

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

LABORATUVAR TİPİ EKSTRÜZYON MAKİNASI İMALATI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Göktaş ÖZEL

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

LABORATUVAR TİPİ EKSTRÜZYON MAKİNASI İMALATI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Göktuğ ÖZEL

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ

HAZİRAN 2023

Mehmet Göktuğ ÖZEL tarafından hazırlanan “Laboratuvar Tipi Extrüzyon Makinası İmalatı ” adlı tez çalışması 22.06.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Salim ASLANLAR
	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. S. Can KURNAZ (Danışman)
	Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Tijen ÖVER ÖZÇELİK
	Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “LABORATUVAR TİPİ EXTRÜZYON MAKİNASI İMALATI ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, etik kurul onay belgesi aldığımı, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(12/01/2023).

(imza)

Mehmet Göktuğ ÖZEL





Niřanlıma ve aileme



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgileriyle yolumu aydınlatan, bana farklı bir bakış kazandıran ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ'a, yüksek lisans çalışmamda branş seçimimde bana öncülük eden Prof. Dr. Ahmet ÖZEL'e, Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Belki de en özel teşekkürü hak eden bu zamana kadar bana en büyük maddi ve manevi desteklerini tüm hayatım boyunca hissettiğim her kararımın yanımda duran biricik babam olmak üzere annem ve ablama manevi destekleri ve her zaman yanımda olan bana verdikleri güç için en içten duygularıyla çok teşekkür ederim.

Mehmet Göktuğ ÖZEL



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Plastik Şekil Verme	3
2.1.1. Plastik şekil vermenin sınıflandırılması	4
2.1.1.1. Kütlesel	4
2.1.1.2. Sac şekillendirme yöntemleri	6
2.2. Ekstrüzyon	11
2.2.1. Ekstrüzyonun kısa tarihi	11
2.2.2. İmalat	13
2.2.2.1. İmalatta sınıflandırma	13
2.2.3. Ekstrüzyonun tanımı	14
2.2.4. Ekstrüzyonun çeşitleri	15
2.2.4.1. Direkt ekstrüzyon	16
2.2.4.2. İndirekt ekstrüzyon	17
2.2.5. Ekstrüzyon yönteminde kullanılan malzemeler	18
2.2.5.1. Alüminyum	19
2.2.5.2. Bakır	19
2.2.5.3. Magnezyum	19
2.2.5.4. Çelik	19
2.2.5.5. Kalay ve kurşun	20
2.2.5.6. Titanyum	20
2.2.5.7. Zirkonyum	20
2.2.5.8. Berilyum	20
2.2.5.9. Nikel	20
2.2.5.10. Çinko	21
2.2.6. Ekstrüzyon makinesinin kısımları	21
2.2.6.1. Huni	21
2.2.6.2. Burgu	22
2.2.6.3. Kovan (Silindir)	23
2.2.6.4. Tek vidalı ekstrüder	23
2.2.6.5. Çift vidalı ekstrüder	23
2.2.6.6. Soğutma, vakumlama kısmı	24

2.2.6.7. Çekici	24
2.2.6.8. Hız kontrol sürücüsü	25
2.2.6.9. Redüktör	25
2.2.7. Ekstrüzyon kalıpları	25
2.2.7.1. Kalıpların özellikleri	26
2.2.7.2. Kalıpların sınıflandırılması	26
2.2.7.3. Kalıpların makineye entegrasyonu.....	29
2.3. Alüminyum.....	30
2.3.1. Sektör bakımından alüminyum	30
2.3.2. Alüminyum özellikleri	34
2.3.3. Alüminyum üretimi	36
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Deneysel Çalışmalar	39
3.1.1. Ekstrüzyon kalıbı tasarımı.....	39
3.1.2. Kalıp Malzemesi Seçimi	40
3.1.3. Kalıpların üretimi	42
3.1.4. Numune üretimi.....	43
3.1.5. Kalıplarda ekstrüzyon işleminin yapılması	43
4. SONUÇ	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ	49

KISALTMALAR

MG : Magnezyum
Al : Alüminyum





SİMGELER

- ε : Birim şekil değıştirme
 γ : Kayma birim şekil değışimi





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Ükelere Göre Alüminyum İthalatı (ASO, 2021).....	33
Tablo 2.2. Ükelere Göre Alüminyum İhracatı (ASO, 2021).....	34
Tablo 3.1. Ekstrüzyon takım malzemelerinin proses aşamasında sağlanması gereken şartlar.....	41





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. (a) Basma (b) Çekme (c) Kayma (Çakır, 2011)	3
Şekil 2.2. Haddelme yöntemi (Demirkol, 2010)	4
Şekil 2.3. Açık kalıpta dövme (Demirkol, 2010)	5
Şekil 2.4. Kapalı kalıpta dövme (Demirkol, 2010)	5
Şekil 2.5. Tel ve çubuk çekme yöntemi (Demirkol, 2010)	6
Şekil 2.6. Giyotin kesme (Kayaoğlu, 2019)	6
Şekil 2.7. Çevre kesme (Kayaoğlu, 2019)	7
Şekil 2.8. Delme (Kayaoğlu, 2019)	7
Şekil 2.9. V-Bükme işlemi (Kayaoğlu, 2019)	7
Şekil 2.10. Kenar bükme işlemi (Kayaoğlu, 2019)	8
Şekil 2.11. Derin çekme işlemi (Kayaoğlu, 2019)	8
Şekil 2.12. Pul taslak (Kayaoğlu, 2019) ve derin çekilmiş parça (Özcan, 2008)	9
Şekil 2.13. Gerdirerek şekillendirme işlemi (Demirkol, 2010)	9
Şekil 2.14. Sıvama Yöntemi (Demirkol, 2010)	9
Şekil 2.15. Patlama (Demirkol, 2010)	10
Şekil 2.16. Elektro-Hidrolik (Demirkol, 2010)	11
Şekil 2.17. Elektro-manyetik (Demirkol, 2010)	11
Şekil 2.18. Ekstrüzyon (Saha, 2000)	14
Şekil 2.19. Farklı kesitteki ekstrüzyon ürünleri (Özcan, 2008)	15
Şekil 2.20. Direkt Ekstrüzyon (Saral, 2005)	16
Şekil 2.21. Direkt ve indirekt ekstrüzyonun ram hareketiyle değişimi (Saha, 2000)	17
Şekil 2.22. İndirekt ekstrüzyon (Van Horn ve ark., 1967)	18
Şekil 2.23. Ekstrüzyon Hunisi (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	22
Şekil 2.24. Vida Çifti / Kovan (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	22
Şekil 2.25. Çift vidalı ekstrüder (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	24
Şekil 2.26. Çekici (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	24
Şekil 2.27. Ayar Plakalı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	27
Şekil 2.28. T Kanallı Kalıp (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	27
Şekil 2.29. Boru kalıbı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	28
Şekil 2.30. Profil Kalıbı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	29
Şekil 2.31. Kalıp Montajı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)	30
Şekil 2.32. Dünya Birincil Alüminyum Üretiminin Bölgesel Dağılımı 2020 (TALSAD, 2021)	31
Şekil 2.33. Biyet Tav Fırını (Çoşkun, 2019)	37
Şekil 3.1. Kalıp Statik Gerilim Gösterimi	40
Şekil 3.2. Kalıp Statik Gerilim Gösterimi	40
Şekil 3.3. 3D Kalıp Görseli	40
Şekil 3.4. H13 Mekanik Özellikleri	42
Şekil 3.5. Kalıp Görseli	43
Şekil 3.6. Numune Görseli	43
Şekil 3.7. 30 T Hidrolik Pres	44

Şekil 3.8. Deney yapılışı	44
Şekil 3.9. Isıtma Anı	44



LABORATUVAR TİPİ EXTRÜZYON MAKİNASI İMALATI

ÖZET

Günümüz dünyasında alüminyum metalinin önemi tartışılmaz boyutlara ulaşmıştır. Kaplar, levhalar, profiller ve levha kaplamaların üretimleri için alüminyum kullanımı, çevre kirleticiliği, hafriyat, binalar ve diğer yapılar için önemli bir malzemesidir. Son yıllarda, alüminyum ekstrüzyon makinelerinin imalatı, alüminyum metalin ucuz ve dayanıklı işlemleri için başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

Bu tez, laboratuvar ortamında kullanılan bir alüminyum ekstrüzyon makinesinin imalat sürecini ve performansını incelemektedir. Laboratuvar tipi ekstrüzyon makinesi, küçük ölçekli çalışmalar için tasarlanmıştır ve prototiplerin veya örneklerin üretilmesinde kullanılmaktadır.

Ekstrüzyon, imalat endüstrisinde sabit bir kesit profiline sahip nesneler oluşturmak için kullanılan bir işlemdir. Ekstrüzyon makinalarının kalıp tasarımı, ekstrüde edilmiş ürünün nihai şeklini ve kalitesini belirlediği için ekstrüzyon işleminin kritik bir yönüdür. Bir ekstrüzyon kalıbının tasarımı, ekstrüde edilen malzeme, istenen enine kesit profili ve ekstrüzyon işleminin hızı ve sıcaklığı dahil olmak üzere çeşitli faktörleri içerir. Kalıp tasarımı, ortaya çıkan ürünün tekdüze kalitede olmasını sağlamak için ekstrüde edilen malzemenin viskozitesi ve esnekliği gibi özelliklerini de dikkate almalıdır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımındaki gelişmeler, ekstrüzyon kalıplarını tasarlamayı ve optimize etmeyi kolaylaştırarak üreticilerin yüksek kaliteli ekstrüde ürünleri daha düşük maliyetle üretmesine olanak tanıdı.

Bu makinanın en önemli bölümlerinden olan kalıp tasarımı CATIA programı kullanılarak yapılmıştır ve CES Selector yazılımı için yukarıda belirlenen temel kriterler, literatür çalışmalarından ve yazılım kullanılarak minimum ve maksimum değerleri belirlenmiş ve yazılıma girilmiştir. Yazılım ve araştırmaların gösterdiği en uygun kalıp malzemesi H13 sıcak iş çelik malzemesi olmuştur.

Bu çalışmada kullanılacak olan Al ve Mg alaşımı, elektrikli direnç fırınlarında 730 C sıcaklıkta ergitme işlemleri yapılarak kokil kalıplara döküm uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Döküm formunu alan metal alaşımları, talaşlı imalat yapılarak numune üretilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sayesinde masaüstü boyutlarında ekstrüzyon makinesi ve kalıplarında numune çalışmalarının yapılmasını ve sonuçlarının hızlı bir şekilde elde edilmesine kolaylık sağlanmış olacaktır.

Bu tez, ekstrüzyon makinesi imalatıyla ilgilenen akademisyenlere, mühendislere ve endüstri profesyonellerine değerli bilgiler sunmaktadır. Ekstrüzyon makinesi tasarımı ve üretim süreçlerindeki iyileştirmeler, endüstriyel uygulamalarda daha etkili ve verimli üretim sağlama potansiyeline sahiptir.



LABORATORY TYPE EXTRUSION MACHINE MANUFACTURING

SUMMARY

Production can be defined as transforming the substances found in nature into products with the desired properties and shapes, it is also generally referred to as manufacturing methods. Production methods including many different methods include casting, welding, plastic forming, powder metallurgy, machining and rapid prototyping.

Exposing a solid object to stresses exceeding the yield strength with the help of tools called molds without deteriorating the crystal structure and without undergoing volumetric changes is called plastic deformation or plastic shaping. The most widely used method in plastic forming is the extrusion method.

Extrusion is divided into two. Direct extrusion is an extrusion method in which a material is shaped by passing it directly through a single die. In this method, the material is placed in the hopper of an extruder or machine. Then the material is pushed into the mold with the help of a screw or plunger. The material shaped as it passes through the die exits an exit hole with a predetermined cross-sectional shape.

Direct extrusion is often used for machining metal alloys, plastics or ceramics. The material is melted or softened in the heating zone of the extruder or machine and then cooled as it passes through the extrusion die. Direct extrusion is ideal for the production of high strength and complex shapes.

Indirect extrusion is an extrusion method in which the material is shaped with the help of an inside die. In this method, the material is placed inside a tube or tubular mold. Next, the material is pushed from the inside by a plunger or screw. The material takes the determined shape by passing through the holes of the mold and comes out of the mold.

Indirect extrusion is often used in the processing of soft materials, especially plastics and elastomers. The material is shaped and cooled as a result of the heating or softening process in the mold. This method is suitable for the manufacture of products with simple geometries.

The laboratory extruder is becoming an important tool in the facilities made in the laboratory environment by offering various advantages. In this way, new products and materials can be produced for trial purposes, designs can be optimized and production processes can be improved, and it is an important tool in materials and product development studies and is used for material properties improvement, characterization of new materials and analysis of product performance. In this way, studies conducted in the laboratory environment provide information and data for industrial applications.

This thesis focuses on the production process and performance evaluation of a laboratory type extruder made by direct extrusion, one of the aluminum production methods. The laboratory extruder is designed for small-scale operations and is used to produce prototypes or samples. The objective of this thesis is to provide a detailed examination of the design, manufacturing, and performance of the laboratory type

aluminum extrusion machine. Firstly, an overview of the basic principles of the extrusion process and aluminum extrusion technology will be presented. Subsequently, the design requirements for the laboratory type extrusion machine will be determined, and a design process will be followed.

During the design process, the components, dimensions, and materials of the laboratory type extrusion machine will be determined. The main components of the machine will include the extrusion heating system and mold system. The design process will ensure the functionality, usability, and safety of the machine.

During the manufacturing process, a prototype of the designed laboratory extruder will be produced. Mold material selection and sample production will be done. The performance evaluation will include the extrusion capacity, temperature control, production speed, and product quality of the machine. Other important factors such as safety measures and operational convenience will also be taken into consideration.

Extrusion is a process used in the manufacturing industry to create objects with a fixed cross section profile. Mold design of extruders is a critical aspect of the extrusion process as it determines the final shape and quality of the extruded product. The design of an extrusion die involves several factors, including the material being extruded, the desired cross-section profile, and the speed and temperature of the extrusion process. Mold design must also take into account properties such as viscosity and flexibility of the extruded material to ensure the resulting product is of uniform quality. Advances in computer-aided design (CAD) software have made it easier to design and optimize extrusion dies, allowing manufacturers to produce high-quality extruded products at a lower cost.

Cost is also an important factor in material selection for extrusion dies. Hot work tool steels with a tempering temperature of about 600°C (such as H13) are the primary materials used for extrusion dies and in direct contact with the workpiece. These materials are suitable because they provide a good combination of mechanical properties (wear resistance and strength) at elevated temperatures. Hot work tool steels can be used down to about 50°C below the tempering point, allowing them to perform properly in extrusion of a wide variety of materials such as aluminum, magnesium and zinc alloys. For extrusion materials with higher melting points, such as copper, the surface temperature of the tool in direct contact with the workpiece can reach 700°C and above, which is well above the softening temperature of hot work tool steel. Depending on the process and expected tool life, alternative materials such as superalloys and hot work tool steels with higher molybdenum and tungsten can be used.

