi, dışarıdan bir etki yapılması sonucunda malzemede kalan deformasyona verilen isimdir. Elasto-plastik şekil değiştirmedeyse dış etkiye maruz

kalan malzemede belli bir ölçüde deformasyon oluşmaktadır. Kuvvet olmadığında deformasyonun bir bölümü yok olur bir bölümü ise devam eder.

Genellikle malzemelerin çeşitli yöntemlerle mukavemeti arttırılmaya çalışılırken sünekliği azalmaktadır. Mukavemet sözlükte; dayanma, direnme, karşı durma, karşı koyma, direniş anlamlarına gelmektedir. Anlam olarak ise, malzemelerin çeşitli dış etkilere karşı koyarak biçim ve başka özelliklerini koruyabilme niteliğidir. Süneklik; kesitte, elemanda veya taşıyıcı sistemde belli bir yükleme biçimi ve karşı gelen şekil değiştirme ya da yer değiştirme gözönüne alınarak, elastik ötesi şekil değiştirme ve yerdeğiştirme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır [2]. Katı bir cismin biçimini, farklı bir biçime dönüştürmek suretiyle uygulanan ve bu işlem esnasında malzemede kütle ve bileşim değişimine neden olmayan üretim metotlarına “plastik şekil verme yöntemleri” adı verilmektedir. Malzemelerin değişik şekil değiştirme yöntemleriyle mukavemetleri arttırılsa da süneklikleri azalmaktadır. Buna karşılık, “Aşırı Plastik Deformasyon” (APD) yöntemi ile malzemenin sünekliği azaltılmadan mukavemetinin arttırılması sağlanabilmektedir.

Aşırı plastik deformasyon, hem fiziksel hem de mekanik özelliklerin geliştirilmesi amacıyla malzemenin geometrik olarak şekillendirilmesidir [3]. Diğer bir tanım ile aşırı plastik deformasyon, parçaya yoğun bir birim şekil değişimi uygulanması ve dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda geleneksel termomekanik yöntemlere kıyasla çok daha küçük, mikronaltı hatta nanometre boyutlarında taneler elde edilmesiyle sonuçlanan plastik şekil değişimidir [4].

Çalışılan tez konusunda ise APD yöntemleri arasında yer alan fakat ülkemizdeki araştırmacılar tarafından deneysel olarak araştırılmamış olan, “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması” yönteminin özgün kalıp tasarımıyla yapılabilirliğinin gösterilmesi hedeflenmektedir. Bu yöntem, çapları eşit iki kanal ve bu kanalların arasında daha küçük çaplı bir kanal daha bulunması esasına dayanmaktadır. Eş çaplı üst kanala konulan silindirik numuneler ekstrüzyon yöntemiyle düşük çaplı kanaldan geçirilerek ve diğer eş çaplı alt kanalda yığılması sağlanır. Böylece bir çevrim tamamlanmış olur. Alt kanalda yığılan numune aynı yöntemle iki veya daha fazla sayıdaki çevrimlere tabi tutulabilmektedir.



Bu alışmada, “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması” yönteminin uygulanmasına yönelik olmak üzere, uygun bir deney tesisatı ve kalıp düzenlemesinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın tasarım kısmı uluslararası bir konferansta yayınlanmıştır. Tasarlanan deney tesisatının hidrolik grubunun gerçekleştirilmesindeki gecikmeler nedeniyle, basma bölgesinde karşı etki oluşturmak üzere yeni bir çözüm geliştirilerek, parçalı kalıp tasarımı prensibiyle yeni bir kalıp düzenlemesi oluşturulmuştur. Yeni kalıp düzenlemesinin ilk uygulama sonuçları ilerleyen bölümlerde açıklanmaktadır.

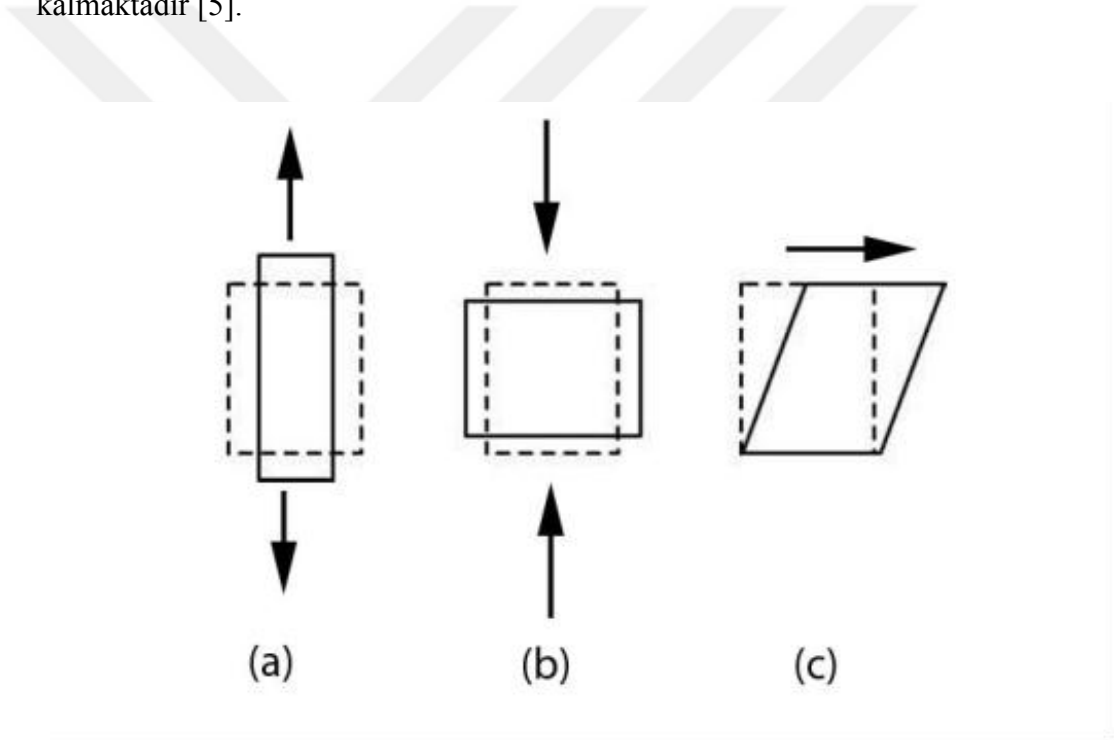




## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Plastik Şekil Verme Yöntemleri

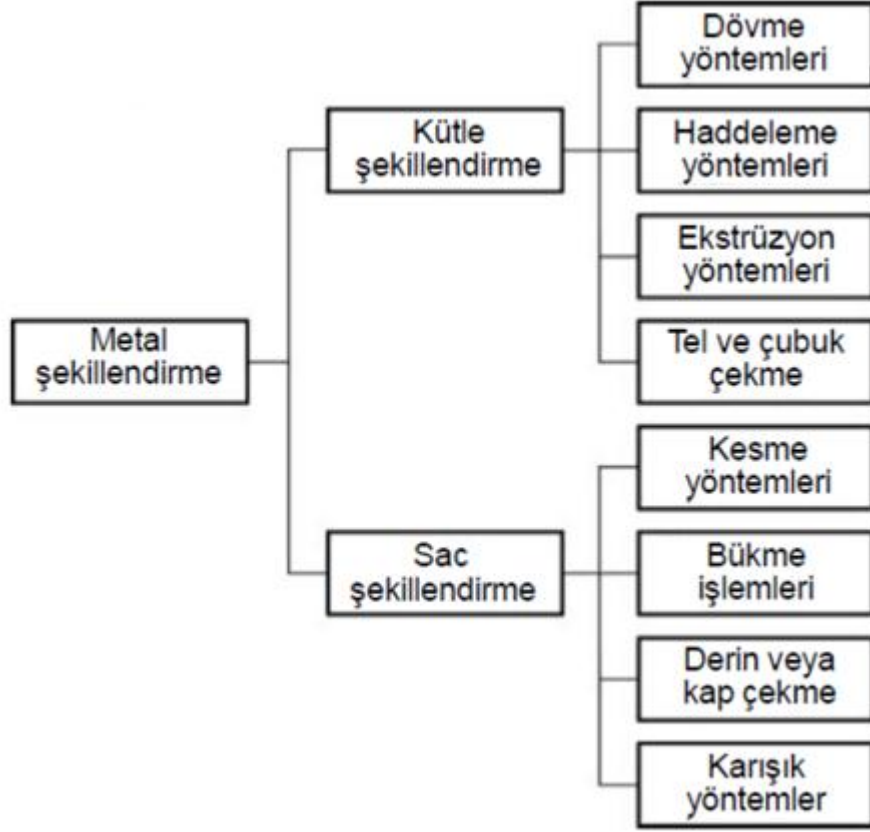
Herhangi bir rijit cismin biçimini, bir diğer biçime dönüştürmek amacıyla uygulanmakta olan ilgili süreç esnasında cisminde kütle ve bileşim değişikliklerine neden olmayan imalat yöntemlerine “Plastik şekil verme” yöntemleri adı verilmektedir. Deformasyon yöntemlerinde malzemede çekme, basma ve kayma Şekil 2.1’de görüldüğü üzere üç biçim değişiminden biri ya da bazılarının tesirinde kalmaktadır [5].



Şekil 2.1 PŞV yöntemlerinde malzemeye uygulanmakta olan kuvvetler

(a) Çekme (b) Basma (c) Kayma [5]

Şekil değiştirme yöntemleri genellikle iki ayrı bölüme ayrılmaktadır. Bunlar, kütleli şekillendirme ve sac şekillendirme olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.2 Plastik şekil verme yöntemlerinin sınıflandırılması

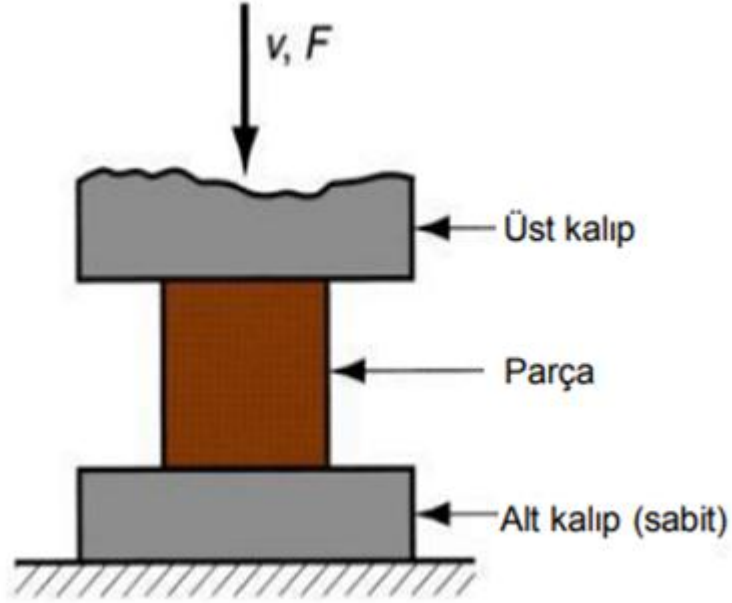
### 2.1.1. Kütle şekillendirme yöntemleri

Kütle şekillendirme yöntemlerinde malzeme, her üç yönde de deformasyona uğramaktadır ve bu yöntemleri tanımlayan bir ölçüt olan “yüzey alanı/hacim” oranı düşüktür. Genellikle baştaki malzeme şekilleri, dikdörtgen kesitli çubuklar ve silindirik kütüklerden oluşmaktadır.

#### 2.1.1.1. Dövme

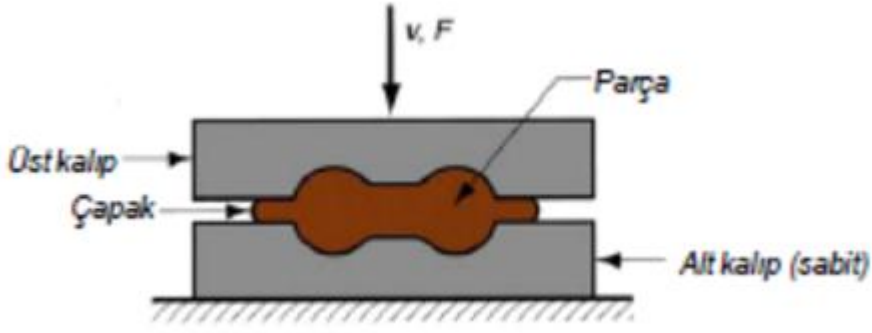
Plastik şekil vermenin en eski yöntemlerinden birisidir. İki kalıp arasına konulan parçaya basınç uygulanarak yapılan bir plastik şekillendirme yöntemidir. İstenilen şekil; çekiç, şahmerdan, pres vb. takım ve malzemeler kullanılarak sıcak, yarı sıcak veya soğuk olarak yapılmaktadır. Çubuklar, perçinler, cıvatalar, paralar, türbin milleri, dişliler, madalyalar, hava taşıtı parçaları ve el aletleri dövme yoluyla imal edilen elemanlardır.

