

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

**YÜKSEK KARBONLU ÇELİK TEL ÇEKİMİNDE İŞLEM  
PARAMETRE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan  
Hülya ALKAN**

**Danışman  
Doç. Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU**

**Yüksek Lisans Tezi**

**TEMMUZ 2019  
KAYSERİ**



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

**YÜKSEK KARBONLU ÇELİK TEL ÇEKİMİNDE İŞLEM  
PARAMETRE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Hülya ALKAN**


**Danışman  
Doç. Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU**

**TEMMUZ 2019  
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.

Hülya ALKAN

İmza : 

## YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

Yüksek Karbonlu Çelik Tel Çekiminde İşlem Parametre Etkilerinin Araştırılması adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

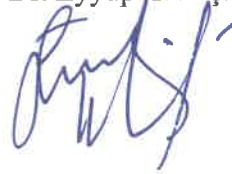
Tezi Hazırlayan

Hülya ALKAN



Danışman

Doç. Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU



Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP 

**Doç. Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU** danışmanlığında **Hülya ALKAN** tarafından hazırlanan “**Yüksek Karbonlu Çelik Tel Çekiminde İşlem Parametre Etkilerinin Araştırılması**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

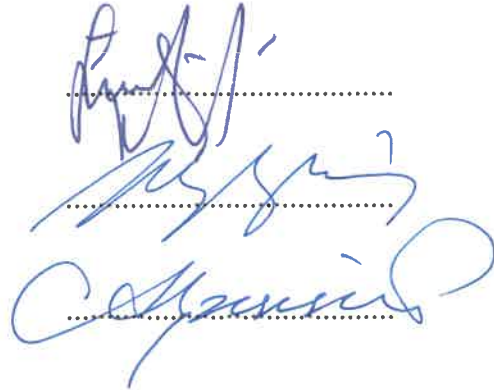
05/07/2019

**JÜRİ:**

Danışman : Doç. Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU

Üye : Doç. Dr. Kemal YILDIZLI

Üye : Doç. Dr. Afşın Alper CERİT

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 06/08/2019 tarih ve 1019/47-10 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



06 / 08 / 2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı hazırlarken beni teknik ve manevi açıdan yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Doç.Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU ' na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince imkanlarından faydalandığım BOYÇELİK METAL SAN. TİC. A.Ş'ye ve burada görev alan eski çalışma arkadaşlarıma desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Yaşamımın her döneminde, her türlü desteği gösteren, her zaman yanımda olan, değerli eşime ve çok sevgili aileme; en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Bu çalışmaya ait bir bölüm Serbia Trib'17 triboloji sempozyumunda sunulmuştur.

Hülya ALKAN

Kayseri, Temmuz 2019

# YÜKSEK KARBONLU ÇELİK TEL ÇEKİMİNDE İŞLEM PARAMETRE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hülya ALKAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2019  
Danışman: Doç. Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU

## ÖZET

Kablo, halat, yatak yayı, endüstriyel yaylar, inşaat demirleri gibi yapı ve imalat sektörlerinde pek çok alanda kullanılan çelik teller hadde adı verilen konik kalıplardan geçerek istenilen çapa düşürülür. Çelik tellerin çekimi esnasında seçilen hammaddeden uygun parametrelerin sağlanmasına, yüzey hazırlama işleminden oluşan mekanik etkileşime kadar pek çok etken beraberinde bazı problemleri de doğurmaktadır. Bu problemlere neden olan ana başlıklardan en etkin olanları hammaddenin içeriği (çeliğin ihtiva ettiği karbon ve diğer elementlerin miktarı), hammaddenin çekim öncesi yüzey hazırlığı, çekim hızı, kullanılan kafa sayısı ve redüksiyon oranları, sıcaklık faktörü, mukavemet faktörü, hadde seçimi ve sabun seçimidir. Buna karşın tel çekme proses parametreleri halen tam anlamıyla belirlenmiş değildir [1]. Bu çalışmada belirtilen konularla ilgili yapılan çalışmalar incelenerek derlenmiş ve değinilen konulardan bazıları ile ilgili deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek karbonlu çeliklerin çekimi, tel çekme, yüksek hızda tel çekimi, tel çekim parametreleri, soğuk haddeleme

# INVESTIGATION OF PROCESS PARAMETER EFFECTS IN HIGH CARBON STEEL WIRE DRAWING

Hülya ALKAN

Erciyes University, Institute of Science and Technology

Master Thesis, July 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Eyyup GERÇEKÇİOĞLU

## ABSTRACT

Cable, rope, bearing springs, industrial springs, steel bars used in many areas of construction and manufacturing sectors such as rebar are passed through conical molds called drawing dies to the desired diameter. During the drawing of steel wires, from raw material selected to providing appropriate parameters, from surface preparation to mechanical interaction, many factors cause some problems. The most effective ones that cause these problems are the content of the raw material (the amount of carbon and other elements contained in the steel), the surface preparation of the raw material before drafting, the drafting speed, the number of heads and reduction ratios, temperature factor, strength factor, roll selection and soap selection. However, wire drawing process parameters are still not fully defined. In this study, the studies related to the subjects mentioned are examined and compiled and experimental studies related to some of the subjects mentioned are included [1]. In this study, the studies related to the subjects mentioned are examined and compiled and experimental studies related to some of the subjects mentioned are included.