The mold design, which is one of the most important parts of this machine, was made using the CATIA program and the basic criteria for CES Selector software were determined from the literature studies and the minimum and maximum values were determined and entered into the software. The most suitable mold material shown by software and research was H13 hot work steel material.

Al and Mg alloys to be used in this study were melted in electric resistance furnaces at a temperature of 730 C, and casting applications were carried out in permanent molds. Metal alloys that take the form of casting, samples are produced by machining. Thanks to these studies, it will be easier to carry out sample studies on desktop-sized extrusion machines and molds and to obtain the results quickly.

This thesis provides valuable information to academics, engineers and industry professionals interested in extruder manufacturing. Improvements in extruder design and production processes have the potential to provide more effective and efficient production in industrial applications. Also, in future studies, Sakarya University Metallurgical and Materials Engineering department will provide an extruder machine to focus on design optimization, material selection, more advanced control systems and integration of industry 4.0 technologies. further research will be provided.





1. GİRİŞ

Günümüzde insanoğlu, enerji kaynaklarını kullanmaya ihtiyaç duymaktadır ve bu kaynakları kullanamaması durumunda normal yaşamlarını devam ettirmesi mümkün değildir. Dünyada ise yenilenebilir kaynaklar dışındaki enerji kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle toplumun enerjiyi aktif ve tasarruflu bir şekilde kullanması gerekir. Ülkemizdeki enerji kaynaklarının giderek azalması enerjinin verimli kullanmasındaki önemini gittikçe arttırmaktadır. Enerjinin en yoğun kullanıldığı ağır sanayi sektörüne ilaveten enerji tüketen ürünler üretmesi ile sanayi sektöründe enerji verimliliği oldukça önem kazanmaktadır. Bu sektörlerde enerji tasarrufu sağlayan ürünlerin üretilmesi yasalarla zorunlu hale getirilmelidir (TMMOB Enerji Politikaları Temel İlkeleri, 2017).

Alüminyum, enerjinin aktif ve tasarruflu bir şekilde kullanılabilme özelliği açısından en önemli metallerden biridir. Alüminyum kullanımının artması ile büyük ölçüde enerji tasarrufu sağlanacaktır. Alüminyum hurdalarının geri dönüşüme kazandırılması da kullanımı kadar oldukça önemlidir.

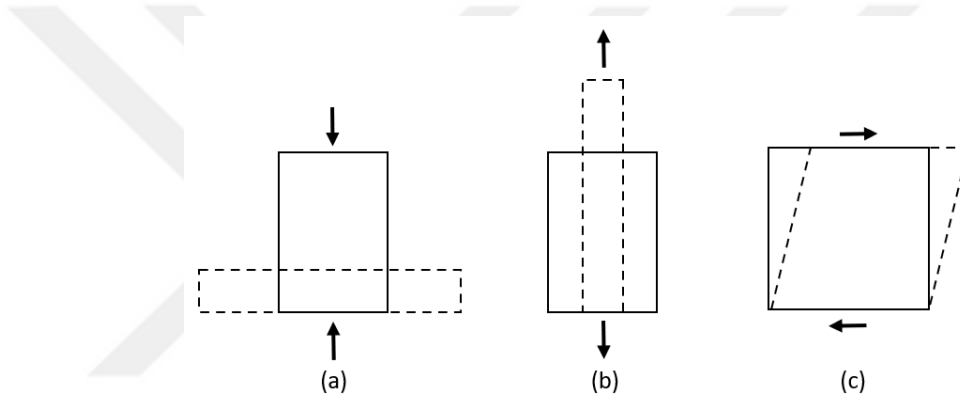
Tez kapsamında öncelikle teorik bilgilere yer verilmiştir. Plastik şekil verme, Ekstrüzyon ve Alüminyum gibi konular incelenerek detaylandırılmıştır. Plastik şekil vermenin temellerinden biri olan ekstrüzyon yöntemi esas alınmıştır. Bunun için bir ekstrüzyon kalıp tasarımı yapılmıştır. Ekstrüzyon sisteminin verimli bir sonuç elde edebilmesi için kalıp tasarımında kullanılan malzeme belirlenmiş olup daha sonra labratuar tipi alüminyum ekstrüzyon makinesinde bu kalıpla numuneler üretilmiştir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Plastik Şekil Verme

Katı bir cismin kristal yapısının bozulmadan, hacimsel değişikliğe uğramadan kalıp olarak isimlendirilen takımlar yardımıyla akma dayanımlarını aşan gerilmelere maruz bırakılmasına plastik deformasyon ya da plastik şekil verme denir (Çakır, 2011). Malzemeye etkileyen kuvvet; malzemenin çekme, kesme ve basma şeklinde deformasyona uğramasına neden olur.



Şekil 2.1. (a) Basma (b) Çekme (c) Kayma (Çakır, 2011)

Plastik şekil değiştirme yöntemindeki yapılan gerilmeler genellikle basma gerilmeleridir. Çekme testinde, hareketli bir kafa ile malzemeye tek yönlü bir yük uygulanmaktadır. Bu kafanın hareketi hidrolik sistem ya da vidayla sağlanmaktadır. Uygulama sonucunda gerçekleşen birim şekil değişimi formül 2.1’de belirtilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0} \quad (2.1)$$

ε değeri çekmede pozitif, basmada ise negatif çıkmaktadır. Kayma birim şekil değişimi ise formül 2.2’te belirtilmektedir.

$$\gamma = \frac{\phi c}{L} \quad (2.2)$$

2.1.1. Plastik şekil vermenin sınıflandırılması

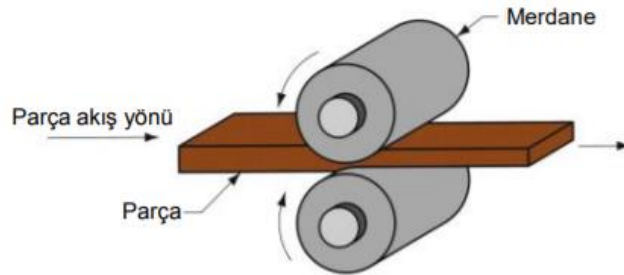
Plastik şekil verme yöntemleri yüzey alanı/hacim oranına göre ikiye ayrılmaktadır. Bu oran kütleli şekil verme yönteminde düşük, sac şekillendirme yönteminde ise büyüktür.

2.1.1.1. Kütleli

Plastik şekil verme yöntemlerinden birisi kütleli olarak şekil vermedir. Bu yöntemde çoğunlukla, çok büyük değişiklik ve hacimsel geometri değişimleri meydana gelir. Yüzey/hacim oranı düşüktür. Başlangıç iş çubukları çoğunlukla silindirik demir veya prizmatik kütük veya dikdörtgen çubuklardır.

Haddeleme

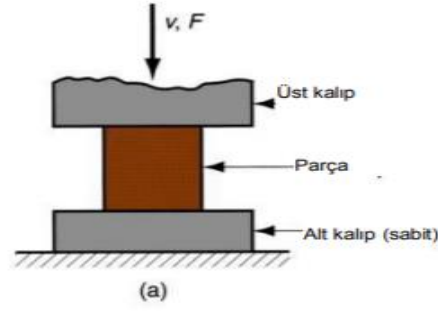
Slab, blum veya kütük halindeki metal kalınlığının, karşılıklı dönen iki merdane arasında sıkıştırılarak basma kuvveti etkisiyle düşürüldüğü plastik şekil verme yöntemine haddeleme denir. Haddeleme yönteminde sıcaklığın önemi oldukça büyüktür. Dolayısıyla, haddeleme yöntemi iki bölüme ayrılır: sıcak ve soğuk haddeleme. Yaygın olarak sıcak haddeleme yöntemi kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Haddeleme yöntemi (Demirkol, 2010)

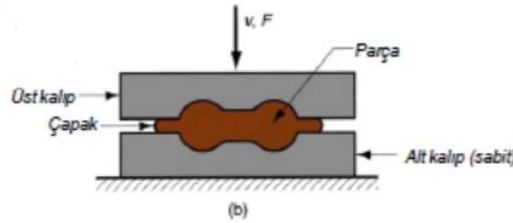
Dövme

Tarihi çok eskilere dayanan dövme, iş parçasının iki kalıp arasında darbeli veya darbesiz şekilde sadece basma kuvvetinin etkisiyle gerçekleşen bir yöntemdir. Sıcak veya soğuk dövme olarak iki kısma ayrılmaktadır. Açık kalıpta dövme yöntemi temel dövme prosesidir. İki kalıp arasında oluşturulan parçalar, baskı kuvveti ile basit ve genellikle düz bir şekle sahiptir.



Şekil 2.3. Açık kalıpta dövme (Demirkol, 2010)

Diğer işlem olan kapalı kalıpta dövmede ise kalıp, iş parçasını içine alacak şekilde boşluk veya bölümler içerir.



Şekil 2.4. Kapalı kalıpta dövme (Demirkol, 2010)

Ekstrüzyon

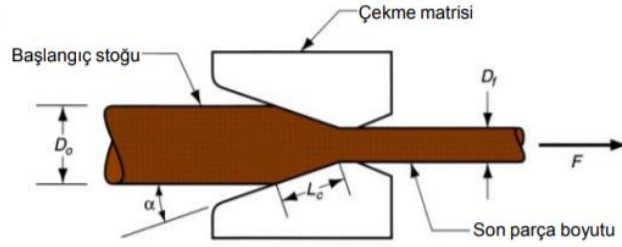
Ekstrüzyon, metal bloğun kovanların içerisine yerleştirilmesiyle, ıstampa kullanılarak basınç altında belirli profillere sahip bir kalıptan geçirilerek şekillendirilmesi olarak tanımlanır (Çetinarslan, 2003). Sıcak ekstrüzyon genellikle metal içerikli malzemeler için kullanılır. Soğuk ekstrüzyon ise kalay ve kurşun gibi yumuşak yapıli malzemeler için kullanılır.

Yaygın olarak ekstrüderler, tüplerin ve silindirik çubukların imalatında kullanılır. Ekstrüzyon, soğuk ve sıcak olmak üzere 2 ısı türünde şekil verilebilir. Beş tür ekstrüzyon yöntemi bulunmaktadır: direkt, indirekt, hidrostatik ve enjeksiyonlu. Modern çağda yaygın olarak kullanılan ekstrüzyon yöntemleri direkt ve indirekt ekstrüzyondur. Ekstrüzyon ilerleyen bölümlerde detaylı olarak tekrar incelenecektir.

Tel ve çubuk çekme

İş parçasının kalıp içerisinden geçirilebilmesi için parçanın çıkış ucundan çekme kuvveti yardımı ile kalıbın temas yüzeyinde oluşan dolaylı basınç gerilmesidir. Çekme yönteminde, malzemenin matris kalıbından geçirilmesiyle kesitler küçültülür ve şekillendirilir. Bu değişimi sağlamak için çıkış yüzeyinden parçaya çekme gücü

uygulanır. Çekme yöntemi ile genelde aksel ya da dairesel simetriye sahip ürünler elde edilir. Bu işlem, yüksek yüzey kalitesi ve boyutsal doğruluk elde etmek için uygundur. Hammadde olarak ekstrüzyon, haddeleme veya diğer işlemlerle oluşturulan ara malzemeler kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Tel ve çubuk çekme yöntemi (Demirkol, 2010)

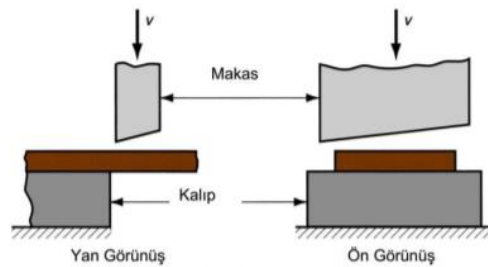
Çıktıda edinilen ürünün kesit büyüklüğü ve biçimiyle bağlantılı olarak yöntem; tel, çubuk ve boru çekme başlıkları altından incelenebilir. Çekme işlemi soğuk veya sıcak yapılabilir. Fakat, genelde soğuk tercih edilmektedir (Çetinarslan, 2003).

2.1.1.2. Sac şekillendirme yöntemleri

Çoğunlukla ince metal saclarda meydana gelen kesme ve bükme işlemleridir. Yüzey oranı/hacim oranı büyüktür. Proses çoğunlukla soğuk şekil verme olarak gerçekleştirilmektedir.

Kesme

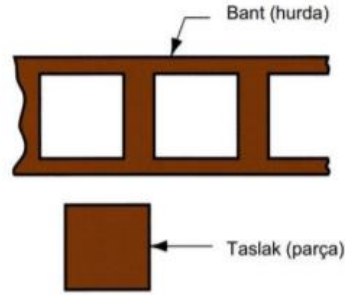
Kesme veya bir diğer adıyla makaslama işlemi, biri sabit iken diğeri hareketli iki kenar arasında düz bir hat boyunca metallin ayrılması işlemidir. Zımbalama işlemi, zımba ve zımbaya uyan matris arasında sacın zorlanmasıyla kesilme sürecidir.



Şekil 2.6. Giyotin kesme (Kayaoğlu, 2019)

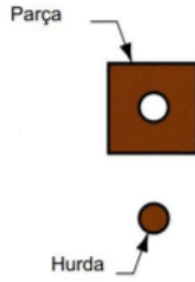
Kesim sırasında bıçaklar aynı yönde birbirlerine doğru yaklaşmaya başladığında plakanın her iki tarafından uygulanan kuvvet nedeniyle değişim başlamış olur ve

kopma gerçekteşir. Kesme işlemleri sırasında hareketli kısım altlık üzerinde, sabit kısım ise kalıp üzerinde durmaktadır.



Şekil 2.7. Çevre kesme (Kayaoğlu, 2019)

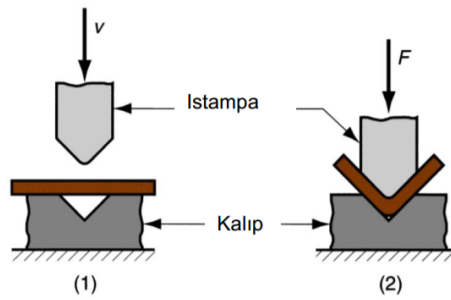
Çevre kesme, uç kesme, çentik açma, ayırma, etek kesme, delme, yarma ve hassas kesme başlıca kesme işlemlerindendir.



