

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEL ÇEKME PROSESİNDEKİ YAĞLAYICILARIN GERİ  
KAZANIMI İÇİN SİSTEM TASARIMI**

**Hazırlayan  
Davut MERT**

**Danışman  
Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2023  
KAYSERİ**



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEL ÇEKME PROSESİNDEKİ YAĞLAYICILARIN GERİ  
KAZANIMI İÇİN SİSTEM TASARIMI  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Davut MERT**

**Danışman  
Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ**

**Ağustos 2023  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Davut MERT

İmza

“Tel Çekme Prosesindeki Yağlayıcıların Geri Kazanımı İçin Sistem Tasarımı” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

**Hazırlayan**

Davut MERT

İmza

**Danışman**

Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ

**Makine Mühendisliği ABD Başkanı**

Prof. Dr. S. Orhan AKANSU

İmza

## TEŞEKKÜR

Tez konu seçimimden sonuçlandırılmasına kadar hiçbir emeğini esirgemeyen ve her türlü fedakârlığı sağlayan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ'a teşekkür ederim.

Gerek tez çalışmamın gerek ders dönemimin verimli bir şekilde geçmesine vesile olan, yapılması gereken her türlü konuda bana desteklerini sunan Sayın Abdullah GÖÇER'e teşekkür ederim.

Tez çalışmasında, deneylerin sağlıklı bir şekilde doğru ekipmanlar ile yürütülmesi için, her türlü imkanı sunan HASÇELİK KABLO'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca bana vermiş olduğu manevi destek, göstermiş olduğu anlayıştan dolayı değerli eşim AyŐe Sultan MERT'e teşekkür ederim.

Davut MERT

TEMMUZ 2023, KAYSERİ

## TEL ÇEKME PROSESİNDEKİ YAĞLAYICILARIN GERİ KAZANIMI İÇİN SİSTEM TASARIMI

**Davut MERT**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2023  
Danışman: Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ**

### ÖZET

Plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan tel çekme yöntemi, civatadan yay yapımına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Tel çekme yönteminde en büyük sarf malzeme yağlayıcılarıdır. Yağlayıcılar ise, yüksek ısınma, içerisine yabancı madde karışımı gibi etkenlerden dolayı uzun süre kullanılamamaktadır.

Bu tez çalışmasında, Demiryaka Holding bünyesinde, tel çekme yağlayıcısı olarak kullanılan sodyum bazlı VICAFIL TN 3785 F sabununun geri dönüşüm çalışması yapılmıştır. Proseste sabun içerisine zamanla telden gelen metal parçacıklar ürüne zarar verdiği için sabunun tamamı değiştirilmekte ve atık sabun olarak değerlendirilmektedir. Çalışma ile sabunun kimyasal yapısını bozmamaya dikkat ederek, fiziksel ayırma yöntemleri olan eleme, suda çözme, kurutma ve öğütme yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle eleme ile sabun boyutundan büyük metal parçaları ve yanmış sabun ayrıştırılmıştır. Geri kalan, geri dönüştürülecek sabunla su, belirli sıcaklıkta karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır ve suda çözülmeyen metal parçacıklar 50 mesh elekten geçirilerek çözülden ayrıştırılmıştır. Daha sonra yabancı maddelerden arındırılmış çözelti halindeki sabun, proseste kullanılacak şekle getirilmiştir. Bu işlemi ise sırasıyla buharlaştırma ve öğütme izlemiştir. Öncelikle çözeltinin içinden suyu ayırmak için 75 °C'de etüvde kurutma işlemi yapılmıştır. Geri dönüştürülen sabunu, orijinal sabun tane büyüklüğüne getirmek için bilyeli değirmen ile öğütme yöntemi kullanılmıştır. Tüm bu işlemlerden laboratuvar ortamında sonuç aldıktan sonra sistem tasarımına geçilmiştir.

Laboratuvar ve saha denemelerinde elde edilen sonuçlar ile 100 kg sabun geri dönüştürme kapasiteli, eleme, çözelti oluşturma, süzme ve öğütme işlemlerinden oluşan sistem tasarımı yapılmıştır. Ayrıca her bir proses için ana tasarım parametreleri belirlenmiştir. Tamamlanan sistem tasarımının amortisman hesabı yapılmış ve 1 yıldan daha az olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik şekil verme, Tel çekme, Sodyum bazlı sabun, Geri kazanım, Bilyeli değirmen, Sistem tasarımı

## SYSTEM DESIGN FOR THE RECOVERY OF WIRE DRAWING SOAPS

**Davut MERT**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Master Thesis, August 2023**

**Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ**

### ABSTRACT

Wire drawing method which is one of the plastic forming methods have been used in many areas from bolt to spring making. Lubricants are the major consumables in the wire drawing method. On the other hand, lubricants can not be used for a long time due to factors such as high heating and foreign matter mixture.

In this study, the recycling study of sodium-based VICAFIL TN 3785 F soap which is used as a wire drawing lubricant at Demiryaka Holding. Since metal particles coming from the wire into the soap in the process, it has been damaged the product and all of the soap has been replaced and considered as waste soap. Within the study, physical separation methods such as sieving, dissolving in water, drying and grinding were used taking care not to disturb the chemical structure of the soap. First of all, metal pieces larger than soap size and burnt soap were separated by sieving. The solution was prepared by mixing the remaining soap to be recycled with water at a certain temperature and the water-insoluble metal particles were separated from the solution by passing through a sieve with a higher mesh value. After that, the soap in solution form, free from foreign substances, was brought into the form to be used in the process. This process was followed by evaporation and grinding, respectively. Firstly, drying in an oven was carried out at 75 °C to separate the water from the solution. Ball mill grinding method was used to bring the recycled soap to the original soap grain size. After obtaining results from all these processes in the laboratory environment, the system design was started.

**Keywords:** Plastic forming, Wire drawing, Sodium-based soap, Recovery, Ball mill grinding method, System design

## İÇİNDEKİLER

### TEL ÇEKME PROSESİNDEKİ YAĞLAYICILARIN GERİ KAZANIMI İÇİN SİSTEM TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK .....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR .....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
GİRİŞ .....	1

#### 1. BÖLÜM

##### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Araştırmanın Amacı .....	3
1.2. Literatür Taraması .....	3

#### 2. BÖLÜM

##### PLASTİK ŞEKİL VERME

2.1. Plastik Şekil Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması .....	8
2.2. Tel Çekmeyi Etkileyen Parametreler .....	11
2.3. Tel ve Çubuk Çekme İşleminde Görülen Kusurlar .....	14
2.4. Tel Çekmede Kopma Türleri .....	15
2.4.1. Noktasal İnküzyon Kaynaklı Kopma.....	15
2.4.2. Bölgesel İnküzyon Kaynaklı Kopma .....	16
2.4.3. Delaminasyon Kopması .....	16
2.4.4. Boyun Vererek Kopma .....	16
2.5. Sabun Kaplama Modelleri .....	17
2.6. Tel Çekme Sırasında Kullanılan Sabunların Görevleri .....	19
2.7. Sabunların Özellikleri.....	20

### 3. BÖLÜM DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş .....	22
3.2. Malzeme ve Yöntem .....	22
3.2.1. Malzeme .....	22
3.2.2. Yöntem .....	23
3.3. Bulgular.....	23
3.3.1. Sabun Ortalama Tane Büyüklüğünün Belirlenmesi.....	23
3.3.2. SEM Analizi.....	24
3.3.3. Çekme ve Burulma Testi .....	25
3.3.4. XRF Analizi .....	26
3.4. Atık Sabundan Hurda Sabunu Ayırma .....	28
3.5. Çözelti Oluşturma .....	29
3.6. Metal Parçacıkları Ayırma.....	31
3.7. Çözeltiden Suyu Ayırma.....	32
3.8. Kurumuş Sabunu Öğütme .....	33

### 4. BÖLÜM HAT TASARIMI

4.1. Eleme Sistemi.....	37
4.2. Çözelti Oluşturma .....	38
4.2.1 Tank Hacmi .....	39
4.2.2. Çözeltiyi Belirli Sıcaklıkta Tutma .....	40
4.2.3. Karıştırıcı.....	41
4.3. Süzme .....	42
4.4. Buharlaştırma.....	43
4.5. Öğütme .....	45
4.5.1. Değirmen Boyutlandırma.....	46
4.5.2.Bilye Tipi.....	47
4.5.3 Değirmen Dönüş Hızı.....	48
4.5.4. Motor Gücü .....	51

### 5. BÖLÜM

#### GERİ DÖNÜŞÜM HATTI, YILLIK GERİ KAZANIM VE AMORTİSMAN

5.1. Geri Dönüşüm Hattı.....	52
------------------------------	----

<b>5.2. Yıllık Geri Kazanım Miktarı .....</b>	<b>53</b>
<b>5.3. Amortisman .....</b>	<b>54</b>

## **6. BÖLÜM**

### **SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

<b>6.1. Giriş .....</b>	<b>55</b>
<b>6.2. Sonuçlar .....</b>	<b>55</b>
<b>6.3. Öneriler .....</b>	<b>56</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>57</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>60</b>

**KISALTMALAR**

°C	: Santigrat
µm	: Mikrometre
Cm <sup>3</sup>	: Santimetreküp
d/d	: Devir/dakika
D	: Çap
Dk	: Dakika
F	: Force
gr	: Gram
h	: Hour
Kg	: Kilogram
Kw	: KiloWatt
m <sup>3</sup>	: Metreküp
ml	: Mililitre
Mm	: Milimetre
Mp	: Açısal Hız
Nm	: Newtonmetre
Rpm	: Revolutions per minute
t	: Ton
T	: Tork

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Sabun kaplama modellerinin karakterize edilmesi .....	5
Tablo 1.2.	Kuru tel çekme makinesi teknik verileri .....	13
Tablo 4.1.	Astarlar arası mesafeye göre kritik hız değerleri % .....	49
Tablo 4.2.	Bir değirmen üreticisinin teknik parametreleri .....	50
Tablo 5.1.	Geri dönüşüm hattı ana tasarım parametreleri .....	53



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Dişli kırıcı .....	6
Şekil 1.2.	Manyetik ayırma .....	6
Şekil 1.3.	Döner elek sistemi .....	7
Şekil 2.1.	Plastik şekil verme yöntemleri.....	8
Şekil 2.2.	Plastik şekil verme yöntemlerinin şekil üzerinde gösterimi a) Haddeleme b) Dövme c) Ekstrüzyon d) Çubuk/Tel çekme e) Sac Kesme f) Sac Bükme g) Derin Çekme .....	9
Şekil 2.3.	Tel ve çubuk çekme ürünleri .....	10
Şekil 2.4.	Filmaşın .....	10
Şekil 2.5.	Kuru tip tel çekme makinaları .....	11
Şekil 2.6.	Yağlı tip tel çekme makinaları.....	11
Şekil 2.7.	Bakır bir telin çekilmesinde kesit azalmasının optimum kalıp açısına etkisi.....	12
Şekil 2.8.	Kalıp Açısı ( $\alpha$ ) ' nın gösterimi.....	12
Şekil 2.9.	Çekme işleminde h ve L .....	14
Şekil 2.10.	Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma.....	15
Şekil 2.11.	Boyun vererek kopma .....	16
Şekil 2.12.	Karga ayağı.....	17
Şekil 2.13.	Sürtünme katsayısının çekme hızına bağlı olarak değişmesi.....	19
Şekil 2.14.	Tel ve hadde arasındaki sabun tabakasının basit gösterimi .....	19
Şekil 3.1.	Deneyisel çalışmada izlenecek ayırıştırma teknikleri.....	23
Şekil 3.2.	SEM analizi (A) Kullanılmamış sabunla çekilen telin 500 X büyütmede (B) Kullanılmış sabunla çekilen telin 500 X büyütmede (C) Kullanılmamış sabunla 2.50 KX büyütmede (D) Kullanılmış sabunla 2.50 KX büyütmede çekilen telin SEM görüntüleri .....	25
Şekil 3.3.	Çekme testi .....	25
Şekil 3.4.	Burulma testi.....	26
Şekil 3.5.	XRF Analizi.....	26
Şekil 3.6.	İşletmeden çıkan atık sabun .....	27
Şekil 3.7.	Hurda sabundan dönüştürülecek kısmı elek yardımı ile seçme .....	28
Şekil 3.8.	Çözelti oluşturma.....	30

Şekil 3.9.	Su-Atık sabun çözeltisi ve çözülmeyen metal parçacıklar .....	30
Şekil 3.10.	Çözeltiyi 50 mesh elekten geçirme işlemi .....	31
Şekil 3.11.	Sabunu kurutma işlemi .....	32
Şekil 3.12.	75°C Sıcaklıkta sabun boyutunun kurumaya etkisi .....	33
Şekil 3.13.	Bilyeli öğütme işlemi.....	34
Şekil 3.14.	Silindirik kapta rulman bilyesi ile öğütme denemesi.....	35
Şekil 4.1.	Sıralı geri dönüştürme prosesi .....	36
Şekil 4.2.	Endüstriyel titreşimli elek görünümü .....	38
Şekil 4.3.	Endüstriyel silindirik tank.....	40
Şekil 4.4.	Pervane tipi karıştırıcı .....	41
Şekil 4.5.	Kurutma kabı çeşitleri (a) Tek bölmeli kap (b) Çok bölmeli kap.....	42
Şekil 4.6.	Endüstriyel PID kontrollü hava üflemleri fırın .....	43
Şekil 4.7.	7x7 bölmeli kap (ölçü birimi cm'dir) .....	44
Şekil 4.8.	Bilyeler arası boşluk .....	48
Şekil 4.9.	Değirmen hızına göre iç malzeme konumu .....	48
Şekil 5.1.	Geri dönüşüm hattı dizilişi.....	52

## GİRİŞ

Bir malzemenin kuvvet etkisiyle boyut değiştirmesi şekil değiştirme olarak ifade edilmektedir. şekil değişimi ya plastik ya da elastik olmaktadır. Malzemedeki şekil değişimi kalıcı olursa plastik şekil değişimi, kalıcı olmazsa elastik şekil değişimi olarak adlandırılmaktadır [1]. Plastik şekillendirilme işleminde, malzeme katı haldeyken, hacimde değişiklik olmaksızın şekli kalıcı olarak değişmektedir. Ancak bu durumda malzeme kristal yapı özelliklerini korumaktadır ve kırılma söz konusu değildir. Kütlesel şekillendirme ve sac şekillendirme, plastik şekil vermenin iki ana yöntemidir. Bu yöntemlerde kendi aralarında dallara ayrılmaktadır. Kesme, bükme ve derin çekme sac şekil vermenin çeşitleri iken, haddeleme, dövme, ekstrüzyon ve tel, çubuk çekme işlemleri kütlesel şekillendirmenin çeşitleridir.

Tel, çubuk çekme işleminde, telin veya çubuğun kesit alanı azaltılırken boyu uzatılmaktadır. Çünkü toplam kütle korunacaktır. İşleyiş olarak ekstrüzyona benzese de, ekstrüzyon işleminde takozun ittirilip basılması söz konusudur. Tel veya çubuk çekme işleminde ise kalıp sonrasında tutulup çekilmesi söz konusudur. Bu çekme işleminde 4 ila 12 arasında tambur arka arkaya dizilidir ve her birinin önünde kalıp olmaktadır. Metal kalıbın içerisinden, başka bir metal çekileceği için yağlayıcı olması şarttır [2].

Tel çekmede yağlama işlemi 2 farklı türde yapılmaktadır. Bunlar kuru yağlama ve ıslak yağlamadır. Kuru çekmede çoğunlukla sabun tozu kullanılırken greste kullanılabilir. Islak çekme işleminde ise sıvı yağ kullanılmaktadır [3]. Toz sabunlar genellikle sodyum ve metalik sabunlar olarak sınıflandırılır. Suda çözünebilen sodyum sabunları, çelik tel çekmede uzun yıllardır kullanılmaktadır. Metalik sabunlar arasında açık farkla en çok kullanılanı suda çözünmeyen kalsiyum sabundur [4].

Bu çalışmada, Demiryaka Grup bünyesinde tel çekme makinelerinde kullanılan sodyum bazlı sabunların, proseste kullanım sonucu içerisine yabancı maddelerin karışmasıyla (metal parçacıkları) ve ayrıca yanan sabunun birbirine yapışarak kütle haline gelmesiyle

atık duruma dönüşen sabunun geri dönüştürme çalışması ve bu çalışmada kullanılan yöntemler ile sistem tasarımı yapılmıştır. Öncelikle eleme yöntemiyle atık sabun içerisinde sabun boyutundan büyük metal parçalar ve yanmış sabunlar ayrıştırılmıştır. Geri kalan atık sabunla sulu çözelti oluşturmuştur ve sabun suda çözülürken metal dibe çökmüştür. Daha sonra tekrar elekten geçirilip geri kalan metal parçalarda ayrıştırılmıştır. Bundan sonraki prosesler ile geri dönüştürülen sulu sabunun önce kurutularak suyu atması ve ardından öğütülerek orijinal boyutuna getirilmesi amaçlanmıştır. Buharlaştırma hızını artırmak adına bölmeli kaplara yerleştirilen ıslak sabun kurutma fırınında kurutulup öğütmeye hazır hale getirilmiştir. Orijinal sabunun ortalama tane büyüklüğü değeri göz önünde bulundurularak öğütücü olarak bilyeli değirmen seçilmiştir.

İşletmede, proseste artırılması gereken sabun miktarı (100kg) göz önünde bulundurularak ekipman kapasiteleri belirlenmiştir ve hat şeklinde dizilmiştir. Kullanılan ekipmanların fiyatı belirlenerek hat maliyeti hesaplanmıştır. 2022 yılında kullanılan sabun miktarı göz önünde bulundurularak yapılan amortisman hesabında, amortisman süresinin 1 yıldan az olduğu görülmüştür.