**Keywords:** The drawing of high carbon steel wire, Wire drawing, Wire drawing with high speed, parameters of wire drawing, Cold rolling

## İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI.....	ii
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT.....	vii
KISALTMALAR.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
GİRİŞ.....	1

### 1.BÖLÜM

#### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Tel Çekme Tarihçesi ve Tel Çekme Prosesi .....	6
1.2. Tel Çekme Prosesinde Kullanılan Hammaddeler.....	11
1.3. Tel Çekme Mukavemeti.....	13
1.4. Tel Çekme Hızı.....	15
1.5. Redüksiyon Oranı (Soğuk Deformasyon Oranı).....	17
1.6. Tel Çekim Haddeleri ve Hadde Seçimi.....	20
1.6.1. Hadde yapımı (hadde rektifiye işlemi).....	22
1.7. Tel Çekme Yağlayıcı Sabunlar ve Sabun Seçimi.....	29
1.8. Proseste Açığa Çıkan Sıcaklık ve Etkileri.....	32
1.9. Literatür Çalışmaları.....	34

## 2.BÖLÜM

### YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Tez Aşamaları.....	38
2.2. Proseste Açığa Çıkan Sıcaklıkların Ölçümü.....	38
2.3. Tel Mukavemet Ölçümü.....	39
2.4. Hadde Seçimi ve Rektifiye Prosesi.....	39
2.5. Tel Çekme Prosesi Öncesi Yapılan Hazırlıklar.....	40
2.6. Tel Çekme Yağlayıcılarının Karakteristiği ve Doğru Yağlayıcı Seçimi... ..	41
2.7. Tel Çekmede Optimum Redüksiyon Oranlarının Belirlenmesi.....	41

## 3.BÖLÜM

### BULGULAR

3.1. Değişken Makine Hızının Açığa Çıkan Tel Sıcaklığına Etkisi.....	43
3.2. Tel Çekme Prosesi Sırasında Açığa Çıkan Sıcaklığın Tel Mukavemeti Üzerine Etkisi.....	45
3.3. Haddelerin Tel Sıcaklığına Etkisi.....	48
3.4. Kaplama Kalınlığının Hadde Aşınmasına Bağlı Tel Sıcaklığına Etkisi.....	53
3.5. Yağlayıcı Sabun Seçiminin Açığa Çıkan Sıcaklığa Etkisi.....	57
3.6. Redüksiyon Oranının Tel Sıcaklığı Üzerine Etkisi.....	61
3.7. Tel çekim Prosesi Sonrası İç Yapıda Meydana Gelen Değişimler.....	63

3.7.1. SEM İle İç Yapı İncelenmesi.....	64
---	----

## 4.BÖLÜM

### TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma-Sonuç.....	69
--------------------------	----

4.2. Öneriler.....	70
--------------------	----

KAYNAKÇA.....	74
---------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	79
---------------	----

## KISALTMALAR

HCl: Hidroklorik asit

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Sülfürük asit

P: Fosfor

Al: Alüminyum

Cu: Bakır

C: Karbon

Ca: Kalsiyum

Na: Sodyum

Mn: Mangan

Si: Silisyum

S: Kükürt

Cr: Krom

Ni: Nikel

Mo: Molibden

Fe: Demir

m: Metre

s: Saniye

WC: Tungsten Karbür

°: Derece

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.2.1. Yüksek Karbonlu Çeliklere Ait Kimyasal Bileşim (TS EN ISO-16120-2-4) .....	12
Tablo 1.5.1. On Blokluk Bir Tel Çekme Makinesi İçin Hadde Serisi Örneği .....	19
Tablo 3.1.1. 2.20 %0.65 C Tel İçin Alınan Hız-Sıcaklık Ölçümleri.....	44
Tablo 3.1.2. 2.38mm % 0.65 C Tel İçin Alınan Hız-Sıcaklık Ölçümleri .....	44
Tablo 3.2.1. 2.20 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerleri İçin Tel Mukavemet Ölçümleri .....	46
Tablo 3.2.2. 2.38 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerlerine Göre Tel Mukavemet Ölçümleri .....	47
Tablo 3.3.1. Farklı Haddelerin 24 saatlik Kullanımı Sonrası Çaplarındaki Büyümeler (mm) ve Oluşan Tel Sıcaklıkları (°C) .....	49
Tablo 3.3.2. 72 Saatlik Çalışma (3 gün) Sonucunda Haddelerdeki Büyüme Oranları ...	50
Tablo 3.3.3. 2.18 mm %0.65C Bir Tel İçin Üç Günlük Çalışma Sonucu Hadde Büyümesi, Redüksiyon Oranları ve Tel Mukavemeti Değişimleri.....	52
Tablo 3.4.1. Fosfat Banyosu Kritik Değerler Tablosu .....	55
Tablo. 3.4.2. Sınır Değerlerde Kaplama Kalınlığındaki 3 Filmaşinin Hadde Çap Büyümelerine Etkileri .....	56
Tablo 3.4.3. Sınır Değerden Düşük Kaplama Kalınlığındaki 3 Filmaşinin Hadde Çap Büyümelerine Etkileri .....	57
Tablo 3.5.1. Farklı Marka Yağlayıcı Sabunlarla Yapılan 2.38 mm %0.65C'lık Tel Çekimi Esnasında Oluşan Sıcaklığa Etkileri .....	59
Tablo 3.5.2. Tel Çekim Prosesi Sonrası Tel Yüzeyinde Kalan Sabun Miktarları .....	60
Tablo 3.6.1. 2.20 mm %0.65'lik C Bir Tel İçin Oluşturulan Hadde Serisi.....	61
Tablo 3.6.2. Farklı Redüksiyon Oranında Çekilen 2.20 mm %0.65C'lık Bir Tel İçin Redüksiyon-Mukavemet değerleri .....	62