Şekil 2.8. Delme (Kayaoğlu, 2019)

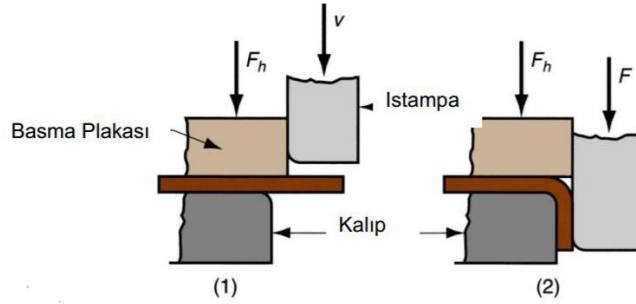
Bükme

Bükme işlemi, sacın bir eksen çevresinde eğim gerilmeleri uygulanarak yapılan bir işlemdir. Sacın içi basma, dış yüzeyi ise çekme gerilmeleri altında şekillendirilir. En çok kullanılan bükme işlemleri ise V-bükme ve kenar bükmedir.



Şekil 2.9. V-Bükme işlemi (Kayaoğlu, 2019)

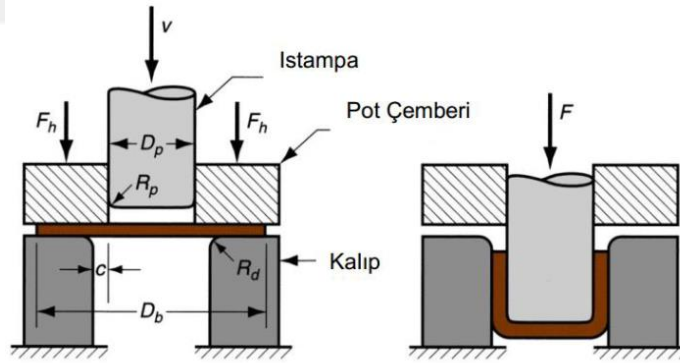
Bükme, bir makineyle (caka, abkant) ya da bir prese bağlı zımbalarla yapılmaktadır. Caka esas olarak ince sacları bükmek için kullanılırken, büyük sacların presinde abkant kullanılır. Kıvrırma işlemi için ya kıvrırmaya özel bir tezgâh ya da kıvrırma için kullanılan zımbalarla yapılmaktadır.



Şekil 2.10. Kenar bükme işlemi (Kayaoğlu, 2019)

Derin Çekme

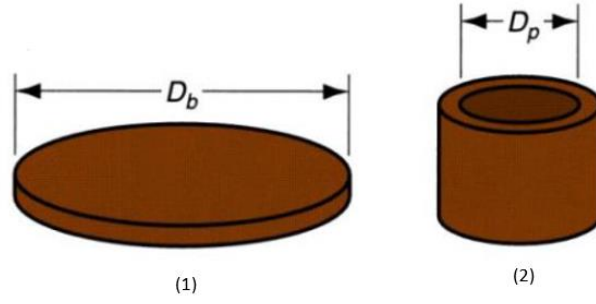
Derin çekme yöntemi, düz saclardan karmaşık ve basit kutu, kap ve başka şekillerin malzemelerinin üretiminde kullanılmaktadır. Bu işlem soğuk bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Genellikle mermi kovanları, metal içecek kutuları, otomotiv sac malzemeleri imalında kullanılır.



Şekil 2.11. Derin çekme işlemi (Kayaoğlu, 2019)

Derin çekme işlemi pot çemberi kullanılarak tamamlanır. Önce gerekli boyutta taslak pul kesilir ve kalıbın üzerine yerleştirilir. Daha sonra bunun üzerine pot çemberiyle bastırılır ve işleme devam edilir.

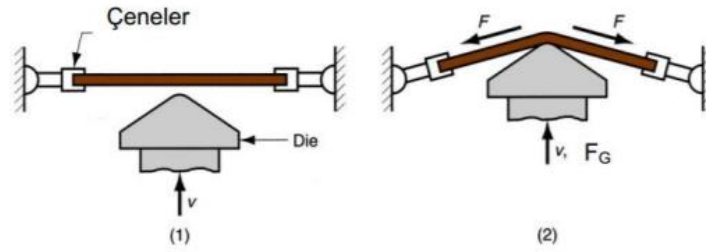
Bu yöntemin çıktısı amaçlanan yapıda olmaması halinde diğer derin çekme yöntemleri uygulanmaktadır: tersine deformasyon, tekrar derin çekme, basınçla ezerek ütüleme. Ütüleme prosesi sırasında çapta bir değişiklik olmaz ama kalınlıkta bir azalış olmaktadır. Tersine deformasyonda ise parçanın iç çapı değiştirilir.



Şekil 2.12. Pul taslak (Kayaoğlu, 2019) ve derin çekilmiş parça (Özcan, 2008)

Gerdirek şekillendirme işlemi

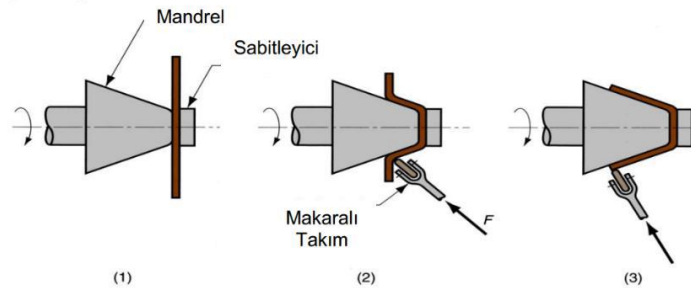
Sacın uç kısımlarından çeneler vasıtasıyla tutulur ve hareketine izin verilmez. Sonrasında kalıpta gerilen saca basınç ile kalıp şekli alması amaçlanır.



Şekil 2.13. Gerdirek şekillendirme işlemi (Demirkol, 2010)

Sıvama Yöntemi

Kademeli olarak gerçekleştirilen bu yöntem eksen bakımından simetrik parçalar üretmeye uygundur. Sıvama yönteminin geleneksel, keserek ve tüp olmak üzere üç türü bulunmaktadır.



Şekil 2.14. Sıvama Yöntemi (Demirkol, 2010)

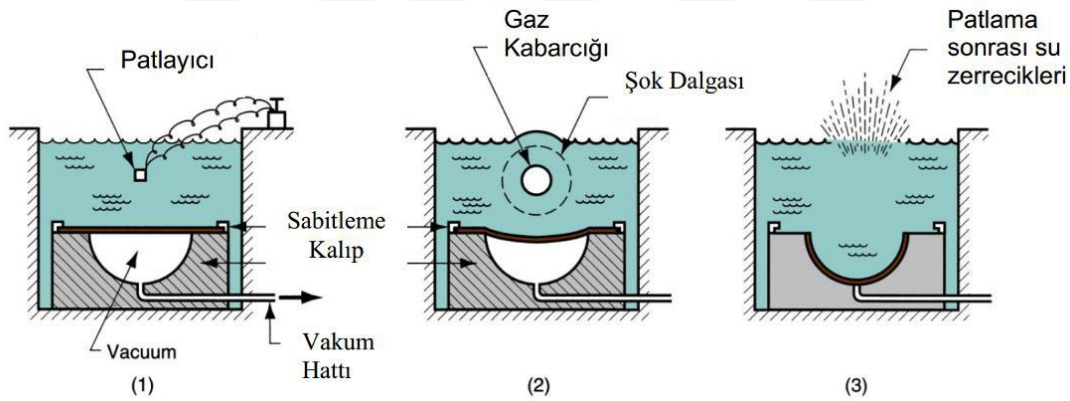
Şekil 2.14'te görüldüğü üzere mekanizmaya tuturulan kalıp ya da mandrel, yuvarlak sac baskı yardımıyla kalıbın üstüne basınç uygulanarak sabitlenir. Kalıp sabitleyici ve pulla beraber döndürülürken, sacın üstüne tahta veya makara gibi bir alet ile baskı

uygulanır. Bu doğrultuda sac, kalıp ya da mandrelin üstüne gelmesi amaçlanarak çalıştırılır.

Herf şekillendirme

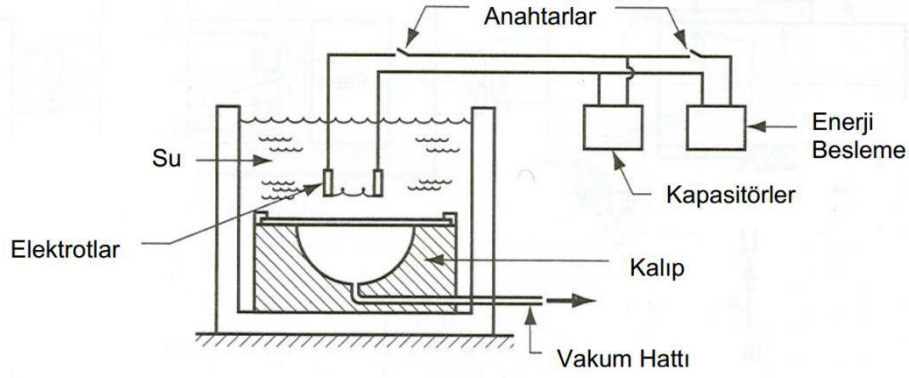
Güçlü darbeler oluşturularak ani zorlamalar ile prosesin uzun sürmediği bir işlemdir. Uygulama yöntemiyle bağlantılı olarak patlama, elektro-hidrolik ve elektro-manyetik olmak üzere üç türü bulunmaktadır.

Güvenlik nedeniyle patlama ile şekillendirme yöntemi su içerisinde gerçekleştirilmektedir. Suyun içine kalıp, kalıbın üstüne sac yerleştirildikten sonra en üste patlayıcı konulur. Patlayıcının patlamasıyla gaz yayılır ve şok dalgaları ortaya çıkar. Patlamayla birlikte malzemeye şok etkisi oluşturur ve alta konulan kalıbın iç yüzeyinin şekli alması sağlanır. Alta vakum uygulamak işlemi kolaylaştırır, vakum aynı zamanda içeride hava kalmasının da önüne geçer (Groover, 2010).



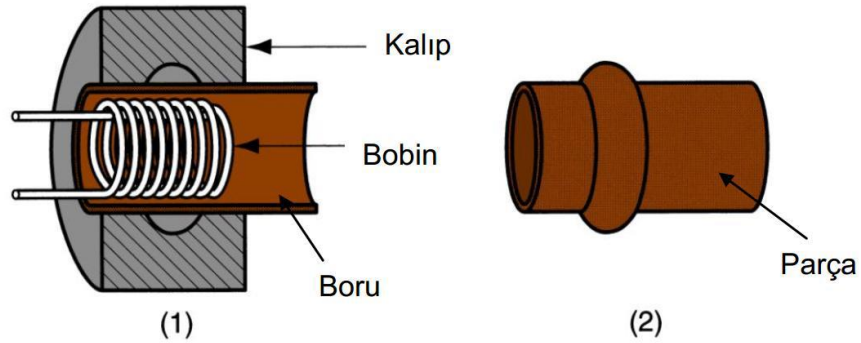
Şekil 2.15. Patlama (Demirkol, 2010)

Patlamayla benzer olarak elektro-hidrolik şekillendirme yönteminde proses yine su altında elektriğin re-charge (deşarj) edilerek 2 elektrot arasında gerçekleşir. Kapasitörlerle içerideki elektrik enerjisi biriktirilir. Akım anında şok etkileri oluşur ve itmek kuvveti ile kalıp biçimi alması amaçlanır (Groover, 2010).



Şekil 2.16. Elektro-Hidrolik (Demirkol, 2010)

Üçüncü bir yöntem olan elektro-manyetik yönteminde basınç/ani zorlama etkisi manyetik ile oluşturulur. Manyetik alanı oluşturmak için bobinden geçirilen elektrik akımı yaratılır. Oluşturulan manyetik alandan baskı uygulanır, akımın enerjisine göre bu baskılar tekrarlanır. Bu doğrultuda kalıbın biçimi alması amaçlanır (Groover, 2010).



Şekil 2.17. Elektro-manyetik (Demirkol, 2010)

2.2. Ekstrüzyon

2.2.1. Ekstrüzyonun kısa tarihi

Ekstrüzyon, modern bir işlem olmasına rağmen, 1886'da Hall ve Heroult tarafından eşzamanlı metali boksitten çıkarmak üzere kullanılan elektrolitkin icadıyla birlikte ticari olarak mevcut hale gelen alüminyumun gelişmesinin öncesine kadar uzanır (Sheppard, 1999). Alüminyum parçalarının son derece karmaşık şekillere dönüştürülebildiği endüstriyel yöntemler arasında ekstrüzyonun rakibi yoktur ve kendisini büyük bir endüstriyel süreç olarak sağlam bir şekilde kurmuştur. Backus ve diğerleri (1998) 1797'de Joseph Bramah'ın, yumuşak metallerden boru yapmak için ilk ekstrüzyon işleminin patentini aldığını aktarır. Bu işlem, metalin önceden

ısıtılmasını ve ardından elle çalıştırılan bir piston aracılığıyla bir kalıptan geçirilmesini içeriyordu. 1820'de Thomas Burr, kurşun boru için bu işlemi bir hidrolik presle uygulamıştır. O zaman süreç "fışkırtma" olarak adlandırılmıştı. Daha sonra 1894'te Alexander Dick, ekstrüzyon işlemini bakır ve pirinç alaşımlarına genişletmiştir.

İlk zamanlarda ekstrüzyon ilkeleri, 1797'de verilen bir patentte, demir bir kapta erimiş halde tutulan kurşunun bir pompa tarafından uzun bir süre zorlandığı bir pres tarif eden ünlü hidrolik mühendisi Joseph Bramah tarafından tanımlandı: Demir bir kapta erimiş halde tutulan kurşunun bir pompa ile kalıp görevi gören uzun bir çıkıntılı tüpe zorlanan bir basınç. Konik bir mandrel, genişletilmiş ucunda bir köprü ile boruyla eşmerkezli olarak desteklenmiştir. Tüp ve mandrel arasındaki halka şeklindeki boşluktan geçen kurşun, çıkışa yaklaştıkça dış muhafazanın içindeki yakıt gazları tarafından erimiş halde tutulur, burada katılaşması için soğutulurdu, böylece bir boru şeklinde ortaya çıkardı. Böyle bir makinenin hiç tatmin edici bir şekilde çalışıp çalışmadığı şüpheli olsa da, ekstrüzyon fikrini içeren bir makinenin ilk kaydını sağlamaya dikkat çekilmiş ve aynı zamanda kalıp döküm fikri de ortaya atılmıştır. 1820'de Shrewsburyli bir tesisatçı olan Thomas Burr, hidrolik güçle çalışan bir pres inşa ettiğinde, ekstrüzyonla kurşun boru imalatı fiili faaliyete henüz geçmemişti.