Açık kalıpta dövme, malzemenin düzlemsel ya da basit şekilli kalıplar arasında dövüldüğü bir şekil verme yöntemidir (Şekil 2.3). Şekil değiştirme işlemi, iş parçasının boyunu kısaltmakta iken çapını büyötmektedir. Yaygın olarak kullanılan ismi “yığma” veya “yığma dövmesi”dir.



Şekil 2.3 Açık kalıpla dövme işlemi [6]

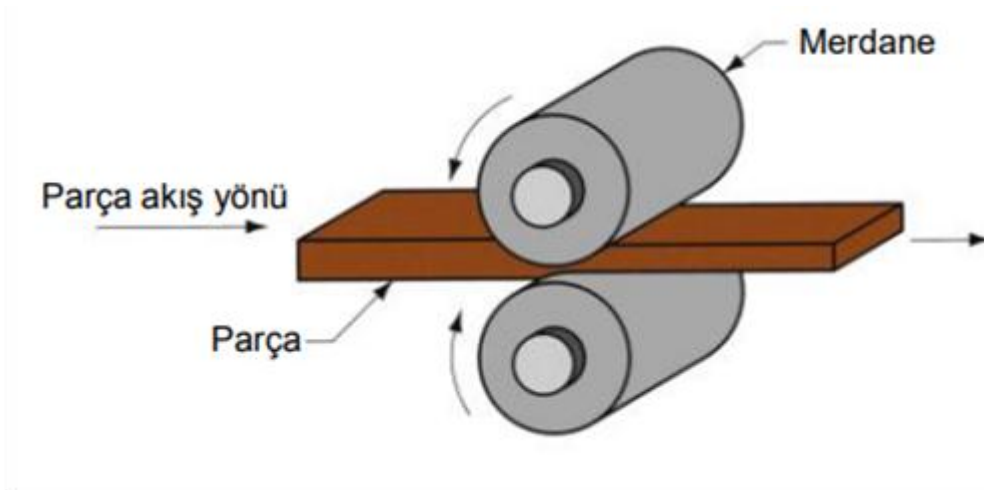
Kapalı kalıpta dövme, iş parçası birbirine yaklaşan kalıplar arasında şekil değiştirirken kalıp boşluğunun şeklini almaya zorlamaktadır (Şekil 2.4). Kalite, boyutsal toleranslar, parçanın yüzey kalitesi dövme değişkenlerine ve bunların kontrolüne bağlıdır. Boyutsal belirsizlik kaynakları; kalıp eğim açıları, köşe yuvarlatmaları, kalıp aşınması, kalıpların kapanma açıklığı ve kalıpların birbirlerine göre kayması olabilmektedir.



Şekil 2.4 Kapalı kalıpla dövme işlemi [6]

### 2.1.1.2. Haddeleme

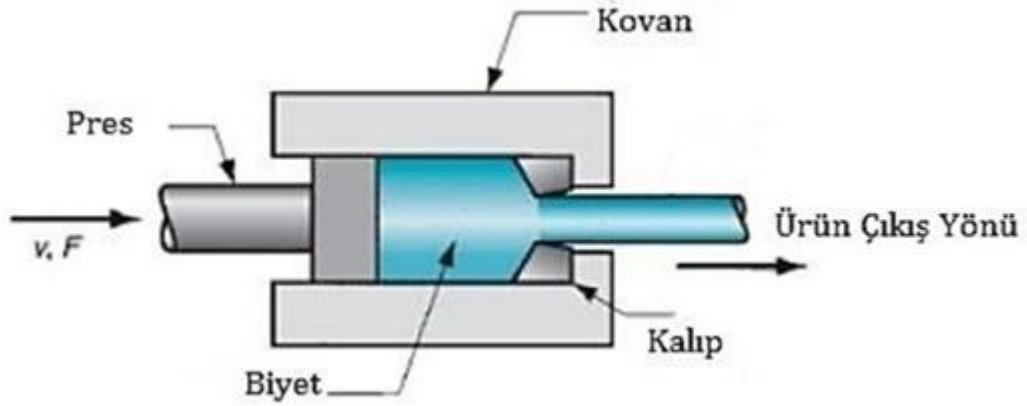
Uzun iş parçalarının kalınlığının bir grup merdane aracılığıyla basma kuvvetleri etkisiyle azaltılmakta olan plastik şekil verme yöntemidir. Döküm metalinin daha ince taneli hale getirilmesi ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi istendiğinde yüksek sıcaklıklarda yürütülebilmektedir. Haddeleme işlemiyle; yuvarlak, kare, çokgen kesit, yassı ve L köşebent, I, U ve T kesitli profillerle ray gibi ürünler imal edilebilmektedir [5].



Şekil 2.5 Haddeleme işlemi [6]

### 2.1.1.3. Ekstrüzyon

Isı ve basınç kullanarak, silindirik bir metal takozun (biyet), bir alıcı (kovan) içine konularak ıstampa aracılığıyla tatbik edilen pres kuvveti tesiriyle, matris boşluğundan geçmesini sağlamak amacıyla uygulanan işleme (Şekil 2.6) “ekstrüzyon” adı verilmektedir [5,7]. Ekstrüzyon, değişik malzemelerin birleştirilmesinde profil ve borudan, levha ve filme kadar geniş bir imalat alanında çok kullanışlı bir teknoloji olmaktadır. Genellikle ekstrüzyon işlemi silindirik çubuklar ve tüplerin yapımında kullanılmaktadır. Ancak alüminyum gibi kolaylıkla biçim değiştirilebilen malzemeler kullanarak, düzgün kesitli olmayan iş parçalarının üretimini de mümkün kılmaktadır.

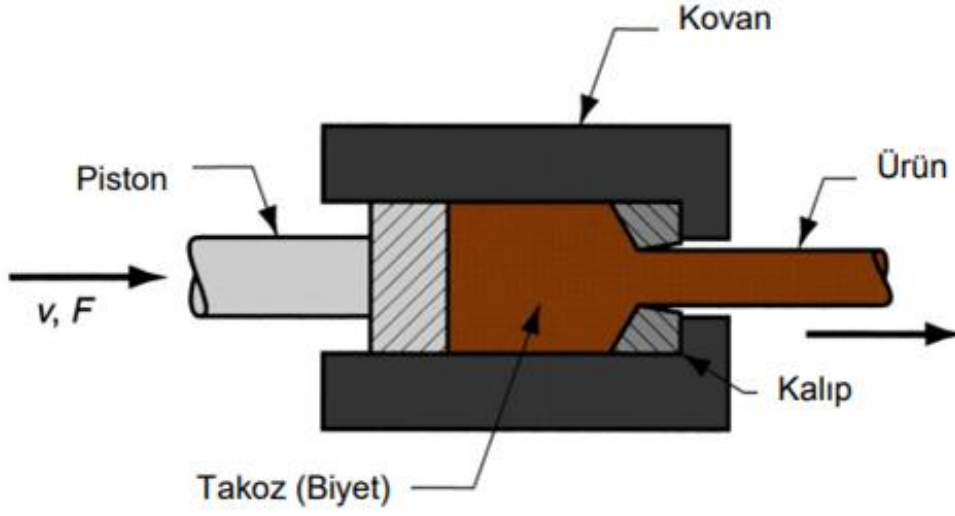


Şekil 2.6 Ekstrüzyon işlemi [8]

Dört temel ekstrüzyon tipi vardır.

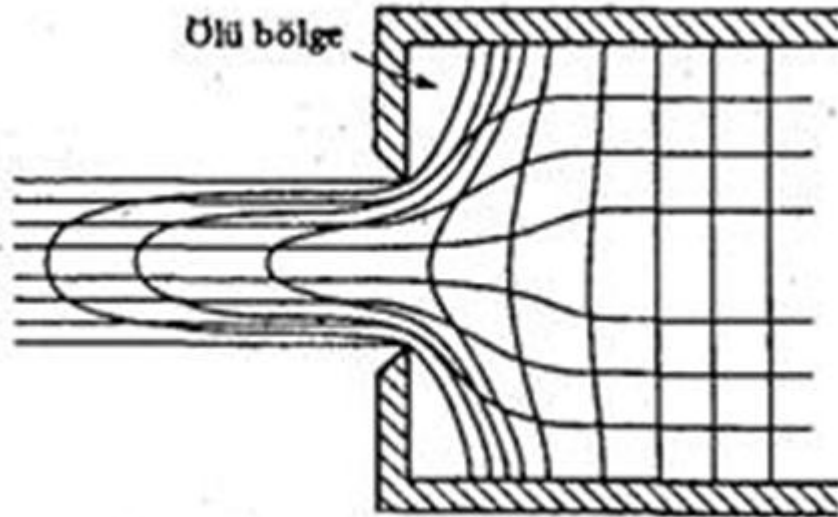
- **Direkt ekstrüzyon**

Metal takoz, kovan içine konularak ıstampa aracılığıyla bastırılarak matris içinden geçirilmektedir. Bu yöntemde biyetin son aşamalarında kuvvet gereksinimi oldukça artmakta ve artık malzeme kalıbın içerisine giremediğinden ötürü kesilerek yok edilmesi mecburidir. Hacmin yaklaşık %18 ila 20'si artık malzemedir. Biyet ile kovan arasındaki sürtünme oldukça fazladır ve dolayısıyla kuvvet gereksinimi de artmaktadır [5].



Şekil 2.7 Direkt ekstrüzyon işlemi [6]

Kovana yerleştirilen yarım takozlar ekstrüzyondan sonra ayrılarak malzeme akışı incelenir (Şekil 2.8). Bu şekil iyi yağlanmış bir biyetin direk ekstrüzyonundaki malzeme akışını göstermektedir. Biyet ile kovan arasında sürtünme engellendiğinden biyet kovan yüzeyinde kaymakta ve matris girişine kadar homojen bir deformasyon oluşmaktadır.

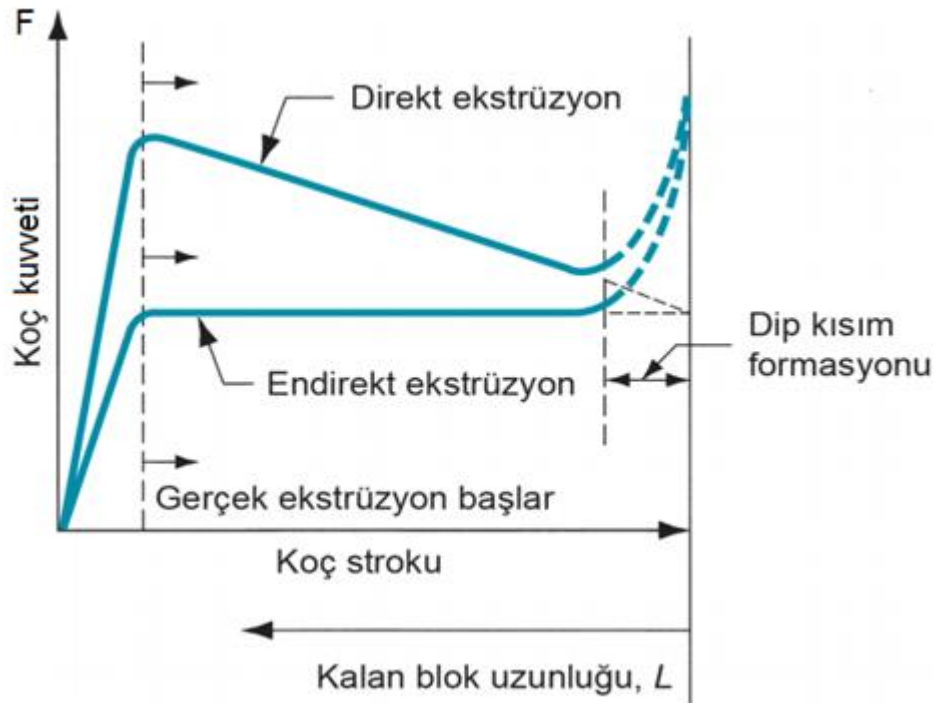


Şekil 2.8 Direkt ekstrüzyonda malzeme akışının görünümü



- **İndirekt ekstrüzyon**

Direkt ekstrüzyondan farkı, biyetin sabit kalması, kalıbın biyete doğru hareket etmesidir [5]. Bunun sonucunda kovanla biyet arasındaki sürtünme engellenmektedir. İş parçasının ıstampanın içinde kalması gerekmektedir. “Artık malzeme” hacmin %5 ila 6’sı civarındadır. Direkt ekstrüzyonda sürtünme silindirik cidarlarıyla blok arasındaki temas nedeniyle fazla olup gerekli ekstrüzyon kuvveti yüksek, endirekt ekstrüzyonda ise zimba pistonun kesiti kısıtlı olup zayıftır.