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Araştırmanın Amacı

Plastik şekil verme işleminde prosesine göre yağlayıcılar kullanılmaktadır. Plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan tel çekme işleminde ise yağlama, ıslak ve kuru olmak üzere iki çeşittir. Islak tel çekme işleminde sıvı yağ kullanılırken, kuru çekmede gres veya sabun tozu kullanılmaktadır. Her malzemede olduğu gibi yağlayıcılarında bir kullanım ömrü vardır. Ancak konumuz olan tel çekme işleminde kullanılan sodyum bazlı sabun tozları tam anlamıyla ömrünü tamamlamadan, çekme işleminden içerisine karışan metal parçaların yine çekilen tele zarar vermesinden atık durumuna geçmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, atık sabunun içerisindeki metal parçalardan ve ömrünü tamamlamış sabunlardan ayrışıp tekrar kullanılmak üzere geri dönüştürülmesi ve bu geri dönüşüm sürecinde kullanılacak ekipmanlar ile sistem tasarımı hedeflenmiştir.

### 1.2. Literatür Taraması

Literatürde, doğrudan sodyum bazlı sabunların geri dönüştürülme sistem tasarımı yapılmamıştır. Ancak geri dönüşüm sistem tasarımında prosesdeki ürün çok önemlidir. Çünkü amaç ürünü tekrar kullanabilmektir. Bu yüzden gerek tel çekme prosesi gerek yağlayıcıların incelendiği çalışmalar ele alınmıştır ve sistem tasarımındaki ekipmanlar hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Ay [5], tel çekme prosesini ve tel çekme işleminde görülen kusurları incelemiştir. Tel çekme hammaddesi olan filmaşinlerin öncelikle pasının giderilmesi gerektiği aksi takdirde hem kalıplarda aşınma hem de çıkan ürünün yüzeyinde kusurların olacağını görmüştür. Pas giderme işleminin ise mekanik yolla ve ya sülfürik asit ve hidroklorik asit

banyolarında kimyasal yolla yapılacağını belirtmiştir. Hammaddenin dışında prosten gelen ve tel çekme kalitesini etkileyen parametreleri ise aşağıdaki şekilde belirtmişlerdir.

- Kalıp açısı
- Kesit azalması
- Tel çekme hızı
- Sıcaklık
- Yağlama

Çalışmada tel çekme malzemesine göre kullanılan yağlayıcıları da incelemişlerdir. Malzemeye göre sabun cinsinin aşağıdaki şekilde olduğunu belirtmişlerdir.

Paslanmaz çelik çekme işleminde : Oksalat Kaplama, Sabun, Klorine Parafin ve Mineral Yağ

Karbonlu çelik çekme işleminde : Sabun

Nikel çekme işleminde : Mineral Yağ ve Klorine Parafin

Bakır çekme işleminde : Mineral Yağ

Alüminyum çekme işleminde : Mineral Yağ

Soğuk tel çekme işleminde genellikle kuru çekme yapıldığında toz şeklinde sodyum sabunun içerisinden geçirildiği ifade edilmiştir. Yine aynı çalışmada proste görülen kusurlar incelendiğinde ise, ürün merkezinde çavuş işareti çatlaklarının oluşması, yağlamanın iyi olmaması, yüzey hazırlamanın iyi olmaması, şekil değişiminin homojen olmaması ve çubuklarda ve filmaşinlerde hammaddeden ileri gelen kusurlar olduğu belirtilmiştir.

Altun [6], tel çekmede kullanılan sabunlar ve prosese etkileri üzerine araştırma yapmışlardır. Hadde sabunlarının, kalsiyum, sodyum ve alüminyum bazlı sabunlar olmak üzere üç gruba ayrılacağını belirtmişlerdir. Kalsiyum bazlı sabunun suda çözülmediğini ve düşük tel çekme hızlarında kullanıldığını, alüminyum bazlı sabunların suda

çözülmediğini ve özellikle vida, cıvata yapımında kullanılan telin çekimine uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Sodyum bazlı sabunların ise suda çözüldüğünü, genellikle yüksek tel çekme hızlarında kullanıldığını veya telin yüzey şartlarının önem taşıdığı durumlarda kullanıldığını belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada kalıp aşınması ve sabun kaplama modellerini incelemişlerdir. Tel çekme işleminde kalıp girişinde çıkışına göre daha çok aşınma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu durumu ise, giriş bölgesindeki sürtünmenin fazla olduğu için telin kalıptan geçmesinin zor olduğuna ve çıkışta kopmasına dayandırmışlardır. Nedeni ise iki ihtimale dayandırmışlardır. Bunlardan ilki çekilen tele yapılan soğutmanın yetersiz olması sonucu telde iç ısıl gerilimler oluşması, ikincisi ise yağlayıcının iyi filtre edilmemesi sonucu toz, çapak gibi yabancı maddeler içermesidir şeklinde ifade etmişlerdir. Sabun kaplama modelleri ve yüzey görünümü hakkında yaptıkları çalışmalar sonucunda ise özetle aşağıdaki Tablo 1.1. de yer alan bilgilere ulaşmışlardır

Tablo 1.1. Sabun kaplama modellerinin karakterize edilmesi [6]

<b>Kaplama Modeli</b>	<b>Sürtünme Katsayısı</b>	<b>Yüzey Görünümü</b>
Hiç Kaplama Almamış	$\mu > 0,25$	Çizik, nervür, çatlak ve kopma
Bölgesel Kaplama	$0,15 < \mu < 0,25$	Karga ayağı, çizik
Tam Kaplama	$0,10 < \mu < 0,15$	Pürüzsüz, mat
Kalın Kaplama	$\mu < 0,03$	Nervür, bölgesel yeterli olmayan kesit daralma

Byon, Lee [7], tel çekme işleminde yağlayıcıların tel üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı tip yağlayıcılar ile denemeler yapmışlardır. Denemeler sonucunda yağlayıcı tipinden partikül büyüklüğüne kadar birçok etkenin tel çekme üzerinde etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Tel çekme işleminde, çekme kuvvetinin yağlayıcı tipine göre önemli ölçüde değiştiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte tel yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktörün çekmenin ilk aşamasındaki yağlayıcı tipinin olduğu ve bununla birlikte büyük parçacıklı yağlayıcıların tam yağlamanın gecikmesine ve kaplama tabakasının lokal delaminasyonuna neden olduğunu belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada yapılan partikül boyutu üzerine incelemede, yağlayıcı tozun partikül boyutu küçüldükçe yapışkanlığın arttığı da bunu ispatlar niteliktedir şeklinde ifade etmişlerdir.

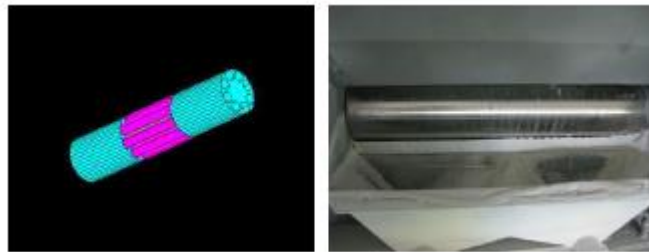
Varol [9], yaptığı çalışmada mekanik öğütmeye tabi tuttuğu  $Al_2O_3$  tozlarının partikül büyüklüğü boyutunun, mekanik öğütme parametreleri olan öğütme zamanı, öğütme hızı ve bilye toz ağırlık oranının etkisini araştırmıştır. Yapılan bu çalışmada, öğütme zamanının artmasıyla partikül boyutunun küçüldüğünü, öğütme hızının artmasıyla partikül boyutunun küçüldüğünü, bilye/toz ağırlığı oranının azalmasıyla partikül boyutunun arttığını ifade etmiştir. Bir etkenin sonucunu görmek için, diğer etkenleri sabit tutarak yaptığı çalışmada ulaştığı sonuç Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Kim, Jang ve Lee [8], yaptığı çalışmada, tel çelme işleminde sabuna kalıptan gelen demir oksit karışması sonucu kullanılamaz hale gelen atık sabunu tekrardan kullanılabilir hale getirmeyi incelemişlerdir. Çalışmalarında demir sabun yapışması sonucu yığın hale gelen kısmı öncelikle mekanik kırma işlemi ile ayırmışlardır. Bu kısımda dişli tipi kırma mekanizması kullanmışlardır (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Dişli kırıcı [8]

Daha sonra manyetik ayırma ile demir parçalarını ayırmışlardır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Manyetik ayırma [8]

Çalışmada, dış çapı 80mm olan bir çubuğun içine 12 mm çapında 8 kalıcı mıknatıs yerleştirilmiş ve 40.000 Gauss manyetik kuvvete sahip olacak şekilde tasarım yapmışlardır. Geri dönüşüm işleminin son bölümünde ise demir talaşlarından ayrılan

sabun tozunun partikül büyüklüğüne göre filtreleme işlemi yapmışlardır. Filtreleme işlemini farklı mesh değerine sahip elekler ile yapmışlardır (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Döner elek sistemi [8]

Yapılan çalışmada Kim Jang ve Lee [8], sabun kurtarma oranının %85.45, yenilenme oranının %86.97 ve demirden ayırma oranının %84.7 olduğunu ifade etmişlerdir.

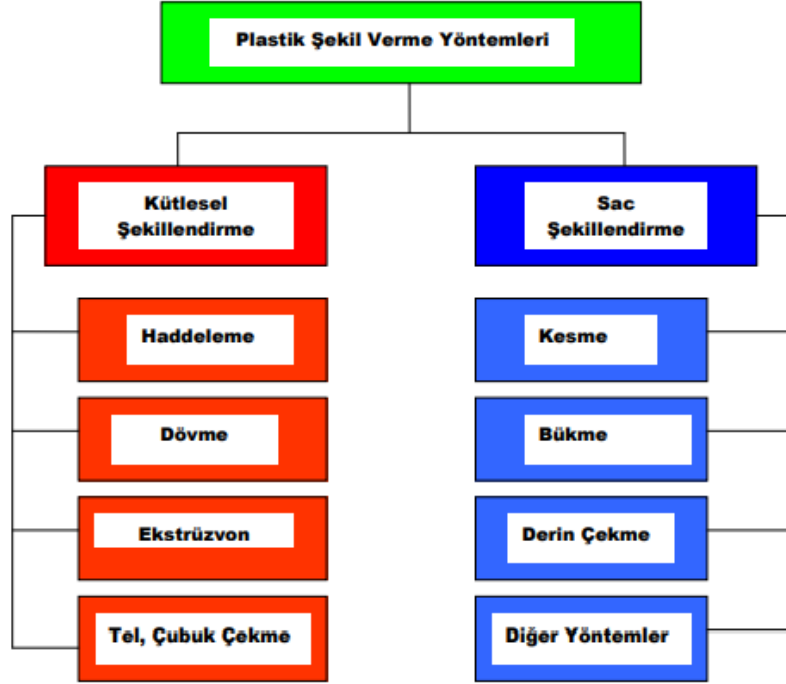
## 2. BÖLÜM

### PLASTİK ŞEKİL VERME

Metallerin, katı hal durumunda, kalıp adı verilen takımlar yardımıyla şeklinin kalıcı olarak değiştirilmesidir. Bu işlemin gerçekleşebilmesi içinse metaller akma dayanımlarını aşan gerilmelere maruz bırakılmalıdır. Plastik şekil verme için iş parçasının sünekliliği yüksek dayanımı düşük olmalıdır. İşlemin etkinliği için, sıcaklık, şekillendirme hızı, pekleşme davranışı ve sürtünme gibi faktörler belirleyici unsurlardır.

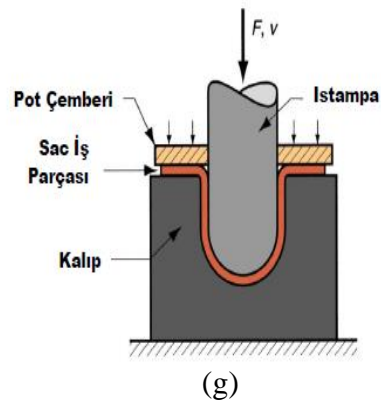
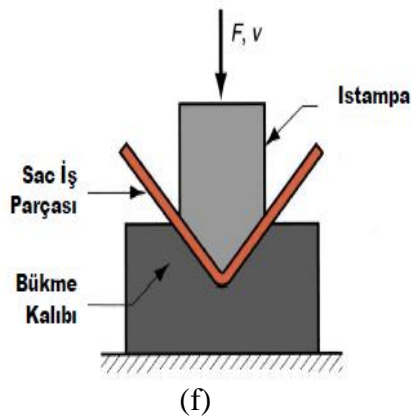
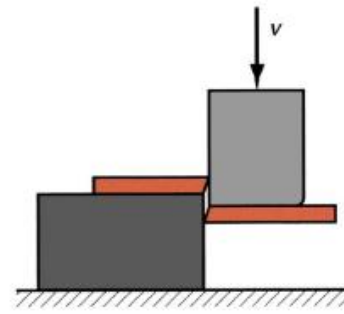
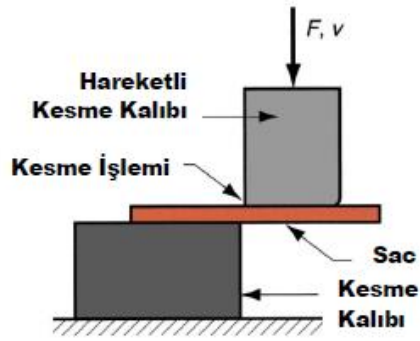
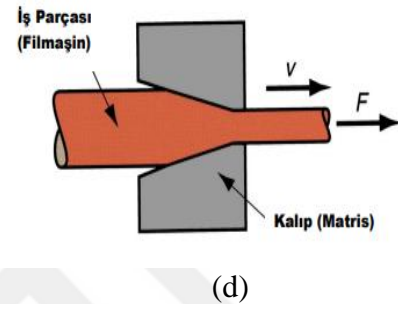
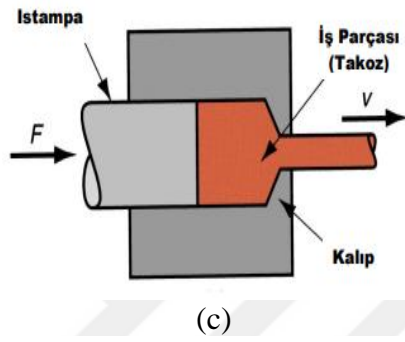
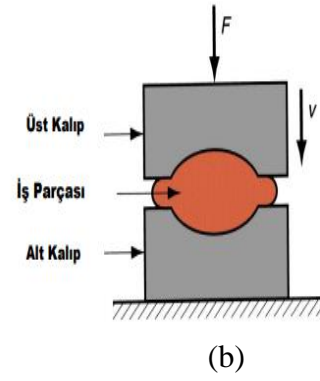
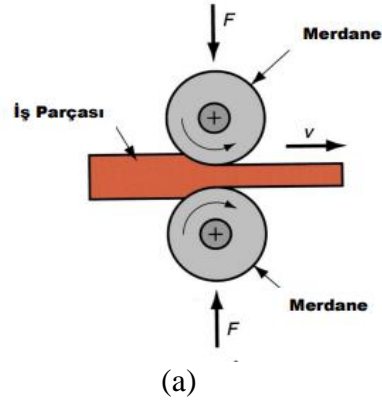
#### 2.1. Plastik Şekil Verme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Aşağıda plastik şekil verme yöntemleri (Şekil 2.1.) örnek şekiller ile gösterilmiştir.



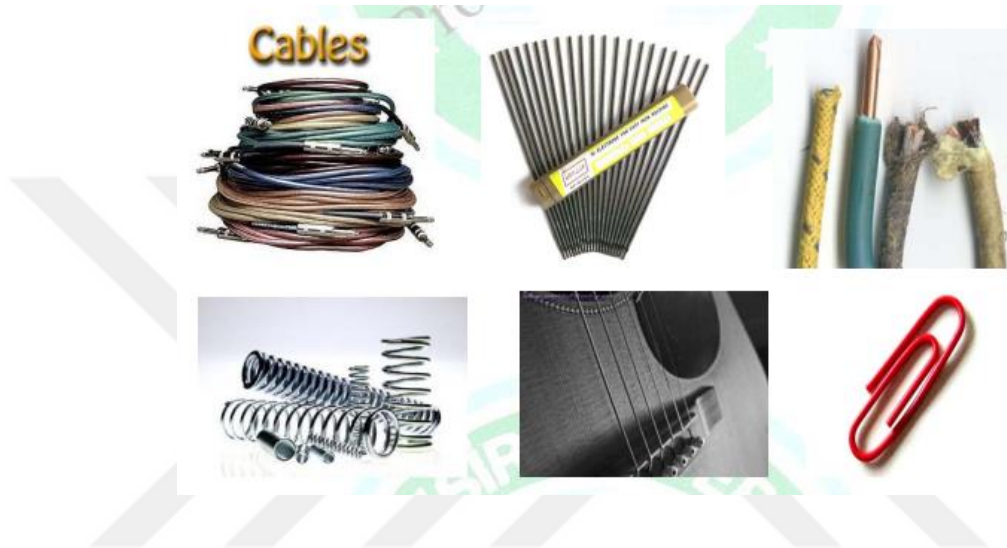
Şekil 2.1. Plastik şekil verme yöntemleri [2]

Plastik şekil verme yöntemlerinin şekil üzerinde gösterimi aşağıdaki gibidir [2].