1863'te Shaw, önceden dökümlü içi boş kurşun kütüklerin, içinde kalaydan yapılmış bir kovanla, soğuk olarak yüklendiği bir pres kullandı. Bu türden birkaç kütük presi tasarlandı, ancak kayıtlar, boruda tek tip bir kalay kaplaması sağlamak için doğru matris şekline ulaşmada oldukça zorluklarla karşılaşıldığını gösteriyor. Bu işlem için kayda değer bir pres 1867'de Fransa'da Hamon tarafından icat edilmiştir, birçok gelişmiş özelliği bulunan bu icadın başlıca özellikleri şunlardır:

- Ekstrüzyon tokmağının üzerinde hareket ettiği, içine farklı boyutlarda vidalanabilen sabit bir mandrel çubuğu kullanıldı.
- Kap, sıcaklığını yaklaşık 210°C'ye yükseltmek için içinden buhar veya sıcak gazların dolaştırılabileceği dış cephesinde kanallarla yapılmıştır. Bu, ısıtılmış bir kap kullanımının ilk örneğini sağlar. Teneke kovanın erimesini önlemek için sıcaklığın hassas bir şekilde ayarlanmasını vurgulayan Hamon, bir pirometre kullanılmasını önermiştir.
- Kalıbı ve kalıp tutucuyu, kilitli olduğu konteynere karşı pozisyona getirmek için yardımcı bir hidrolik şahmerdan kullanılmıştır.

- Hidrolik sisteme akümülatör eklenmiştir. Hidrolik akümülatör 1840'ta Sir William Armstrong tarafından icat edilmiş olmasına rağmen, bundan önce ekstrüzyonla ilişkili kullanımına dair herhangi bir kanıt yoktur.

Boru presinin evrimindeki bir sonraki aşama, J. Haines ve W. Weems tarafından her ikisinin de 1870'te dolaylı ekstrüzyon yönteminin tanıtılmasıyla geldi. Bu yöntemin çok daha sonraki bir tarihte bakır alaşımlarına uygulanmasıyla, matristeki deformasyon akışını değiştirme ve dolayısıyla bu malzemede yaygın olan arka uç eğiminin yüksek etkisine sahip olduğu gösterildi (Sheppard, 1999).

Avrupa'da 1800 ve 1900lerde buharlı makinaların üretilmesiyle makineleşen bir endüstriyle karşılaşılıyor ve kazanımlarıyla birlikte bu dönemin adı "Sanayi Devrimi" olarak tanımlanıyor. Ekstrüzyon ve diğer birçok yeni sanayileşme işlemlerine rastlamak şaşırtıcı olmayacaktır. Modern bir işlem olmasına rağmen yukarıda da anlaşılabacağı üzere ekstrüzyon işleminin geçmişi eskilere dayanmaktadır. Günümüz dünyasında oldukça aktif bir şekilde ve çeşitli alanlarda kullanılan ekstrüzyonu anlatmaya geçmeden önce imalat kavramına bakmanın yararlı olacağı aşikardır.

2.2.2. İmalat

Genel olarak imalat kavramı hammaddelerin işlenmesiyle amaç doğrultusunda belli bir ürünün elde edilmesi olarak tanımlanır ve üç bölümden oluşur: hammadde, işlem ve ürün.

Geniş bir yöntem/diyeplin olduğundan Makine ve İmalat Mühendisliğinin yanı sıra, gayesi talep karşılamak olan diğer birçok dala da öncülük ettiğini aktarılmaktadır (Goetsch, 1991). Proses aşamasına geçebilmek için enerji, zaman ve fiziki kaynağa ihtiyaç vardır. Prosesin ilk basamağını tasarım alır. Odak noktasına tasarım konularak, farklı aşamalar planlanarak proses sürecinde yerine konur. Bu aşamaların dikkate alınması verim ve üretim açısından oldukça önemlidir. Aynı zamanda satış ve pazarlama bölümünde etkin bir rol oynarlar. Final aşaması olan sonuç kısmında ise, diğer ürünlerle desteklenerek kullanılmak üzere ürünün alıcıya ulaştırılması hedeflenir.

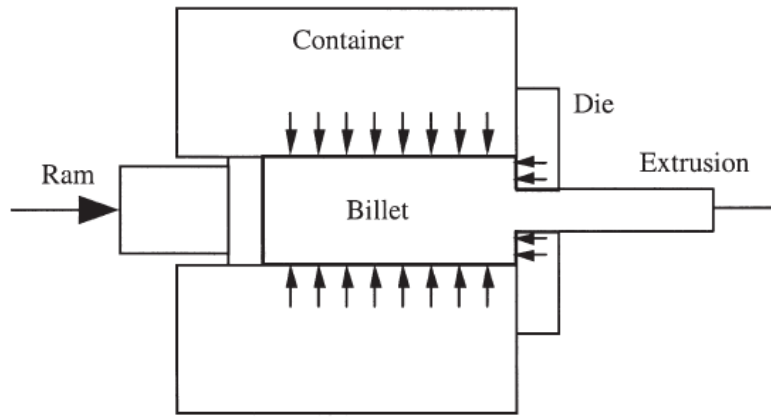
2.2.2.1. İmalatta sınıflandırma

Gelişen teknolojiyle birlikte daha kaliteli ürünlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu ürünler insanları, ucuz ve seri üretime olanak tanıyan metotlar üstünde çalışmaya sevk etmiştir.

İnsanoğlu hep daha kolayını yapma arzusuyla yeni icatlar üretmiş, bunu hızlı ve pahalı olmayan yöntemler ile yapmaya çalışmıştır. Bu dürtüyle hep daha iyisini ve daha lüksünü aramıştır. Bu sebeptendir ki onları memnun etme işi üreticilerin ellerine bırakılmıştır. Üreticilerin en önemli görevi çağın ve kaynakların imkanlarıyla daha iyisini en doğru biçimde yapmak için gereksinim duyulan bilgi hazinesine ulaşmaktır. Üretici olarak mühendisler bu konuda büyük rol oynamaktadırlar. Mühendislik alanı kapsamında imalat kavramının sınıflandırılması dış ve iç dönüşümler olmak üzere iki başlığa bölmek yanlış olmayacaktır (Mısırlı, 2006).

2.2.3. Ekstrüzyonun tanımı

Ekstrüzyon dolaylı bir sıkıştırma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bir metal bloğunun sıkıştırma yoluyla küçük alanlı kalıbın boşluğundan gitmeye mecbur bırakıldığı bir plastik dönüşüm işlemidir. Dolaylı sıkıştırıcı kuvvet, biyet ile matris ve kap arasındaki reaksiyon yoluyla gelişmektedir ve bu kuvvetler oldukça yüksek seviyelere gelirler. Yöntem ve alaşımla bağlantılı olarak soğuk veya sıcak şekilde gerçekleştirilebilir. Plastik deformasyonu kolaylaştırmak için sıcak ekstrüzyon işleminde billet, ön ısıtmaya tutulur. Ekstrüzyon işleminin prensibi şekil 2.18’de aktarılmıştır.



Şekil 2.18. Ekstrüzyon (Saha, 2000)

Söz konusu işlem ekstrüzyon; boru, çubuk, şerit ve pek çok boşluklu ve dolu profillerin imalatına imkân sağlar (Çapan, 1999). Ekstrüzyon yöntemi ile Şekil 2.18’de görüldüğü gibi 5-200 mm çapında çubuk, iç çapı 800 mm’ye kadar ve et kalınlığı 1,5-8 mm kalınlığındaki boru ve şerit gibi uzun yapıları ürünler olmak üzere pek çok kesitte şekiller elde edilebilmektedir (Özcan, 2008).



Şekil 2.19. Farklı kesitteki ekstrüzyon ürünleri (Özcan, 2008)

Ekstrüzyon yönteminde kullanılan malzemenin alaşım ve yöntemine göre soğuk veya sıcak olarak şekil verilebilmektedir. Ekstrüzyon prosesinde çoğunlukla sıcak ekstrüzyon yöntemi kullanılmaktadır. Sıcak ekstrüzyon yöntemi, malzemenin sertleşmesini önler ve malzemenin kalıba doğru itilmesini kolaylaştırır. Metalin erime noktasının yaklaşık %50 ila %75'i gibi oldukça yüksek sıcaklıklarda ancak malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında ve 35-700 MPa basınç altında yapılmaktadır.

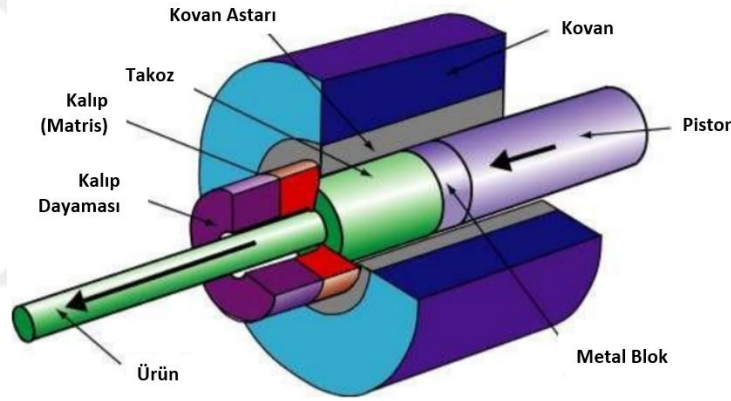
Soğuk ekstrüzyon yöntemi ise sıcak ekstrüzyonda kullanılan aşırı sıcaklığa kıyasla aşırı soğuk bir şekilde yapılmaz. Genellikle oda sıcaklığında yapılır. Soğuk dövme veya soğuk presleme olarak da bilinir. Başlangıç malzemesinin oda sıcaklığında itme yoluyla sıkıştırılmış bir plastik şekil verme işlemidir. Bu işlem sırasında oksidasyon gerçekleşmez, sıcak ekstrüzyona kıyasla daha yüksek mukavemet ve iyi yüzey kalitesi sağlamaktadır. Bakır, çelik, kalay, titanyum ve alüminyum alaşımları gibi malzemeler soğuk ekstrüde edilebilir. Bu işlem ile üretilen malzemeler silindir, otomobil pistonu, yangın söndürücü ve alüminyum kutu üretimi için kullanılır (Duran ve Özdemir, 2016).

2.2.4. Ekstrüzyonun çeşitleri

Sönmez (1989) kuvvetin iletilişi ve akışın yönüne bağlı olarak ekstrüzyon yöntemlerini dört sınıfa ayırmaktadır: direkt, indirekt, püskürtmeli, hidrostatik. Günümüze bakıldığında yaygın olarak direkt ve indirekt ekstrüzyon yöntemleri kullanılıyor.

2.2.4.1. Direkt ekstrüzyon

Direkt ekstrüzyon yönteminde kovan içerisindeki ısıtılmış biyet, ıstampa vasıtasıyla itilerek matris profilinden geçirilir ve biyetin kovandan çıkması olarak tanımlanır (Saral, 2005). Şekil 2.20’de gösterildiği üzere bu yöntemde ıstampanın hareketinin yönü ile biyetin akış yönüyle birebirdir. Kalıp ve kovan sabit kalmaktadır. Biyetin kovan içerisine itilmesi sırasındaki sürtünme kuvveti oldukça fazladır. Dolayısıyla ıstampanın, sürtünme kuvvetine karşılık daha fazla basınç uygulaması gerekmektedir. Biyetin tamamı kovan içerisinden geçirilemez ve artık malzeme (ara iş) olarak kesilmesi gerekir. Artık malzeme geri dönüştürülmek üzere gönderilir. Oluşan sürtünme kuvveti presin oldukça artmasına neden olmakla birlikte direkt ekstrüzyon esnasında yük ya da basınç ilerleme eğrisi Şekil 2.21’de görüldüğü şekildedir. Direkt ekstrüzyon yöntemiyle pek çok farklı ve çeşitli kesitlerde ürün üretmek mümkündür.



Şekil 2.20. Direkt Ekstrüzyon (Saral, 2005)

Genel olarak bu işlem 3 bölümden oluşmaktadır (Saha, 2000):

1. Billet bozulur ve basınç kuvveti hızlı bir şekilde yüksek seviyelere gelir.
2. Basınç düşer ve kararlı halde ekstrüzyon devam eder.
3. Basınç minimum değerine ulaşır ve ardından “atma” sıkıştırılırken keskin bir artış olur.

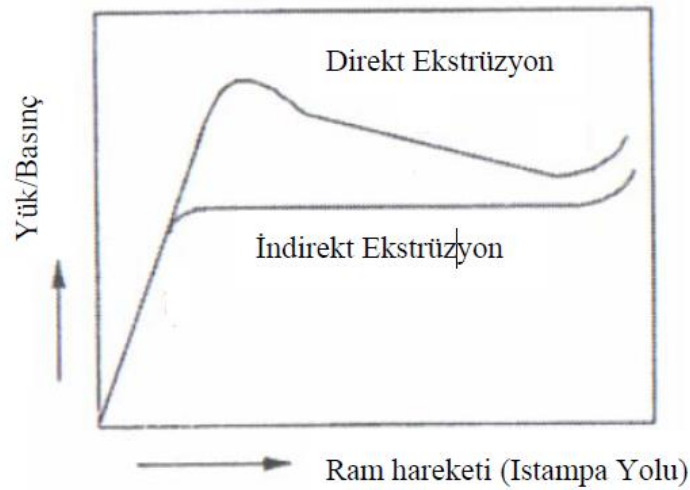
Bu yöntemin takım düzenlemesi kolay ve işletme açısından basit olduğundan çokça kullanılan bir yöntemdir. Direkt ekstrüzyonun diğerlerine göre avantajları ve dezavantajlarını değinmekte yarar var. Saral (2005) şöyle aktarmaktadır:

Avantajları:

- Takım düzenlemesi basittir ve işletme yönünden oldukça kolaylık sağlamaya yarar.
- Farklı ve çeşitli kesitlerde ürünlerin imal edilmesini sağlar.

Dezavantajları:

- Öteki yöntemlere göre sürtünme kuvveti sebebiyle daha fazla basınç uygular.
- Ekstrüze edebilme hızı öbürlerine göre düşük bir düzeydedir.
- Biyetin kovan çekirdeğine sürtünmesinden dolayı kovan çekirdeğindeki hasar daha fazladır.
- Sürtünmenin fazla olmasından kaynaklı sıcaklık düzeyi de artmaktadır.
- Artık malzeme fazladır.
- Takımların ömürleri kısadır.