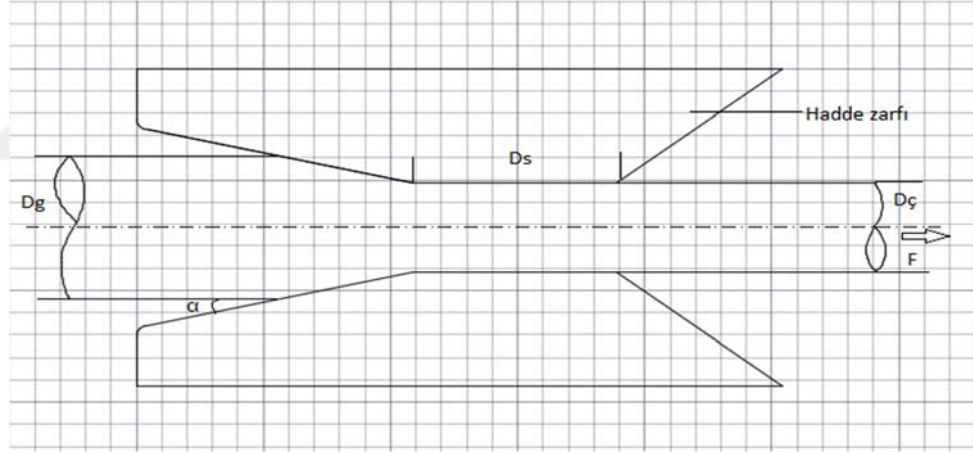
## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Tel Çekim Prensibi .....	1
Şekil 2. Tel Çekme Makinesi .....	3
Şekil 1.1.1. İlk Tel Çekme Plakaları .....	6
Şekil 1.1.2. İlk Tel Çekme Tezgahları .....	7
Şekil 1.1.3. Dikenli Tel İmalatı.....	8
Şekil 1.1.4. Tel Çekme Prosesi Şematik Gösterimi .....	10
Şekil 1.2.1. Tel Çekmede Kullanılan Filmaşınler .....	11
Şekil 1.3.1. Demir (Fe)- Karbon ( C) Denge Diyagramı .....	13
Şekil 1.5.1. Redüksiyon Oranı- Mukavemet ilişkisi .....	18
Şekil 1.5.2. Oluşturulan Hadde Serisi Örneğine Ait Redüksiyon Eğrisi .....	20
Şekil 1.6.1. Hadde Kesit Görüntüsü ve Hadde Bölgeleri.....	21
Şekil 1.6.1.1. Basınçlı Hadde .....	23
Şekil 1.6.1.2. Çekim Haddesine Monte Edilmiş Basınç Haddesi Kesiti.....	24
Şekil 1.6.1.3. Tam Otomatik Hadde İşleme (Rektifiye) Makinesi.....	25
Şekil 1.6.1.4. Rektifiye Edilecek Hadde Kesit Görünüşü .....	25
Şekil 1.6.1.5. Mevcut Silindiri Yok Edilmiş Hadde Kesit Görüntüsü .....	26
Şekil 1.6.1.6. Rektifiye Edilmiş Hadde Kesit Görüntüsü .....	26
Şekil 1.6.1.7. Hadde Buluşma Noktası Hesabı İçin Geometrik Kesit Görüntüsü.....	27
Şekil 1.6.1.8. Back Relief Açısı .....	28
Şekil 1.7.1. Sabun Kutusu Üstten Görünüşü.....	30
Şekil 1.7.2. Tel Fosfat Kaplama-Yağlayıcı Sabun.....	30
Şekil 1.7.3. Yüzeyi Çizik Tel Numunesi.....	31
Şekil 1.7.4. Katılaştıran Sabun Görüntüsü .....	32

Şekil 1.7.5. Döner Aksamlara Yapışarak Dönme Hareketine Engel Olan Sabun Kalıntıları .....	32
Şekil 1.8.1. Hadde Sıcaklık Dağılımı .....	33
Şekil 3.1.1. 2.20 mm %0.65 C Tel İçin Hız-Sıcaklık İlişkisi Grafiği .....	44
Şekil 3.1.2. 2.38 mm %0.65 C Tel İçin Hız-Sıcaklık İlişkisi Grafiği .....	45
Şekil 3.2.1. 2.20 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerlerine Göre Tel Mukavemet Grafiği.....	46
Şekil 3.2.2. 2.38 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerleri İçin Tel Mukavemet Grafiği .....	47
Şekil 3.3.1. 2.18 mm %0.65C Bir Tel İçin Üç Günlük Çalışma Sonrası Redüksiyon-Mukavemet Grafiği .....	52
Şekil 3.4.1. Fosfat Kaplama Banyoları .....	53
Şekil 3.5.1. Yay Makinesi Girişindeki Tel Yüzeyinin Yağlı Keçe İle Yağlanması.....	60
Şekil 3.6.1. Redüksiyon Oranı-Tel Mukavemet Eğrisi .....	63
Şekil 3.7.1. 5.50 mm Çapında %0.65C'luk Bir Çelik Filmaşinin Farklı Bölgelerinin İç Yapısı-1 .....	65
Şekil 3.7.2. 5.50 mm Çapında %0.65C'luk Bir Çelik Filmaşinin Farklı Bölgelerinin İç Yapısı-2.....	66
Şekil 3.7.3. 2.20 mm Çapında %0.65C'luk Bir Çelik Telin Farklı Bölgelerinin İç Yapısı-1 .....	67
Şekil 3.7.4. 2.20 mm Çapında %0.65C'luk Bir Çelik Telin Farklı Bölgelerinin İç Yapısı-2.....	68