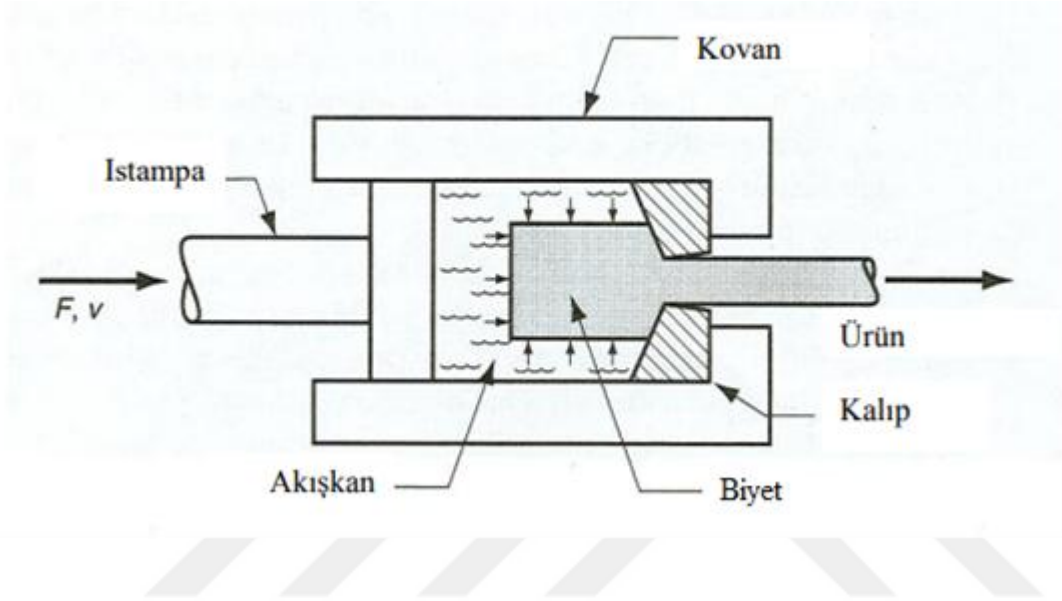
Şekil 2.9 Direkt ve endirekt ekstrüzyonda kuvvet-strok değişim eğrisi [6]

- **Hidrostatik ekstrüzyon**

Direkt ekstrüzyon yöntemiyle benzer çalışma prensibine sahip olmaktadır. Fakat hidrostatik ekstrüzyon yönteminde ekstrüzyon basıncı Şekil 2.10’da görüldüğü gibi sürtünmenin biyeti çevreleyen akışkan yardımıyla yok edildiği bir plastik şekil verme yöntemidir. Akışkan basıncının sağlanmasıyla birlikte sistemde etkin bir yağlayıcı

olarak görev yaparak kovan ile biyet arasındaki sürtünmenin engellenmesi sağlanmaktadır.

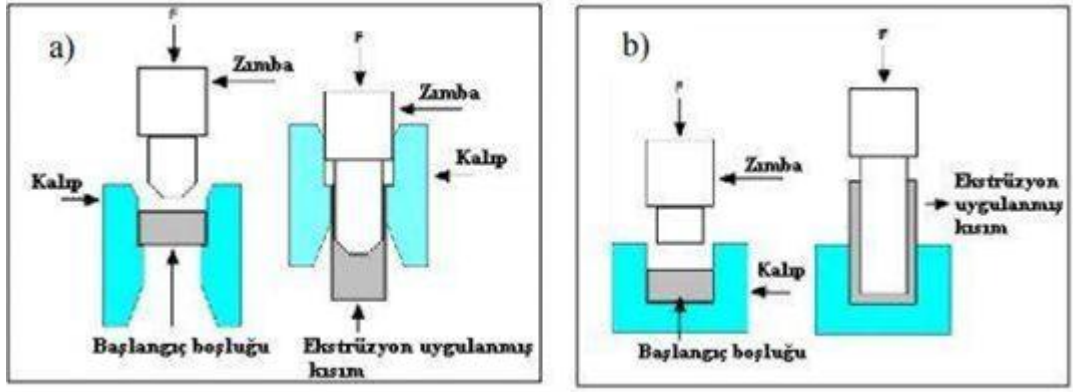
Her ne kadar hidrostatik ekstrüzyon yöntemi yüksek basınçla çalışarak, şekillendirilmesi zor olan malzemeleri bile rahatlıkla şekillendirebilse bile, zor bir üretim tipi olması sebebiyle çok geniş bir kullanım alanı yoktur [9].



Şekil 2.10 Hidrostatik ekstrüzyon işlemi

- **Darbeli ekstrüzyon**

Darbeli ekstrüzyon işlemiyle genellikle kısa ve içi boş tüplerin imalatı yapılmaktadır. Darbeli ekstrüzyon yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.11'de verilmektedir. Bu yöntem genelde demir dışı malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Diğer geleneksel yöntemlere kıyasla hızlı bir yöntemdir ve bakır, alüminyum gibi yumuşak malzemelerde büyük oranda başarıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde ilaç sektöründe kullanılan çeşitli tüpler, supaplar ve küçük makine parçaları üretilmektedir.

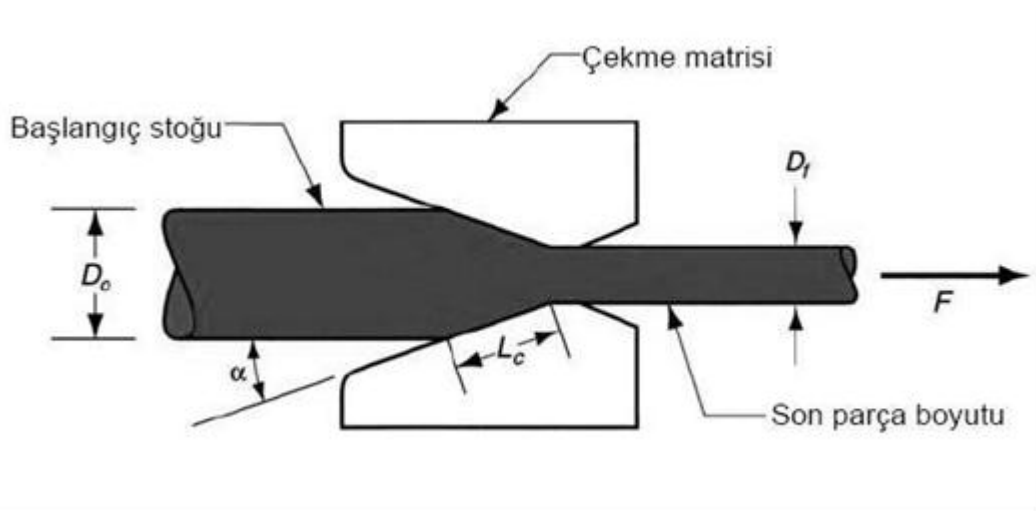


Şekil 2.11 (a) İleri (b) Geri darbeli ekstrüzyon yöntemi şematik gösterimi [9]

#### 2.1.1.4. Tel ve çubuk çekme

Bir tel ya da çubuğun, bir kalıptan (matris) geçirilmesi ve diğer taraftan bir çekme kuvveti yardımıyla çekilmesi yöntemidir. Ekstrüzyona benzemektedir. Fakat çekmede iş parçası, matris boyunca çekilmektedir. Çekmede, çekme gerilmeleri uygulanmasına rağmen, basmada önemli rol oynamaktadır. Çünkü metal, matris açıklığından geçtiği zaman sıkıştırılmaktadır [6]. Tel ve çubuk çekme bir yüzey işleme yöntemidir ve daire dışı kesitlere de uygulanabilmektedir.

Elektrik telleri, kablolar, yay telleri, kaynak elektrotları gibi ürünlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.12 Tel ve çubuk çekme işlemi şematik gösterimi [6]

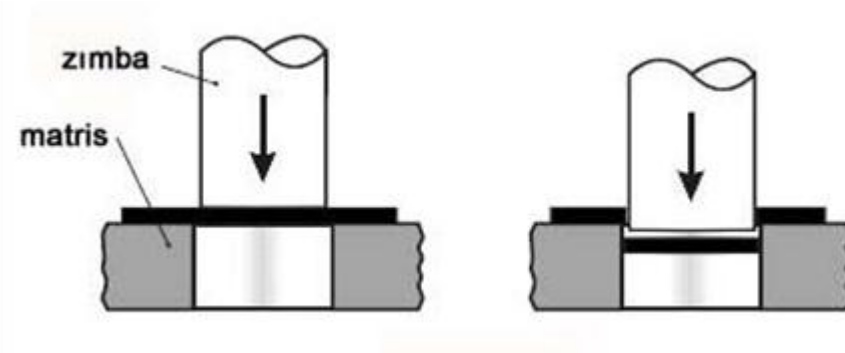
## 2.1.2. Sac şekillendirme yöntemleri

Kütle şekillendirme yöntemlerinden farklı olmak üzere, yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip iş parçasına plastik deformasyon uygulanmakta ve bu işlemler aracılığıyla yapıldığından çoğunlukla “pres işi” olarak da adlandırılır. [5]. Bu işlemler; kesme, bükme, derin çekme ve diğer yöntemler olarak gruplandırılmaktadır.

### 2.1.2.1. Kesme

Kesme veya başka bir ifadeyle makaslama, hareket eden iki kesme ağız tarafından metalin kesilerek ayrılmasıdır [5]. Kesme sonrası iş parçasının istenen tam boyutlarda olmasını sağlamak için hassas kesme işlemi uygulanmaktadır. Bunun için geleneksel kesme işleminden sonra hassas tıraşlama işlemi uygulanabileceği gibi işlem bir kerede hassas kesme kalıplarında gerçekleştirilmektedir.

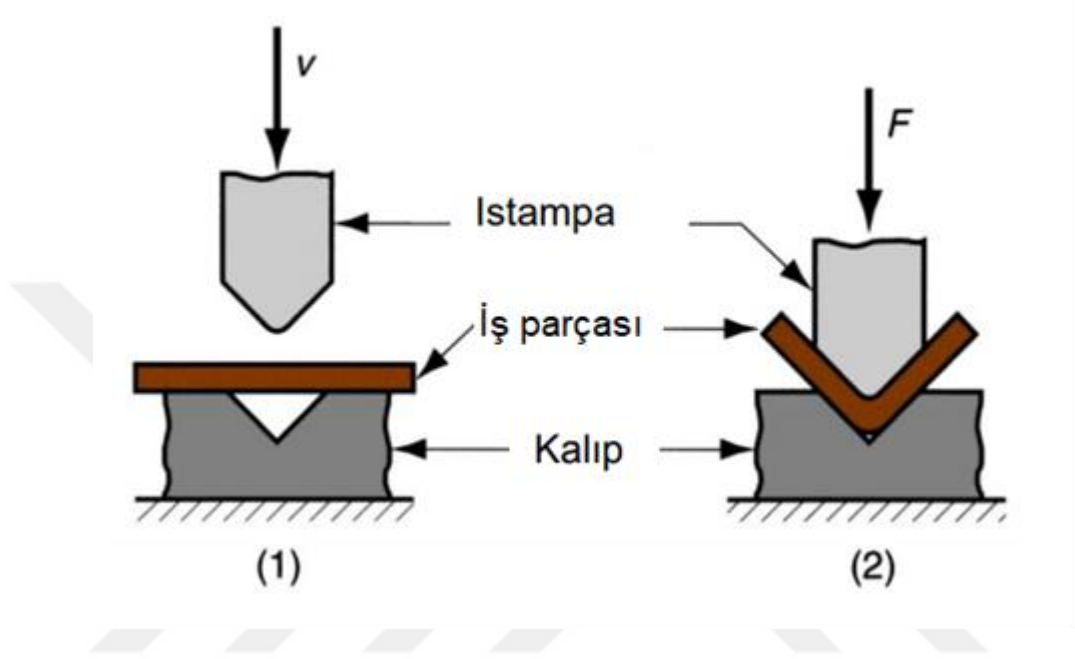
Kesme işleminde bıçaklar birbirlerine doğru hareket etmeye başlayınca, sacın her iki tarafına da uygulanan kuvvet dolayısıyla bir plastik deformasyon başlamakta ve kopma mukavemeti değerine gelindiğinde kopma oluşmaktadır. Bir zımba ve bu zımbaya uygun matris arasına yerleştirilen sacın, zımba ve matris arasında zorlanarak kesilmesine **zımbalama** (Şekil2.14) adı verilmektedir.