Şekil 2.2. Plastik şekil verme yöntemlerinin şekil üzerinde gösterimi a) Haddelme b) Dövme c) Ekstrüzyon d) Çubuk/Tel çekme e) Sac Kesme f) Sac Bükme g) Derin Çekme

Tel çekme işlemi, bir telin bir matris (kalıp) içerisinde geçirilerek kesitinin küçültülmesi işlemidir (Şekil 2.2.(d)). Genellikle dairesel olan tel kesitleri bazen kare, altıgen de olabilmektedir. Dairesel kesiti büyük olanlar çubuk olarak tanımlanırken daha çok ince kesitli olanlara tel denilmektedir. Çubukların çekilmesiyle civata, saplama gibi elemanlar üretilirken tellerden ise kablo, yay gibi ince kesit gerektiren ürünler üretilmektedir (Şekil 2.3.). Konumuz gereği teller üzerinden devam edilmiştir.

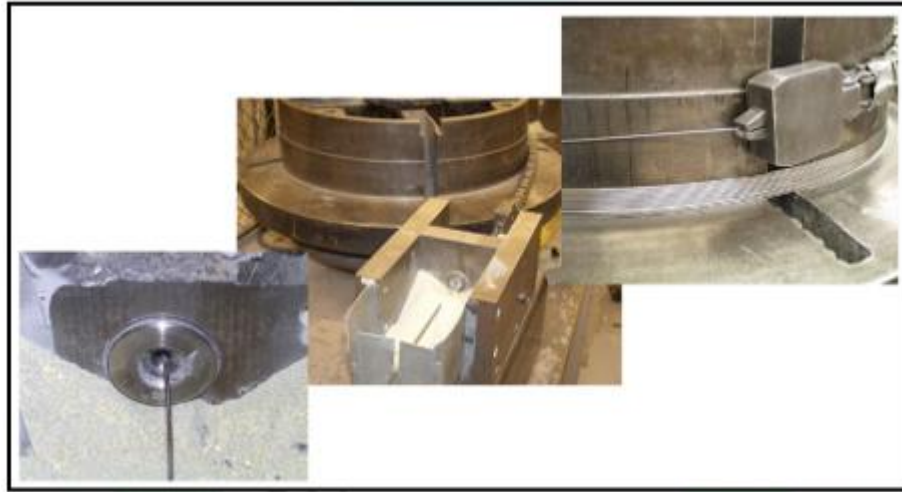


Şekil 2.3. Tel ve çubuk çekme ürünleri [5]

Çelik teller kangal şeklinde sunulan ve filmaşın diye adlandırılan (Şekil 2.4.) yarı mamül ürünlerden üretilir. Tel Çekme işleminde redüksiyon oranına göre kalıp(matris) sıralaması yapmak kadar yağlama da önemlidir. Yağlama ıslak ve kuru olmak üzere iki çeşittir. Kuru çekmede (Şekil 2.5.) sabun tozları ve ya gres kullanılırken, ıslak çekmede sıvı yağ (Şekil 2.6.) kullanılır.



Şekil 2.4. Filmaşın [5]



Şekil 2.5. Kuru tip tel çekme makinaları [5]



Şekil 2.6. Yağlı tip tel çekme makinaları [5]

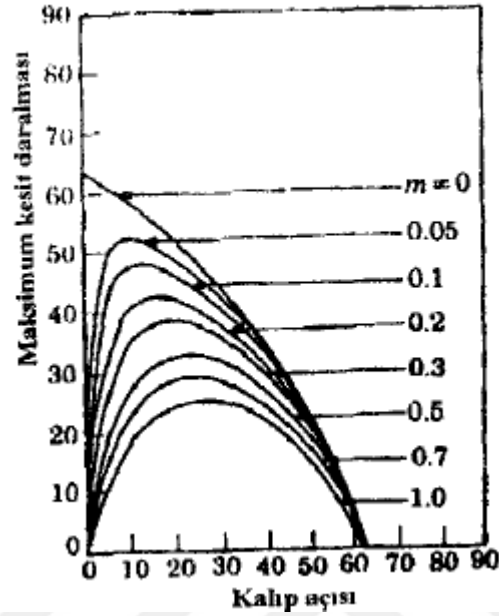
## 2.2. Tel Çekmeyi Etkileyen Parametreler

Tel çekmede telin kalitesini etkileyen birçok etken olsa da ana etkenler aşağıdaki gibidir.

- Kalıp açısı (  $\alpha$  )
- Kesit azalması
- Tel çekme hızı
- Sıcaklık
- Yağlama

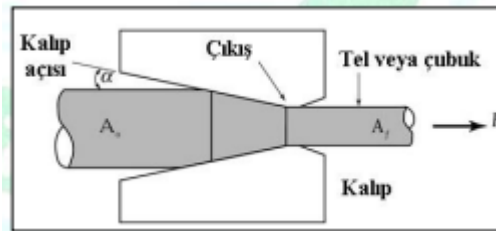
Çekme işleminde sürtünme şartların da iyileşme isteniyorsa, yani kolay çekilme isteniyorsa “optimum kalıp açısı” tespit edilmelidir. Bu açı 6 - 15 °C arasında değişmektedir. Şekil 2.7. deneysel bir çalışmadan tipik bir örnek gösterir. Minimum

kuvvet için optimum kalıp açısı kesit daralmasıyla artar. Dikkat edilirse çekmede optimum açılar oldukça küçüktür (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. Bakır bir telin çekilmesinde kesit azalmasının optimum kalıp açısına etkisi [3]

Kalıp açısı aynı zamanda ürün kalitesini doğrudan etkileyen ve yüzeyde çatlak oluşumlarına sebebiyet veren  $h$  ve  $L$  ölçülerini de etkilemektedir (Şekil 2.7.). Kalıp açısının azalması, istenen çap düşümünü yakalamak için daha uzun  $L$  yani daha çok tel ve kalıp etkileşimi demektir. Bu etkileşim daha fazla sürtünmeye, sürtünme ise daha fazla sıcaklığa yol açmaktadır. Yüksek sıcaklık ise yağlayıcının yapısını bozmaktadır.



Şekil 2.8. Kalıp Açısı ( $\alpha$ ) 'nın gösterimi [3,5]

Olması gereken max. kesit azalması paso başına %63 'tür. Ama diğer yandan % 45 den fazlası yağ bozulması yapabilir, bu da parçanın yüzeyinin bozulmasıyla sonuçlanabilir.

Tel çekme işleminde, tel sıra sıra bloklardan geçerken kesiti küçülür, hızı ve boyu ise orantılı şekilde artar. Bundan dolayı sarılan makaraların kalıptan çıkış hızına göre çevresel hızı da arttırılmalıdır. Bu ise iki yolla mümkündür. Ya makaralar farklı sarma çaplarında kademeli yapılır ki pek kullanılmayan yöntemdir, diğer yöntem ise makaraların ayrı motorla dönmesidir. Tablo 1.2. de kuru tel çekme makinesi üreticisinin teknik verileri paylaşılmıştır. Görüldüğü üzere blok çapı ile hız ters orantılıdır. Hız ile yağlama da birbirini etkileyen faktörlerdir. Makine hızları çok ince çaplarda 50m/s ye kadar çıkabilmektedir. Makine hızı arttıkça yağlama da hızlı olmalıdır. Bu yüzden hızın yüksek olduğu son bloklarda ince sabun kullanmak avantaj sağlamaktadır. İlk bloklarda, teli mümkün olduğunca yağlamak sonraki bloklara avantaj sağlamaktadır. Bu yüzden ilk 2 blokta kalın sabun tercih etmek avantaj sağlamaktadır.

Tablo 1.2. Kuru tel çekme makinesi teknik verileri [10]

Makine Tipi		TCM120	TCM090	TMC080	TCM076	TCM071	TCM063	TCM056	TCM045	TC040
Blok Çapı	mm	1200	900	800	760	710	630	560	450	400
Kurulu Güç - Max	mm	160	110	90	90	75	55	45	22	18,5
Yüksek Karbon Tel Girişi Çapı-Max (0,85C %)	mm	14,00	12,00	8,00	7,25	6,00	5,50	4,75	3,5	3,00
Düşük Karbon Tel Girişi - Max (0,10C %)	mm	18,00	16,00	13,75	12,00	10,50	9,50	8,00	6,50	6,00
Koiller İli Çalışma İle Hız - Max	mm	-	-	15	16	18	20	15	15	15
Makara Sarıcılı Çalışma İle Hız - Max	mm	12	15	18	20	30	35	35	35	35

Yüksek sıcaklık telin yapısından sabunun yapısına kadar birçok girdiyi etkileyen parametredir. Tel çapına, redüksiyona göre her kafadan sonra sıcaklık değeri farklı olsa da değişimleri incelenmelidir. Çekme kuvvetinin fazla olması kesit alanındaki azalmanın artması anlamına gelmektedir [3]. Her yağlayıcı da olduğu gibi, tel çekme sabunlarında da yüksek sıcaklık istenen bir şey değildir. Yüksek sıcaklık sabunun ömrünü kısaltıcı etki yapmaktadır.

Kuru tel çekme işlemlerinde kullanılan sabun çoğunlukla toz haliyle sodyum sabunudur. Tel sabun içerisinden geçirilerek yağlanmış olur. Yağlı tel çekmede ise tel sıvı yağın içerisinden geçirilir. Yağlı çekme 0,5 mm den küçük çaplarda uygulanan bir yöntemdir. Metallerde yağlama şekli değişmektedir. Paslanmaz çelik çekme işleminde oksalat kaplama, sabun,klorine parafin ve mineral, karbonlu çelik çekme işleminde sabun, nikel

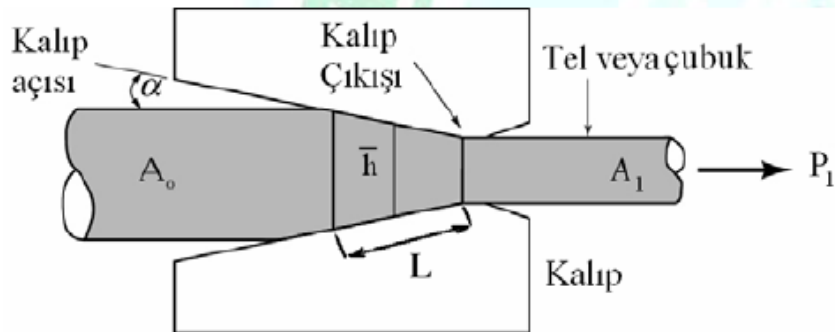
çekme işleminde mineral yağ ve klorine parafin, bakır ve alüminyum çekme işleminde mineral yağ kullanılmaktadır.

Tel çekme işlemlerinde yağlama olmazsa olmaz bir etkidir. Yağlama sayesinde tel ile kalıp arasındaki sürtünme azaltılarak kalıbın ömrü artırılır ve telin çekilmesi için gereken kuvvet azaltılır.

### 2.3. Tel ve Çubuk Çekme İşleminde Görülen Kusurlar

Tel çekme işleminde görülen kusurlar sorunun kaynağını göstermesi açısından oldukça önemlidir. Başlıca görülen kusurlar aşağıdaki gibidir.

Ürün merkezinde çavuş işareti çatlaklarının oluşması başlıca kusurlardandır. Sebebi aşağıdaki şekilde gösterilen  $h/L$  oranıdır. Oranın büyümesi şekil değiştirme homojenliğinin kaybolması demektir. Orta kısımda hidrostatik çekme gerilmesi olan ikincil çeki gerilmeleri doğar. Bu da çavuş işaretli ( $\gg$ ) çatlaklarının oluşmasına neden olur.



Şekil 2.9. Çekme işleminde  $h$  ve  $L$  [3,5]

Soğuk çekilen telin yüzeyi yağlamanın iyi olmamasından dolayı çatlayabilir. Ayrıca yağlama hatalı yapıldığında sert bir partikül çekme sırasında malzeme ile kalıp arasında sıkışabilir ve üründe boyuna çizikler oluşabilir. Çizikler tel çekme işleminde kaliteyi etkileyen en önemli unsurlardandır. Soğuk çekilmiş ürünlerde yüzey hazırlamanın iyi olmaması nedeni ile renk bozulması görülebilir.

Şekil değişimi homojen olmadığında soğuk çekilen tel, boru veya çubuklarda artık gerilmeler oluşur. Artık gerilmeler zamanla korozyon çatlaklarına ve yüzeyden talaş

kaldırılması halinde çarpılmalara yol açar. Bununla birlikte basma artık gerilemeleri de oluşur. Bu da yorulma ömrünü artırır. Olumlu sayabileceğimiz tek husustur.

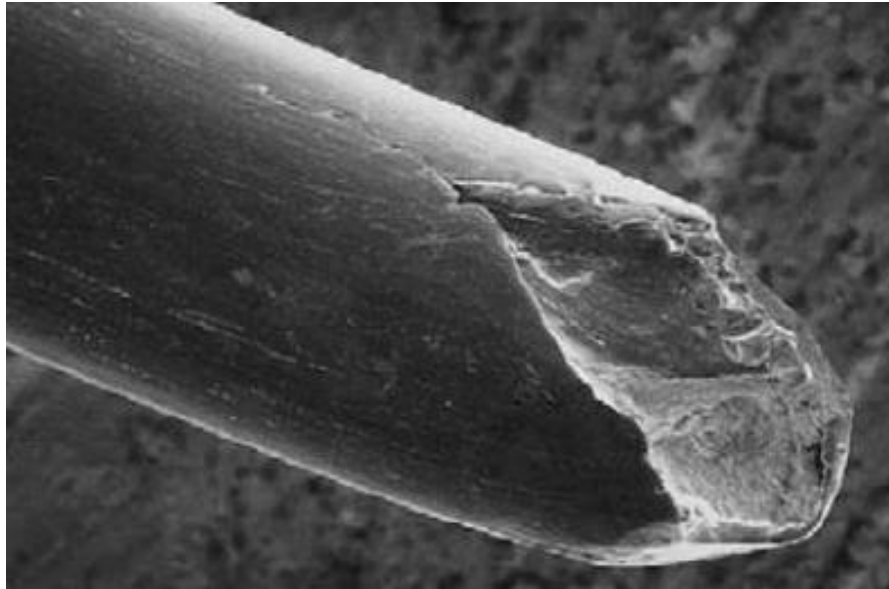
Hammaddenin içinde lunker, katmer gibi kusurların bulunması, ürüne olumsuz etki yapacağı aşıkardır [5].

#### **2.4. Tel Çekmede Kopma Türleri**

Tel çekme işlemlerinde toplamda 4 farklı kopma türü gözlemlenmiştir. Bu kopma türleri, noktasal inklüzyon kaynaklı kopma, bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma, delaminasyon kopması ve boyun vererek kopma olarak tanımlanmıştır.

##### **2.4.1. Noktasal İnküzyon Kaynaklı Kopma**

Bu kopma türü (iç veya dış kaynaklı inklüzyonlardan) malzemenin kendi kimyasal yapısından veya dışardan gelebilecek kalıp malzemesi gibi yabancı cisimlerden kaynaklanmaktadır. Bu kopma türünde inklüzyon, literatürde belirtilen en büyük inklüzyon boyutu olan 20  $\mu\text{m}$ 'dan büyük veya çok yakındır. Bu durumda inklüzyon telin o bölgesinde mukavemetin düşmesine sebep olur ve çatlak başlatır. Bu çatlak ise üzerine etkiyen kuvvete karşı telin mukavemetini düşürür ve telin kopmasına sebep olur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma [6]

### 2.4.2. Bölgesel İnküzyon Kaynaklı Kopma

Kopmanın bu türünde ise sadece iç kaynaklı inklüzyonlar etkilidir. Bu kopma çeşidinde görülen tipik bir özellik ise kopma bölgesine yakın bölgelerde kopma yüzeyinin ve mukavemetin çok düşmesidir. Kopma bölgesinin önünden ve sonrasında alınan numunelerde (tel çapı 1.20 mm olsa dahi) telin elle kıvrılmaya dayanamadığı ve kolay bir şekilde koptuğu görülmüştür.

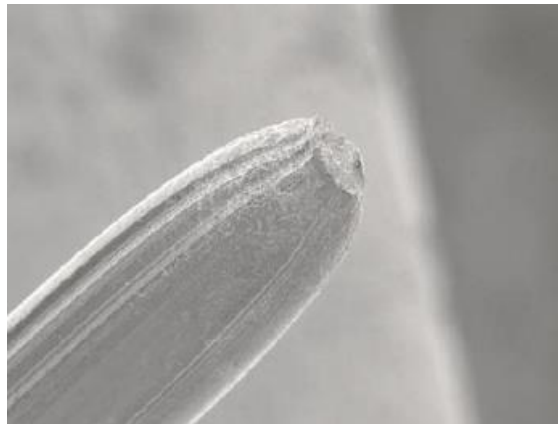
### 2.4.3. Delaminasyon Kopması

Delaminasyon kopmas türünde öngörülen sebep, çekme kalıbı yapısındaki bozulmalar veya telin banyodaki sabun derişimine bağlı olarak iyi sabun almamasıdır. Genellikle skin-pass haddelerinde görülür. Ancak makinede önlemler alınır ve problem iyi analiz edilirse problemin önüne geçilebilir.

### 2.4.4. Boyun Vererek Kopma

Kopma türleri ve sebepleri, geri dönüştürülen sabunun kullanımında bize yol gösterecektir. Çünkü deneme sırasında kopan tellerin tüm sebebini geri dönüştürülen sabuna bağlamamak gerekir. Yukarıda da bahsedildiği üzere üründen çekme kalıbı yapısına kadar birçok faktör vardır.