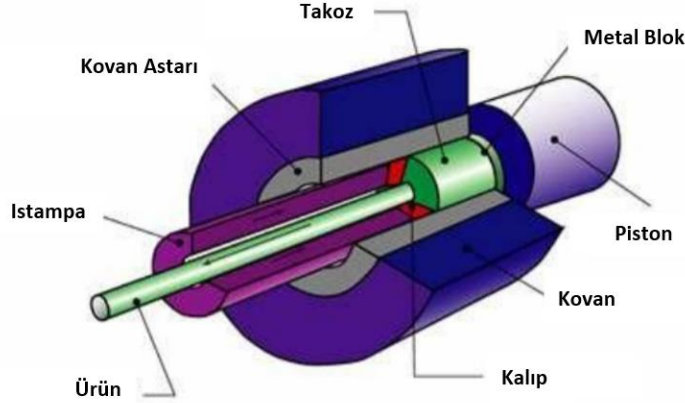


Şekil 2.21. Direkt ve indirekt ekstrüzyonun ram hareketiyle değişimi (Saha, 2000)

2.2.4.2. İndirekt ekstrüzyon

İndirekt ekstrüzyon yönteminin direkt ekstrüzyon yönteminden farkı biyet, kovanın içerisine yerleştirilir ve işlem boyunca sabit kalır. Bu sayede biyet ile kovan arasında sürtünme meydana gelmez. Sürtünmenin ortadan kalkması sonucunda daha uzun profil elde etme imkânı sağlar. Istampanın hareket yönü ile biyetin akış yönü birbirlerine zıttır. Kovan, kalıba doğru itilebildiği gibi kalıpta kovan içerisinde hareket edebilir. İndirekt ekstrüzyonda metal akışı daha düzenlidir ve ekstrüzyonda meydana gelebilecek hata oranı düşüktür. Bu sayede kalitesi yüksek ürünlerin üretilmesine

olanak sağlar. Kalıp ucu boş bir ıstampaya yerleştirildiğinden dolayı uygulama alanı kısıtlıdır.



Şekil 2.22. İndirekt ekstrüzyon (Van Horn ve ark., 1967)

İndirekt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

- Artık malzeme miktarı daha azdır.
- Ekstrüzyon hızı başka yöntemlere göre hızlı olduğu gözlemlenmektedir.
- Sürtünme kuvveti olmadığından dolayı daha uzun profiller elde edilebilir.
- Malzeme akışının daha düzenli olmasından kaynaklı kaliteli ürün üretilmektedir.
- Takım ömürleri uzundur.

İndirekt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

- Uzun profillerin imalatı sırasında ısınma süresinin gecikmesine sebep olabilir.
- Takım düzenlemesi direkt ekstrüzyona kıyasla daha zordur.
- Kalıbın ucu boş ıstampaya yerleştirilmesinden dolayı farklı kesitlerde ürün üretilmemektedir (Saral, 2005).

2.2.5. Ekstrüzyon yönteminde kullanılan malzemeler

Plastik şekil verme metotlarıyla kullanılan malzemelerin hepsi ekstrüzyon prosesinde de kullanılabilir. Prosese girdikten sonra sadece bazı malzemeler ekstrüde edilebiliyor. Ekstrüzyonda kullanılan malzemelerin çeşit bakımından genişlemesi/çoğalması ekstrüzyon presleri ile doğru orantılı olmuştur. Modern

dünyada ekstrüde edilebilen malzemeler kadar ekstrüzyon malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ekstrüzyon prosesinde ekstrüde edilebilen alaşımlar oldukça büyük değişkenlik göstermektedirler. Bazıları olumlu eğilim gösterirken birtakım zorluklar oluşturmaktadır. Farklı sıcaklıklarda zorluk oluştururlar; özel bir tasarım ve takım donanımı gerektirirler. Gerekçe olarak, sıcaklık derecesi, sertlik ve hız sunulabilir (Sönmez, 1989).

2.2.5.1. Alüminyum

Pek çok mühim özellikleri ve hafif yapıları sebebiyle ekstrüzyonda alüminyum, en çok kullanılanların arasında bulunur. Tüm alüminyum alaşımları ekstrüzyon yöntemine uygundur ve 300 – 600 C’de yapılmaktadır. Alüminyum ekstrüzyon ilerleyen bölümlerde daha geniş olarak ele alınacaktır.

2.2.5.2. Bakır

Bakır ve türevi alaşımlar 600 – 1000 C sıcaklıkta ekstrüzyon edilen malzemeler arasındadır. Bakır çeşitli alaşımlarla kullanılabilir: kalay, alüminyum, çinko, nikel-çinko, nikel.

2.2.5.3. Magnezyum

Özellikleri açısından alüminyum alaşımlarla benzerlik göstermektedir. Mukavemet ile yoğunluk değerleri bakımından oldukça sabit ve uygun değerler mevcuttur. Bu sebeple, uzay, havacılık ve reaktör teknolojilerinde kullanılabilir. Hegzagonal kristal özelliğinden dolayı alüminyuma göre çok zor ekstrüze edilebilme derecesine sahiptir.

2.2.5.4. Çelik

Çelik profiller, St 37, St 42 St 52 karbon çeliklerinden üretilmektedirler. Gerekli olduğu durumlarda, az miktarda, paslanmaz ve asitlere dayanıklı çelikler ekstrüde edilmektedirler. Tıpkı nikel alaşımlar kadar zor ekstrüze edilebilen malzemeler sınıfında yer almaktadırlar. Çok yüksek sıcaklıklarla (1000 – 1300 C) şekil verilebilmektedirler çünkü şekil değiştirme dirençleri oldukça yüksektir. Bu durumda da takımlarda bazı arızalar oluşabilmektedir.

2.2.5.5. Kalay ve kurşun

Bu sınıf alaşımlar sadece kalay ve kurşun ya da üçten az elementin birbirleriyle olan karışımları ve bakır, antimon, kadmiyum ve gümüş olan elementlerle olan alaşımları içermekle birlikte, 300 C ile ekstrüde edilebilmektedirler. Bu malzemeler genellikle lehim telleri, borular ve kablo kapmalarda kullanılmaktadırlar.

2.2.5.6. Titanyum

Titanyumun ergime sıcaklığı 1668 C gibi yüksek bir sıcaklıktır. Dayanım yoğunluğu bakımından tercih edilen bir oran ile korozyon dirençleri açısından da yüksek yapıldır. Ekstrüzyon prosesi ile bu alaşımdan boru, profil ve çubuk elde edilmektedir. Bu alaşımlar, vanadyum, mangan, krom, alüminyum, bakır ve molibden gibi dayanım artırıcı elementler içermektedirler.

2.2.5.7. Zirkonyum

Zirkonyum ekstrüzyonlar nükleer reaktörler için konstrüksiyon elemanı olarak kullanılırken radyoaktif çubuklara zarf malzemesi olacak şekilde kullanılmaktadırlar çünkü sıcak ve korozyon dayanımları oldukça yüksektir. Bu proseste zirkonyum elementinin takımlara sıvanması açısından mühim bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorunun üstesinden yağlama yapılarak gelinmeye çalışılmaktadır. Ayrıca prosesten önce bloğa bir gömlek giydirilmektedir. Çoğu durumda bakır ve pirinç dökülen bloklara kaplanmaktadır. Giydirilen gömleğin amacı gaz absorpsiyonunu önlemektir (Sönmez, 1989).

2.2.5.8. Berilyum

Ekstrüzyon prosesinde kullanılan berilyum, uçak teknolojisinde ve nükleer mühendislikte kullanılıyor çünkü özellikleri bakımından korozyon direnci ve ısı kapasitesi oldukça yüksektir. Bu proseste döküm metodu kullanılır. Blok imal edilen proseste, kaba tane oluşması ve bununla bağlantılı olarak kırılabilirlikle çatlama eğiliminin önüne geçilememektedir. Böylece, berilyum ekstrüzyonda oluşan bloklar sinter metoduyla hazırlanırlar. Bloklar, korumalı atmosfer ortamında ve toz maddelerinin soğuk basıncıyla sinterleme kullanılarak imal edilmektedirler.

2.2.5.9. Nikel

Bu alaşımlarla elde edilen yarı mamullerin kullanım alanları oldukça çeşitlilik göstermektedir: elektrik mühendisliği, kimya mühendisliği, mekanik mühendisliği, elektronik mühendisliği, nükleer teknoloji ve güç istasyonları. 1000 C'nin üstünde

ekstrüde edilen grupta yer alırlar. Nikel alaşımlarının ısıda mukavemet özelliği iyi olması ve korozyon dirençlerinin oldukça yüksek olmasından dolayı bu metaller önemli yer tutmaktadır (Sönmez, 1989).

2.2.5.10. Çinko

Bu alaşımlar mükemmel korozyon direnci özelliğine sahiptirler. Diğer alaşımlara göre daha farklı davranmaktadırlar. Çinko alaşımlar kendi kendini iyileştirme özelliğine sahip olmamakla birlikte, zaman içerisinde parçalanarak bozulurlar. Bunun yanı sıra, oldukça uzun ömürlü olma özelliğine sahiptirler ve yüzey kaplamaları bakımından daha çok opsiyonları vardır. Kullanım alanları genellikle yüksek sıcaklıklarda fonksiyonel ve dekoratif ürünlerdir: anahtarlıklar, tüketici elektroniği ve mutfak aletleri.

2.2.6. Ekstrüzyon makinesinin kısımları

Birçok farklı kısımdan oluşan ekstrüzyon makinesinin ünitelerine değinmekte yarar var. Bir ekstrüderin ana parçaları besleyici, vida, kovan ve kalıbı içerir, ancak daha fazla ürün için çok yönlülüğü bakımından daha birçok parça eklenebilir.

Besleyici, tutarlılığı sağlamak için karışımı ekstrüdere sabit bir oranda sürekli beslemek için kullanılır. Besleyiciler genellikle malzemeyi gravimetrik veya hacimsel olarak besler ve farklı içerikler için aynı anda birden fazla besleyici kullanmak mümkündür. Namlu, vidayı veya bir dizi vidayı kaplar. Çoğu zaman, namlu ısıtma ve soğutma için kaplıdır. Isıtma, namlu üzerinde elektrikli ısıtma üniteleri sağlanarak veya buharla da gerçekleştirilebilir. Kovanların iç tabakası çift vidalı sistemlerde genellikle düz iken, tek vidalı sistemlerde yivli olabilir. Namlu ayrıca çeşitli enjeksiyon portlarına veya üzerinde ilave besleme portlarına sahip olabilir. Enjeksiyon portları, ters dönen vidalardan daha fazla malzemeye mekanik enerji verebilir. Çift vidalı ekstrüder, tek vidalı ekstrüdere göre daha yüksek bakım maliyeti gerektirebilir (Heldman ve Hartel, 1997).

2.2.6.1. Huni

İşlenecek malzemelerin stabil bir şekilde beslenmesini sağlayan kısımdır. Kullanılan tüm malzemeler sabit bir şekilde akmadığından dolayı hunilere genellikle karıştırıcı veya konveyör görevi gören donanımlar eklenmektedir.



Şekil 2.23. Ekstrüzyon Hunisi (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

2.2.6.2. Burgu

Burgu veya diğer adıyla vida ekstrüzyon makinesinin en önemli kısmıdır. Plastiğin taşınması, beslenmesi, homojenleştirilmesi ve ergitilmesi gibi pek çok işlevi vardır. Farklı çeşitlerde vidalar bulunmaktadır. Yaygın olarak üç bölge olan kullanılmaktadır çünkü ısı ve ekonomik özellikleri bakımından termoplastikleri oldukça iyi bir şekilde işlemektedir. Bu bölgelere, sıkıştırma, besleme ve ölçme bölgeleri adı verilir. Diğer bir yandan çift vidalı ekstrüderler de mevcuttur. Bu tipte çift vida birlikte kullanılmaktadır. Çift vidalı ekstrüderler homojen plastikasyonu ve makinenin verimi bakımından oldukça önemli özellikleri vardır.



Şekil 2.24. Vida Çifti / Kovan (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

2.2.6.3. Kovan (silindir)

Rezitansların üstünde taşıdığı, kovan vidanın yataklandığı makine elamanıdır. Bu üniteye ocak ya da kovan adı da verilmektedir. Ekstrüzyon sistemlerinin kovana göre çeşitli tipleri mevcuttur.

2.2.6.4. Tek vidalı ekstrüder

Tek vidalı ekstrüzyon sisteminin genel özelliği silindirin içinde sadece bir vidanın olmasıdır. Ham madde çoğunlukla tanecik formda veya toz halinde vidaya huni tarafından verilir. Bu sistemdeki vida ham maddenin iletilmesinde, eritilmesinde, basınç uygulanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tek vidalı ekstrüderlerin geleneksel ve yivli özellikte olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Tek vidalı bir ekstrüder tertibatı, bir vida ve bir kovandan oluşur. Geleneksel ekstrüderin düz bir silindiri (iç yüzeyi) vardır. Var olan basıncın ölçme kısmında geliştirilmesi özelliğine sahiptir çünkü kalıpta oluşan dirence karşı konulmalıdır. Bu sistemde ham madde, parçacıklar ile silindir duvarı arasındaki oluşan sürtünme ile iletilmektedir. Yivli ekstrüderlerin ise besleme kısmında boyuna açılmış konik yiv bulunmaktadır. Söz konusu yivler ile ham maddenin sıkıştırılması ve iletilmesi sağlanır. Bu sistemde basıncın oluşumu besleme kısmının iç bölgesine başlamaktadır.

2.2.6.5. Çift vidalı ekstrüder

Diğer bir türde içe ve dışa doğru dönen olmak üzere çift vidalı ekstrüderdir. Çift vidalı ekstrüderler, tek vidalı ekstrüderlere göre yüksek nemli ve yapışkan malzemeler de dahil olmak üzere çok çeşitli malzemeleri işleyebildikleri için daha çok gıda endüstrisinde popülerdir. Bu tip ekstrüderler homojen bir karışım edinmek için kullanılmaktadır. Ham madde, silindir ve vida arasında oluşan sürtünme kuvvetiyle iletilmektedir. Vidaların dönüşleri içinde bir şey bırakmayacak şekilde tasarlanır. Dışa doğru dönen çift vidalı ekstrüderler de ise tam tersine bir düzenek kurulmuştur. Özellikle toz haline getirilen ham maddeler kullanılmaktadır. Sekiz rakamına benzer şekilde tasarlanan silindir yuva, geçişler sırasında kapalı hücreler oluşturması için dizayn edilmişlerdir. Ham madde, hücrelerin içinde basınçla beslenmektedir. Basınç oluşan yerde sürtünme ile ham madde iletilmektedir.



Şekil 2.25. Çift vidalı ekstrüder (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

2.2.6.6. Soğutma, vakumlama kısmı

Soğutma ve vakum pompasının desteği ile ürünün soğutması ve vakumlanması yapılmaktadır.

2.2.6.7. Çekici

Ekstrüzyon makinesinde işlendikten sonra kalibre ve kalıbın içinden geçen malzemeyi kesmeye hazır hale getiren sisteme çekici denir. Çoğunlukla palet sistemi desteği ile malzeme çekilmektedir. Şekil 2.26’da ekstrüzyon sisteminde kullanılan çekici ünitesi görülmektedir.