Şekil 2.13 Zımbalama İşlemi [5]

### 2.1.2.2. Bükme

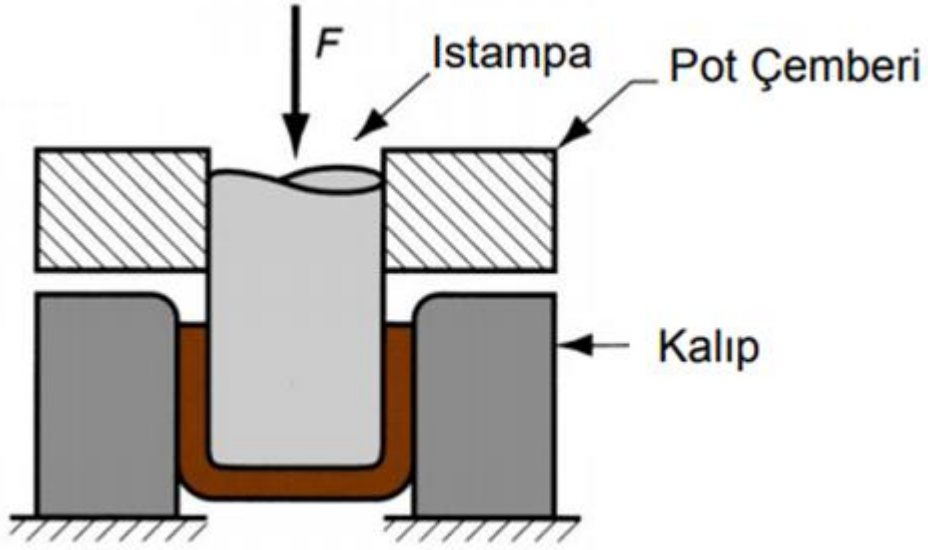
Sac parçasını, bir eksen etrafında eğme gerilmeleri kullanılarak yapılan plastik şekil verme işlemine bükme adı verilmektedir (Şekil 2.15). Sacın iç yüzeyi basma, dış yüzeyi çekme gerilmeleri altında şekillenmeyi sağlamaktadır.



Şekil 2.14 Bükme işlemi

### 2.1.2.3. Derin çekme

Düz saclardan basit ya da karmaşık kutu, kap vb. biçimlerde parçaları üretmek için kullanılan ve pot çemberi yardımıyla uygulanan bir plastik şekil verme yöntemidir. Derin çekme işlemi soğuk olarak yapılmaktadır. Mermi kovanları, metal içecek kutuları, otomotivde kullanılan sac parçaları imalatında bu yöntem kullanılır.



Şekil 2.15 Derin çekme yöntemi [6]

#### 2.1.2.4. Karışık yöntemler

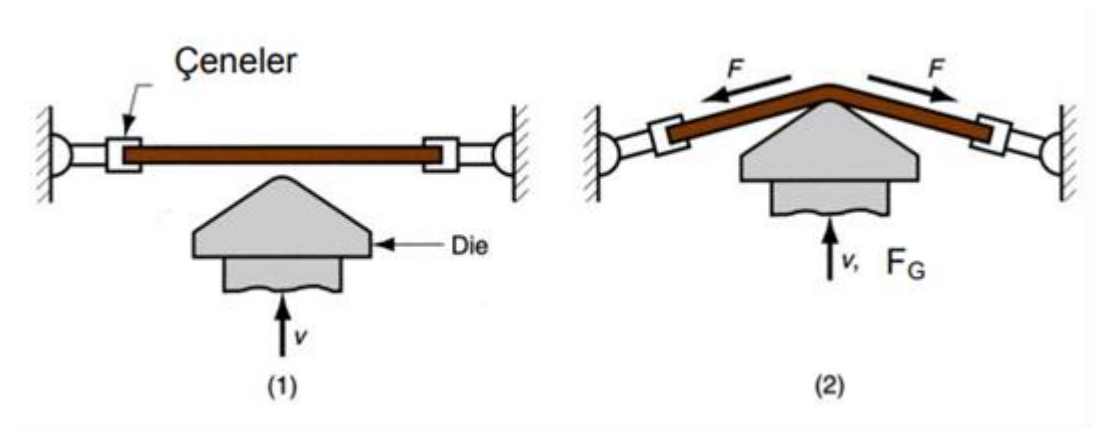
Kesme, bükme ve derin çekme dışında kalan diğer sac şekillendirme yöntemleri:

- Germe
- Sıvama
- Yüksek Hızda Şekillendirme

şeklinde sıralanmaktadır.

#### • Germe

Bu işlemdede sac, kenarlardan çeneler aracılığıyla tutulur ve hareketine izin verilmemektedir(1). Daha sonra bir kalıp ile gerilen saca baskı yapılır ve gerilme sonucunda sac, kalıbın şeklini almaktadır(2). Otomobil ve uçak endüstrilerinde kullanılan bir plastik şekil verme yöntemidir.

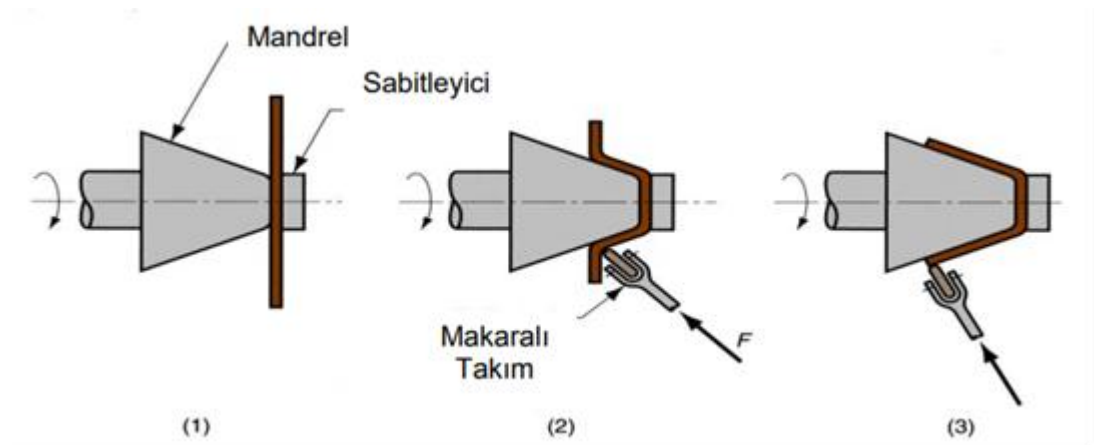


Şekil 2.16 Germe yönteminin sembolik görünümü

- **Sıvama**

Bu yöntem boru veya sac şeklindeki malzemelerin kendi eksenleri boyunca döndürülürken, çeşitli takımlarla kullanılan aksel ya da radyal yönde kuvvetler sonucunda şekillendirilmesidir. Sıvamayla işlenecek iş parçaları dönme eksenine göre simetriktir. Örneğin dairesel kesilmiş plakalar, borular vb. geometridedir.

İşlemin durumuna göre şekillendirme sıcak veya soğuk olarak yapılmaktadır. Sıvamayla üretimde, talaş kaldırılmaması ve imalat hızının yüksek olması sıvama yöntemini tercihen öne çıkaran temel unsurlardır.



Şekil 2.17 Sıvama yöntemi adımları

- **Yüksek hızda şekillendirme**

Ani zorlamalar yaratılarak darbeli bir şekilde kuvvet uygulanmasıyla kısa zamanda gerçekleştirilen plastik şekil verme yöntemidir. Patlamayla şekillendirme işlemi yüksek hızda şekillendirme yönteminin bir çeşidi olmaktadır.

## **2.2. Aşırı Plastik Deformasyon**

Üretim süreçlerinde nano kristalli ve çok küçük taneli malzemelere ilişkin araştırmalarda büyük bir artış görülmektedir. [10]. Aşırı plastik deformasyon yöntemlerinde malzemeler, temel olarak kayma gerilmeleri ve oldukça yüksek plastik gerilmelerle deforme olmaktadır [11,12]. APD yöntemleri çok ince taneler meydana getirmek için bir metal kütesine fazlaca irilikte bir plastik gerilmenin uygulandığı metal oluşturma prosesidir [3,13]. APD prosesinin yegâne amacı çevreye zarar vermeyen, yüksek mukavemetli ve hafif parçalar imal etmektir [14]. Plastik şekil verme yöntemleri arasında APD yöntemleri, nispeten basit kalıplar ve kalıp düzenlemeleriyle büyük mukavemet artışı elde etmede ve özellikle tane boyutu inceltmede oldukça etkin bir yöntemdir [15]. Aşırı plastik deformasyon yöntemleri kütleli formda gerçekleştirilen mukavemet artırma yöntemleridir. Bu yöntemler şunlardır:

- i. Eş kanallı açısız presleme (Equal channel angular pressing)
- ii. Yüksek basınç burulması (High pressure torsion)
- iii. Biriktirmeli hadde yapıştırması (Accumulative roll bonding)
- iv. Farklı kesitli kanalda açısız presleme (Dissimilar channel angular pressing)
- v. Engellenmiş kanallı presleme (Constrained groove pressing)
- vi. Tekrarlı ekstrüzyon basması (Cyclic extrusion compression)

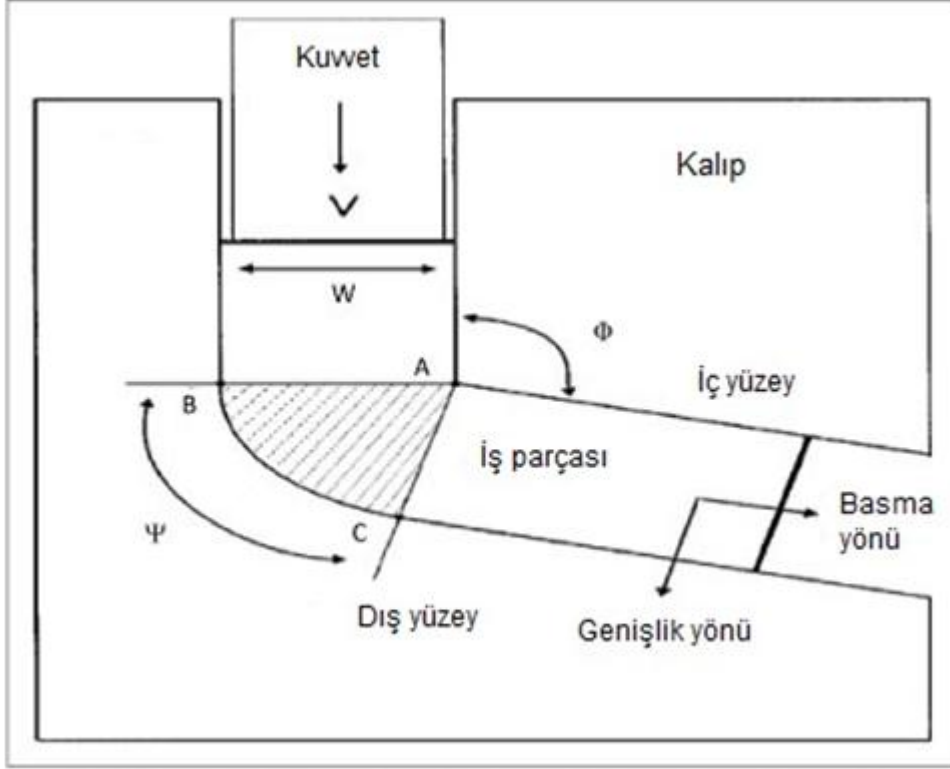
şeklinde sayılabilir [16].



### 2.2.1. Eş kanallı açısal presleme

Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) yöntemi ilk defa 1980'li yıllarda Segal ve arkadaşları tarafından geliştirilerek uygulanmıştır. Başlangıçta amaç, üretilen EKAP kalıbı sayesinde malzemelere basit kayma işlemiyle aşırı bir plastik deformasyon uygulanması ve bu deformasyonun sayısal olarak incelemesi yapılmıştır. Ancak 1990'lı senelerden sonra bu metot ultra-ince taneli (mikronaltı tane boyutlu) malzemeler elde etmek için uygulanmaya başlamış ve bu uygulamalardan başarılı sonuçlar elde edilmiştir. EKAP işlemiyle elde edilen söz konusu başarılı sonuçlar, gelişmiş ülkelerin bu konuya ilgisini daha çok arttırmıştır. Son yıllarda EKAP yöntemi üzerine oldukça fazla araştırma-geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda EKAP metodu daha çok endüstriyel uygulamalarda kullanılan saf metal ve bazı alaşımlara uygulanmış ve bu uygulamalardan pozitif sonuçlar elde edilmiştir. EKAP yönteminin uygulandığı malzemeler arasında saf alüminyum ve alüminyum alaşımları, titanyum ve titanyum alaşımları, saf bakır ve bakır alaşımları, nikel ve nikel alaşımları vb. sayılabilmektedir.