Boyun vererek kopmanın sebebi ise telin iyi bir şekilde sabun almamasıdır. Dolayısıyla tel, çekme kuvvetine karşılık gösteremeyecek ve sünerek kopacaktır (Şekil 2.11). Kopma sebebi kolayca anlaşılabilir bu kopma türünde hadde temizliği veya sabun ayarı ile kopmanın önüne geçilebilir.



Şekil 2.11. Boyun vererek kopma [6]

Bu bilgilerden sonra işletme bünyesinde kullanılan sodyum bazlı sabunun laboratuvar ortamında geri dönüştürme çalışmalarına ve bu çalışmalarda başarılı sonuç veren ayırma teknikleri ile makine tasarımına geçilmiştir.

Tel çekme işleminde sabunların görevi kalıp ile tel arasında katman oluşturarak sürtünmeyi uygun seviyede tutmaktır. Bu işlem, uygulanan kuvvetin düşürülmesi ve daha da önemlisi tel kopması ile telde çizik oluşumunun önüne geçilmesidir.

Tel çekme sabunları, tel çekme sırasında telin yüzeyine kaplanması amacıyla her çekme işlemi için ayrı bir kutu içerisine yerleştirilir.

## 2.5. Sabun Kaplama Modelleri

Tel ile çekme kalıbı arasında birbirine temastan dolayı sürtünme oluşur. Bu sürtünme kuvveti sabunun yüzeyi kaplayabilmesindeki en önemli unsurdur. Sürtünme kuvveti az olursa, yani tel ile kalıp arasındaki boşluk gerekenden fazla olursa telde istenen kesit daralması oluşmaz, çok olursa ki bu da tel ile kalıp arasındaki boşluğun gerekenden az olması demektir, nihai tel yüzeyinde istenmeyen unsurlar ve işlem sırasında kopmalar oluşabilir.

Sabunun hiç kaplanmadığı veya çok ince kaplandığı durumlarda oluşan sürtünme kuvveti çok yüksek olmaktadır. Bu modelde bölgesel sabun kaplamaları da görülebilmektedir. Bu durum çiziklerin, karga ayağı oluşumunun, yırtılmaların ve kopmaların en çok görüldüğü türdür.

Bölgesel sabun kaplama durumunda sürtünme daha az oluşmaktadır. Sabun, tel yüzeyinin her tarafına üniform olarak yayılmayıp, bölgesel olarak çeşitli yerlerde görülmektedir. Bunun sebebi ise tufalin iyi giderilememesi ve kalıptaki aşınmalardır. Bu modelde tel yüzeyinde karga ayağı (Şekil 2.12.) deformasyonu görülür.



Şekil 2.12. Karga ayağı

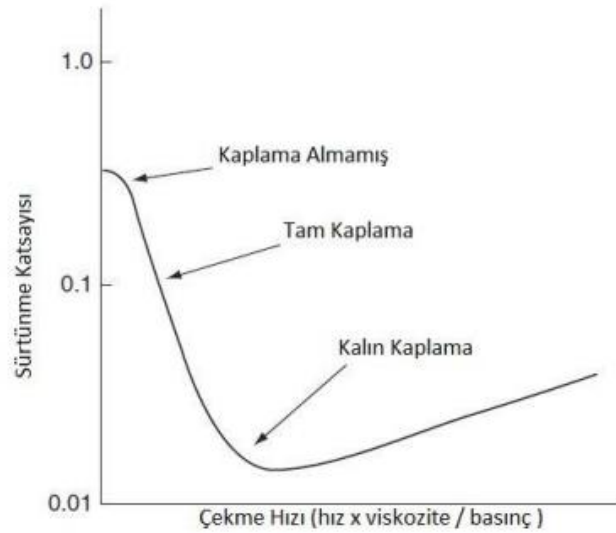
Tam kaplama modelinde sabun telin yüzeyine ünifor dağılarak, kalıbın yüzeyi ile telin yüzeyini birbirinden tamamen ayırmaktadır. Telde renk değişimi görülmediği gibi kalınlığı da ideal düzeydedir. Düşük sürtünme katsayısı oluşmaktadır. Teorik olarak, bu modelde, tel yüzeyinde bölgesel kaplama, karga ayağı ve deformasyonlar görülmemelidir.

Kalın film kaplamasında sabun, tam kaplamadan daha fazladır. Kalınlık ile ilgili ise 2 tanım yapılmaktadır. Bunlardan ilki; kalınlığın tam kaplamanın 1,5 katı olduğu görüşüdür. Diğer ise çekme kalıbı ve tel arasında kesme kuvveti oluşturmayacak şekilde olan kaplama kalınlığıdır. Kuru tel çekme işleminde kalın film tabakası oluşmasının sebeplerinden biri bazı sabunların gereken sıcaklık ve optimum hızı sağlayamamasıdır. Ayrıca kalıp girişinde telin yüzeyine sabun tarafından uygulanan basıncın çeşitli nedenlerle arttırılması da kalın film tabakası oluşmasına sebebiyet verir. Bu modelde tel mat görünümlüdür ve bölge bölge gözle görülmeyecek tümsekler görülür. Bu tümsekler telin kalıp içerisinde yeterince kesme kuvveti almasını engeller bu da beraberinde yeterli kesit daralmaması, haddede deformasyonu ve tel yüzeyinde nervür gibi olumsuzlukları getirir.

Kaplama modellerine göre sürtünme katsayısındaki değişim ve tipik yüzey görünümü Tablo 1.1.'de verilmiştir.

Sürtünme katsayısının ise kaplama modellerine ve tel çekme hızına bağlı olarak nasıl değiştiği Şekil 2.13.'de verilmiştir.

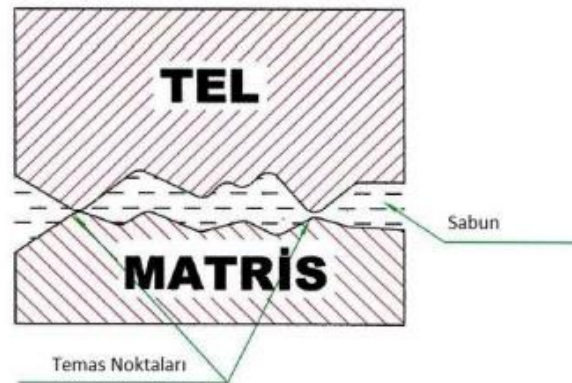
Belirli bir tel çekme hızı aşıldığında sürtünme katsayısının tekrar artmasının sebebi, yüksek tel çekme hızlarında oluşan yüksek ısı sebebi ile sabunun, telin yüzeyini kaplayamaması ve dolayısıyla telin, kalıp ile doğrudan temas etmesidir.



Şekil 2.13. Sürtünme katsayısının çekme hızına bağlı olarak değişmesi [6]

## 2.6. Tel Çekme Sırasında Kullanılan Sabunların Görevleri

Tel çekme işleminde kullanılan sabunun asıl amacı, çekme kalıbıyla tel arasında katman oluşturarak birbirlerine temas etmelerine engel olmaktır. Her ne kadar gözle görülmeyecek kadar küçük olsa da çekme kalıbında ve tel yüzeyinde bulunan girinti ve çıkıntılar çekme işlemi sırasında telin yüzeyinde çizikler meydana getirmektedir. Ayrıca bu girinti çıkıntılar çekme kalıbının ömrünü de azaltmaktadır. İyi bir sabun, kalıpta oluşan ısı altında yüksek viskoziteye ulaşarak tel ve kalıp arasında film oluşturarak sürtünmeyi azaltmalı ve şekillendirmeyi kolaylaştırmalıdır. Şekil 2.14’de şematik olarak görülen tel ve kalıp ilişkisinde sabun ara kısma girerek bu sürtünmeyi en aza indirmeyi hedefler.



Şekil 2.14. Tel ve hadde arasındaki sabun tabakasının basit gösterimi [6]

Tel çekme sırasında çekme kalıbı sıcaklığı 380°C'ye kadar çıkmaktadır. Bu sırada telde meydana gelebilecek ısı etkileri en aza indirmek için soğutma işlevinin verimli bir çalışması gerekmektedir. Ayrıca sabun, kalıp ve tel üzerindeki kirletici ve yabancı maddelere karşı filtre görevi yapmalı ve bu kirliliklerin tele geçmesini önlemelidir.

## 2.7. Sabunların Özellikleri

Tel çekme sabunlarının içerik olarak zenginliğini etkileyen birçok etken vardır. Bunların ilki ise yağ içeriğidir. Yağ içeriğinin zengin olması, yağlayıcı özelliğinin de zengin olması demektir. Erime noktası yüksek olan kimyasallar sıcaklık aralığını arttırmaları ve böylece yumuşama sağlar. Kuru çekme sabunlarında yumuşama sıcaklığı 40°C ile 60°C arasındadır. Bu yağlayıcının çeşidine göre de değişmektedir. Sabunda yağlayıcılık gereğinden fazla bir şekilde zengin olduğunda yani tel ile kalıp arasına girme kabiliyeti arttığında ki bu da yoğunluğun daha düşük olması demektir, sabun çok yumuşar (yumuşama sıcaklığı düştüğü için), kutu içinde topaklanır ve bu şekilde yapılan tel çekme işleminde tel parlaklığı azalır, tel yüzeyi tam olarak kaplanmaz ve bir süre sonra tel kopar. Ayrıca sabun içeriğindeki yağ miktarının artması ile çekme işlemi sonrasında sabun üzerinde daha ince bir sabun tabakası kalır. Genel olarak tel çekmede oluşan ısının olumsuz etkilerini telafi edebilmek adına yağ miktarı artırılır. Bu yüzden karbonu yüksek çeliğin çekiminde Dolayısıyla, yüksek karbonlu çeliğin çekilmesinde kullanılan sabundaki yağ miktarı düşük karbonlu çeliklere göre daha fazla olmalıdır.

Kuru tel çekme işleminde kalıp sabunları, kalsiyum bazlı, sodyum bazlı ve alüminyum bazlı sabunlar olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

Kalsiyum bazlı sabunlar suda çözünmezler. Saf halde 145°C - 165°C arasında yumuşarlar. Tel çekme hızının düşük olduğu durumlarda ve yeni çekilecek filmaşine verilecek ilk pasalarda kullanılır.

**Sodyum bazlı sabunlar suda çözünürler.** Saf halde 140°C - 160°C arasında yumuşarlar. Genellikle tel çekme hızının yüksek olduğu durumlarda veya tel yüzey şartlarının temiz olması gibi önem arz ettiği durumlarda kullanılır. Sodyum sabunları belirli derecelerde kireç ile reaksiyona girerek kalsiyum sabunlarını oluşturmaktadır.

Alüminyum bazlı sabunlar suda çözünmezler. Saf halde 140°C - 160°C arasında yumuşarlar. Alüminyum bazlı sabunlar daha çok vida, cıvata yapımında kullanılacak tellerin çekilmesi için uygundur [6].



## 3. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Giriş

Bu çalışmada, işletmeden çıkan sodyum bazlı atık sabunun geri dönüştürülmesi için tasarlanacak makine verilerine ulaşma yolunda, laboratuvar ortamında ön denemeler yapılmıştır.

Öncelikle atık sabun içerisinde hacimce farklı hurda kısımlar (galvaniz parçaları, yanmış sabun) eleme yoluyla ayrıştırılıp geri kalan kısımda suda çözünme özelliğinden faydalanılarak devam edilmiştir. Devamında, sabun tamamıyla geri kullanılacak hale gelene kadar sırasıyla süzme, buharlaştırma ve öğütme tekniklerinden yararlanılmıştır.

Öğütme işleminde bilyalı değirmen ile öğütme metodu seçilmiştir. Ancak değirmenlerde öğütülen madenlerin aksine sabunun yapışma özelliği olduğu için, öncesinde saha denemesi yapılmış ve öğütme işleminin yapıldığı görülmüştür. Değirmende boyut ve hız hesaplamaları ise bilyalı değirmenlerde optimum şartlara göre yapılmıştır.

#### 3.2. Malzeme ve Yöntem

##### 3.2.1. Malzeme

Tez çalışmasına konu olan sabun sodyum bazlı sabundur. İsmi VICAFIL TN 3785 F olarak geçmektedir. Geri dönüşüm çalışmalarını yapıp, tekrar kullanmak istenen atık sabunu verimli bir şekilde geri dönüştürmek için, işletmeden çıkan atık sabunun yapısını da bilmek gerekmektedir.

### 3.2.2. Yöntem

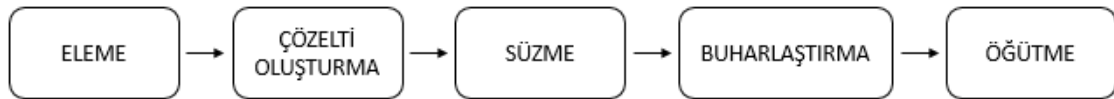
Amaç her ne kadar atık sabun içerisinde yanmış sabunu ve galvaniz parçacıklarını ayırmak olsa da, bu işlem sabunun kimyasal yapısını bozmadan yapılmalıdır. Sabunun yağlayıcı özelliğini ve yüksek ısıya karşı direnci düşürülecek olursa, geri dönüştürülen sabun saha denemelerinde fayda sağlamayacak ve yapılan çalışmanın bir anlamı kalmayacaktır.

Atık sabun, içerik olarak gözle kontrol edildiğinde içerisinde aşağıdaki bileşenler görülmüştür;

- Geri dönüştürmeye uygun sabun tozu,
- Yüksek ısıdan dolayı birbirine yapışarak kütük şeklini almış yanmış sabun,
- Yine yüksek ısıdan kaynaklı sabun tanelerinin yanmış hali (sabun tanesinden daha küçük boyutlarda)
- Galvaniz parçaları

Ayrıştırma teknikleri ile yapılacak işlem, geri dönüşüme uygun sabunu diğer bileşenlerden ayırmak olacaktır.

Eleme ve sonrasında yapılacak ayrıştırma teknikleri ana başlıklar halinde aşağıda görülmektedir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmada izlenecek ayrıştırma teknikleri

### 3.3. Bulgular

#### 3.3.1. Sabun Ortalama Tane Büyüklüğünün Belirlenmesi

Karakteristik özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir. Tane büyüklüğünü anlamak adına ise elek sisteminden geçirilmiştir (Tablo 3.2.).

Tablo 3.1. Vicafil TN 3785 sabun ortalama tane büyüklüğü

ITEM : C07388-213 VICAFIL TN 3785 F - PAPER BAG 20 K

BATCH : F775894

QUANTITY : 2 PCE

Manufacturing date :29.10.2021

Use-By-Date :29.10.2024

CONTROL BATCH : 30000322600

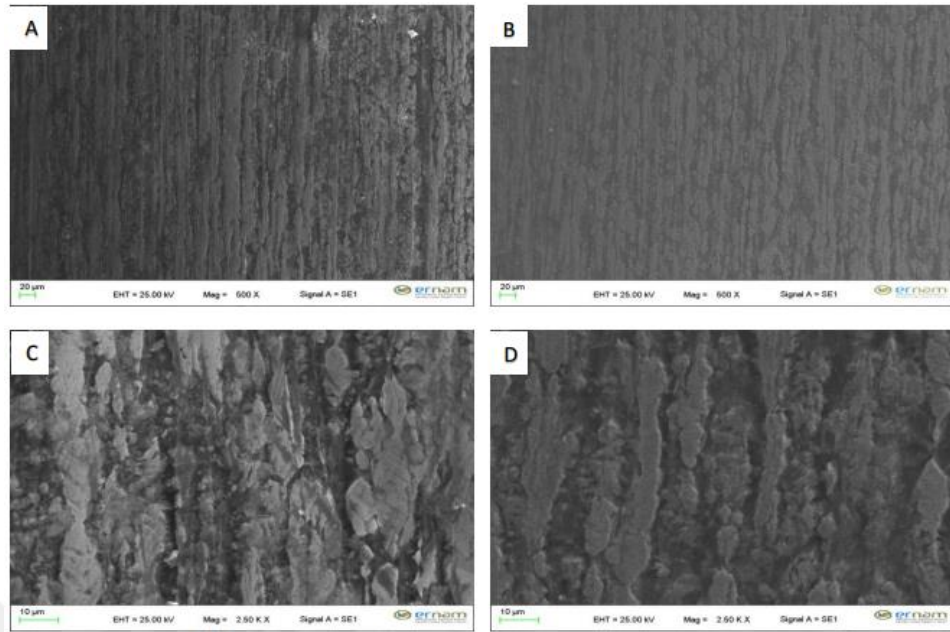
CHARACTERISTIC(S)	UNIT	VALUE	LOWER LIMIT	UPPER LIMIT
COLOR OF PRODUCT	-	WHITE	-	-
COLOR TEST OF POWDER		2,8	0,0	7,0
WATER CONTENT 125°C 25mn	%	0,5	0,0	2,0
PARTICULE SIZE - D10% IN MM	mm	0,10	0,05	0,15
PARTICULE SIZE - D50% IN MM	mm	0,49	0,30	0,70
PARTICULE SIZE - D90% IN MM	mm	1,74	1,60	2,10
PARTICULE SIZE - XM IN MM	mm	0,72	0,50	0,95
TYPE OF PRODUCT	-	BEAD	-	-

Atık sabun, galvanizli tel ile yapılan tel çekme sırasında, yüksek ısıdan dolayı kısmen yanma görülen, içerisinde telden gelen galvaniz parçacıkları bulunduran, kullanmaya devam edildiği takdirde tele zarar veren sabundur. Çalışmanın amacı, atık sabun içerisinden yanan sabunu ve galvaniz parçacıklarını ayırmak ve geri kalan kısmı uygun tane büyüklüğünde tekrar işletmeye vermek olmuştur.