## GİRİŞ

Tel çekme prosesi Şekil 1’de görüldüğü gibi kalın kesitli malzemenin hadde (tel çekme kalıbı) adı verilen konik kalıplardan geçirilerek kalıp çıkışına doğru uygulanan çekme kuvveti ile plastik şekil değiştirmesi esasına dayanan bir metal işleme yöntemidir [4]. Bu prosesin gerçekleştirilmesi için herhangi bir sıcaklığa ihtiyaç yoktur. Bu açıdan soğuk şekillendirme prosesi olarak değerlendirilmektedir. Çekme kuvveti ile birlikte çelik malzemenin hadde koniği ile temasında oluşan basma kuvvetinin de yardımıyla şekil değişimi sağlanır [5].



Şekil 1. Tel Çekim Prensibi

Çeliklerden imal edilen tellerin kullanım alanları oldukça yaygındır. Genel olarak çelikler, ihtiva ettikleri karbon oranına göre üç ana gruba ayrılırlar. Bunlar; düşük karbonlu çelikler, orta karbonlu çelikler ve yüksek karbonlu çeliklerdir. Bu çelikler aynı zamanda sırasıyla ötektoid altı çelikler, ötektoid (perlitik) çelikler ve ötektoid üstü çelikler olarak da adlandırılırlar [6].

Çelikler içeriklerindeki karbonun yanı sıra mangan (Mn), silisyum (Si), kükürt (S), fosfor (P), krom (Cr), nikel (Ni), molibden (Mo) gibi alaşım elementleri de ihtiva ederler. Çeliğin özelliklerine en büyük etkiyi sağlayan element karbon (C) olmasına

karşın sağlanmak istenen süneklik, mukavemet, sertlik, dayanım gibi bazı karakteristik özelliklerin çeliğe kazandırılabilmesi adına alaşım elementlerinden faydalanılır [7].

Tel çekme prosesine etki eden pek çok girdi bulunmaktadır. Bunlardan bilinen temel bazı parametreler; hammaddenin cinsi(telin ihtiva ettiği karbon ve alaşım elementleri miktarı), çekim öncesi hammadde yüzeyinin hazırlığı, tel çekme hızı, redüksiyon oranları (soğuk deformasyon oranları), sıcaklık faktörü, mukavemet faktörü, hadde seçimi ve sabun seçimi olarak sıralanabilir. Bu çalışmada bahsi geçen parametrelerin tel çekme prosesine etkileri incelenecektir.

Hammaddenin cinsi dendiğinde akla ilk olarak çeliğin içeriği gelmektedir. Yapısındaki karbon miktarı ve diğer alaşım elementleri proses için önemli girdileri oluşturur. Bu nedenle çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktörün çeliğin içerdiği karbon oranı olması sebebiyle seçim kriterlerinde en önemli parametre olarak karbon ön plana çıkmaktadır [8]. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, esnekliği, şekillendirilme ve kaynak kabiliyetini, kesilebilme özelliğini azaltır [9]. Bu nedenlerden dolayı tel çekme prosesinde imal edilecek telin kullanım alanına uygun özellikleri sağlayabilmesi için kullanılan çeliğin içerdiği karbon miktarı önem kazanır. Örneğin halat teli üreten bir firmada üretilecek tellerden yüksek mukavemet beklendiği için yüksek karbonlu çelikler tercih edilir. Yine aynı şekilde yatak ve kanepeli yayı üreticisi bir işletmede yataklarda çökmenin engellenebilmesi ve dayanımın sağlanması için yüksek karbonlu çelikler tercih edilir. Ancak karbon oranının artması ile birlikte çeliğin sertlik değerindeki artış ve bunun sonucunda da bazen yay yapımı esnasında düğümleme işleminde kırılma problemlerine neden olabilmektedir [10]. Aynı zamanda tel çekme makinelerinde yüksek sıcaklık oluşumu ve hadde deformasyonlarına bağlı olarak hadde ömründe azalma, mekanik parçalara zarar verme gibi etkilere yol açar [11]. Bu nedenle optimum içeriğin kullanım alanına göre belirlenmesi gerekir.

Tel çekme prosesinde çekim hızı oldukça önemlidir. Kullanılan makinenin teknolojisinden yağlayıcı sabun seçimine, hadde iç yapısından redüksiyon oranına kadar pek çok parametreyi doğrudan etkileyen tel çekme hızı bu noktalar göz önüne alınarak belirlenmelidir. Yüksek hızlar beraberinde yüksek sıcaklık oluşumuna neden olur ve diğer parametrelerin de etkinliğini azaltır.