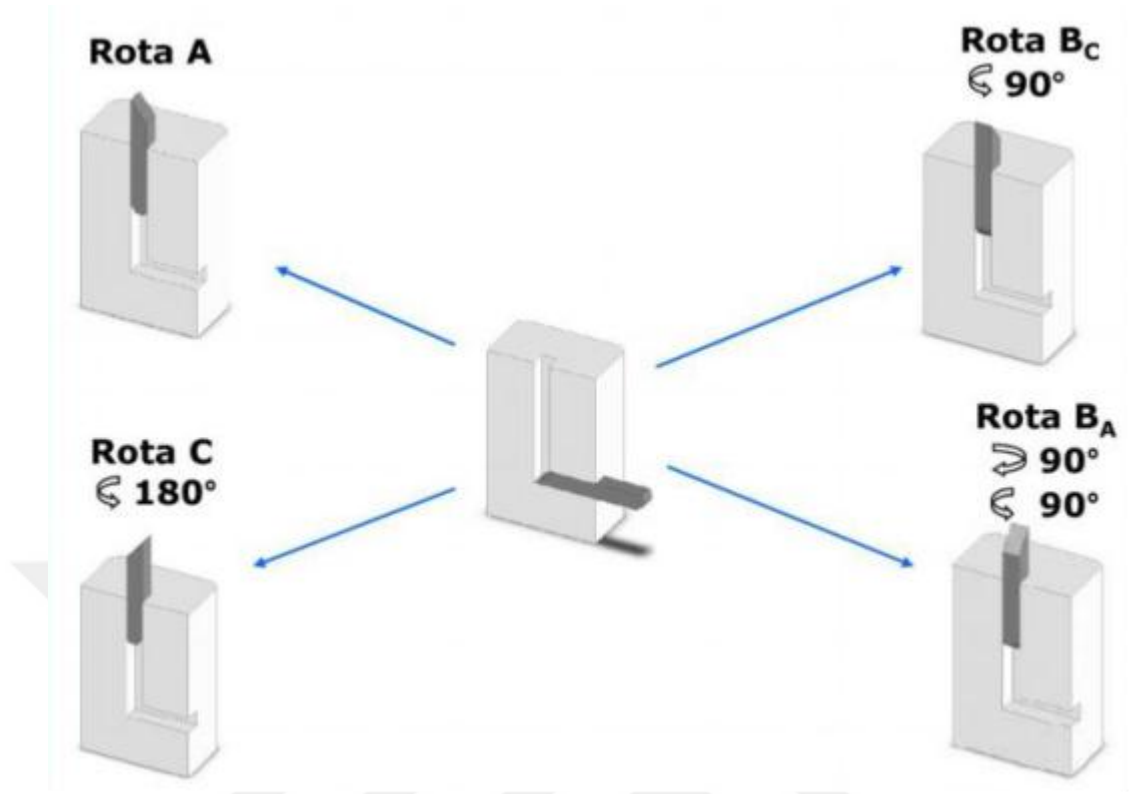
EKAP işlemi, malzemeye basit kayma gerilmeleriyle aşırı oranda plastik deformasyon uygulanması yöntemine dayanan geleneksel olmayan plastik şekil verme yöntemidir. İşlem esnasında numunenin kesitinde önemli bir değişimin oluşmaması, bu yöntemi diğer geleneksel deformasyon yöntemlerinden farklı kılan en önemli özelliktir. Bu sayede, parçada deformasyon miktarını sınırlayan kesit daralması oluşmadığı için, söz konusu parça tekrarlı bir şekilde defalarca EKAP yöntemine tâbi tutulabilmektedir. EKAP işleminin çalışma prensibi ve bu işlemde kullanılan kalıbın kesiti şematik gösterimi Şekil 2.19'da belirtilmektedir.



**Şekil 2.18** EKAP yönteminin şematik gösterimi

Şekil 2.1'den anlaşıldığı üzere; kalıp dış köşe açısı ( $\Psi$ ), malzemeye baskı yapmak için kullanılan piston, basma yönü (V), malzemenin genişliği (w), basma ve genişlik yönü ifade edilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi EKAP yöntemi eş kesit geometrisine sahip doğrusal iki kanalın aralarında belli bir açı oluşacak şekilde kesiştirilmesinden meydana gelen bir kalıp sisteminde gerçekleştirilmektedir. EKAP işlemi basit olarak kanal kesitine göre önceden hazırlanmış numunenin yağlandıktan sonra giriş kanalı içinde bir itici yardımı ile çıkış kanalına doğru itilmesiyle gerçekleşmektedir. Bu şartlarda numune kanal içinde katı bir madde olarak ilerler ve kesişme düzleminde ince bir tabaka halinde basit kayma mekanizmasıyla plastik deformasyona maruz kalmaktadır.

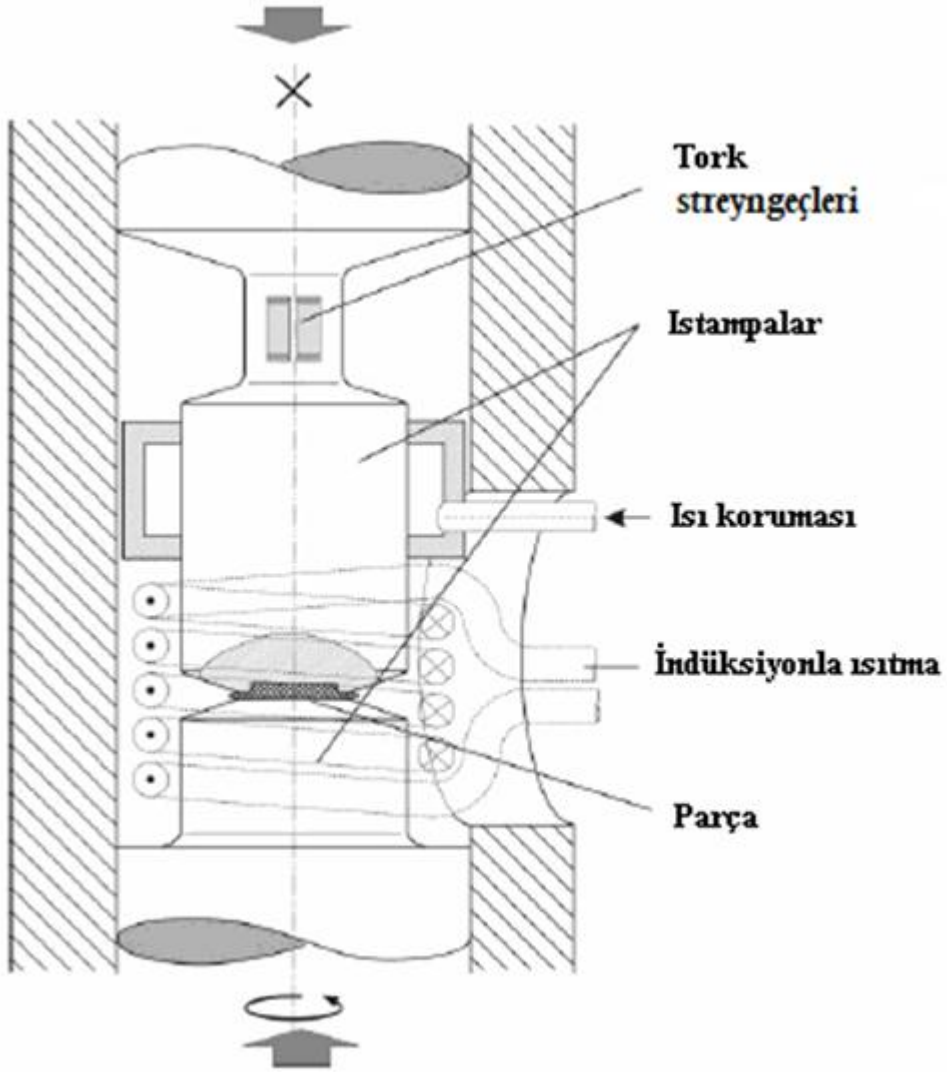
EKAP işlemi sonrasında istenen iç yapı ve mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için işlem rotasının seçimi ve paso sayısının belirlenmesi kritik önem taşımaktadır. Birden fazla pasoda gerçekleşen EKAP işlemlerinde, pasolar arasında numunenin kalıba giriş pozisyonu değiştirilerek şekil değişiminin farklı kayma düzlemlerine ötelenmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 2.19 EKAP işleminde uygulanan temel işlem rotaları [17]

### 2.2.2. Yüksek basınç burulması

Oda sıcaklığının oldukça altında veya üzerindeki sıcaklıklarda uygulanabilen bir APD yöntemidir [18]. Bu YBB yöntemi disk şekilli malzemelerin imalatında kullanılmaktadır. Hidrostatik basınç etkisinde çalışan iki ıstampadan alttaki ıstampa döner ve malzeme plastik şekil değişimine uğramaktadır. Burulma mekanizmasının etkili olduğu bu metotta diğer APD yöntemleri ile ulaşılamayacak kadar yüksek birim şekil değişimleri elde edilebilmektedir. İmal edilen malzemelerin çapları 10 - 20 mm aralığında, kalınlıklarıysa 0.2 - 0.5 mm aralığında değişebilmektedir.



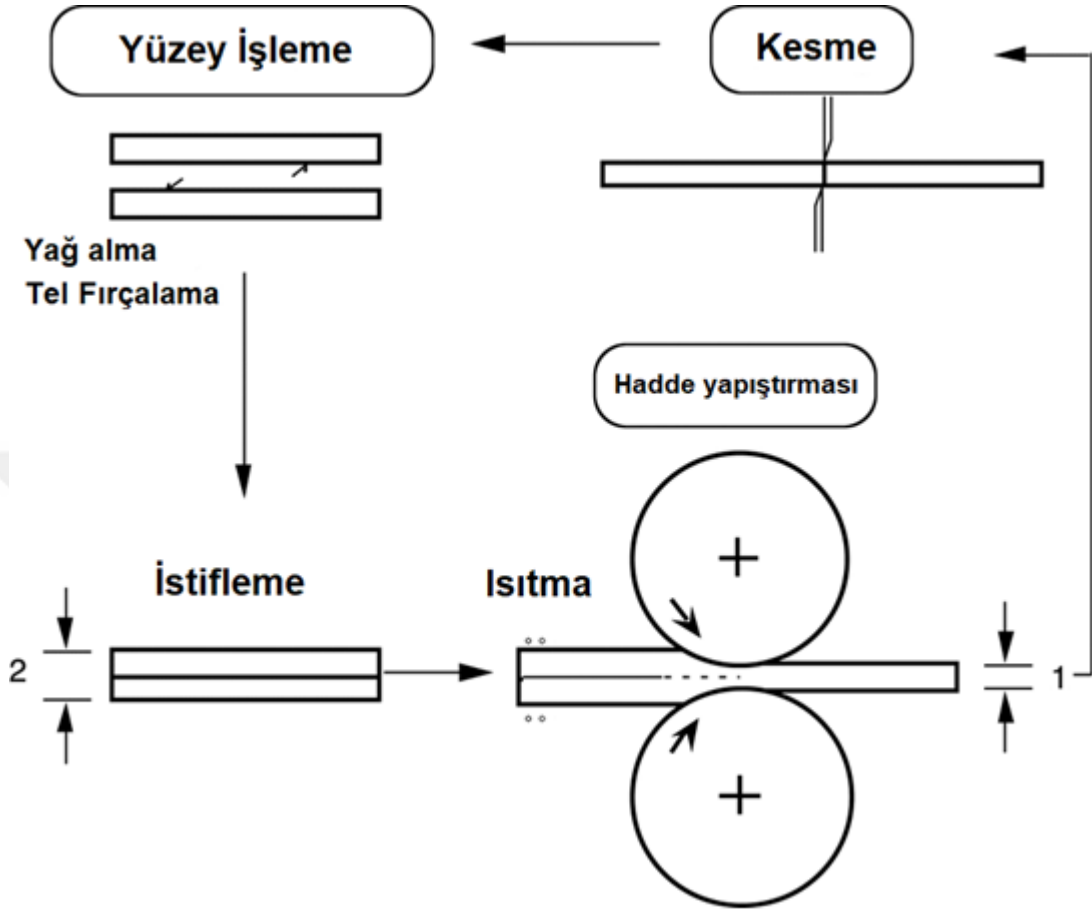
Şekil 2.20 Yüksek basınç burulması kalıbı [4]

### 2.2.3. Biriktirmeli hadde yapıştırması

Çok ufak (yüzlerce nanometre) boyutta, tane boyutuna sahip parça imalatında kullanılan, her türlü metal ve metal alaşımlarında başarı ile uygulanan ve yığın APD imalatında ileri zamanlarda daha çok kullanılması düşünülen yöntemlerden biri olacaktır. BHY'nin mühim özelliklerinden biri, farklı aşırı plastik deformasyon metotlarına kıyasla daha homojen bir iç yapı sunmasıdır.