Şekil 2.26. Çekici (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

2.2.6.8. Hız kontrol sürücüsü

Hız kontrol ünitelerinin ana işlevi, ekstrüder vidalarını döndürmek için güç sağlamaktır. Hız kontrol ünitesinden gelen mekanik enerjinin bir kısmı, ekstrüder namlusu içindeki sürtünme nedeniyle ısıya dönüştürülür. Kesme derecesine bağlı olarak, sürtünme ısıtması önemli olabilmektedir. Ekstrüderin hız kontrol ünitesi genellikle bir elektrik motoru, V-kayışları ve bir dişli kutusundan oluşur. V-kayışları ve dişli kutusu, hız azaltma sağlar. Tek vidalı ekstrüderin dişli kutusu, yalnızca bir çıkış mili gerektirir. Çift vidalı ekstrüderde, dişli kutusunda iki vidayı sürmek için aynı hızda dönen iki çıkış miline sahiptir. Radyal yöndeki sınırlı alan, yatakların hem radyal yükü hem de ekstrüder vidalarından gelen baskı yükünü desteklemesi gerektiğinden, yatak düzenlemesini zorlaştırır. Bu nedenle, genellikle dişli kutusuna farklı tipte rulmanların bir kombinasyonu takılır.

2.2.6.9. Redüktör

Devrin ayarını değiştirmek üzere kullanılan dişli tertibatıdır. Diğer bir adıyla dişli kutusu; benzinli, elektrikli, dizel gibi motorların dönmesi için motorun çıkış şaftına bağlanmaktadır. Yaygın olarak arabaların vites kutusunda kullanılmaktadır. Yokuş aşağı veya yukarı motor zorlanmaktadır, bu zorlanmayı minimize etmek için kullanılan bir sistemdir. Redüktörler, motorun gücüne, diş sayısına, çap ve mekanik düzenlere göre değişkenlik göstermektedir.

Isı enerjisi elde etmek için elektrik enerjisini dönüştüren direnç tellerine verilen addır. Rezitanslar oldukça yüksek ısılara karşı direnç göstermektedirler. İçerisinde krom, nikel, alüminyum ve demir gibi alaşımlar bulunur. Bu ürünler öncelikli olarak tekstil, termostatlar, sanayi, elektrikli ev aletleri gibi ısınma teknolojilerinde oldukça önemlidir. Çeşitlerine göre farklı alanlarda da kullanılabilir. Örnek olarak, ısıtmalı aynalarda buharlaşmayı önleyen rezitans sistemleri verilebilir. Bunun sebebi de elektrik akımlarına rezitans telleri dirençlidir.

2.2.7. Ekstrüzyon kalıpları

Hedeflenen özellikte istenilen ürünü elde edebilmek için çoğunlukla levha, profil ve boru imalatında kullanılan kalıplara verilen addır. Bu bölümde ekstrüzyon kalıplarına yer verilecektir.

2.2.7.1. Kalıpların özellikleri

Kalıplar genel olarak çok sert olmayan kendine has çeliklerden yapılmaktadır. Kalıbın yanı sıra kanalın yapımı kalitesiz olmayan paslanmaz bir çelik malzemeden yapılmaktadır. Çizilmeden ve aşınmadan korunabilmesi amacıyla kalıplar 50 HRc de sertleştirilmektedir. Setteki diğer parçalar en az 30 HRc sertlikte olmak zorundadır. Bazı sistemlerde kanalın mutlaka temizlenmesi gerekir aksi halde hedeflene ürün elde edilmeyebilir. Temizleme yumuşak malzemelerden yapılmış bakır, pirinç ya da benzer çubuklar yardımıyla yapılır. Kopmuş, bozulmuş, arızalanmış bütün bağlantı parçaları değiştirilmek zorundadır. Benzer şekilde, elemanlar tek tek kontrol edilmeli ısı ve hassas aygıtlarda hataların olup olmadığı gözden geçirilmelidir. Kalıplar çoğunlukla ısıtıcı kullanılarak yapılmaktadır. Isı kaybına neden olan kalıplara ek olarak üstlerine ısıtıcı konulmaktadır. Aksi taktirde kalıptan geçmekte olan plastiğin ısısı sabit tutulamayabilir.

2.2.7.2. Kalıpların sınıflandırılması

Ekstrüderler kalıp, kafa, kuru kalibre ve sulu kalibreden oluşmaktadır. Boru – profil üretimindeki çeşitlilik ve kalite kalıpların miktarı ve kalitesiyle doğru orantılıdır. Makinede profilin hızı ile kalıbın verimliliği birbiriyle doğrudan ilişki içerisinde. Çok büyük yatırım yapan bir firmayı ele alalım. Üretim hızı eğer yeterli oranda değilse bu yatırımın firmaya sağlayacağı tek şey yüksek maliyetten başka bir şey olmayacaktır. Ekstrüderler yavaş çalıştığından dolayı bütün ısı buhar olup uçuşacak ve çalışanların yaranlanma riski daha da artacaktır. Üretim bir bakıma mühendislik işidir, doğru bir sistemin kurulması oldukça mühim bir meseledir. Sadece bir çelik yığınının dayalı oluşturulmuş formlardan kesinlikle ibaret değildir.

Biçiminlerine göre

Ekstrüzyon kalıplarında elde edilecek ürünün biçimine göre aşağıda sıralanacak sınıflandırılmalar yapılabilir.

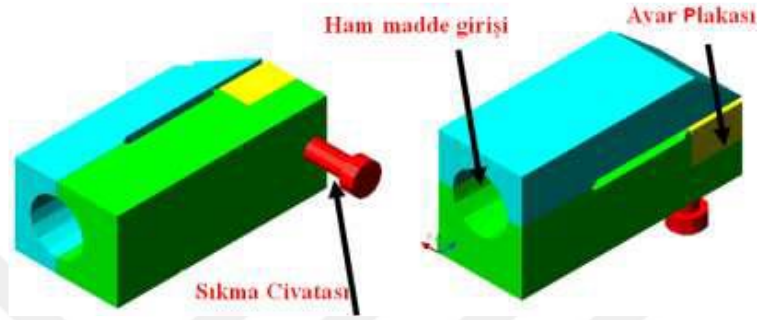
Dairesel kalıplar

En basit biçimleriyle kalıplar tek yuvarlak delikli biçiminden oluşan dairesel şekildedir. Bu biçimdeki kalıplara içi doldurulmuş silindir şeklindeki parçalar kaplanmaktadır. Fakat, ürünlerin kullanım alanları çok yaygın değildir.

Dar ve uzun kanallı levha kalıpları

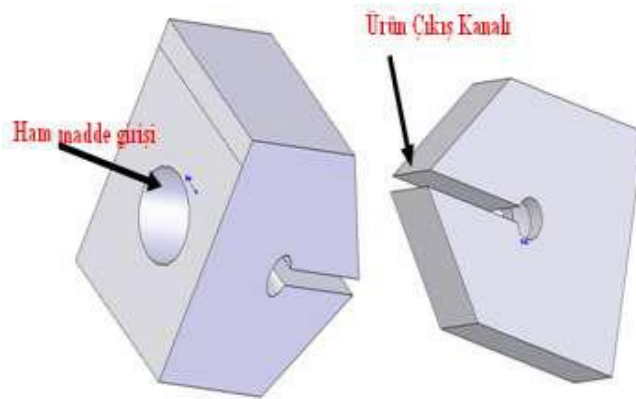
Ayar plakalı ve “T” kanallı levha kanalları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

- Ayar plakalı kalıpların uygulama alanları çoktur. İsminden de anlaşılacağı üzere ayarlanabilir bir ya da daha fazla çene bulunmaktadır. Bu çenelerin ayarlanmasıyla kalınlık minimum 0,5 mm olan ürünler imal edilebilmektedir. Genellikle film şeritlerinin üretiminde kullanılan ayar plakalı kalıpların çenesi yaklaşık 1,25 mili metredir. Hedeflenen ürünler bu milimlerde elde edilebilir.



Şekil 2.27. Ayar Plakalı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

- “T” kanallı kalıplar kesit görünümü bakımından anahtar deliği kalıplar olarak adlandırılmaktadır. Uçtan beslenen bu kalıplarda merkezden beslenenlere göre üretim miktarı daha azdır. Ayar plakalı kalıpların aksine bu kalıpların merkezi polietilen ile kaplanmaktadır. Şekil 2.28’de “T” kanallı kalıpların gövdesi görülmektedir.

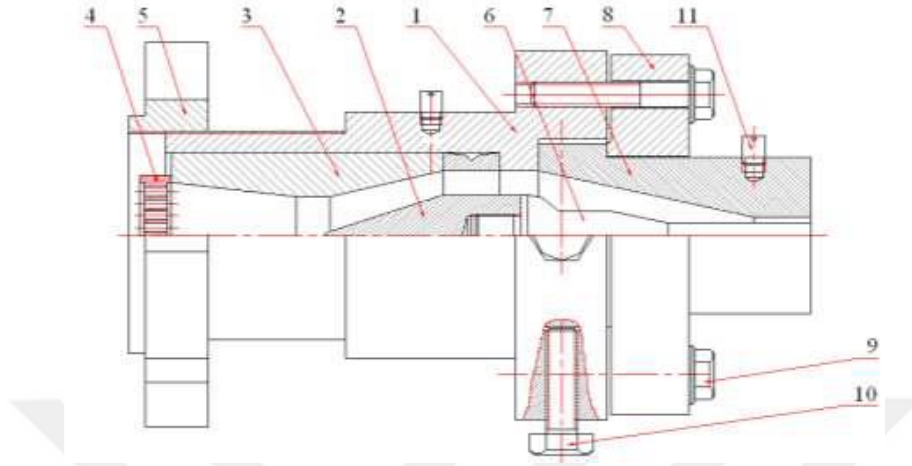


Şekil 2.28. T Kanallı Kalıp (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

Boru kalıpları

Ekstrüzyon boru kalıpları plastik boru ve benzer şekillerin imal edilmesinde kullanılır.

Aşağıda boru kalıbı görevleri, şekli ve örneği verilmiştir.



Şekil 2.29. Boru kalıbı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

- Kafa gövdesi: En temel parçalardan biridir ve diğer parçaları da üzerinde taşımaktadır.
- Adaptör flanşı: Ekstrüderle kalıbın bağlantısını sağlayan elemandır. Üstünde bulunan kanallara cıvataların bağlanması ile makineye yerleştirilir.
- Kalıp Flanşı: Adaptörle benzer olarak üzerinde bulunan deliklere cıvataların bağlanması ile makineye yerleştirilmektedir.
- Kalıp: Ürün makineye girmeden evvel kalibre dış çap ayarının verildiği yerdir. Kalıbın makineye montajı kalıp flanşı yardımı ile yapılmaktadır.
- Mandren: Malzeme makinede prosese başlamadan evvel iç yüzeyin şekillendirildiği yerdir. Vida sayesinde torpidoya yerleştirilmektedir.
- Gövde İçi: Erimiş malzemenin içeride hareket etmesini sağlayan elemandır. Bu kısım eğik bir şekilde yapılır çünkü malzemenin içeride sürtünmeyi indirgemesi, iyi çıkması, dikey basıncı önlemesi amaçlanmaktadır. Kafa gövdesi ve adaptör flanşı desteğiyle montajlanmaktadır.
- Torpido: Malzemenin çıkış yönünde doğrusal olarak ilerlemesini sağlayan elemandır. Vida yardımı ile dairesel hareket almaktadır. Mandren ve iç yüzeyi bulunduran kalıp parçasıdır. Bu parçanın da içi eğik yapılmaktadır çünkü malzemenin çıkış yönünde hız kazanmasını amaçlanır.

Profil Kalıpları

Farklı boyda ve şekilde termoplastik malzemedен parça imal eden kalıplara denmektedir. Çeşitli geometrik şekillerin üretiminde profil kalıpları kullanılmaktadır. Tasarımları ekstrüderler göz önüne alınarak yapılmaktadır. Silindirik şekilli olanlar tercih edilmektedir çünkü silindirik kesitli kalıplar montaj ve yapım kolaylığı sağlamaktadır. Simetrik olmayan birçok parça imal edilirken, malzemenin cinsine uygun bir şekilde su, soğutma sistemi ya da hava basınçlı sistemler kullanılmaktadır. Sağladığı hızlı soğutma sistemi ile genellikle yumuşak malzemeler üretilirken tercih edilir.



Şekil 2.30. Profil Kalıbı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

2.2.7.3. Kalıpların makineye entegrasyonu

Kalıplar ekstrüzyon makinesinin flanş çapına ve kapasitesine orantılı bir şekilde bağlanır. Kalıplar üretilirken önceden tasarlanmış hedef kalibre ve kalıp halinde yapılmaktadır. Kalibre ise kalıba hastır. Kalıp, imal edilecek olan ürünün uzunluğuna veya boyuna göre değil de boyutuna bağlı olarak yapılmaktadır. Entegrasyon sürecinde makinede bulunan kapasite ve kalıbın masası oldukça önemlidir.

Kalıplar imal edilecek ürüne bağlı olarak çeşitlilikler gösterir. Her ne kadar ekstrüzyonda tek bir kalıba bağlı olarak bazı özellikler benzeşse bile kalıptan kalıba çeşitli işlemler farklılık gösterebilmektedir; bu sebeple, tek bir imalattan yola çıkılarak işlem uygulanamaz. Aksi halde, istenilen sonuca ulaşamayacaktır.

Ekstrüzyon prosesinde ilk olarak bakılması gerek özellik elde edinmek istenen ürün ile makinenin kapasitesinin uyumudur. Makine elverişli olmadığı sürece diğer aşamalara geçilmesi anlamsızdır. Bakılması gereken diğer bir özellik ise flanş çapı ile kalıbın birbirine uyuşmasıdır. Ancak bu durumda kalıp ile makine arasında bağlantı kurulabilmektedir.

Ön hazırlıklar kadar güvenlik önemlerinin alınıp alınmaması da oldukça önemlidir. Bu önlem yukarıda sayılan kontrollerden hemen sonra gelmektedir. Bazı kalıplar özellikleri bakımından oldukça ağır olabilmektedirler; bu yüzden, işlem sonrası yapılacak taşıma ve kaldırma süreçleri için makinelerin hazırda bekliyor olması gerekmektedir. Önceden bir işlem yapılmış ve hala bağlantılar mevcut ise bu bağlantılar uygun bir şekilde makineden çıkartılarak taşınması yapılmalıdır. Hedef ürün için yeni bağlanacak kalıbın montajı bu taşıma işleminden sonra yapılmalıdır.

Bağlantı, güvenlik ve taşıma işlemlerinden sonra yeni kalıbın montajına başlamadan önce temizleme yapılmalıdır. Temizliği gerçekleştirildikten sonra kullanılacak parçaların montajı sırası ile kaldırma aracı yardımıyla dizilmelidir. Yukarıda bahsedilen aşamaların her biri uygulanması gereken hassas süreçlerdir.