Tel çekme prosesi haddeme adı verilen konik kesitli kalıplar yardımı ile hadde çıkışından uygulanan çekme kuvveti ile yapılır. Haddeme de kendi içerisinde sulu ve kuru çekim olarak kategorize edilir. Sulu ve kuru çekimin temel mantığı aynı olup kullanılan yağlayıcı bakımından ayrılmaktadırlar. Sulu çekimde telin içinden geçtiği haddeler özel sıvı emisyonun içindeyken kuru çekimde hadde, içi kalsiyum veya sodyum bazlı toz yağlayıcı (sabun) içinde bulunur.

Bir tel çekme makinesinde çekilecek tel çapına uygun sayıda birden fazla blok bulunur. Tel, içi sabun dolu hadde kutusuna girer ve yüzeyi sabunla kaplanır. Sabun kaplı tel hadde kutusu içindeki haddeye giriş yapar ve hadde çıkışından uygulanan çekme kuvveti ile çekilerek çapı inceltir. İncelen tel uzar ve hadde çıkışından sonraki bloğa sarılarak çekilmiş olur. Şekil 2’de tel çekme makinesi iç kısmı görülmektedir.



Şekil 2. Tel Çekme Makinesi [12]

Sıcak haddeme işlemi ile yarı mamül halini alan çelik tel çekme işletmelerinde soğuk haddeme ile mamul hale dönüştürülür. Örneğin çelik 7 mm çapına sıcak haddeme metodu ile getirilirken 7 mm’den daha küçük çaplara soğuk haddeme metodu ile

çekilebilir. Soğuk haddeleme sonucu malzemede döküm boşlukları, mikro çatlaklar gibi yapısal bazı kusurlar meydana gelir ve bunun sonucunda metalin akma mukavemeti ve sertliği artarken aynı zamanda küçük taneli bir iç yapı oluşur, metalin sünekliği de azalır [13]. Tavlama işlemi ile bu problemlerin önüne geçilebilir. Soğuk haddeleme esnasında metal yüksek miktarlarda enerji absorbe etmekte, bu enerjinin büyük kısmı plastik deformasyon için harcanmakta, geriye kalan kısmı ise sıcaklık olarak açığa çıkmaktadır [14]. Soğuk şekillendirme yöntemlerinden biri olan tel çekme prosesinde iç yapıda değişiklik oluşmaz [15].

Tel çekme prosesinde mekanik sürtünmelerin yanı sıra haddeleme sırasında absorbe edilen enerji dolayısıyla açığa çıkan sıcaklıklar da proses için kritik bir durum ortaya çıkarmaktadır. Açığa çıkan sıcaklık kontrol altına alınmadığı takdirde malzemeyi sertleştireceği gibi aynı zamanda diğer mekanik aksamların da çalışma performansını düşürmesi sebebiyle kalitesiz üretime neden olmaktadır. Sürtünmeler ve diğer faktörlerden dolayı açığa çıkan sıcaklık prosesdeki ekipmanların kullanım ömürlerini azaltırken üretilen telin de çalışma performansını düşürür.

Tellerin istenilen çapa indirilmesi işleminde içlerinden geçtikleri konik kesitli haddelerin yüksek hızlarda meydana gelecek kuvvetleri karşılayabilmesi ve bu sırada açığa çıkacak sıcaklıklara karşı dayanımlı olması açısından dayanıklı materyallerden yapılması gerekir. Genellikle tungsten karbür (WC) malzemeden imal edilirler ve gerek çalışma koşulları gerek üretilen tel kalitesi açısından tel çekme prosesi için önem arz ederler. Hadde seçiminin üretim verimliliğine de dolaylı olarak etki ettikleri bilinir. Kaliteli malzemeden imal edilmiş ve iç geometrisi düzgün hazırlanmış haddeler özellikle yüksek hızlarla yapılan üretimler sırasında tel kopmaları, sünmeleri gibi kalitesizliklerle üretimi bölmeyeceklerinden birim zamanda üretilen ürün miktarının artışına katkı sağlarlar.

Soğuk deformasyon oranı olarak da bilinen redüksiyon oranları da hassas olarak değerlendirilmediklerinde tel çekim prosesine doğrudan olmasa da dolaylı olarak etki edecektir. En önemli etkisi nihai tel mukavemeti üzerine olmaktadır. İlerleyen bölümlerde redüksiyon oranı ile mukavemet ilişkisi üzerine yapılan çalışmada bu sonuç doğrulanacaktır. Diğer önemli etkilerinden biri de büyük çap düşüşlerinin hızlı çekim prosesinde yüksek sıcaklıklar oluşturması ve ani kesit daralmalarının tel kopmalarına neden olarak prosesi durdurması yönünde oluşmaktadır.