Biriktirmeli Hadde Yapıştırması işlemi, yarısı haddelenmiş malzemenin ikiye ayrılıp istiflenerek tekrar haddelenmesidir. Altı tekrardan sonra yapı tamamı ile

homojenleşmekte fakat yüksek sayıdaki tekrardan sonrası malzemede hasar meydana gelmeye başlamaktadır.

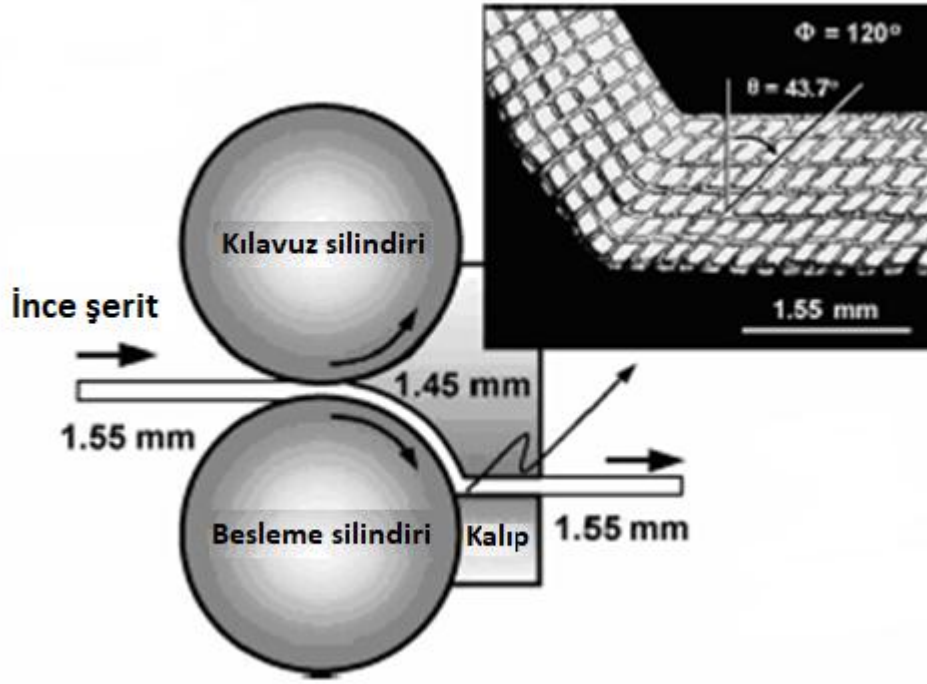


Şekil 2.21 Biriktirmeli hadde yapıştırması ile aşırı plastik deformasyon [4]

#### 2.2.4. Farklı kesitli kanalda açısız presleme

EKAP'a benzemek ile birlikte, kalıbın aynı eksenli olmaması ve hadde ile birlikte yapılması bakımından daha değişik bir metottür. Dışarı açılan kanal, iş parçasının girdiği kanaldan daha geniştir.

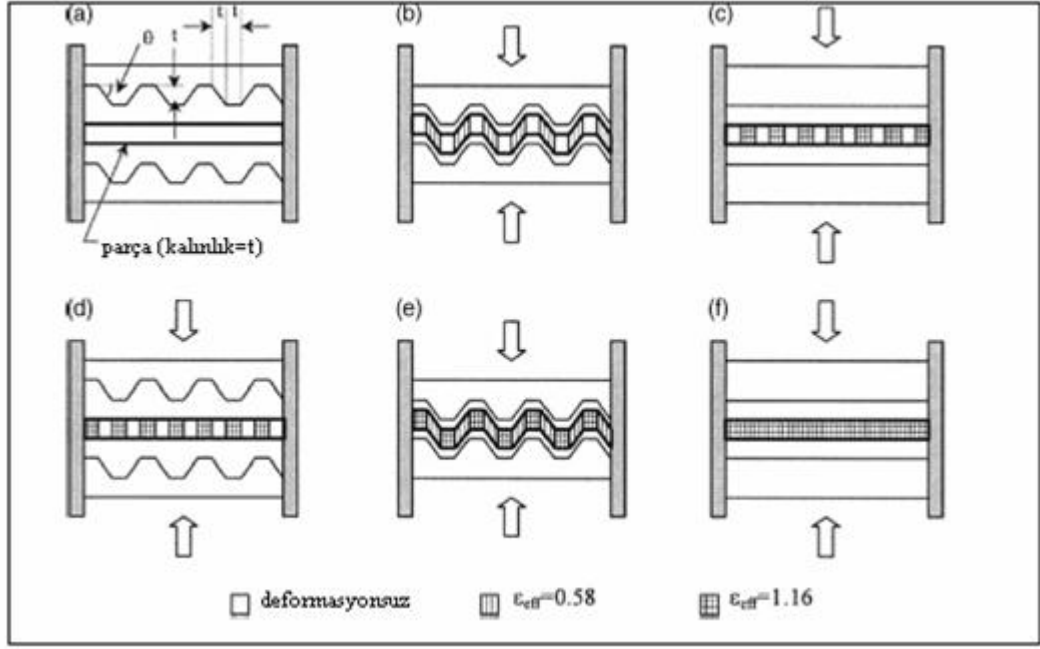
Levhalar EKAP yöntemi ile şekil verilememektedir. Farklı Kesitli Kanalda Açısız Presleme bu çeşit levhaların biçimlendirilmesinde, tane iyileştirilmesinde, levha kesitlerinde herhangi bir değişim olmaksızın uygulanabilen şekil değiştirme işlemidir. Haddeden çıkan levhanın takribi 120 derece açıya sahip bir kalıptan çıkarılarak plastik deformasyon esasına dayanmaktadır.



Şekil 2.22 Farklı kesitli kanalda açısız presleme şematik gösterimi [4]

### 2.2.5. Engellenmiş kanallı presleme

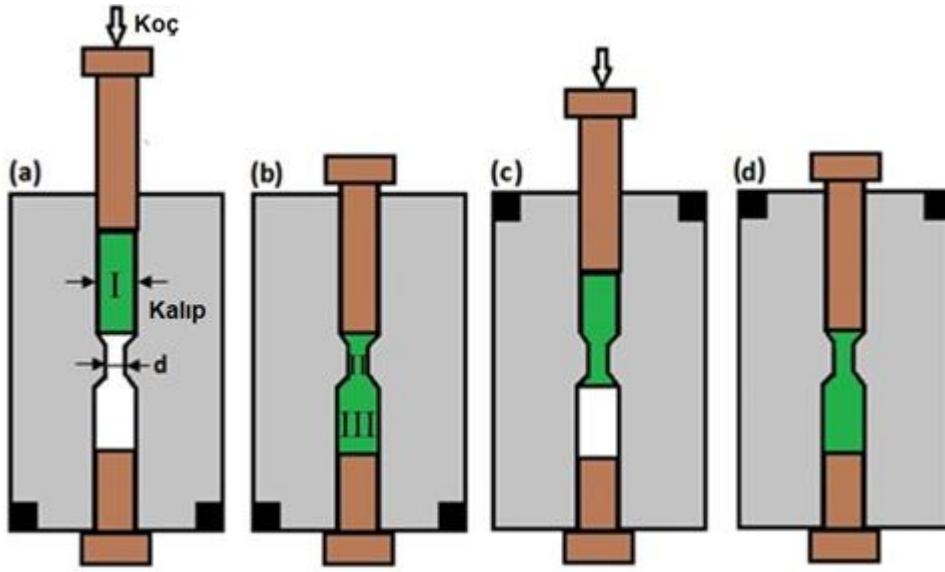
Bu yöntem, iki kalıp ortasında sıkıştırılan levhanın birçok kez şekil değişimine maruz kalması ile numunenin APD'ye uğradığı bir metottur (Şekil 2.24). Numune, her şekil değişiminin ardından 180 derece döndürülür. Uygulanan metotta işlenen parça ebatları oldukça ufaktır. Ayrıyeten tane küçülmesi diğer APD metodları kadar etkili değildir.



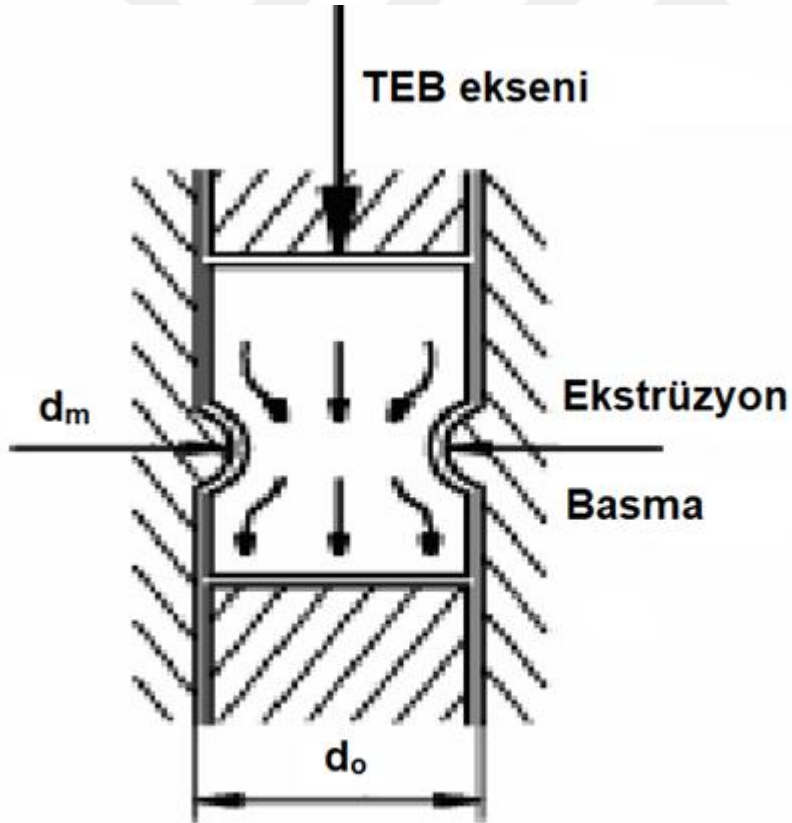
Şekil 2.23 Engellenmiş kanallı presleme ile parça deformasyonu [4]

### 2.2.6. Tekrarlı ekstrüzyon basması

Polonya’da geliştirilen bir APD yöntemidir. Kalıpta eş çaplı iki kanal ve bu kanalların arasında daha küçük çaplı kanal bulunmaktadır. Aradaki küçük çaplı kanal ekstrüzyon matrisi olarak görev yapmaktadır. Üstteki eş çaplı kanaldan iş parçası bastırılarak dar çaplı kanaldan geçişi sağlanarak bir çevrim (paso) tamamlanmaktadır. Daha sonra ikinci paso için kalıp ters çevrilerek aynı işlemlerin yapılması sağlanmaktadır. “Tekrarlı ekstrüzyon basması” yönteminin uygulanmasındaki kalıp düzeni Şekil 2.25’de ve iş parçasının küçük çaplı kanaldan geçtiği andaki dislokasyon hareketleri Şekil 2.26’da gösterilmektedir.