Geri dönüştürme çalışmaları tamamlanan sabun daha sonra, kullanılmamış sabun ve geri dönüştürülmüş sabun gözle ve laboratuvar ortamında kıyaslanmıştır. Öncelikle proseste deneme ile kontrol yapılmıştır. Proses denemelerinde gözle görülür bir fark olmamıştır. Sonrasında laboratuvar ortamında sabunlar ve sabunlardan çekilen ürünler kıyaslanmıştır.

### 3.3.2. SEM Analizi

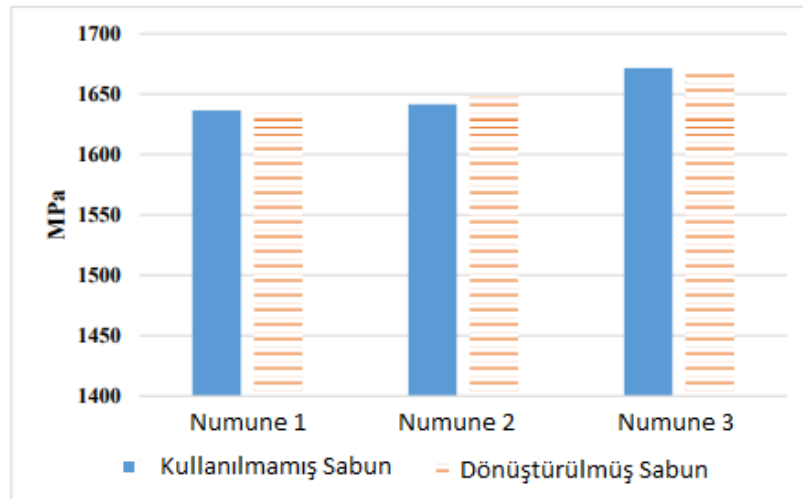
Kullanılmamış orijinal sabun ve geri kazanılmış sabunlar kullanılarak 5 km uzunluğundaki tel için tel çekme işlemi yapılmıştır. Tel çekme işleminden sonra, tel örneklerinin yüzey yapıları taramalı elektron mikroskobu ve ışık mikroskobu teknikleri kullanılarak incelenmiştir (Şekil 3.2.). Her iki yöntemden elde edilen görüntüler incelendiğinde tel yüzeylerinde çizik, kırılma gibi herhangi bir deformasyonun olmadığı net bir şekilde görülmüş ve ayrıca tel yüzey kalitesinde önemli bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.



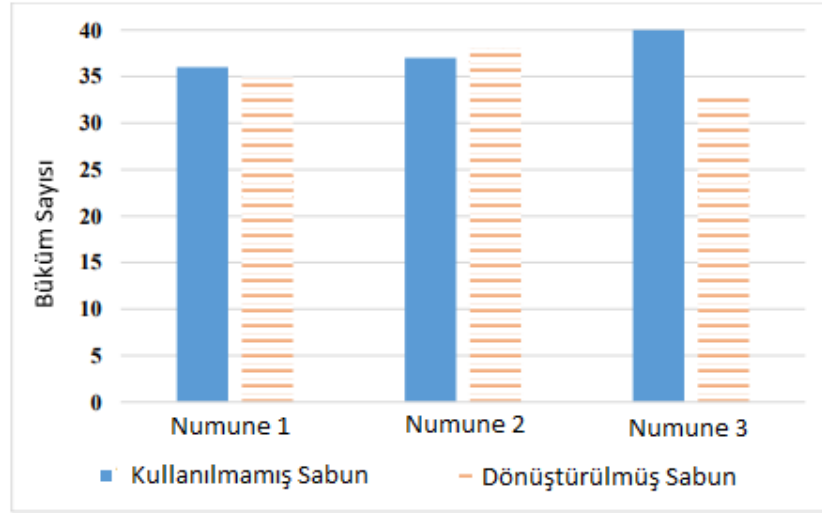
Şekil 3.2. SEM analizi (A) Kullanılmamış sabunla çekilen telin 500 X büyütmede (B) Kullanılmış sabunla çekilen telin 500 X büyütmede (C) Kullanılmamış sabunla 2.50 KX büyütmede (D) Kullanılmış sabunla 2.50 KX büyütmede çekilen telin SEM görüntüleri

### 3.3.3. Çekme ve Burulma Testi

Kullanılmamış orijinal sabun ve geri kazanılmış sabunlar kullanılarak çekilen 5 km uzunluğundaki telden numuneler alınarak EN 10270-1: 2011 standartlarına göre çekme ve burulma testleri yapılmıştır (Şekil 3.3-4.). EN 10270-1:2011 standardına göre; maksimum çekme dayanımı 1710 MPa, minimum çekme dayanımı 1490 MPa ve minimum büküm sayısı 22'dir.



Şekil 3.3. Çekme testi

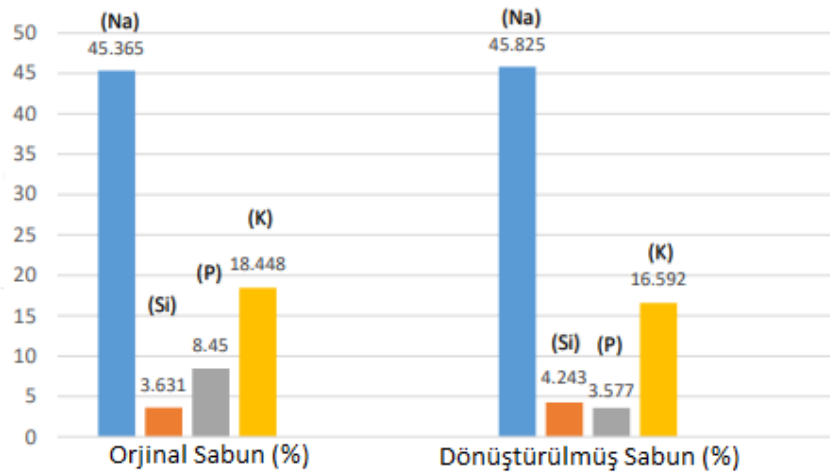


Şekil 3.4. Burulma testi

Test sonuçlarında da görülmektedir ki geri dönüştürülmüş sabun ile çekilen tel çekme ve burulma testini başarıyla geçmiştir.

### 3.3.4. XRF Analizi

Kullanılmamış ve geri dönüştürülmüş sabunu kimyasal içerik olarak karşılaştırmak adına XRF analizi yapılmıştır (Şekil 3.5.). Sabun içerisinde temel ve etkin bileşen sodyumdur. Geri kazanılan sabundaki sodyum oranının orijinal sabundaki sodyum oranına paralel olduğu tespit edilmiştir. Sodyum (Na) gibi potasyum (K), fosfor (P) ve silikon (Si) gibi diğer elementlerin oranları da orijinal sabunla hemen hemen aynı yüzde değerlerine sahiptir.



Şekil 3.5. XRF Analizi

Atık sabun yapısal olarak değerlendirildiğinde boyutsal fark olarak ayırmak kullanılan yöntemlerin ilki olmuştur. Tane boyutu yakın olan sabun ve metal parçacıklar için suda çözülme farklarından yararlanılmıştır. Metalden arınan sabunun tekrar proseste kullanılabilir olması için önce buharlaştırma yöntemi ile sudan ayırıştırma daha sonra boyut küçültme işlemi için ise öğütme yönteminden yararlanılmıştır.



Şekil 3.6. İşletmeden çıkan atık sabun

Atık sabun içerisinde, sabun tanesinden daha büyük boyutlarda olan galvaniz parçacıklarının, yanarak toz haline gelmiş sabunun ve ısı ile birbirine yapışmış sabun atığının elek yardımıyla ayrılabilceği aşıkardır. Ancak bu kısımda elek mesh değeri önemlidir.

Kullanılmamış TN3785 F sabun numunesi ile elek analizi yapılmıştır. Mesh değeri ve numune sabunun tane dağılım yüzdesi Tablo 3.2. de verilmiştir.

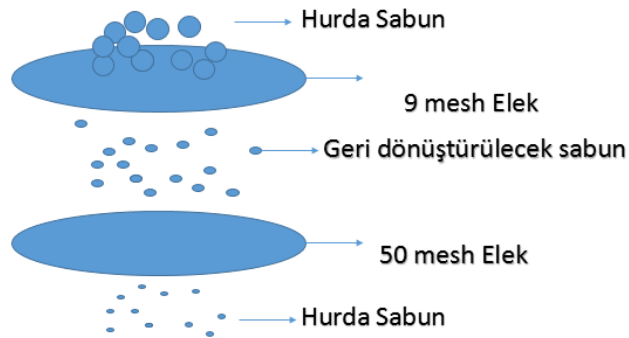
Tablo 3.2. Orijinal sabun tane büyüklüğü dağılımı

Mesh Değeri	Yüzelik Değeri
9 mesh üzeri	% 2,03
16 mesh üzeri	% 20,80
25 mesh üzeri	% 26,10
35 mesh üzeri	% 13,90
50 mesh üzeri	% 12,60
50 mesh altı	% 23,70

Orijinal sabunun elek sistemindeki dağılımından faydalandığında, birbirine yapışmış sabunların ve büyük galvaniz parçacıklarının ayrılması için 9 mesh'in uygun olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle, 9 mesh üzerinde kalan kısımlar geri dönüştürmeye dahil edilmemiştir. Alt limit olarak 50 mesh üzeri seçilmiştir. Çünkü 50 mesh elekten bile sabunun geçişi tıkanmalardan dolayı zor olmuştur ve geri dönüşüm çalışmasında sistemi yavaşlatıcı bir etki yapmıştır. Kaldı ki bu, orijinal sabundaki 50 mesh altındaki değerlerin kullanılmayacağı anlamına gelmemektedir. 50 mesh altı toz sabunlar gerek üretimde kullanılması, gerekse birbirine yahut iri taneli sabunlara yapışması dolayısıyla geri dönüşüm yapılacak kısma dahil olmaktadır. O halde, İlk prosesimiz atık sabun içerisinden 9 mesh ve 50 mesh arası malzemeleri ayırmak olmuştur.

### 3.4. Atık Sabundan Hurda Sabunu Ayırma

- Yanarak kömürleşmiş sabun kütesini ve ele gelen galvaniz parçacıklarını ayırmak için atık sabun 9 mesh elekten geçirilmiştir.
- 9 mesh üzeri hurdaya giderken, alt kısmı 50 mesh elekten geçirilmiş ve üzerinde kalan kısımla devam edilmiştir.



Şekil 3.7. Hurda sabundan dönüştürülecek kısmı elek yardımı ile seçme

Çalışmanın sonrasında amaç, elde kalan atık sabun (9-50mesh arası) içerisinden galvaniz parçacıklarını ayırmak olmuştur. Galvanizleme yapan çinkonun metal oluşundan dolayı akla her ne kadar ilk mıknatıslama yöntemiyle ayırmak gelse de, çinkonun manyetik özelliği olmayışından dolayı mıknatıslama yöntemi kullanılamamıştır.

Sodyum bazlı sabunun suda çözünmesi ve metal parçacığının su da çözülmeşiinden dolayı, 2. Proses, çözelti oluşturup metal parçacıkların ayrıştırılması olmuştur.

### 3.5. Çözelti Oluşturma

Daha önce de belirtildiği gibi amaç sadece metali sabundan ayırmak değil aynı zamanda sabunun da yapısını bozmamaktır. Bu yüzden çözücü olarak su seçilmiştir. Ancak su ile doğru çözelti oluşturmak için deneysel çalışmalar yapmak gerekmiştir. Çünkü su sıcaklığı, su-sabun miktarı ve karıştırıcı hızı makine tasarımı için önemli etkenlerdir.

Bu etkenler göz önünde bulundurularak laboratuvar ortamında yapılan soğuk (şebeke suyu) ve kaynamış su ile yapılan (100 °C) ve bunlara ısı verildiği takdirde ortaya çıkan sonuçlar Tablo 3.3. de verilmiştir.

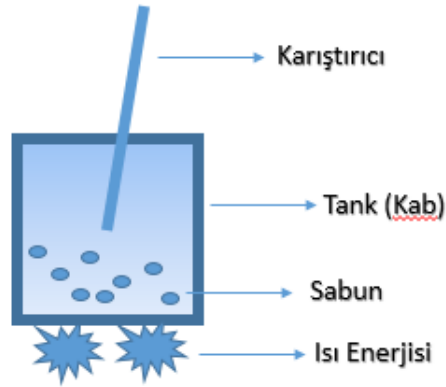
Tablo 3.3. Çözelti durumuna göre sabunun çözülme durumu

Yapılan İşem	Atık Sabun Miktarı	Su Miktarı	Manyetik Karıştırıcı Sıcaklığı ve Hızı	Karıştırma Süresi	Souç
Önceden kaynatılmış su kullanarak çözünürlük farkı ile ayırma	50 gr	500 ml / 462 gr	0 °C / 1500 d/dk	30 dk	Çözülme olmadan katılaşma meydana geldi
Soğuk su kullanarak çözünürlük farkı ile ayırma	50 gr	500 ml / 462 gr	0 °C / 1500 d/dk	8,5 saat	Çözülme oldu fakat yeterli değildi.Süre yeterli değildi
Soğuk su kullanıp karışım sırasında ısı verilerek çözünürlük farkı ile	50 gr	500 ml / 462 gr	150 °C / 1500 d/dk	40 dk	Yüksek oranda çözülme oldu fakat sabunun tamamı çözülmedi
Önceden kaynatılmış su kullanarak, karışım sırasında ısı verilerek çözünürlük farkı ile ayırma	50 gr	500 ml / 462 gr	150 °C / 1500 d/dk	30 dk	Sabunun tamamı çözüldü

Su sıcaklığının ve verilen ısının etkisini anlamak için su-atık sabun oranları ve karıştırma hızı sabit tutulmuştur.

Çalışmalar sonucu anlaşılmaktadır ki ısı verilen sıcak su ile çözelti oluşturmak doğru olmaktadır. Bununla birlikte çözelti sıcaklığının artması ile katılaşmaların da başladığı görülmüştür.

Tablodaki değerler yöntem anlama konusunda katkı sağlamıştır. Ancak bu değerler optimum değerler değildir.



Şekil 3.8. Çözelti oluşturma

Sıcak suya ısı verilerek çözelti oluşturma yöntemi belirlendikten sonra, optimum değerleri saptamak adına ufak değişiklikler ile birçok deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda bulunan optimum değerler aşağıdaki gibidir.

- Çözeltideki atık sabun miktarı : %15-%20 (fazlasında katılaşma görülmüştür)
- Suyun ve çözeltinin karışım boyu tutulması gereken sıcaklık : 70-80 derece (fazlasında katılaşma görülmüştür)
- Karıştırıcı hız değeri: 500 d/d

Bu değerler makine tasarımına yön vermek adına oldukça önemlidir.



Şekil 3.9. Su-Atık sabun çözeltisi ve çözülmeyen metal parçacıklar

Sıradaki işlem su-sabun çözeltisinden, çözünmeyen metal galvaniz parçalarını ayırmak olmuştur.

### 3.6. Metal Parçacıkları Ayırma

Çözelti oluşumundan sonra homojen sabun-su çözeltisi ve dipte çözülmeyen metal parçacıkları kalmıştır. Katı-sıvı ayırma yöntemlerinden elekten ayırma yöntemini kullanarak çözelti 50mesh elekten geçirilip, içindeki metal parçaları ayrıştırılmıştır.

Metal parçacıkları ayırma işlemi sonucunda, su-sabun çözeltisi kalmıştır. (50 mesh elekten geçen metal parçası varsa yok sayılmıştır)



Şekil 3.10. Çözeltiyi 50 mesh elekten geçirme işlemi

Bu kısma kadar olan işlemde atık sabun içerisindeki yabancı cisimlerden ayrılmıştır. Kimyasal bileşenleri, özellikle sodyum oranını kısacası kimyasal yapısını bozmadan fiziksel ayrıştırma teknikleri kullanılmıştır.

Sıradaki işlem çözeltilerden suyu buharlaştırmak ve metalden ayrılmış sabunu elde etmek olmuştur.

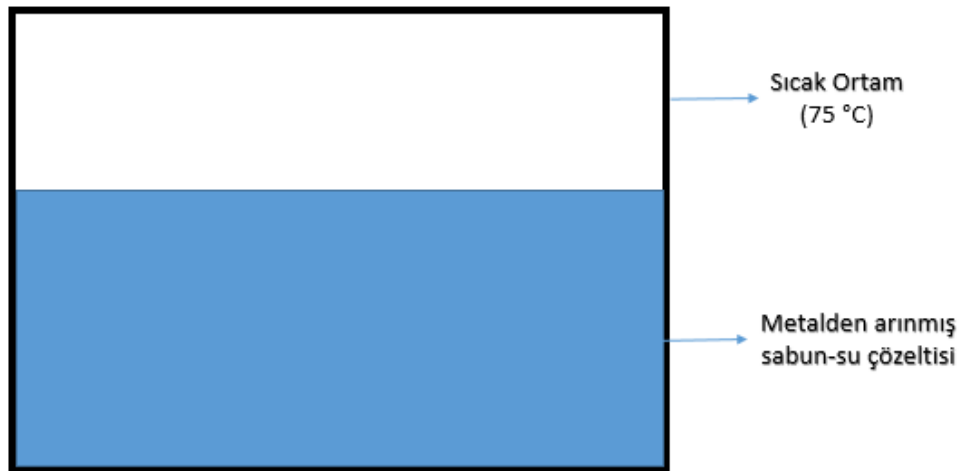
### 3.7. Çözeltiden Suyu Ayırma

Tuzlu su çözeltilerinde olduğu gibi, sodyum bazlı olan sabun çözeltisinde de suyu ayırtırmak için buharlaştırma yöntemi kullanılmıştır. Doğru sıcaklık değerini ve süresini saptamak adına laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu dikkate alınacak değerler aşağıdaki gibi olmuştur.