Tel çekme prosesi esnasında tellerin hadde içinden geçerek tel çekme makinesi bloklarına sarılması sırasında metal metal teması ile oluşan sürtünme kuvveti proseste bir direnç oluşturur. Bu direnci düşürmek ve çekim işlemini kolaylaştırmak amaçlı yağlayıcı sabunlar kullanılmaktadır. Prosesle uyumlu çalışabilecek bir veya birden çok sabun kombinasyonu kullanılarak sürtünme kat sayısı düşürülür. Kullanılan yağlayıcılar proses şartlarına uyumlu olarak seçilmezlerse proses esnasında oluşan sıcaklıklar kullanılan yağlayıcı sabunun erimesine neden olur. Bu durumda yağlayıcı sabun görevini tam olarak yerine getiremez ve tel ile telin temas ettiği bütün yüzeyler arasında büyük bir sürtünme kuvveti oluşur. Bu kuvvetten dolayı tel yüzeyinde ve telin temas ettiği ekipmanlarda mekanik hasarlar oluşabilmektedir. Mekanik aksamaların zarar görmesinin yanı sıra üretilen tellerin sonraki proseste kullanımları esnasında düzensiz çalışma performansı göstermesi nedeniyle verimsiz üretime sebep olmaktadır.

Bu çalışmada da tel çekme prosesinin bulunduğu bir işletmede karşılaşılan bazı problemlere yukarıda bahsedilen temel başlıklar ışığında çözümler getirilmeye çalışılmış ve literatürde bu alan üzerine yapılan çalışmalar derlenerek yeniden değerlendirilmiştir. Bu temel başlıkların ortak çıktısı olan sıcaklık artışı tel çekim prosesinde kontrol altına alınması gereken temel parametredir. İlk bölümde tel çekme ile ilgili yapılan çalışmalar belli başlıklar altında kategorize edilmiş ve sonraki bölümde yapılan deneysel çalışmaların bulgularına yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve literatürde yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucu etkin bir tel çekme işlemi için gerekli optimum şartların nihai ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkileri bulgularla ortaya koyulmuştur.

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

#### 1.1. Tel Çekme Tarihçesi ve Tel Çekme Prosesi

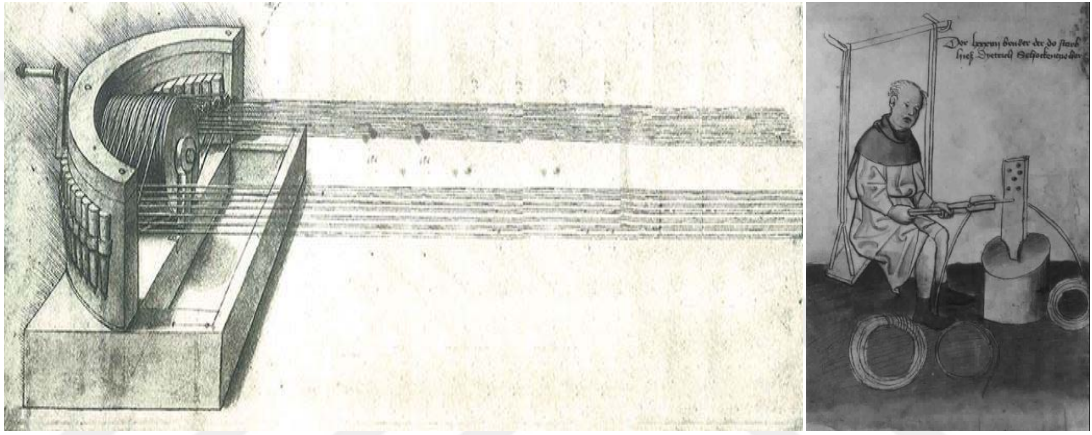
Tel teknolojisinin M.Ö. 3000’li yıllara dayandığı düşünülmektedir [16]. Kelt topluluğunun metalleri işlemesiyle başlayan sürecin 1 asırlık bir geçmişi olduğu görülmektedir. İlk tel çekim işlemi çekiç ve örsler yardımı ile dövme metoduyla yapılmıştır. Sonraları İtalyan Alpleri’nde (Bergamo ve Brescia illerinde) eski demir cevheri madenlerinin yakınında yapılan arkeolojik kazılarda Şekil 1.1.1’deki çapı kademeli olarak azalan delikli plakalar bulunmuştur. Bu plakalardan çekilen tellerle aksesuarlar, tokalar, araba süsleri, silahlar, zırhlar yapıldığı tespit edilmiştir [17,18].



Şekil 1.1.1. İlk Tel Çekme Plakaları [18]

Gümüş ve altın tellerden mücevherat yapımı da tel çekme prosesi ile gerçekleştirilmekteydi. Zamanla daha kaliteli ve daha fazla üretim yapma ihtiyacı hasıl oldu ve tel çekme prosesi hız ve dayanım bakımından geliştirildi [19].

Orta çağlarda, ince tel kullanımı apoletler, örgüler, mücevherler ve savunma ekipmanları yapımında da kullanılarak yaygınlaştı [17]. İlk zamanlar kullanılan basit plakalar yardımı ile yumuşak teller inceltilirken sonraları farklı tipte telleri çekebilmek için Şekil 1.1.2'deki gibi basit tel çekme tezgahlar tasarlandı.



Şekil 1.1.2. İlk Tel Çekme Tezgahları [17]

1350'li yıllarda ilk tel çekme donanımını Alman Rudolf yapmıştır. 1862 yılında ise George Bedson ilk kez ard arda matrislerle tel çekme işlemini gerçekleştirmiştir [15]. Bedson'ın matrisleri daha sonrasında tel çekme işlemine dayanıklı hale getirilebilmek amaçlı sert malzemedan imal edilmiştir.