Şekil 2.24 Tekrarlı ekstrüzyon basması yapısal çekme bölgeleri



Şekil 2.25 Tekrarlı ekstrüzyon basması kalıbı [4]



### **3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

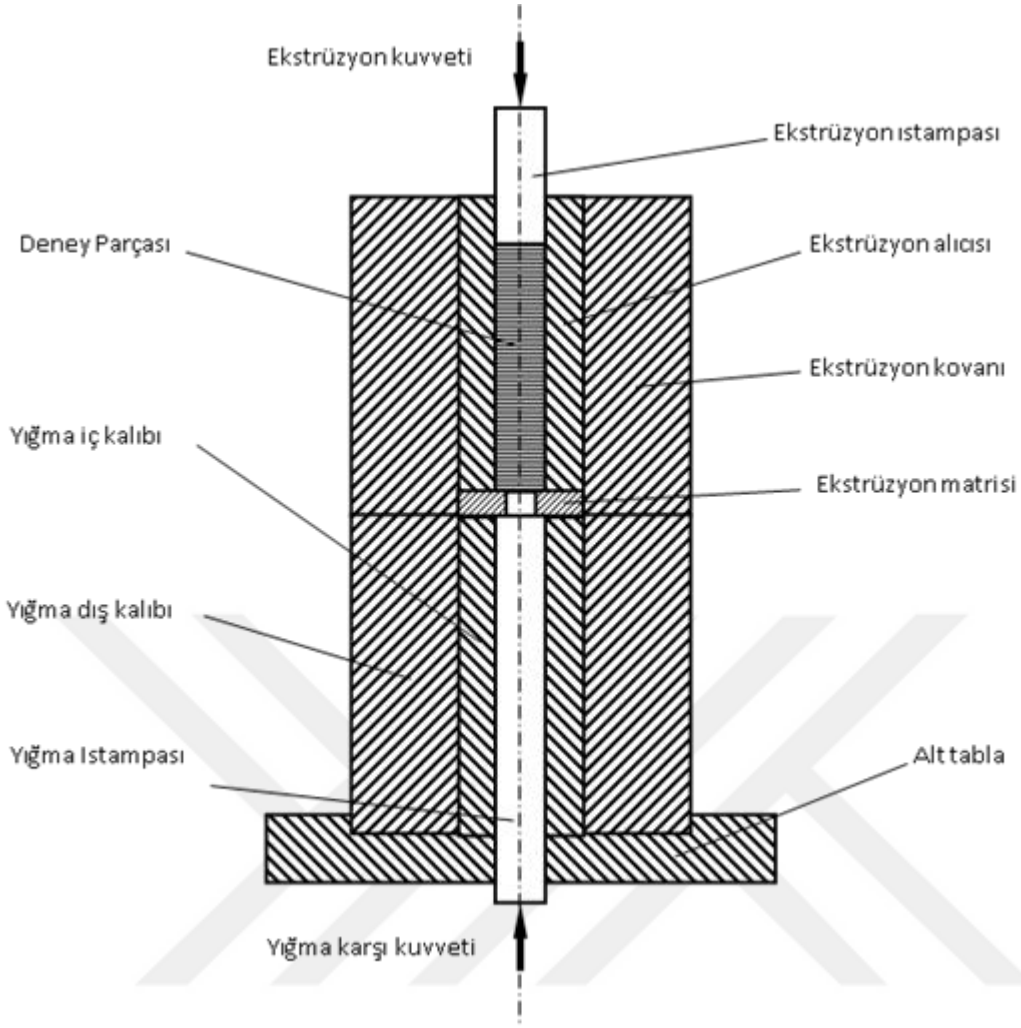
#### **3.1. Tekrarlı Ekstrüzyon Basması Kalıp Ve Hidrolik Devre Tasarımı**

##### **3.1.1. Kalıp tasarımı**

Bölüm 2.2.6’da prensip şeması verilen “Tekrarlı ekstrüzyon basması” yönteminin deneysel bir çalışma ile uygulamasının yapılabilmesi için, prensibe uygun olarak üst taraftaki başlangıç numunesinin bir ekstrüzyon matrisinden geçirilmesi ve alt taraftaki kısımda ise yığılmasının (basma) sağlanması gerekir. Bu ise, alt kısımdaki hareketin zorlaştırılması ile sağlanabilecektir.

Söz konusu etkinin sağlanabilmesi için gerekli olduğuna karar verilen ve tasarıma esas alınacak olan “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması Kalıp Düzenlemesi” nin şematik resmi Şekil 3.1’ de gösterilmektedir.

Bu hareketler sırasında kalıp içerisinde sıkışan parça ve kalıp elemanlarının, takip edilecek çevrimler sonrasında birbirlerinden kolayca ayrılabilmesi için “parçalı kalıp tasarımı” yaklaşımı benimsenmiş ve “ekstrüzyon alıcısı, matris ve yığma iç kalıp” elemanları dört parçalı olarak imal edilmiştir. Böylece “ekstrüzyon kovani” ile “yığma dış kalıbı” tek parça ve mukavemet sağlayıcı kalıp elemanları olarak ve “kalın cidarlı silindir” kabulüyle tasarlanmıştır. Söz konusu iki eleman içinden “çıkarıcı”lara uygulanan basma kuvveti ile “çok parçalı kalıp elemanlarının” birbirlerinden ayrılarak numunelerin alınması sağlanabilecektir.



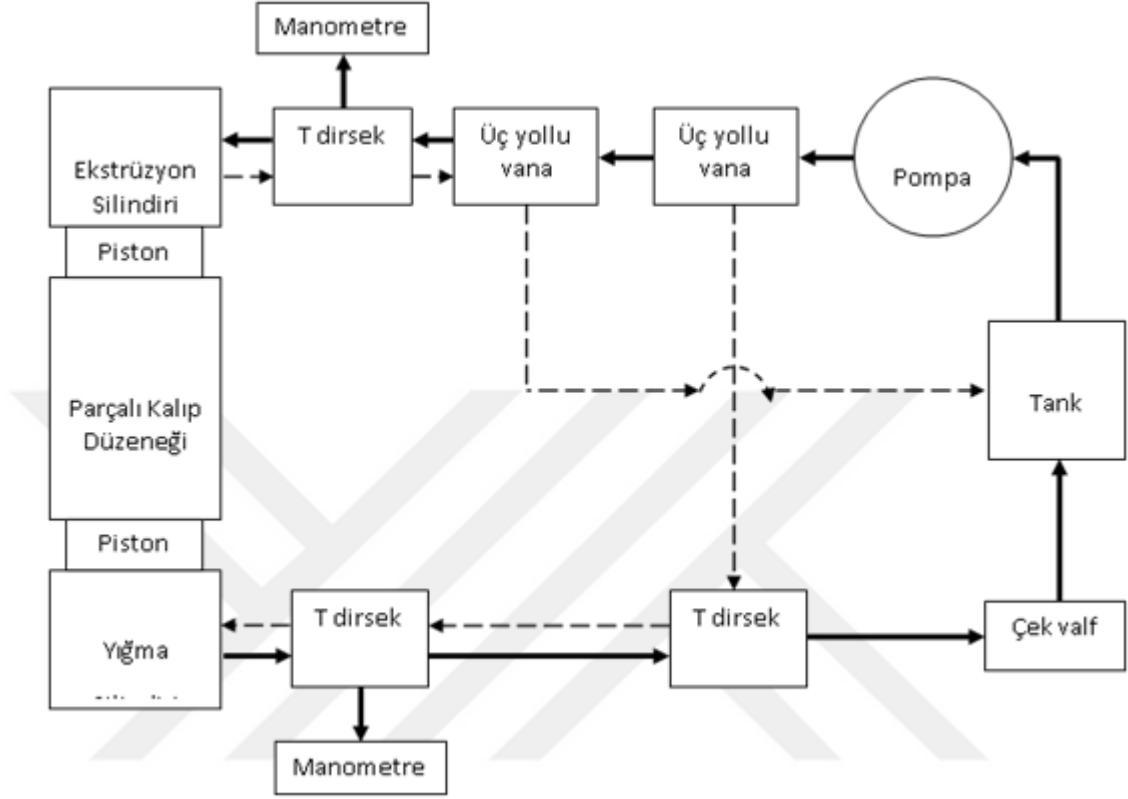
**Şekil 3.1** Parçalı kalıp yaklaşımıyla tasarlanan “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması” kalıp düzenlemesi [19]

### 3.1.2. Hidrolik devre tasarımı

Yukarıdaki işlem sırası takip edilerek “tamamlanmış” olan çevrimin kolayca tekrarlanabilmesi için Şekil 3.2’de şematik olarak çizilen hidrolik devrenin oluşturulması gerekir. Şekil 3.2’den de görüleceği gibi, üç yollu vanaların uygun sırayla kapatılıp açılması ve akışın yönünün değiştirilmesi sağlanmaktadır. Yığma tarafındaki karşı basınç, basınç kontrol valfi (Çekvalf) yardımıyla kontrol edilmektedir.

Çevrim tekrarları parametre olmak üzere, numuneler mukavemet ve süneklik değerleri bakımından karşılaştırılabilir. Yöntemin etkinliği ve diğer APD

yöntemleriyle karşılaştırılması ise sunulan yöntemin geliştirilmesi bakımından önemli olmaktadır. Karşılaştırmalar; “çekme dayanımı”, “yüzde kopma uzaması ve kesit büzülmesi” ile “çentik-darbe tokluğu” bakımlarından yapılabilmektedir.



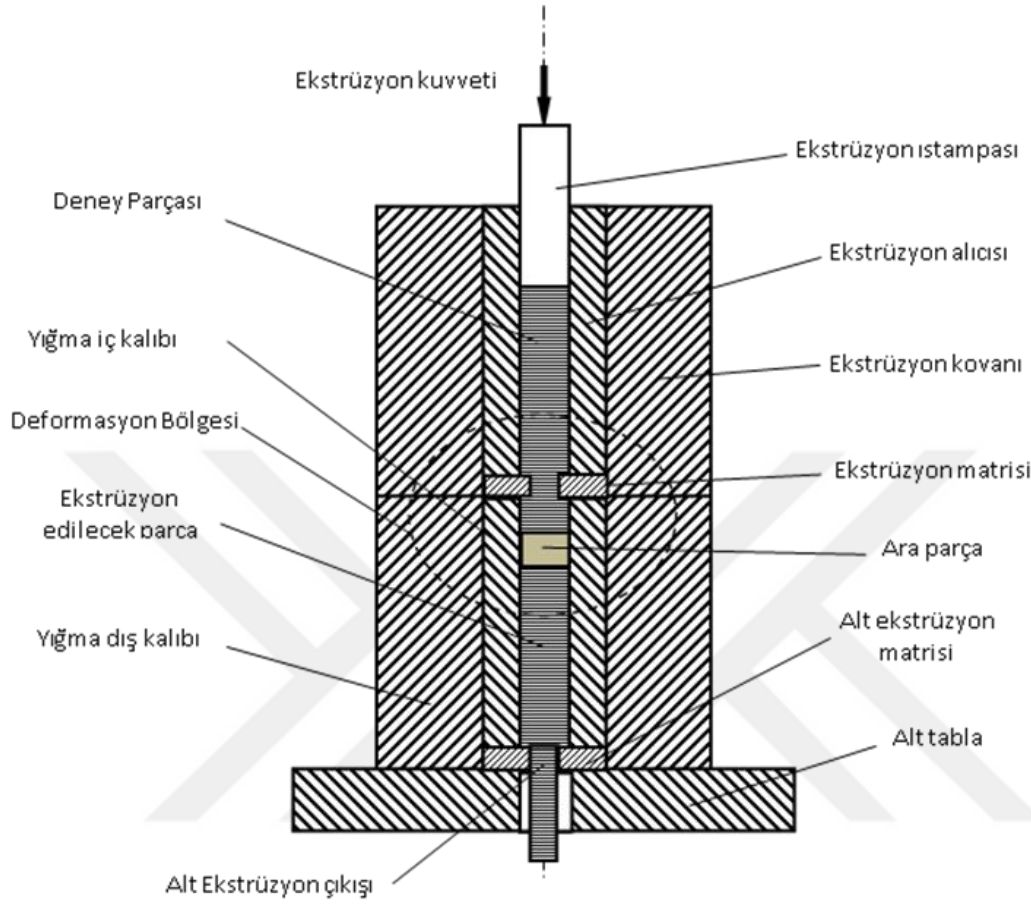
Şekil 3.2 Tekrarlı ekstrüzyon basması hidrolik devre şeması [19]

### 3.2. Deneysel Çalışma Planı

Deney parçası malzemesi olarak soğuk şekil değiştirme yoluyla mukavemet artışına uygun olan alüminyum veya kurşun, numune şekli olarak da 10 mm çaplı 55 mm uzunlukta silindir çubukların kullanılmasına karar verilmiştir. Numunelerin pres yükü ile eş çaplı kanaldan ilerleyerek daha küçük çaplı kanala girmesi sağlanacaktır.

Buna karşılık yukarıda tasarımı ve çizimi yapılan “hidrolik devrenin” temin edilememesi nerdeniyle yığma tarafındaki (alt taraf) engellemenin bu bölgenin ucuna konulan ve yine dört parça olarak imal edilen ikinci bir ekstrüzyon matrisi ile

oluşturulması yoluna gidilmiştir. Bu durumdaki yeni kalıp düzenlemesi Şekil 3.3’de verilmektedir.