Şekil 2.31. Kalıp Montajı (Milli Eğitim Bakanlığı, 2012)

2.3. Alüminyum

Bu bölümde alüminyum özellikleri, alüminyum üretimi ve alüminyum ekstrüzyonundan bahsedilmiştir.

2.3.1. Sektör bakımından alüminyum

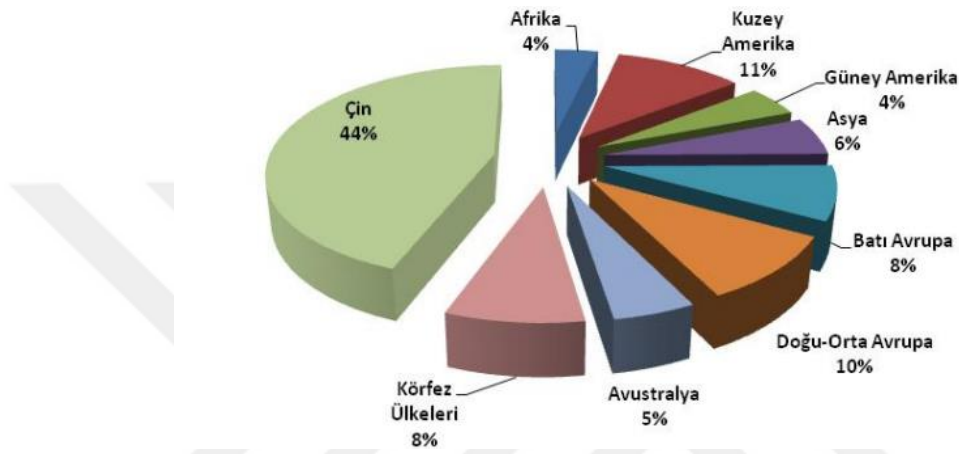
Alüminyumun İngiltere’de 1808 yılında bulunmuştur. Endüstriye girmesi 80 yıla aşkın bir zaman sürerek 1886’da elektroliz metodu ile başlanmıştır. Bu yöntem hala kullanıldığından dolayı 1886 alüminyum endüstrisinin başlama tarihi olarak kabul edilir. Verimli olarak kullanılması ise 1895’e kadar sürmüştür. TALSAD’a göre Dünya üzerinde kabul gören 5 aşamalı bir üretim şekli vardır:

“boksit madeni işletmeciliği, boksit cevherinden alümina üretimi, alüminadan elektroliz yolu ile sıvı alüminyum üretimi, sıvı alüminyumun alaşımlandırılarak

dökülmesi, ekstrüzyon, haddeleme işlemleriyle yarı ürün veya uç ürün üretimini kapsamaktadır.”

(Türkiye Alüminyum Sanayiciler Derneği)

Yukarıda sayılan aşamaların hepsi ayrı bir üretim tesisinden oluşmaktadır. Hepsinin bir arada olduğu üretim tesisine “entegre” adı verilir. Dünya genelinde 2001’den sonra alüminyum üretiminin artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Aşağıdaki grafikte bölgelere göre üretim miktarı gösterilmektedir:



Şekil 2.32. Dünya Birincil Alüminyum Üretiminin Bölgesel Dağılımı 2020 (TALSAD, 2021)

Türkiye’nin alüminyum sektörüne giriş yaptığı tarih 1950’lere denk gelir. Her ne kadar başlarda az işlense bile kullanımının artmasıyla alüminyuma olan ihtiyaç gün geçtikçe artmıştır (Günay, 2006). Az işlendiği halde kullanımı artan alüminyum talebini karşılamak için şirketler ülke içerisinde tedarikçi bulamıyordu, bu nedenle kısıtlı rezerv vardı; bu sebeple, ithalat zorunluydu. Bu alanda, kendi ihtiyaçlarını karşılamak ve bu yarıştaki rakipleriyle rekabete girmek amacıyla harekete geçen şirketler, boksit rezerv keşfi yapmak için çaba harcamışlardır. Bu araştırmalar sonucunda 1974’te Konya’da boksit rezervi keşfedildi. Bu keşiften sonra alüminyumun işlenmesi ve üretilmesi için Etibank Seydişehir Alüminyum Tesisleri faaliyete geçmiştir (Günay, 2006).

Alanı bakımından bu üretim tesisi tekti ve tek başına bütün talepleri karşılaması olanaksızdı. Bu doğrultuda alüminyum ithalatı 11 yıl sonra 1985’te tekrar zuhur etti. Bu gelişmelerle birlikte Türkiye’de alüminyum sektörü oluşmuş ve bu sektöre dayalı dernekler kurulmuştur. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD)’nin

Europe Aluminium Association (EAA)'ya katılması da 1992 yılında gerçekleşmiştir (Kubaş, 2017).

Türkiye boksit rezerv bakımından 87 milyon tonla dünyanın sadece %0,4'ünü oluşturmaktadır. İlk etapta üretilebilecek bu rakam toplam rezervin 3'te birini oluşturmaktadır (Cuhadaroglu, 2018). Bu rakamlarla da anlaşılabilceği üzere alüminyum üretiminde Türkiye yetersizdir ve ithalata bağımlı kalmaktadır. Bu nedenle, ithal edilen alüminyum katma değerli ürünlerde kullanılması gerekmektedir.



Tablo 2.1. Ülkelere Göre Alüminyum İthalatı (ASO, 2021)

	2019		2020		
Ülke Adı	Miktar (Kg)	Değer (\$)	Miktar (Kg)	Değer (\$)	Pay %
RUSYA	594.600.302	1.105.637.522	588.571.121	1.055.581.225	30,98%
KATAR	105.886.078	218.841.084	108.332.656	208.126.941	6,11%
KAZAKİSTAN	118.041.087	223.052.237	111.481.492	203.170.135	5,96%
ALMANYA	52.869.057	208.031.704	52.977.343	184.724.466	5,42%
ÇİN	90.600.866	244.443.786	56.159.248	158.221.894	4,64%
BAHREYN	84.088.067	160.309.463	89.678.546	156.636.097	4,60%
B.A.E.	89.534.290	183.986.083	73.921.780	142.860.322	4,19%
UMMAN	26.358.126	47.226.226	61.548.284	108.161.269	3,17%
İRAN	48.837.884	89.417.703	50.311.624	92.032.578	2,70%
GÜNEY KORE	22.336.859	65.922.888	27.746.156	78.992.095	2,32%
A.B.D.	12.191.767	92.830.129	15.043.216	78.715.181	2,31%
YUNANİSTAN	22.893.272	73.717.651	23.342.064	71.622.897	2,10%
MALEZYA	45.438.650	86.421.087	38.604.918	69.219.982	2,03%
İTALYA	30.387.820	73.207.964	26.225.060	68.138.753	2,00%
AZERBAYCAN	28.832.052	54.184.085	36.989.529	66.935.182	1,96%
FRANSA	11.555.487	61.699.623	12.219.432	63.456.328	1,86%
TACİKİSTAN	56.946.258	105.220.796	29.052.029	53.796.501	1,58%
HOLLANDA	16.804.571	41.183.517	26.266.779	47.258.024	1,39%
GÜNEY AFRİKA	10.575.703	20.174.510	20.529.855	36.559.756	1,07%
AVUSTURYA	7.389.270	35.917.844	7.712.345	36.015.740	1,06%
Genel Toplam	1.685.497.765	3.636.636.289	1.679.511.975	3.407.196.749	100%

Tablo 2.2. Ülkelere Göre Alüminyum İhracatı (ASO, 2021)

		OCAK - ARALIK 2020			
Sıra	Ülke	Miktar KG	Değer FOB \$	B. Fiyat \$/KG	İhracat Payı
1	ALMANYA	130.782.761	445.497.620	3,41	0,15
2	ABD	66.887.917	202.337.543	3,03	0,07
3	IRAK	53.154.235	172.530.304	3,25	0,06
4	İNGİLTERE	52.406.710	171.644.934	3,28	0,06
5	POLONYA	44.150.859	131.843.648	2,99	0,04
6	İTALYA	43.862.574	120.589.790	2,75	0,04
7	FRANSA	33.183.791	114.914.996	3,46	0,04
8	İSRAİL	31.275.911	98.581.999	3,15	0,03
9	HOLLANDA	29.012.944	97.547.854	3,36	0,03
10	MISIR	18.872.030	95.590.105	5,07	0,03
11	AVUSTURYA	22.548.272	70.123.694	3,11	0,02
12	İSVİÇRE	24.810.721	69.199.080	2,79	0,02
13	BULGARİSTAN	21.709.266	62.542.670	2,88	0,02
14	ÇEKYA	17.216.931	57.587.885	3,34	0,02
15	İSPANYA	19.242.072	56.779.853	2,95	0,02
16	BELÇİKA	13.290.326	53.681.865	4,04	0,02
17	ROMANYA	13.493.505	51.840.246	3,84	0,02
18	KANADA	18.834.084	49.073.721	2,61	0,02
19	MACARİSTAN	10.751.347	47.462.939	4,41	0,02
20	GÜRCİSTAN	10.077.927	37.768.037	3,75	0,01

2.3.2. Alüminyum özellikleri

Doğada alüminyum saf halde bulunmaz. Alüminyumlar; dayanıklı, hafif ve güçlü metallerdir. Bu 3 özelliği sebebiyle hala tercih edilmektedir. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü (2006)'ya göre Humphry Davy tarafından 1808 yılında bulunan metal kazanç açısından üretim boyutuna ancak 1886'da geçmiştir. P. L. Heroult ve C. M. Hall tarafından, birbirlerinden bihaber yapılan çalışmalar sonucunda geliştirilmiştir. Hall-Heroult method olarak hala kabul gören bu yöntemin buluşu, alüminyum oksit ergimiş kriyolit içerisinde çözünürken, elektrik akımı uygulanmış ve alüminyumun elektrolitin altta sıvı olarak biriktiği fark edilmiştir. Yöntemin keşfinden 2 yılın sonunda, İsviçre ve ABD'de patent alınarak alüminyum elektrolizhaneleri

faaliyete geçirilmiştir. 1950’li yıllarda bir sektör olarak ülkemiz ekonomisine girdiğini görmekteyiz. Dünya’da silisyum ve oksijenden sonra ortalama %8 ile çok bulunan üçüncü elementtir. Saral, dayanımları bakımından alüminyumun bazı tipleri çelikten daha fazla olduğundan ekstrüzyon profilleri olarak kullanıldığını söyler. Lityum içerikli alaşımlar incelendiğinde, silisyum, magnezyum, mangan gibi eklerin içerdiği görülmektedir (Saral, 2005).

Temel özellikleri bakımından alüminyumlar;

- Çekme dayanımı yeterli yükseklikte olmasa da temperleme ve alaşımla birlikte artış yapılabilir. Yapılacak işleme göre uygun olanı seçilebilir. Bazıları çekme dayanımı açısından çeliğe yakın hatta bazılarında daha güçlüdürler.
- Havayla temas ettiğinde üstünde oksit oluşmakta ve böylece korozyondan hasar almaz. Ayrıca eloksal desteğiyle birlikte korozyona karşı direnci daha da artırılabilir. Ev aletleri ve binaların yapımında bu özelliğinden yarar sağlanılmaktadır.
- Basitçe şekillendirilebilir ve boru, folyo, kablo ve çubuk gibi çeşitli ürünler için malzemeyi imala elverişli hale getirir. Karmaşık odalı ekstrüzyon yöntemleriyle günümüzde en iyi materyallerden biri olarak kabul görürler.
- Kokusuz ve zehirsizdirler. Üstünde mikrop saklanmadığından hijyeniktirler; ek olarak, pürüzsüzdürler ki bu sayede rahatça temizlenebilirler. Bu sayede, folyolu yiyeceklerde ve kutulu içeceklerde çokça kullanılmaktadırlar.
- Bakıra göre alüminyumun iletkenliği 6 da 10 iken özkütlesi %33’ü kadardır. Dolayısıyla, alüminyumlar ampüllerde, iletim kablolarında ve diğer alanlarda kullanılmaktadır.
- Çeliğe göre alüminyumun ısı iletkenliği bakımından 3 kat daha fazladır. Bu bakımdan, ısı eşanjörlerinde, pişirme gereçlerinde, otomobil motor parçalarında, klimalarda ve enerji depolarında çokça kullanılmaktadır.
- Rahatça elektrokimyasal ya da kimyasal olarak boyama veya yüzey işlemi uygulanabilir. Boyama işlemi ve anodizasyonla birlikte geniş renk yelpazesine ve korozyona karşı oldukça dirençli bir seviye yakalanabilir. Bu sayede, evlerde kullanılan elektrikli aletlerde ve yapıların iç ve dışlarında çokça kullanılır.

- Alüminyumun diğer bir özelliği ise elektrik dalgaları, ışık ve ısıyı yansıtmaktır. Bu özelliği sayesinde yapılarda izolasyon olarak, kızılötesi kurutucular, aynalar ve aydınlatma ekipmanları gibi çeşitlik yerlerde kullanılmaya imkan sağlar.
- Alüminyum pusulalarda ve Compact Disc (CD)'lerde kullanılmasının sebebi manyetik olmayışlarından dolayıdır.
- Düşük seviyede bulunan ergime sıcaklığından dolayı maliyetsiz olarak rahatça geri dönüştürülebilir. Dönüştürülebilir enerjinin çokça kullanıldığı çağımızda alüminyum bu özelliğiyle kendi sınıfında öne çıkmaktadır.
- Ağırlıkları demir ve bakırın üçte biri kadardır. Özellikle taşımacılık alanında yarar sağlamaktadır (yükleme kapasitesi ve enerji tasarrufu).

2.3.3. Alüminyum üretimi

Alüminyum ekstrüzyonla üretim tanımı önceden tasarlanmış bir pres üstünde olan bir kalıp içerisinde şekil verilmiş kesiti boyunca akışla zorlanarak malzemeye şekil verilmesidir (Özen Alüminyum).

Bazı alaşımlardaki güçlü korozyon dirençi, güçlü mukavemet seviyesi, iyi şekilde ısıyı iletebilmesi, esnek olması, işlenebilir olması ve elektriği iyi iletmesi gibi özellikleriyle alüminyumun avantajlı olduğu söylenebilir. Alüminyum ekstrüzyon işleminin avantajlarına bakıldığında ise daha hassas ürünlerin üretilirken kalıp çalışmasından bir sonraki işlemde çoklu/hızlı metrajlarda ve meşakkatli parçaların kolayca üretilmesi gibi özellikler söylenebilir (Ayan, 2017).