1927 yılında ise Richard Johnson, Richard Johnson & Nephew şirketini kurarak Şekil 1.1.3'de Geoffrey Key tarafından resmedilen sistemle dikenli tel imalatını gerçekleştirmeye başlamıştır [20].



Şekil 1.1.3. Dikenli Tel İmalatı [20]

Tel çekme akma gerilmesi temelde aşağıdaki formülasyonla hesaplanır.

$$\sigma_{t\check{c}} = \varphi \cdot \sigma_{ak} \cdot \left( \frac{1+\mu}{\alpha} \right) \cdot \ln \frac{A_0}{A_1} \quad \text{Denklem 1.1}$$

$$\varphi = 1 + 0,12\Delta$$

$\sigma_{t\check{c}}$  = Tel çekme gerilmesi

$\sigma_{ak}$  = Tel akma gerilmesi

$\varphi$  = Düzeltme faktörü

$\alpha$  = Kalıp açısı

$A_0$  = Telin ilk kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

$A_1$  = Telin son kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

Yağlama iyi yapılırsa sürtünme katsayısı;  $\mu=0.03-0.1$  aralığında kabul edilir.

Günümüze kadar tel çekme sistemi ve hadde adı verilen matrisler geliştirilerek farklı tel çekme proseslerine uyarlanmıştır. Bugünün teknolojisinde çok bloklu, ard arda haddeli,

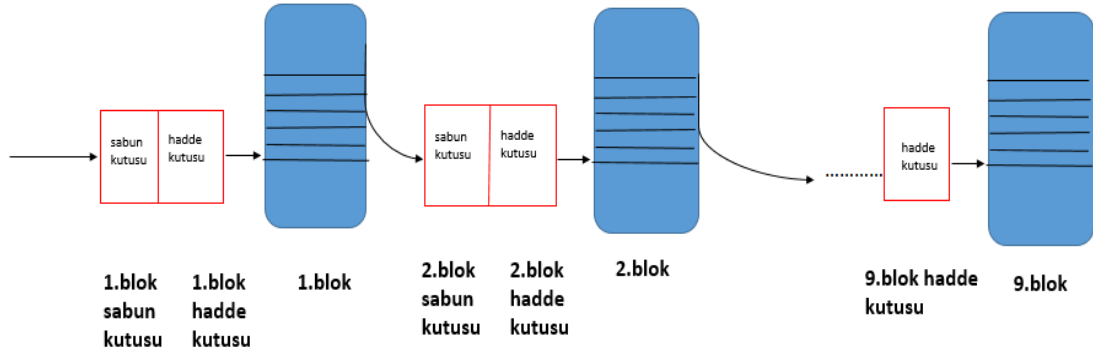
yüksek hızlı makineler ve bu makinelere uygun tungsten karbür basınçlı hadde sistemleri geliştirilmiştir.

Tel çekme işlemi plastik şekillendirme esasına dayalı bir soğuk şekillendirme prosesidir [21]. Çelik telin iç yapısı konik kesitli olan, hadde adı verilen kalıptan geçirilerek çekme kuvveti etkisiyle inceltmesi işlemine tel çekme adı verilir. Çekilen telin çapı küçülür ve boyu uzar ancak hacminde bir değişim olmaz. İndirgenecek çapa bağlı olarak tek bloklu-tek haddeli tel çekme makineleri mevcutken çapın küçülmesiyle çok bloklu-çok haddeli tel çekme makineleri bulunmaktadır. Piyasada yaygın olarak ard arda blok ve haddelere sahip makineler tercih edilir.

Tel çekme işleminde kullanılacak olan hammaddenin yüzeyi asitle kimyasal temizleme veya mekanik kırıncılar yardımı ile mekanik yöntemle temizlenir. Bunun nedeni filmaşın yüzeylerinin sıcak şekillendirme sırasında bir oksit tabakası ile kaplanmasıdır [22]. Yüzeylerinde bulunan kav (veya tufal), pas gibi yüzey kirliliği gibi proses sırasında istenmeyen tabaka veya kirlilikler temizlendikten sonra dış yüzeyi fosfat ile kaplanır. Tel çekme prosesinde kimyasal temizlikte hidroklorik asit (HCl) ve sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekanik temizlikte ise filmaşın yüzeyi zımpara veya metal fırçalar yardımı ile temizlenir. Yüzey temizliği sonrası kaplama prosesinde kaplama malzemesi olarak hem çekim prosesini kolaylaştırması hem de korozyona karşı direnç kazandırması sebebiyle fosfat (P) kaplama tercih edilmektedir [23,24]. Yüzey temizliği ve kaplama işlemi gerek tel çekimi yapılırken gerek çekilen telin sonraki kullanımlarında proseslerin kaliteli yapılabilmesi adına son derece önemlidir.