**Şekil 3.3** Deneysel çalışmada kullanılan yeni kalıp montaj şeması

Üst taraftan alt tarafa geçirilmeye zorlanan numuneye karşı uygulanan yığılma kuvveti, alt ekstrüzyon matrisi tarafından uygulanacak olan ekstrüzyon kuvvetine eşit olacaktır. Söz konusu kuvvetler, kurşun malzeme ve çeşitli ekstrüzyon oranı, başlangıç uzunluğu değerlerine bağlı olarak hesaplanmış ve Çizelge 3.1’de belirtilmiştir. Ekstrüzyon basıncı denklem 3.1’den hesaplanmıştır.

$$P_{eks} = \sigma_{ger} \left[ 1,7 \ln R + \frac{2L}{D_0} \right] \quad (3.1)$$

**Çizelge 3.1** Kurşun malzeme için ekstrüzyon kuvveti değerleri

$D_f$ (mm)	Gerçek gerilme (MPa)	Ekst. Basıncı (MPa)	Ekst. Kuvveti (kN)
9	34,421	390,966	30,690
8	38,522	452,974	35,558
7	41,330	504,753	39,623
6	43,618	555,556	43,611
5	45,661	609,887	47,876
4	47,614	672,085	52,758

Ekstrüzyon kuvveti yığılma bölgesindeki köşe radyüsü, aşağıdaki bilgiler kullanılarak hesaplanabilmektedir [20].

$$r_c = R - \left(\frac{t}{2\mu}\right) \left(\ln \frac{k}{\mu}\right) \quad (3.2)$$

$r_c$ : kayma ve yapıştırma sınır yarıçapı

$R$ : yarıçaptır.  $0,5 D$

$t$ : doldurulmamış bölge kalınlığıdır.

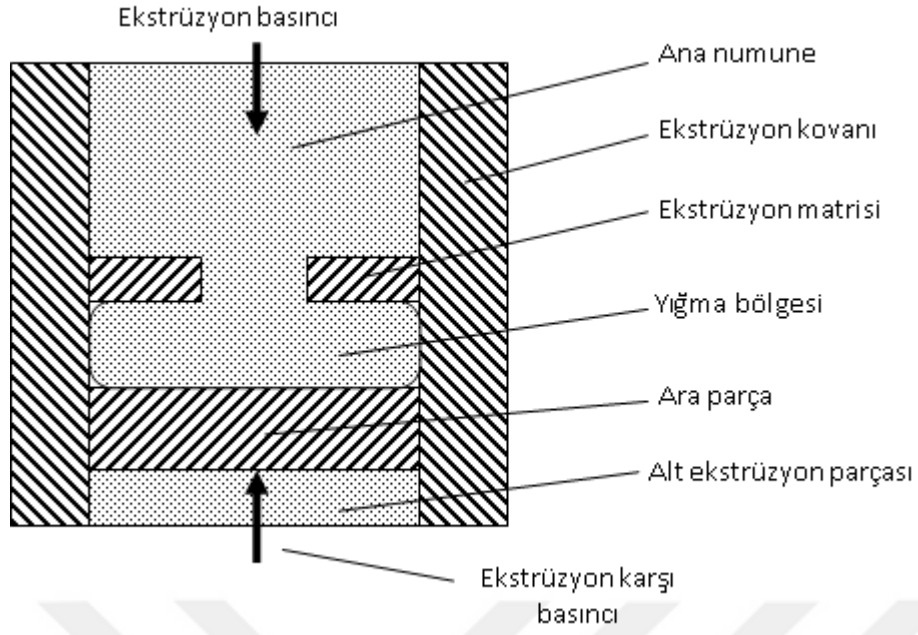
$k$ : sürtünme yapışması katsayısıdır.  $0,577$  değeri alınabilir.

$\mu$ : yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı.  $0,15$  değeri alınabilir.

$$\frac{P_a}{\sigma} = \frac{2}{C^2} [(D + 1)e^{C-D} - (C + 1)] + \frac{D^2}{C^2} \left(\frac{k}{\mu} + \frac{2k}{3} \frac{r_{cr}}{t}\right) \quad (3.3)$$

$$C = \frac{2\mu R}{t} \quad ve \quad D = \frac{2\mu r_{cr}}{t} \quad (3.4)$$

Denklem 3.1'de değerler kullanılarak, 6 mm'lik çıkış çapında  $t$  değeri yaklaşık olarak 0,5 mm hesaplanmıştır.



Şekil 3.4 Deformasyon Bölgesi



Şekil 3.5 Tekrarlı Ekstrüzyon Basması deney kalıbı



**Şekil 3.6** Tekrarlı Ekstrüzyon Basması kalıbının üstten görünümü

Daha sonra küçük çaplı kanaldan çıkarken ikinci bir ekstrüzyon düzeneği sayesinde malzemeye ters yönde bir yığıma kuvveti uygulanarak eş çaplı kesite genişlemesi sağlanacaktır.



Bu sırayla “tamamlanmış” olan çevrim değişik sayılarda tekrarlanarak, mukavemet ve süneklik değerleri ile ilgili sonuçlar diğer APD yöntemlerindekiyle karşılaştırılması planlanmış olmasına karşılık, çalışmadaki teknik aksaklıklar nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

Çalışma konusu olarak seçilen yöntem, silindirik yüksek mukavemetli ve aynı zamanda yeterince sünek makine elemanlarına klasik örnek olarak gösterilebilecek olan “Tekrarlı Yük Etkisi Altındaki Yüksek Mukavemetli Cıvata” üretiminde kullanılması tercih edilecek olan malzemelerin üretimine uygulanabilir. Bu tür imalatçıların konuyla ilgileneceği düşünülmektedir.



**Şekil 3.7** TEB kalıbının basma cihazındaki görünümü



Ekstrüzyon alıcısı ve yığma iç kalıbı çapı 10 mm ve ekstrüzyon matrisi iç çapı 6 mm olduğunda uygulanacak olan ekstrüzyon kuvveti 43,6 kN olarak hesaplanmıştır. Presle yapılan basma kuvveti değeri ise 50 kN değerine kadar uygulanmıştır.



**Şekil 3.8** TEB’de ekstrüzyon olup yığılan kurşunun görünümü

Deney sonrası numune, ekstrüzyon matrisinden geçtikten sonra alttaki ekstrüzyon işleminden dolayı yığma kuvveti sağlanarak başlangıç çapına genişlemesi Şekil 3.8’de verilmektedir.



**Şekil 3.9** Kurşun numunenin TEB deneyi sonrası görünümü

Tekrarlı Ekstrüzyon Basması deneyi yapıldıktan sonra ekstrüzyon alıcısının arasına giren fazla numune malzemeleri temizlenerek Şekil 3.9'daki duruma getirilmiştir. Ortadaki küçük çaplı kısım ekstrüzyon olmuş ve alttaki kısım ise eş çaplı kanala yığılan bölümdür.



**Şekil 3.10** Dört parçalı ekstrüzyon alıcısı arasına giren numunenin görünümü

Ekstrüzyon kovanı iç çapı, hassas toleranslarda işlenemediğinden dolayı kurşun numunelerinin bir miktarı ekstrüzyon basıncının etkisiyle parçalı kalıpların arasına girmiştir. Bu durum Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu deneylerde gerçekleştirdiğimiz hidrolik devre tesisatı ve kalıp düzenlemesinin tasarımı için Tekrarlı Ekstrüzyon Basması'na yönelik uygulama yapılmıştır. Çalışmanın tasarım kısmı uluslararası ENAR 2018 konferansında sunulmuş ve yayımlanmıştır. Hidrolik devre tesisatına yönelik çalışmamızın sınırlı bütçeyle kalması sonucunda devre elemanlarının temin edilememesi nedeniyle bahsi geçen hidrolik devre oluşturulamamıştır. Ancak bu fikri çalışmanın, ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Sunulan çalışma, ülkemizde uygulaması bakımından yeni olan bir APD yönteminin alt yapısının hazırlanmasına yönelik olarak tasarlanmıştır. Literatür çalışmalarından hareketle, mevcut tecrübeler ışığında öncelikle, bir “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması” kalıp düzenlemesi tasarlanmıştır.

Sonuçta; ülkemizde deneysel çalışması yapılmamış olan Tekrarlı Ekstrüzyon Basması Yöntemi'nin yapılabilirliğinin gösterilmesi konusunda bir deney yapılmış olup bu deney sonucunda çalışma konusu olarak seçilen yöntem, silindirik yüksek mukavemetli ve aynı zamanda yeterince sünek makine elemanlarına klasik örnek olarak gösterilebilecek olan “Tekrarlı Yük Etkisi Altındaki Yüksek Mukavemetli Cıvata” üretiminde kullanılması tercih edilecek olan malzemelerin üretimine uygulanabilir.. Bu tür imalatçıların konuyla ilgileneceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Çapan, L. (1990). “Metallere Plastik Şekil Verme” (2. Baskı). İstanbul: Çağlayan Kitapevi, s. 6.
- [2] URL: <https://insapedia.com/suneklik-nedir/> (ET: 15.06.2019).
- [3] Develioğlu, Ş. ve Akata, H.E. (2017). “Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) Yönteminin 6063 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi 36, s. 1-3.
- [4] Franko, İ. (2007). “Eş Kanallı Açılı Presleme ile Aşırı Plastik Deformasyon Uygulanan 2024 Alüminyum Alaşımının Yaşlandırılması”. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 1-9.
- [5] Çakır, S. (2011). “Plastik Şekil Verme ile Monte Edilen Yatak Sistemlerinde Oluşan Kuvvetlerin Saptanması”. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 9-17.
- [6] Gulmez, T. (t.y.). “Kütlesel Plastik Şekil Verme Yöntemleri” (İmal Usülleri Notları). İstanbul Teknik Üniversitesi, s. 2-21.
- [7] Hüner, Ü. (2014). “Çeşitli Elyafarla Takviye Edilmiş Termoplastik Kompozitlerin Levha Ekstrüzyonunun ve Özelliklerinin İncelenmesi”. Doktora Tezi. T.C. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 22.
- [8] Galmak Alüminyum. Ekstrüzyon (ET: 21.06.2019).  
URL: <http://www.galmak.com.tr/tr/30-page-ekstruzyon.aspx>
- [9] URL: <https://www.metalurjimalzeme.net/ekstruzyon/> (ET: 17.06.2019).
- [10] Gleiter, H., (2001). “Nanostructured materials: Basic concepts and microstructure”, Acta Materials.
- [11] Akata, H. E. (2012). “Application of Separated Die Design to Production of Ecap Dies”, Advanced Materials Research, Vol. 445, pp.120-124.
- [12] Konuk, O., Akata, H.E. (2013). “A Study On The Application Of The Ecap To Surface Plating”. International Journal Of Electronics, Mechanical And Mechatronics Engineering (IJEMME), 3(4), 625-630.
- [13] Sahin, M., Balasubramanian, N., Misirli, C., Akata, H. E., Can, Y., Ozel, K. (2012). “On properties at interfaces of friction welded near-nanostructured Al 5083 alloys”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 61, Issue: 9-12, Pages: 935-943.

- [14] Azushima, A. vd. (2008). “Severe plastic deformation (SPD) processes for metals”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57, 716–735.
- [15] Valiev, R. Z., Langdon, T. G. (2006). “Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement”, Progress in Materials Science, 51, 881–981.
- [16] Işık, A.E., Gülmez, T. (2005). “Eşit Kesitli Kanal İçinde Açılı Presleme/Ekstrüzyon (ECAP/ECAE) Yoluyla Aşırı Plastik Deformasyon”, Yüksek Lisans Tezi.
- [17] Kul, O. (2009). “Aşırı Plastik Deformasyonun Saf Titanyum ve Al-12Si Alaşımının Yapısal, Mekanik ve Aşınma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, 19-20.
- [18] Pippan, R., Wetscher, F., Hafok, M., Vorhauer., Sabirov, I., (2006). “The Limits of Refinement by Severe Plastic Deformation”, Advanced Engineering Materials, No:11 1047-1055.
- [19] Çetin, B., Akata, H.E. (2018). “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması Deney Tesisatı Geliştirilmesi”. ENAR, International Congress on Engineering and Architecture, 14-16 November, Alanya Turkey, Bildiriler Kitabı, s. 422-426.
- [20] Altınbalık, T., Akata, H.E., Can, Y. (2005). “An Approach for Calculation of Press Loads in Closed – Die Upsetting of Gear Blanks of Gear Pumps. Materials and Design (2007) 730-734.



## ÖZGEÇMİŞ

**İsim-Soyisim** : Batuhan ÇETİN

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 06.07.1995 - İstanbul

**E-posta** : batuhancetinfb@gmail.com



## ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** : 2017, İAÜ, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

**Yüksek Lisans** : 2019, İAÜ, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tezli Yüksek Lisans Programı

## TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Çetin, B. ve Akata, H.E. (2018). “Tekrarlı Ekstrüzyon Basması Deney Tesisatı Geliştirilmesi”. ENAR, International Congress on Engineering and Architecture, November 14-16, 2018 Alanya, Turkey. Bildiriler Kitabı, s. 422-426.