Tablo 3.4. Su-Atık sabun çözeltisini kurutma prosesi

Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	Çözelti Miktarı (gram)	Sonuç
50	4	600	Kuruma az
75	4	600	50 °C ye göre daha iyi. Ancak Yetersiz
100	4	600	Yüzeyde hafif yanıklar oluştu

75 °C de 4 saat etüvde bekleyen çözeltinin kuruması için sıcaklığı 80 dereceye çıkarmak yerine küçük parçalara ayırıp, tekrardan etüve bırakmak hem zamandan hem enerjiden kazanç sağlayacaktır. Çünkü 75 derecenin yakmadan kurutma yaptığı gözlenmiştir.



Şekil 3.11. Sabunu kurutma işlemi

75 °C de istenilen sonucun alındığını görmek adına, 3 farklı büyüklükte sabun ile çalışma yapılmış ve sabun parça boyutu küçüldükçe daha verimli sonuçlar alındığı görülmüştür.



Şekil 3.12. 75°C Sıcaklıkta sabun boyutunun kurumaya etkisi

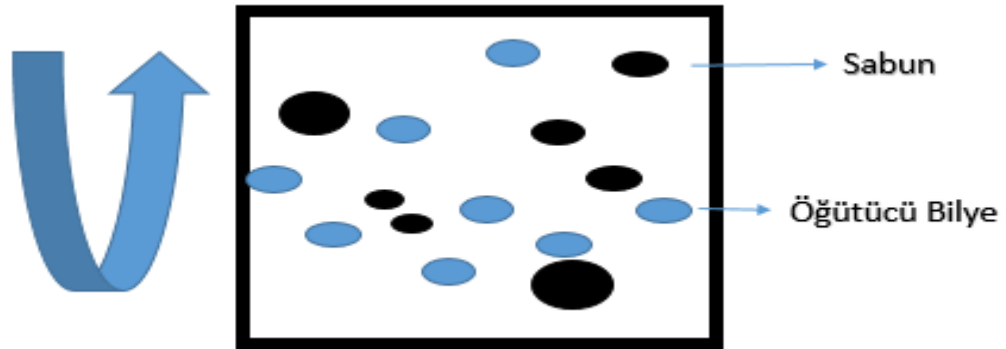
Bu da gösteriyor ki makine tasarımında sıcaklık değeri 75°C seçilmelidir ve enerjiden kazanç için sabun büyük kütleler halinde değil parçalara ayrılarak kurumaya bırakılmalıdır. Ancak doğru kurutma süresi sabun boyutu ile ilgili olduğundan, optimum süre gözlem ile bulunmalıdır.

### 3.8. Kurumuş Sabunu Öğütme

Öğütme, tane boyutu 25 mm'den küçük olan durumlarda kullanılıp, boyut küçültme işleminin de son aşamasıdır. Cevheri toz haline getiren bu araçlara öğütücü ve ya değirmen adı verilmektedir.

Öğütücüler içerisinde, aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurularak bilyalı değirmen seçilmiştir.

- Genellikle kuru öğütmelerde kullanırlar,
- Yeterli süre verilmesi ile 50 mikrona hatta daha altında boyutlarda ürün alınabilmekte,
- İhtiyaca göre değirmen boy/çap oranı ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.13. Bilyeli öğütme işlemi

Bilyeli değirmenin en büyük avantajlarından biri ise bilya/sabun miktarı, değirmen dönüş hızı ve öğütme zamanı değişkenleri ile almak istenen nihai partikül boyutu değiştirilebilmektedir. Bu konuda yapılmış bir çalışma aynı ürünün nasıl farklı boyutlarda alınabildiğini aşağıdaki tabloda göstermektedir.

Tablo 3.5. İşlem parametreleri ve parçacık boyut değişimi [9]

Deney No	Öğütme Zamanı	Bilye-Toz Ağ.	Öğütme Hızı	Partikül Boyutu
1	1	5:1	100	47.643
2	1	10:1	100	46.385
3	1	15:1	100	46.370
4	3	5:1	100	45.779
5	3	10:1	100	45.338
6	3	15:1	100	45.250
7	5	5:1	100	45.678
8	5	10:1	100	45.147
9	5	15:1	100	45.018
10	1	5:1	200	39.862
11	1	10:1	200	21.449
12	1	15:1	200	20.072
13	3	5:1	200	27.251
14	3	10:1	200	9.567
15	3	15:1	200	4.314
16	5	5:1	200	17.325
17	5	10:1	200	1.921
18	5	15:1	200	0.91
19	1	5:1	300	26.587
20	1	10:1	300	2.341
21	1	15:1	300	1.41
22	3	5:1	300	8.798
23	3	10:1	300	1.109
24	3	15:1	300	0.684
25	5	5:1	300	3.444
26	5	10:1	300	0.612
27	5	15:1	300	0.321

Buharlaştırma işlemi sonucu metalden ayrıştırılmış, kuru sabun kalmıştır. Bu süreçte sabunun kullanılabilmesi için orijinal sabunun ortalama tane büyüklüğüne getirme ve ya en azından yaklaştırma işlemi yapılmıştır. Kullanılmamış orijinal sabunun tane büyüklüğü (D50 %) değeri 0,49mm'dir (Ek 1).

Çalışmanın bu kısmında dikkat edilmesi gereken husus, sabunun öğütücülerde kullanılan madenler kadar sert olmayışı hatta aksine yapışkan olmasıdır. Sabunun bilyalı değirmendeki tutumunu görmek adına işletme içerisinde torna makinesi ile deneme yapılmıştır. Tornaya bağlanan silindirik kabın içerisine, rulman bilyesi ve kurutulmuş sabun eklenmiştir.



Şekil 3.14. Silindirik kaptaki rulman bilyesi ile öğütme denemesi

Farklı 10 deneme sonucu kurutulmuş sabunun öğütüldüğü ve işlem parametreleri ile nihai tane büyüklüğünün değiştirilebildiği görülmüştür.

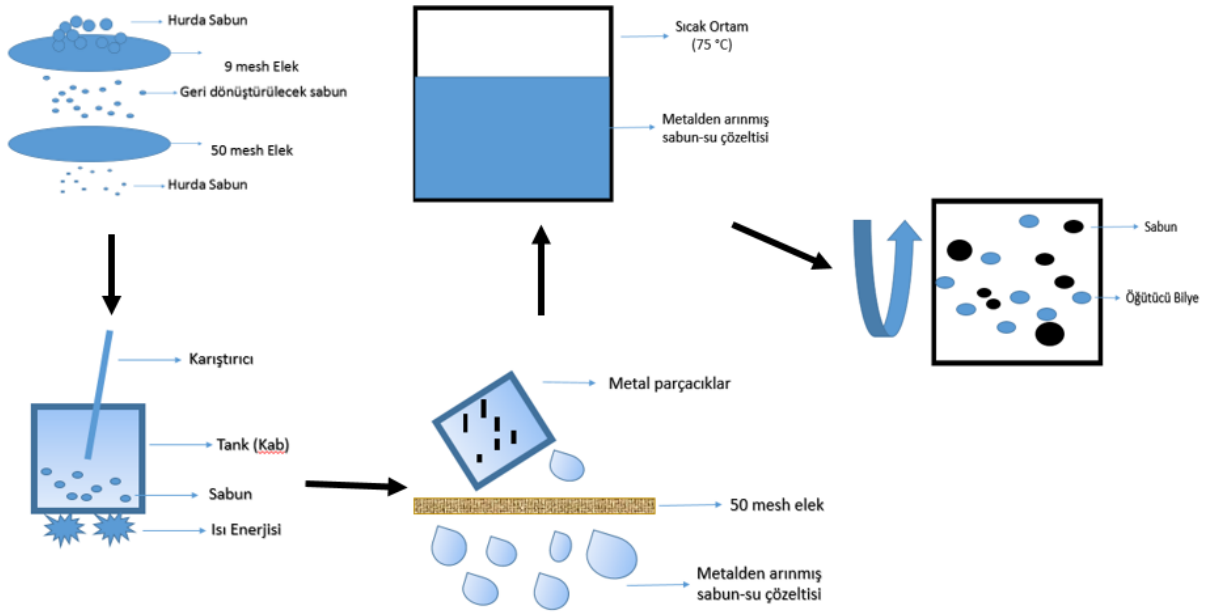
## 4. BÖLÜM

### HAT TASARIMI

Yapılan çalışmalar sonucunda makine tasarımında aşağıdaki proseslere ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir.

**Eleme Sistemi > Çözelti Oluşturma > Süzme > Buharlaştırma > Öğütme**

Proses baştan sona şekilde anlatacak olursa,



Bu proseslerle birlikte geri dönüştürülecek sabun miktarının da optimum 100kg olmasına karar verilmiştir.

100kg'ın belirlenmesinde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

- İşletmede çıkan atık sabun miktarı
- Hattın 1 operatör ile çalıştırılabilmesi
- Kurutma işleminin, süzülen sabunu bekletmeden tek seferde yapılabilmesi

Bu veriler ışığında tasarımın her prosesi kendi içerisinde detaylı incelenmiştir.

#### 4.1. Eleme Sistemi

Katı-katı heterojen karışımlarının tanecik boyutu farkından yararlanarak bir elek yardımı ile ayırması işlemine eleme denir. Elemede kullanılacak eleğin delik boyutu elekten geçmesi istenen taneciğin boyutuna göre ayarlanır. Çok ince delikli elekler olduğu gibi çok büyük delikli elekler de vardır [11].

Birçok eleme sistemi mevcuttur ancak aşağıdaki sebeplerden dolayı titreşimli elek sistemi seçilmiştir.

- Sağlam ve kolay kullanılabilir şekilde imal edilebilirler,
- Bakım maliyetleri oldukça düşüktür, kolay tamir edilebilirler,
- Yedek parçaları kolaylıkla tedarik edilebilir,
- Elek değerleri ile oynayıp istenilen boyutlar alınabilir.

Eleme sisteminde amaç, 9-50 mesh arası sabun tozunu geri dönüşüm için almak ve dışında kalan kısımları hurdaya ayırmak olmuştur. Bu yüzden elek sisteminde üst eleğin 9 mesh ve alt eleğin 50 mesh olacağı aşıkardır. Ancak 9 mesh den geçen sabunların, 50 mesh üzerinde yığılma oluşturmaması için araya 25 mesh elek konulmuştur. Titreşimli elekler iki, üç dört kat olarak çeşitli ölçü ve kapasitelerde imal edilebildiğinden duruma göre araya farklı mesh değerinde elek ekleme avantajı da olacaktır [12].

Titreşimli elek sisteminde mesh değerinden sonra tasarımı etkileyecek bir önemli değer de elek boyutudur. Elek ebatı olarak piyasada yaygın halde bulunan 1x1m seçilmiştir. 1x1m elek 100 kg sabun için yeterli olacağı gibi tasarım boyutlarını da gereksiz yere büyütmeyecektir.



Şekil 4.2. Endüstriyel titreşimli elek görünümü

Vibrasyonlu elek motoru, vibrasyon motoru seçim klavuzuna [13] göre yapıldığında motor gücünün 0.24 Kw olduğu bulunmuştur (EK 2). (Elek sistem ağırlığı 150 kg alınmıştır.)

#### 4.2. Çözelti Oluşturma

Bilindiği üzere, çözelti ya da solüsyon, iki ya da daha fazla maddenin herhangi bir oranda bir araya gelerek oluşturdukları homojen karışımdır. Homojen karışım oluşturma olayına çözünme, elde edilen karışıma da çözelti denmektedir.

Laboratuvar ortamında 350 ml su ile yapılan çalışmalar sonucu optimum değerler aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

- Çözeltideki atık sabun miktarı : %15-%20 (fazlasında katılaşma görülmüştür)
- Suyun ve çözeltinin karışım süresince tutulması gereken sıcaklık : 70-80 derece (fazlasında katılaşma görülmüştür)

- Karıştırıcı hız değeri: 500 d/d

Bu tasarım parametrelerini sağlamak adına aşağıdaki yöntemleri de belirlemek gerekmektedir.

- Çözeltinin bulunacağı tank hacmi
- Çözeltiyi belirli sıcaklıkta tutma şekli
- Sisteme uygun karıştırıcı özellikleri

#### 4.2.1 Tank Hacmi

Tank hacmini belirlerken çözelti hacmini belirleyip üzerine belirli bir tolerans koymak gerekmektedir. Geri dönüştürülecek 100kg sabun tozunun, çözeltinin %20 si olması için 400 kg su olmalıdır.

100 kg sabun hacmi,

$$\frac{100}{780} = 0,128m^3$$

yani 128 litre (kaynak-sabun msds)

400 kg su hacmi 400 litre kabul edilirse,

Tank hacmi = 400+128= 528 litre yi karşılamalıdır.

Tank hacmini 600 litre seçmek uygun olacaktır.

Isıtma ve karıştırma etkenleri de göz önünde bulundurulduğunda malzeme olarak korozyona dirençli krom seçilmiştir. Aksi takdirde çözeltiliye karışacak yabancı bir cisim çalışmanın verimliliğini düşürecek ve zarar verecektir. Tank seçiminde göz önünde bulundurulması gerek önemli diğer bir husus ise tankın boşaltma kolaylığıdır. Bu yüzden alttan boşaltması olan silindirik tank seçilmiştir.



Şekil 4.3. Endüstriyel silindirik tank

600 litrelik hacim için,

$$\pi r^2 h = 0,6m^3$$

olmalıdır. Normal boylarda birinin, kaldırma ekipmanı olmadan tanka üstten sabun ve su boşaltabilmesi için yükseklik 1.5m düşünülüp, 0.5 metresi ayak yüksekliğine 1 metresi (h) tank yüksekliğine ayrılmıştır. Bu durumda,

$$\pi r^2 h \times 1$$

$$= 0.6 m^3$$

$$\rightarrow r = 0.437m$$

$\rightarrow$  Tank çapı = 0.874m dir.

#### 4.2.2. Çözeltiyi Belirli Sıcaklıkta Tutma

Klasik kontrol sistemlerde tasarımın yapılabilmesi için öncelikle kontrol edilmek istenen sistemin karakteristik ve davranış durumunu bilmek gerekir. Her ne kadar sabit kontrol parametrelerinin de çevresel ve işletme şartları için uygun olması gerekse de birçok sistemde işletme ve çevre şartları değişmektedir. Yani sistem içerisinde olup tespiti

yapılamayan kısımlardan dolayı birçok sistem karakteristiklerinin çıkarılabilmesi adına uygun değildir. Bu yüzden kalibrasyon ve ayarlama mekanizmasına ihtiyaç duyulur.

PID ile kontrol edilen bir proseste basınç, sıcaklık gibi çevre şartları değişse de sistem parametreleri de değişmektedir. Bu parametrelerin değişmesiyle sistem cevabının değişmemesi için, sistemde bulunan  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  gibi PID kontrol parametrelerinin de buna bağlı olarak değiştirilmesi gerekmektedir. Örnekeleyecek olursak, yaz ve kış mevsimlerinde sıcaklık farkları farklı olacaktır. Bu yüzden PID kontrol parametreleri de mevsimine göre birbirinden farklı olacaktır [14]. Sonuç olarak, çözeltiyi sabit sıcaklıkta tutma işlemi PID kontrollü rezistans ile yapılmıştır.

### 4.2.3. Karıştırıcı

Karıştırma, iki veya daha fazla karışım elemanından oluşan bileşimi hazırlama işi olarak tanımlanabilir. Karışımlarda bileşimin homojen olması çok önemlidir. Çünkü karışımın başarılı olup olmadığına ancak homojenitenin derecesine göre karar verilmektedir.

Düşük viskoziteli ve yüksek açsal hızlar ve için genellikle pervaneler, plakalı karıştırıcılar seçilmektedir [15].

Projede kullanılmak için daha yüksek devirlere uygun olan pervane tipi karıştırıcı seçilmiştir.



Şekil 4.4. Pervane tipi karıştırıcı

Karıştırıcı, tahrik ünitesiyle üzerinde pervane bıçakları bulunduran tahrik milinin montajından meydana gelmektedir. Geniş çeşitlilikte bıçak tasarımları kullanılmaktadır ve tipik bıçaklar kabın çapını 2/3 oranında kapsamaktadır [16].

Bu durumda pervane çapı, tank çapını 2/3'ü olacaktır.

Pervane Çapı,

$$0.874 \times \frac{2}{3} = 0.58m$$

Buradan pervaneyi çevirecek motor gücüne geçilecek olursa,

$T = F \times d$  ise,

$$T = 400 \times 9.81 \times 0.29 = 1137.96 \text{ Nm}$$

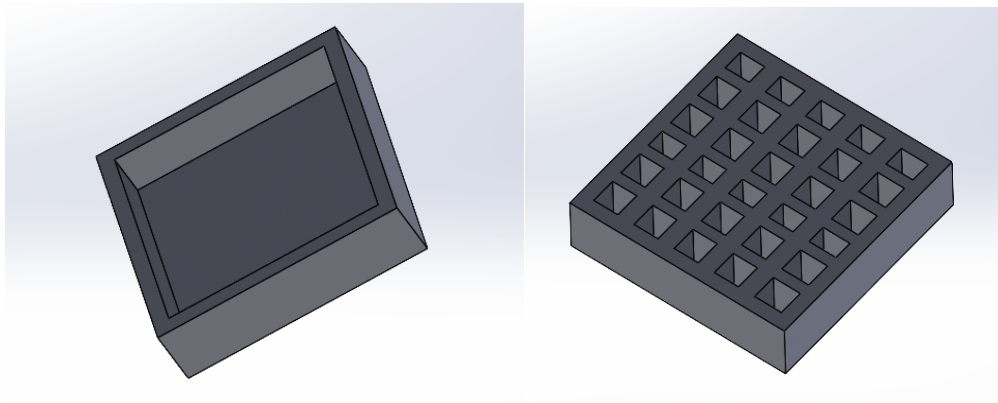
Moment (Nm) = 9.5488 x Güç(kW) / Hız (rpm)

$$9.5488 \times \frac{P}{500} = 1137,96 \text{ Nm}$$

ise  $P = 59.58 \text{ Kw}$  dir. Yani 60 Kw motor seçmek uygun olacaktır.