Alüminyum ekstrüzyon üretim sisteminde üretilen parçaların parçalarına, farklı tonajlardaki preslere göre seçilse de Biyet tav fırını alüminyumun akışını kolaylaştırmak için ön ısıtma yapmakta, iç kalıplarda ise alüminyumun akışını kolaylaştırmak için ön ısıtma yapılması gereklidir. Ön ısıtmayı gerçekleştiren makine tav fırınıdır. Ürünler ekstrüderden çıktığında kesici tarafından kesilir. Daha sonra, mukavemet özelliklerini iyileştirmek ve malzemenin tek tip bir yapısını elde etmek için bir termal fırın kullanılır. Profilli alüminyum, yüzey özelliklerini iyileştirmek ve estetik eklemek için eloksal ve boyama işleminden geçirilebilir. Alüminyum ekstrüzyon üretim sisteminde kullanılan makinelere eloksal sistemi ve toz boya sistemi olarak isimlendirilir (Çoşkun, 2019).



Şekil 2.33. Biyet Tav Fırını (Çoşkun, 2019)



3. MATERİYAL VE YÖNTEM

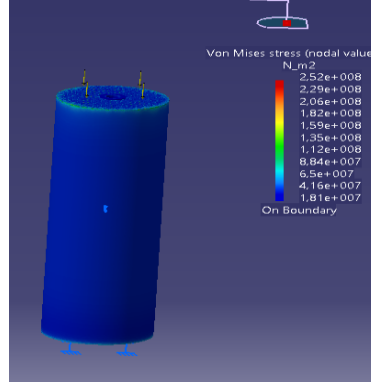
3.1. Deneysel Çalışmalar

Yapılan çalışmadaki amaç masaüstü boyutlarda ekstrüzyon yöntemi ile numune üretim yapan bir makine tasarlamak ve bu makineden numune elde etmektir. Çalışmada kalıptan giriş çapı 20 mm, çıkış çapı 15 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde ekstrüzyon işleminde işlem parametresi olan ekstrüzyon oranının ($R=A_0/A_s$) sırasıyla 1.77 olması sağlanmış olacaktır. Böylece döküm ile üretim sonucu elde edilen mekanik özelliklerin optimize edilmesi gerçekleştirilecektir. Çalışma sonucunda, ekstrüzyon işleminin sıcak ya da soğuk olarak yapılması da bu tasarımda uygun hale getirilebilmektedir. Eğer soğuk işlem için ekstrüzyon oranı yüksek bir değerde ise, çekirdek kalıpların çapları arasındaki fark daha az seçilerek soğuk deformasyona elverişli duruma getirilmiş olacaktır.

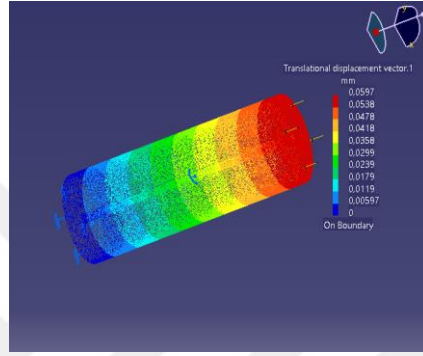
Öncelikle tasarımı, sonrasında da üretimi amaçlanan bu sistemin masaüstü boyutlarda ve laboratuvar tipi olması kullanım açısından kolaylık ve araştırmalarda büyük avantaj sağlayacaktır. Üretilmesi amaçlanan ekstrüzyon makinası ve kalıplarının kolaylıkla kullanılması numune üretiminin basit ve hızlı bir şekilde yapılması da sağlayacaktır.

3.1.1. Ekstrüzyon kalıbı tasarımı

Deneysel çalışmalarda kullanacağımız kalıplar Catia yazılımı kullanılarak katı modeli hazırlanmıştır. Kullanılacak kalıplar numune çapları 20 mm den 15 mm ye olacak şekilde hazırlanmışlardır.



Şekil 3.1. Kalıp Statik Gerilim Gösterimi



Şekil 3.2. Kalıp Statik Gerilim Gösterimi



Şekil 3.3. 3D Kalıp Görseli

3.1.2. Kalıp malzemesi seçimi

Alüminyumun, ekstrüzyon yöntemi ile şekil verilebilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir(Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Ekstrüzyon takım malzemelerinin proses aşamasında sağlanması gereken şartlar

ŞARTLAR	
Alüminyum, Mağnezyum biyet	440- 470 °C aralığına ısıtılır
Kalıp	450- 460 °C aralığına ısıtılır
Kovan	420 °C sıcaklığına ısıtılır
Hammadde	67 kg / mm ² (%10±) bir basınç uygulanarak kalıbın içine itilir
Presten profil çıkış sıcaklığı	500 °C civarında olur

Ekstrüzyon kalıpları için malzeme seçiminde maliyet de önemli bir faktördür. Temperleme sıcaklığı yaklaşık 600°C (H13 gibi) olan sıcak iş takım çelikleri, ekstrüzyon kalıpları için kullanılan ve iş parçasına doğrudan temas eden birincil malzemelerdir. Bu malzemeler uygundur, çünkü yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerin (aşınma direnci ve mukavemeti) iyi bir kombinasyonunu sağlarlar. Sıcak iş takım çelikleri, temperleme noktasının yaklaşık 50 ° C altına kadar kullanılabilir, bu da alüminyum, magnezyum ve çinko alaşımları gibi çok çeşitli malzemelerin ekstrüzyonunda düzgün performans göstermelerini sağlar. Bakır gibi daha yüksek erime noktalarına sahip ekstrüzyon malzemeleri için, takımın iş parçasıyla doğrudan temas halinde olan yüzey sıcaklığı, sıcak iş takım çeliğinin yumuşama sıcaklığının çok üzerinde olan 700 ° C ve üzerine ulaşabilir. Prosese ve beklenen takım ömrüne bağlı olarak, süper alaşımlar ve daha yüksek molibden ve tungsten içeren sıcak iş takım çelikleri gibi alternatif malzemeler kullanılabilir.

Ekstrüzyon kalıplarında kullanılan çeliklerden beklenen özellikler, ekstrüzyon prosesinden gelen yüksek sıcaklık, basınç ve sürtünmelerden kaynaklı oluşacak yukarıda bahsettiğimiz seçim kriterlerine uyumlu olmalıdır. Bu kriterler göre yapılan seçimde CES Selector malzeme seçim yazılımı kullanılarak AISI H13 sıcak iş takım çeliği Alüminyum ve alaşımlarının ekstrüzyon kalıplarında en uygun ekstrüzyon kalıbı malzemesi olarak bulunmuştur.

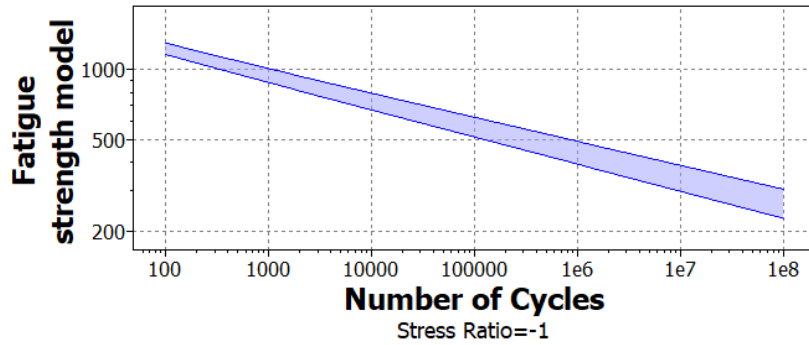
Physical properties

Density 7,69e3 - 7,84e3 kg/m³

Mechanical properties

Young's modulus	211 - 221	GPa
Yield strength (elastic limit)	1,61e3 - 1,69e3	MPa
Tensile strength	1,94e3 - 2,04e3	MPa
Elongation	8,3 - 9,7	% strain
Compressive strength	* 1,61e3 - 1,69e3	MPa
Flexural modulus	* 211 - 221	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 1,61e3 - 1,69e3	MPa
Shear modulus	* 82 - 86	GPa
Bulk modulus	* 167 - 176	GPa
Poisson's ratio	0,285 - 0,295	
Shape factor	15	
Hardness - Vickers	380 - 580	HV
Hardness - Rockwell C	38 - 53	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 302 - 384	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 299 - 387	MPa

Parameters: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



Şekil 3.4. H13 Mekanik Özellikleri

3.1.3. Kalıpların üretimi

Catia yazılımı kullanılarak hazırlanan ve analiz edilen kalıplar H13 takım çeliğinden talaşlı imalat ile hazırlanmıştır.



Şekil 3.5.Kalıp Görseli

3.1.4. Numune üretimi

Ekstrüzyon çalışmalarında kullanılacak Al ve Mg alaşım numuneleri laboratuvarında bulunan elektrikli direnç fırınında 730 C de ergitilerek kokil kalıplara dökümü yapılmıştır. Daha sonra bu üretilen alaşımlardan ekstrüzyon yapılacak boyutlara talaşlı imalat ile getirilmiştir.



Şekil 3.6. Numune Görseli

3.1.5. Kalıplarda ekstrüzyon işleminin yapılması

Üretilen kalıplar 30 ton kapasiteli Pressan üretimi bir hidrolik H prese konarak ekstrüzyon işlemi uygulanmıştır. İşlem sırasında 20 mm çapında dökümü yapılan alüminyum çubuklar 500 °C sıcaklığına ısıtılarak, ekstrüzyon işlemi uygulanmıştır. Ayrıca kalıp sıcaklığı ise 200 °C olarak ayarlanmıştır.

Farklı sıcaklıklarda ısıtılan alüminyum numune 20 mm den 15 mm çapına indirilmiştir.



Şekil 3.7. 30 T Hidrolik Pres



Şekil 3.8. Deney yapılışı



Şekil 3.9. Isıtma Anı

4. SONUÇ

Çalışmanın amacı, üniversitemiz laboratuvarındaki araştırma amaçlarına uygun olarak, ön bilgiler elde etmek amacıyla demir dışı alaşımlara uygulanan mukavemet artırma işlemlerinden biri olan mekanik şekil verme yöntemlerinden ekstrüzyon işleminin yapılabilmesi sağlamaktır. Bu sayede üretimi yapılan başta alüminyum ve magnezyum alaşımları olmak üzere, malzemelerin ekstrüzyon ile şekillendirilmesi ve mikroyapı-mukavemet özelliklerinin incelenmesi yapılacaktır. Elde edilen bilgilerden yararlanarak, bu alaşımların temel mekanik özellikleri belirlenmiş olacak ve ilgili alanlara bilgi aktarımı yapılmış olacaktır.

Tasarım sürecinde malzeme akışının optimize edilmesi, sıcaklık dağılımının düzenlenmesi ve basınç düşüşünün azaltılması gibi faktörlerin dikkate alınması, üretim süreçlerinin daha istikrarlı ve verimli hale gelmesini sağlamıştır. Ayrıca, enerji verimliliği açısından da olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne ekstrüzyon makinası kazandırılarak tasarım optimizasyonu, malzeme seçimi, daha gelişmiş kontrol sistemleri ve endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonu gibi konular üzerinde daha fazla araştırma yapılması sağlanacaktır. Bu çalışmalar, ekstrüzyon makinesi imalatının daha da gelişmesine ve endüstriyel sektörlerde verimlilik ve sürdürülebilir.



KAYNAKLAR

- A&T Bank. (2017). Alüminyum Sektörü. Erişim adresi: https://www.atbank.com.tr/documents/ALUMINYUM%20SEKTORU_AGUSTOS%202017.PDF.
- ASO. (2021). Alüminyum Sektör Buluşması.
- Coşkun, M. (2019). “Örnek bir alüminyum ekstrüzyon imalat tesisinde enerji verimliliğinin incelenmesi” (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Backus et al. (1998). Hot extrusion.
- Cuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. (2018). Yatırımcı Sunumu 3.Çeyrek. Erişim adresi: http://www.cuhadaroglu.com/images/gallery_images/yatirimci-sunumu-2018-9-aylik.pdf.
- Çakir, S. (2011). Plastik şekil verme ile monte edilen yatak sistemlerinde oluşan kuvvetlerin saptanması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çapan, L. (1999). Metallere plastik şekil verme. Çağlayan Kitabevi.
- Çetinarslan, C.S. (2003). Farklı malzemelerin yığılmasında malzeme akışının incelenmesi (Master's thesis).
- Demirkol, P.D. (2010). “Plastik şekil verme teknolojisi”. *İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Duran, D. and Özdemir, İ. (2016). Predicting and measuring surface enlargement in forward rod extrusion. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 138(7).
- Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü. (2006). Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme.
- Goetsch, D.L. (1991). *Modern manufacturing processes*. Delmar Publishers.
- Groover, M.P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.
- Günay, D. (2006). Alüminyum sektörü hakkında bir değerlendirme. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü*.
- Heldman, D. and Hartel, R. (1997). *Principles of Food Processing*. Ed.
- Kayaoğlu, E., 2019. *Temel İmalat İşlemleri*. Okan Üniversitesi MYO, Ders notları.
- Kubaş, A. and Saral, M. (2017). Alüminyum Sektör Analizi. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 3, pp.82-87.
- Mısırlı, C. (2006). Yanal ekstrüzyon ile dişli benzeri parçaların imalatı: Analiz ve deneyler.
- Özcan, A. (2008). *Profil ekstrüzyonunda profil faktörünün malzeme akışı ve ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisinin araştırılması* (Doctoral dissertation).

- Özen Alüminyum, *Alimünyum Ekstrüzyon*. Erişim adresi: <https://www.ozenaluminyum.com/kurumsal/aluminyum-ekstruzyon/>.
- Saha, P.K. (2000). Fundamentals of extrusion. *Aluminium extrusion Technology. ASM International, Materials Park, USA*, pp.1-23.
- Saral, R., 2005. Alüminyum ekstrüzyonunda proses kontrol.
- Sheppard, T. (1999). *Extrusion of aluminium alloys*. Springer Science & Business Media.
- Sönmez, H. and Aras, S. (1989). SEM investigation of the effects of various fluoride preparations on dentin surface. *Ankara Üniversitesi Dis Hekimliği Fakültesi Dergisi= The Journal of the Dental Faculty of Ankara University*, 16(1), pp.71-76.
- TMMOB. (2017). *Enerji Politikaları Temel İlkeleri*. Patika Ajans.
- Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. (2021). Erişim adresi: <http://www.talsad.org.tr/>.
- Van Horn, H.H., Foreman, C.F. and Rodriguez, J.E. (1967). Effect of high-urea supplementation on feed intake and milk production of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 50(5), pp.709-714.
- Sönmez, H. (1989). *Metal Ekstrüzyonu*. Eğitim Yayınları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Göktuğ ÖZEL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2019-2022 yıllarında Lucas Elektrik A.Ş firmasında üretim mühendisi olarak çalıştı.
- 2022 yılında Otokar OTOKAR OTOMOTİV VE SAVUNMA SANAYİ A.Ş. firmasında ar-ge uzman mühendisi olarak işe başladı.