### 4.3. Süzme

Oluşturulan homojen çözeltide, çözünen sabun 50 mesh elekten geçirilmiş olsa da, prosesin bu aşaması gerek çözeltide kalan metal parçaların son kontrolü gerek kurutmaya gidecek çözeltinin uygun kaplara yerleştirme aşaması olmuştur. Bu yüzden, bu safhada çözelti 50 mesh elekten geçirilerek, buharlaştırma yapılacak kaplara dökülmüştür. Hatırlanacağı üzere, laboratuvar çalışmasında kurutma işleminin küçük parçalara ayrıldığı daha hızlı olacağı sonucuna varılmıştı.



Şekil 4.5. Kurutma kabı çeşitleri (a) Tek bölmeli kap (b) Çok bölmeli kap

Bu yüzden süzme işleminden çıkan çözelti şekil 4.5 a'dakinin aksine şekil 4.5 b'deki gibi çok bölmeli kaplara dökülerek fırına götürülmüştür.

Yapılan laboratuvar sonuçlarında da görülmüştür ki çözeltinin ısıtılıp karıştırılması sonucunda en az %15 su hacminde azalma olmuştur.

Kalan 340 kg su ve 100 kg sabundan gelen çözeltinin süzülme sonrası konacağı 440 litrelik bir kap, ihtiyacı fazlasıyla karşılamıştır. Kap ölçüsü buharlaştırma yapacak fırın ölçülerine uygun olması gerektiğinden, kap ve bölüm ölçüleri bir sonraki buharlaştırma prosesinde hesaplanmıştır.

#### 4.4. Buharlaştırma

Buharlaştırma işleminde çözücü madde buharlaşır. Aynı şekilde, hedef suyu buharlaştırıp, sabunu elde etmektir.

Buharlaştırma işlemi için çözelti sıcak ortamda bulunmalıdır. Laboratuvar çalışmasında belirlendiği üzere istenilen sıcaklık 75 °C olmuştur. Rezistans ile yüzeysel sıcaklık vermek yerine sıcak hava üflemeli endüstriyel fırınlar işlem için daha uygundur. Sıcaklık değeri sabit olacağı için PID kontrollü olması gerekmiştir.



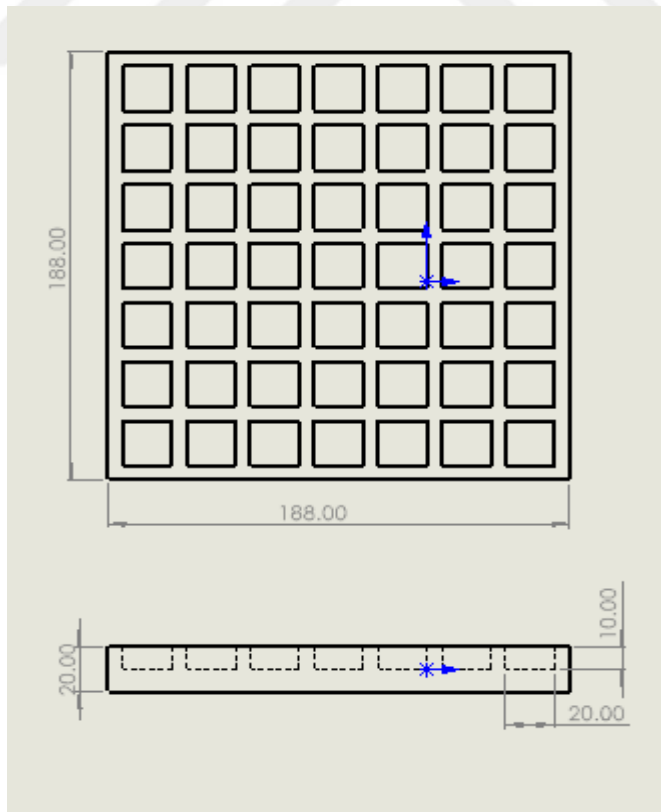
Şekil 4.6. Endüstriyel PID kontrollü hava üflemeli fırın

Bu tip endüstriyel fırınlarda istenilen sıcaklık ve ölçü değerlerine göre sipariş verilebilmektedir.

Buharlaştırma prosesine gelecek 440 litre için konulacak kabın her bir bölmenin ölçüsü 20x20x10cm olduğunda bir bölme 2 litre almaktadır. 440 litre için 220 bölmeye ihtiyaç olmuştur.

Kurutma kablalarının sık bir şekilde üst üste gelmesi rahat hava akımı olması açısından istenen bir şey değildir. Bu yüzden fırın iç yüksekliği 1m ve üst üste 5 sıra kab dizilmesi tercih edilmiştir.

220 bölme 5 sıra dizildiğinde her bir sıranın alması gereken  $220:5=44$  bölme'dir. 44 bölmelik kabın tasarımında en ve boy ölçüleri yakın seçilirse, havanın bir bölgeden üflenmesinden dolayı daha homojen bir kurutma sağlanacaktır. Bu yüzden 7x7 bölme olacak şekilde bir kap 49 bölme düşünülmüştür. Böylece ihtiyaç duyulan 44 bölmeye toleransta eklenmiş olacaktır ve her bir bölme ağzına kadar doldurulmamış olacaktır.



Şekil 4.7. 7x7 bölmeli kap (ölçü birimi cm'dir)

İhtiyaç duyulan kap Şekil 4.7'deki gibidir ve kapları taşıyacak kenar askı çıkıntıları da düşünülerek (2 kenardan 6 cm) fırın iç ölçü 2mx2m olarak belirlenmiştir.

#### 4.5. Öğütme

Boyut küçültme, bir malzemenin ve ya cismin sahip olduğu boyuttan daha küçük parçalara ayrılması işlemine denmektedir. Boyut küçültme işleminde amaç;

- Tane serbestleşmesini sağlamak,
- Nakliyesi daha kolay olan uygun boyutlu malzeme hazırlamak için,
- Ön zenginleştirmeli veya kademeli zenginleştirme işlemleri için uygun boyutlu malzeme hazırlamak,
- Kullanım amacına uygun boyutlarda malzeme hazırlamak, (toz yakıt dolgu maddesi ayarlama)
- Kimyasal zenginleştirme (liç işlemi) için uygun yüzey alanlı malzeme hazırlamak içindir [17].

Boyut küçültme yöntemlerinden biri olan bilyeli değirmen buharlaştırma sonucu çıkan kalıp sabunların tane serbestleşmesini sağlamak adına seçilmiştir.

Sabun öğütme deneyinde gerek sabunun yapışkan oluşu, gerek madenler kadar sert olmayışından dolayı öğütme yönteminin doğru seçilip seçilmediği test edilmiş ve sonuç alınmıştır. Bundan sonraki işlemlerde öğütücü bilye değirmenlerinde optimum değerler üzerinden hesaplama yapılmıştır.

Öncelikle bilyeli değirmenlerde verimli tasarım parametrelerini bilmek ve o değerlere yaklaşmak gerekmiştir.

Bilyeli değirmenlerde birçok tasarım parametresi vardır. Çalışmamızda, ana tasarım parametreleri olan değirmen boyutlandırılması, değirmen hızı, bilye dolum oranı ve bilye tipi belirlenmiştir.

#### 4.5.1. Değirmen Boyutlandırma

Bilyeli değirmen tasarımında boy/çap oranı 0.7 ile 2 arasında değişmektedir. Bu oran,

- İri öğütmeler için : 0.7-1
- İnce öğütmeler için : 1-2 arasında değişmektedir [17].

Yapılan deneysel çalışmadan da görüldüğü üzere istenilen küçük boyutlara çok kısa sürede ulaşılmıştır. Bu, tolerans olması için boy/çap oranının küçük tutulması gerektiğini göstermiştir. Yani iri öğütmelerdeki oran olan 0.7-1 değerinde. İri taneli öğütme durumunda zaman uzatılarak küçük boyutlara ulaşabilir ama ince öğütmenin geri dönüşü olmayacaktır.

Hesaplamaya geçilecek olursa,

Boy/Çap oranı 1 alınmıştır.

Silindirik Değirmen Çapı: 2a seçilirse Boy da 2a olacaktır.

Değirmen hacmi,

$$\pi a^2 h \times 2a = 2\pi a^3$$

Haznenin ne ölçüde toz ve bilyelerle dolduğu oldukça önemlidir. Bilye ve tozun dolun miktarı az olduğunda üretim hızı da düşük olur. Diğer yandan da dolun miktarı fazla olduğunda, bilyelerin hareket etme alanı yeterli olmaz ve darbe enerjisi oldukça az olur. Bundan dolayı, haznenin tamamını doldurmamaya genellikle % 50'sini boş bırakmaya dikkat edilmelidir [18]. Değirmen tasarımında tasarımcılar, bilyenin değirmen hacminin %22-35'ini doldurması gerektiğini açıklamaktadırlar [19]. Bilye dolun oranı %30 seçilmiştir. Bu durumda haznenin %50 sinin boş kalması için sabuna kalan hacim, değirmenin %20 si olmuştur.

Bu bilgiler ışığında,

100 kg sabun hacmi,

$$\frac{100}{780} = 0,128m^3$$

Değirmen hacmi,

$$0,128x5 = 0,64m^3 = 2\pi a^3$$

ise,

$$a = 0,467 \text{ m ise değirmen boy ve çap değeri, } 2a = 0,934\text{m}$$

$$\text{Bilyeye kalan hacim} = 0,192 \text{ m}^3$$

Değirmenlerde verimlilik ve kapasiteyi etkileyen en önemli faktör, öğütücü boyutunun doğru tespit edilmiş olmasıdır. Yeni bir değirmende, öğütücü boyutları ilk olarak teorik olarak belirlenmeli, sonrasında çalışma yakından takip edilerek gerekiyorsa yapılan hesaplamalar tekrar gözden geçirilmelidir.

Değirmenlerde gövdenin aşınmasını önlemek için seramik veya kauçuktan imal edilen ve aşınmaya dayanıklı astarlar ile gövde kaplanmaktadır [17].

Değirmenin kullanım ömrünü artırmak, bakım masraflarını azaltmak ve en önemlisi de geri dönüştürülen sabun içerisinde sabundan başka yabancı bir cisim (aşınan çelik veya seramik bilye parçaları) istenmediğinden, değirmenin astarlı olması gerekmektedir [20].

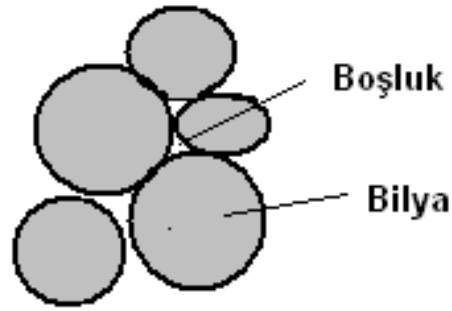
Bilyeli değirmenlerde kullanılan astarlar göz önünde bulundurulduğunda 75 mm astar kalınlığı yeterli olacaktır [21].

Bu durumda değirmen dış çapı = Değirmen iç çapı + astar kalınlığı

$$0,934\text{m} + 0,15\text{m} = 1,084\text{m} \text{ olacaktır.}$$

#### **4.5.2.Bilye Tipi**

Toplam bilye ağırlığını hesaplariken, bilyeler arasında da boşluk olacağı için, değirmen hacminin %20'si üzerinden gitmek yanlış olacaktır.



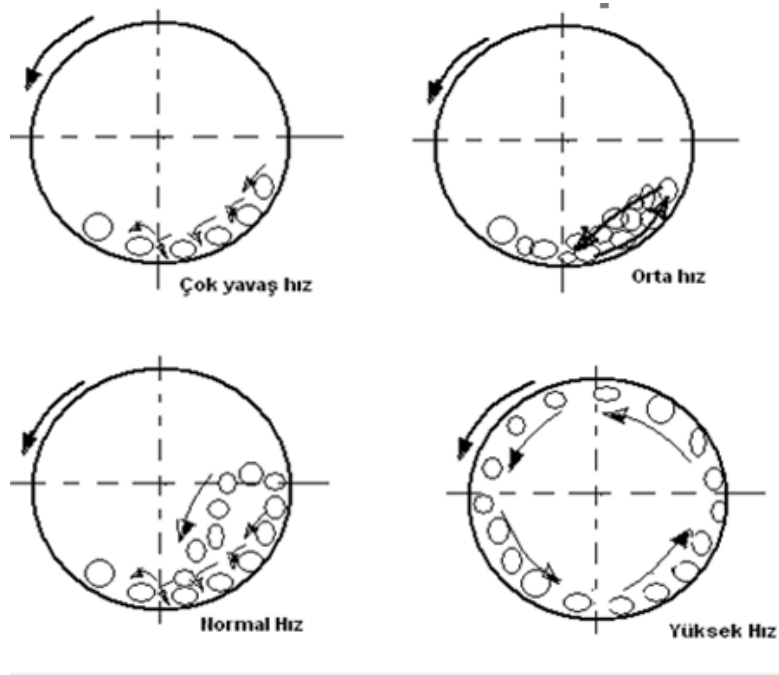
Şekil 4.8. Bilyeler arası boşluk

Hesaplamalarda yığın yoğunluğu olarak bilye için  $4650 \text{ kg/ m}^3$ , spileps için  $4700 \text{ kg/ m}^3$ , %90  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içerikli seramik bilye için  $2200 \text{ kg/ m}^3$  alınmaktadır [22]. Deneyleerde çok kısa sürede ince öğütmeye ulaşıldığından bilye yoğunluğu düşük olan seramik bilye seçilmiştir.

$0,192 \text{ m}^3$  bilye ağırlığı = 422.4 kg

#### 4.5.3 Değirmen Dönüş Hızı

Değirmen dönüş hızı değirmen içindeki malzemenin hareket şeklini etkilemektedir.



Şekil 4.9. Değirmen hızına göre iç malzeme konumu [17]

$$N_k = \frac{420}{\sqrt{D}}$$

$N_k$ : Değirmen hızı dev/dk

D: Değirmen iç çapı, cm

Uygulamada değirmen hızı olarak kritik hızın %50 ile %90ı alınır.

Değirmen iç çapı:  $2a = 2 \times 0.467 = 0,934m = 93.4 \text{ cm}$

ise,

$$N_k = \frac{420}{93.4^{1/2}}$$

= 43,46 dev/dk

Açısal hız, değirmenin çektiği gücü etkilememektedir. Ancak, ortam ve astar aşınmalarında oldukça etkilidir. Bu yüzden, açısal hız, değirmen tasarımlarında dikkatli bir şekilde hesaplanması gereken bir değerdir. Açısal hız (m/dak olarak) aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır;

$M_p = \text{Açısal Hız (m/dak)}$

$M_p = \pi \times D \times N$

N: Değirmen hızı (dev/dak)

D: değirmen iç çapı (m)

Değirmen çapı, kritik hız ve açısal hız arasında bir denge olmalıdır. Tavsiye edilen bağlı değerler aşağıdaki Çizelge'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Astarlar arası mesafeye göre kritik hız değerleri % [17]

Astarlar Arası (m)	Kritik Hız (%)	
	Çubuklu	Bilyalı
0.91-1.83	76-73	80-78
1.83-2.74	73-70	78-75
2.74-3.66	70-67	75-72
3.66-4.57	67-64	72-79
4.57-5.49		69-66

Astarlar arası 0,934m ve bilyeli olduğundan  $N_k$ , 43.46 dev/dk in %80i alınabilir.

$$\frac{43.46 \times 80}{100}$$

= 34.77 dev/dk değirmenin döneceği ortalama hız değeridir.

Bu durumda açılma hızı,

$$M_p = \pi \times N \times D$$

$$= \pi \times 34.77 \times 0.934$$

= 102 m/dak olarak bulunur.

Tablo 4.2. Bir değirmen üreticisinin teknik parametreleri [23]

**Teknik parametreler**

Şartname modeli	Kabuğun döner hızı (d / dak)	Top yükleme hacmi (t)	Besleme partikül boyutu (mm)	Deşarj tanecikliği (mm)	Üretim Kapasitesi (t / h)	Motor Gücü (kw)	Toplam Ağırlık (t)
Φ900 1800 ×	36-38	1.5	∠	,075-0,89	0,65-2	18.5	5,85
Φ900 3000 ×	36	2.7	∠	,075-0,89	1,1-3,5	22	6.98
Φ1200 2400 ×	36	3	∠	,075-0,6	1,5-4,8	30	13.6
Φ1200 3000 ×	36	3.5	∠	,074-0,4	1,6-5	37	14.3
Φ1200 4500 ×	32.4	5	∠	,074-0,4	1,6-5,8	55	15.6
Φ1500 3000 ×	29,7	7.5	∠	,074-0,4	2-5	75	19.5
Φ1500 4500 ×	27	11	∠	,074-0,4	3-6	110	22
Φ1500 5700 ×	28	12	∠	,074-0,4	3,5-6	130	25,8

Optimum değerlere göre tasarlanan değirmenin dönüş hızı olan 34.77 dev/dk mevcut değirmenlere göre kıyaslandığında sonuç olumlu gözükmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi öğütücü boyutu gibi diğer etkenlerin de doğru tespit edilmiş olması, değirmenlerde kapasite ve verimliliği etkileyen en önemli faktördür. Yeni bir değirmen tasarlarken, tasarım parametreleri ilk teorik olarak belirlenmeli, daha sonra değirmen çalışırken süreç yakından takip edilmeli ve gerekiyorsa hesaplamalar gözden geçirilerek gereken değişiklikler yapılmalıdır.

#### 4.5.4. Motor Gücü

Motor gücü için öncelikle değirmen ağırlığı, bilye ağırlığı ve sabun ağırlığından oluşan toplam ağırlığı bulmamız gerekmektedir.

Değirmen ağırlığı (demir : 7.86 g/ cm<sup>3</sup> , kalınlık: 25mm) = 538.5 kg

Bilye ağırlığı : 422.4 kg

Sabun ağırlığı : 100 kg

Toplam ağırlık = 1060.9 kg

$T = F \times d$  ise,

$T = 1060.9 \times 9.81 \times 0.467 = 4860.27 \text{ Nm}$

Moment (Nm) = 9.5488 x Güç(kW) / Hız (rpm)

$$9.5488 \times \frac{P}{34,77} = 4860.27 \text{ Nm}$$

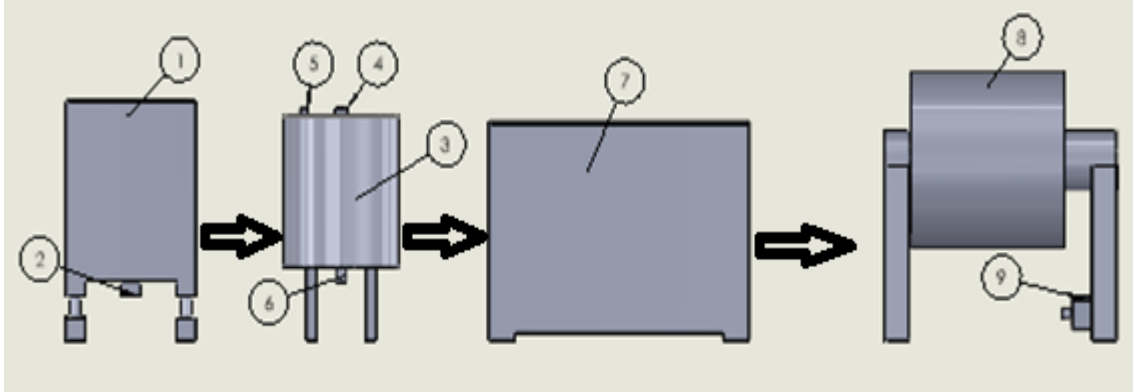
ise  $P = 17.7 \text{ Kw}$  dır.

## 5. BÖLÜM

### GERİ DÖNÜŞÜM HATTI, YILLIK GERİ KAZANIM VE AMORTİSMAN

#### 5.1. Geri Dönüşüm Hattı

Her biri ayrı ayrı incelenen ekipmanların hat içerisinde, proses soldan sağa olacak şekilde dizilimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.1. Geri dönüşüm hattı dizilişi

1. Titreşimli elek
2. Motor
3. Tank
4. Karıştırıcı
5. Rezistans
6. Tank tahliye yeri

7. Fırın
8. Bilyeli değirmen
9. Motor

Hattın ana tasarım parametreleri ise aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.1. Geri dönüşüm hattı ana tasarım parametreleri

GERİ DÖNÜŞÜM HATTI ANA TASARIM PARAMETRELERİ					
ELEME	Gerekli Elekler (Mesh)	9,25 ve 50	ÖĞÜTME	Öğütme Tipi	Bilyeli
	Elek Boyutları (m)	1x1		Bilye Malzemesi	Seramik
	Sabun Miktarı (kg)	100		Bilye Ağırlığı (kg)	422,4
	Motor Gücü (Kw)	0,24		Değirmen Şekli	Silindirik
ÇÖZELTİ OLUŞTURMA	Tank Hacmi (litre)	600		Değirmen Çapı (m)	0,934
	Tank çapıxyüksekliği (m)	0,874x1		Değirmen Boyu (m)	0,934
	Karıştırıcı Hızı (dev/dk)	500		Değirmen Hızı (dev/dk)	43,46
	Pervane Çapı (m)	0,58		Değirmen Açısal Hızı (m/dk)	102
	Motor Gücü (Kw)	60		Motor Gücü (Kw)	17,7
	Çözelti Sıcaklığı (°C)	70-80			
SÜZME	Gerekli Elekler (Mesh)	20			
	Süzme Kabı (hücre ölçüleri,cm)	20x20x10			
BUHARLAŞTIRMA	Metod	Fırın			
	Set Değeri (°C)	75			
	Fırın İç Ölçü (m)	2x2x1			
	Kontrol Sistemi	PID			

## 5.2. Yıllık Geri Kazanım Miktarı

İşletmede kullanılan sabun miktarı 2022 yılı verileri alındığında 82 ton dur. Laboratuar çalışmalarında %60lık bir kısmın geri dönüştürüldüğü görülmüştür. Bu oranın tasarlanan hat ile daha da yükseğe çıkması umulmaktadır.

Geri dönüştürülen VICAFIL TN 3785 sabunun tüm masraflar dahil maliyeti 3.72 Euro/kg dur.

%60 geri dönüşüm üzerinden hesaplama yapıldığında,

$$82\text{ton} \times \frac{60}{100} = 49.2\text{ton}$$

Atıl halden dönüştürülen 49.2 ton sabunun değeri ise  $49200 \times 3.72 = 183.024$  Euro

İşletme bünyesinde sabun tüketimi giderek artmaktadır ve 2022 yılı referans alındığında 183.024 Euro katkı sağlamaktadır.

### 5.3. Amortisman

Amortisman hesabına geçilmeden önce kullanılan malzemeler bedelleri ile listelenecek olursa,

- 1- Titreşimli Elek : 2,200 Euro
- 2- Çözelti Oluşturma Tankı : 4,250 Euro
- 3- Kurutma Fırını : 40,000 Euro
- 4- Öğütücü Değirmen : 20,000 Euro

Bu durumda hat maliyeti 66,450 Euro'dur.

Bu sonuçlarda göstermektedir ki, amortisman süresi 1 yıldan kısadır.

## 6. BÖLÜM

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 6.1. Giriş

Laboratuvar çalışmaları ile belirlenen yöntemler sırasıyla eleme, belirli sıcaklıkta karıştırma işlemi ile çözelti oluşturma, süzme, buharlaştırma ve öğütme olmuştur. Prosesin her aşamasında sabunun kimyasal özelliğini bozmamaya özen gösterilmiştir. İlk aşamada atık sabun içerisinde geri dönüştürülecek 9-50 mesh arası kısım alınmıştır. 9 mesh üzeri ile 50 mesh altı kısım hurda olarak değerlendirilmiştir. Kullanılacak sabun 70-80 derece arasında sıcaklıkta karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır ve süzme ile 50 mesh den geçirilmiştir. Çözelti halindeki sabun bu sefer 50 mesh den geçerken metal parçalar yine geçmemiştir. Yabancı maddelerden ayrıştırılan sabun, sudan da ayrıştırılmak üzere buharlaştırma işlemine tabii tutulmuştur. Fırında 75 °C de kurutulan sabun daha sonra prosesdeki tane büyüklüğüne ulaştırılmak üzere bilyeli değirmende öğütme işlemine tabii tutulmuştur. Nihai şeklini alan sabun sahada denenip sonuç alındıktan sonra sistem tasarımına geçilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen bulgulardan çıkarılan sonuçlar ve bu sonuçlar ışığında yapılabilecek öneriler genel hatlarıyla aşağıda verilmiştir.

#### 6.2. Sonuçlar

1. “Tel Çekme Prosesindeki Yağlayıcıların Geri Kazanımı İçin Sistem Tasarımı” genel başlığını taşıyan bu tez çalışmasında Demiryaka Grup bünyesinde tel çekme makinelerinde kullanılan VICAFIL TN 3785 F sabun tozunun atık halden, içerisindeki bileşenleri özellikle de sodyum oranını koruyarak, 50 mesh elekten geçmeyecek çinko talaşlarından ayırarak ve en önemlisi kimyasal yapısını bozmayarak tekrar kullanılabilir hale getirme yöntemleri ve bu yöntemler ile sistem tasarımı araştırılmıştır.

2. Atık sabun içerisinde, 9-50 mesh arasındaki miktarın alınabildiği kadar fazla alınması toplam verimi artırmaktadır. Bunun için 9 mesh üzeri kalan kısmın birden fazla eleme işlemine tabi tutulması gerektiği gözlemlenmiştir.
3. 9-50 mesh arası geri dönüştürülecek sabun-su çözeltisinin 50 mesh elekten geçirildiğinde çözelti ile elekten geçen metal parçalarının yok denilecek kadar az olduğu görülmüştür.
4. Atık sabun ile oluşturulan 70-80 derecedeki çözeltinin soğuma ile birlikte akıcılığının yanında 50 mesh den geçiş kabiliyetini de hızla kaybettiği gözlemlenmiştir. Bu yüzden süzme işlemine zaman kaybetmeden hızlı bir şekilde geçilmelidir.
5. Fırında kurutma işleminin bir kapta olması yerine bölmelere ayrılıp yapılmasının süre ve enerji yönünden daha verimli olduğu görülmüştür.
6. Sabun tane büyüklüğü proses veriminde çok önemlidir. Bu yüzden öğütme işlemi geri dönüşüm sistem tasarımında son ve oldukça önemli bir aşamadır. Saha denemesi ile öğütücü yöntemlerinden bilyeli değirmen seçiminin doğru olduğu gözlemlenmiştir.
7. İşletmenin ihtiyacına göre hat tasarlanmıştır.

### 6.3. Öneriler

1. Laboratuvar çalışmasıyla elde edilen ana tasarım parametrelerinin, 100 kg atık sabun için tasarlanan sistemde +/- %10 tolerans ile seçilmesi daha verimli sonuçlara ulaşabilmek adına katkı sağlayabilir.
2. Geri dönüştürülen sabunun öğütücü proses aşamasında yapılan çalışmaların tecrübesiyle bilye sayısında artışa giderek daha küçük veya bilye sayısında düşüşe giderek daha büyük boyutlu sabun taneleri elde edilebilir.
3. Yapılan laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen bulguların, literatüre kazandırılıp paylaşımına açılması , konu ile ilgilenen birçok araştırmacı ve akademisyen için önemli faydalar sağlayabilir.

## KAYNAKÇA

1. Şahin, M., Talaşsız Üretim Yöntemleri-2 Ders Notları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, ss 3.
2. Demirkol, M., 'İmal Usulleri-2, Plastik Şekil Verme Teknolojisi Ders Notları', İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, ss 3-74.
3. Karamış, M., Erciyes Üniversitesi, İmalat Yöntemleri, Kayseri, ss 385-397.
4. Eickemeyer, J., Vogel, R., Reichert, J., Rehm, M., 1996. Journal of Materials Processing Technology. **Metal Drawing by Means of Solid Soap Films**, 61 : 250-253.
5. Ay, İ., Balıkesir Üniversitesi, Tel ve Çubuk Çekme Yoluyla İmalat, Balıkesir, ss 1-14.
6. Altun, K., 2015. Soğuk Çekme Metoduyla Üretilen Kaynak Tellerinde Görülen Hataların Belirlenmesi ve Giderilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, ss 31-39.
7. Byon, S.M., Lee, S.J., Lee, D.W., Lee, Y.H., Lee, Y., 2011. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, **Effect of Coating Material and Lubricant on Forming Force and Surface Defects in Wire Drawing Process**, 21 : ss 104-110.
8. Kim, S., Jang, G., Lee, C., 2014. Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, **Development and Evaluation of Dry Lubricant Recycle Technologies for Wire Drawing Process**, Vol.13 No.2, pp 35-40.
9. Varol, T., 2018. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, **Mekanik Öğütme Yöntemi ile Üretilen Mikronaltı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Seramik Parçacıklarının Fiziksel Özellikleri Üzerine Öğütme Zamanı Öğütme Hızı ve Bilye Toz Ağırlık Oranının Etkisi**, 24(4), ss 635-642.
10. 'Kuru Tel Çekme Makineleri', 2023. [Online]. [csmmetal.com.tr/tr/urun/kuru-tel-cekme-makinalari](http://csmmetal.com.tr/tr/urun/kuru-tel-cekme-makinalari) (Erişim tarihi: Ağustos 2023).
11. 'Eleme Yöntemi ile Ayırma Nedir?', 2019. [Online]. [www.nkfu.com/eleme-yontemi-ile-ayirma-nedir/](http://www.nkfu.com/eleme-yontemi-ile-ayirma-nedir/), (Erişim tarihi: Şubat 2023).
12. 'Titreşimli Elekler Nasıl Çalışır?', 2022. [Online]. [www.ugurmak.com.tr/titresimli-elek-nasil-calisir/](http://www.ugurmak.com.tr/titresimli-elek-nasil-calisir/), (Erişim tarihi: Mart 2023)

13. ‘Vibrasyon Motor Seçim Klavuzu’, 2023. [Online]. [www.miksanmotor.com/images/pdf/vibrasyon/vibrasyon\\_secim\\_klavuzu.pdf](http://www.miksanmotor.com/images/pdf/vibrasyon/vibrasyon_secim_klavuzu.pdf), (Erişim Tarihi : Mart 2023).
14. Yurdakul, S. S., Eker, İ., Kendinden Ayarlamalı PID Kontrol ve Deneysel Uygulamaları, [www.emo.org.tr/ekler/a0585da677a3c11\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/a0585da677a3c11_ek.pdf), (Erişim Tarihi: Mart 2023).
15. Ören, M., 2006. Karıştırma ve Karıştırıcılar, Kullanım Alanları ve Hesaplama Yöntemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, ss 2-37.
16. ‘Üniversal Reaktör’, 2021. [Online]. [www.rhinotank.com.tr/universal-reaktor/](http://www.rhinotank.com.tr/universal-reaktor/), (Erişim Tarihi: Mart 2023).
17. Güney, A., Kangal, M.O., Cevher Hazırlama–I, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, ss 3-38.
18. Dağaşan, E., 2014. Alüminyum Matrisli Seramik Takviyeli Mikron Altı Kompozitlerin Mekanik Alaşımlandırma Yolu ile Üretim ve Karakterizasyonu, Erciyes Üniversitesi, Doktora Tezi, Kayseri, ss 13.
19. Dökme, F., Güven, O., 2014. ‘Bilyalı Değirmenlerde Hızın Performansa Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi,’ Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 657, ss 38-50.
20. ‘FTR Makine Kimya Metalurji’, 2023. [Online]. [www.ftr.com.tr](http://www.ftr.com.tr) (Erişim Tarihi: Mart 2023).
21. Yıldızı, E., Akgün, M., 1993. Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, ‘Çakmakkaya Konsantratöründeki Değirmenlerinde Kullanılan Çelik ve Lastik Palama Malzemelerinin İşletmecilik ve Ekonomik Açıdan İrdelenmesi’, ss. 589-598.
22. Yıldız, N., 2014. Türkiye Madencilik Dergisi, ‘Öğütücü Çubuk/Bilya Çapı’ ss. 84
23. ‘Cicmak’, 2023. [Online]. [www.cicmak.com.tr](http://www.cicmak.com.tr) (Erişim tarihi: Mart 2023).

## EKLER

EK 1. Vibrasyonlu Motor Seçim Tablosu

MECHANICAL SPECIFICATIONS						ELECTRICAL SPECIFICATIONS			CONVERTER SPECIFICATIONS		
RPM	TYPE	Centrifugal Force		Static Moment	Weight	Nominal Voltage	Max. Current	Max. Input Power	Nominal Voltage (DC)	Max. Current	Max. Input Power
50 Hz		KG	N	kgmm	KG	V	A	kW	V	A	kW
<b>3000</b>	VA 2-120 DC	120	1177	12	6,6	24	3,75	0,18	24	9,5	0,24
	VA 2-200 DC	200	1962	20	7,0	24	4,0	0,18	24	9,5	0,24
<b>1500</b>	VA 4-50 DC	50	491	20	6,9	24	3,5	0,12	24	9,5	0,24
	VA 4-80 DC	80	785	32	7,6	24	3,75	0,12	24	9,5	0,24

Working Moment = 2 x Static Moment

DIMENSIONS (mm)													
TYPE	A	B	C	D	E	ØGx4	H	I	L	M	N	Cable Entry	Fig. No
VA 2-120 DC	219	156	125	74-62	106	9	62	51,5	113	116	145	M20 x 1,5	1
VA 2-200 DC	219	156	125	74-62	106	9	62	51,5	113	116	145	M20 x 1,5	1
VA 4-50 DC	219	156	125	74-62	106	9	62	51,5	113	116	145	M20 x 1,5	1
VA 4-80 DC	219	156	125	74-62	106	9	62	51,5	113	116	145	M20 x 1,5	1

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Davut Mert  
**Uyruğu:** Türkiye (T.C)

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği	
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği	2013
Lise	Nuh Mehmet Küçükçalık A.L, Kayseri	2008

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016-Halen	Hasçelik Kablo	Makine Mühendisi

### YABANCI DİL

İngilizce