Yüzeyi temizlenip fosfat ile kaplanan filmaşın adı verilen kalın çaplı çelik teller indirgenmek istenen tel çapı için gerekli olan hadde sayısı kadar bloğa sahip olan tel çekme makinelerine girer. Telin belli redüksiyon oranlarıyla kademe kademe inceltmesi gerekir. Tel çekme makineleri de bu mantığa uygun olarak en az, kullanılan hadde sayısı kadar bloğa sahip olmalıdır. Şekil 1.1.4'de görüleceği üzere tel sabun kutusu içerisinden geçerek hadde kutusuna girer, haddeden geçen telin çapı küçülür ve boyu uzar. Uzayan tel bloklara sarılır ve bir sonraki hadde kutusuna girer. Her haddeden sonra telin çapı bir kademe daha inceldiğinden boydaki uzama bir önceki bloğa göre daha fazla olur. Telin sarıldığı blokların bu uzamayı karşılayabilmesi için daha hızlı dönmesi gerekir. Bu nedenle her blok farklı hızlarda dönmektedir. Bloklara hangi hızla

çalışacağı komutu dansör adı verilen hız ayarlayıcıları ile gönderilir ve ilk bloktan son bloğa doğru blok hızları artarak devam eder.



Şekil 1.1.4. Tel Çekme Prosesi Şematik Gösterimi [25]

Tel çekme prosesi plastik şekil verme esasına dayanır [13]. Sıcak haddeleme yöntemi ile minimum 4.5-5 mm aralığına kadar üretim yapılabilir. Daha ince çaplar sıcak haddeleme yolu ile istenen hassasiyet ve yüzey kalitesinde imal edilemezler. Bunun sebebi tellerin kesiti azaldıkça soğumanın hızlı olması ve sıcaklıktan dolayı tel yüzeyinde istenmeyen kav tabakalarının oluşmasıdır. Bu nedenle yüzey kalitesi, hassasiyet ve arzu edilen mukavemete ulaşabilmek için soğuk haddeleme yöntemi olan tel çekme prosesi ile ince teller elde edilir [26].

Tel çekme prosesinde yüzeyin çekime hazırlanması için kimyasal ve mekanik yolla temizlemenin yanı sıra çekim işlemi sırasında oluşan sürtünmelerin elimine edilebilmesi için toz yağlayıcılar (sabunlar) kullanılmaktadır. Kalsiyum (Ca) bazlı ve Sodyum (Na) bazlı sabunlar ayrı ayrı veya birbirleriyle kombinasyonlu olarak kullanılabilir. Genellikle redüksiyonun büyük olduğu ilk 2-3 blokta tane yapısı daha büyük olan Ca bazlı sabunlar kullanılırken diğer bloklarda Na bazlı sabunlar kullanılır. Doğru sabun seçimi yapılamazsa prosesin gidişatı için ciddi riskler doğabilir [27].

Tel çekme prosesinde çekim işlemi yanı sıra hammaddenin içeriği, proses hızı, redüksiyon oranı, proses esnasında oluşan sıcaklıklar, hadde ve sabun gibi girdilerin de nihai tel kalitesi üzerindeki etkileri büyüktür [28]. Bu girdilerin her birinin nihai tel üzerinde farklı etkileri olsa da her birinin oluşturduğu etki sıcaklığa bağlı olarak oluşmaktadır.

## 1.2. Tel Çekme Prosesinde Kullanılan Hammaddeler

Tel çekme işleminde sıcak haddeleme metodu ile elde edilen filmaşın adı verilen hammaddeler kullanılır. Filmaşınlar yuvarlak, yassı, kare, dikdörtgen ve altıgen kesitinde üretilirler. Sıcak şekillendirme sonrası filmaşın çapları 4.50-24 mm aralığında üretilmektedir.



Şekil 1.2.1. Tel Çekmede Kullanılan Filmaşınlar

Çekilecek telin kullanım amacına uygun olarak hammadde seçimi yapılır. Bakır (Cu), Alüminyum (Al), alaşımlı veya alaşımsız çeliklerden tel imalatı yapılabilmektedir. Çelik tel imalatında düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu alaşımlı çelikler kullanılmaktadır. Çeliğin yalnız başına sağladığı mekanik özelliklerin yetersiz kaldığı durumlarda ilave alaşım elementleri ile istenen özellikler kazanılabilir.

Düşük ve orta karbonlu alaşımsız çeliklerde C oranı % 0.02-0.22 iken düşük ve orta karbonlu alaşımlı çeliklerde bu oran % 0.15-0.45 arasındadır. Yüksek karbonlu çeliklerde ise karbon oranı %0.44-0.82 arasındadır [29].

Arzu edilen nihai telin mukavemet değerlerini ve kullanım alanına uygun mekanik özelliklerini sağlayabilmek için seçilen hammadde içeriği önemlidir. Aynı zamanda

üretileen telin bir sonraki proseste işlenebilirliğinin (çalışma performansının) iyi olması için çelik içeriği uygun ve yeterli miktarlarda alaşım elementleri ihtiva etmelidir.

Türk Standartları Enstitüsünün (TSE) TS EN ISO 16120-2 ve 16120-4 standartlarında çeliklerin tele dönüştürülmesi için gerekli hammaddenin içeriğinde bulunması gereken elementlerin optimum oranları belirlenmiştir [30,31]. Çekilecek telin istenilen mekanik özelliklerinin sağlanabilmesi adına çeliğin içerdiği karbon oranı belirleyici olsa da bunun yanında ilave özellikler kazandıracak olan diğer elementlerinde sınır değerler içerisinde çelik muhteviyatında bulunması önemli olmaktadır. Örneğin standartlarda 2.20 mm % 0.65C'lu bir yaylık telin mukavemeti 165-175 kgf/mm<sup>2</sup> aralığında olmalıdır ancak her % 0.65C'lu filmaşinden istenen mukavemet çıktısı alınamayabilir. Buna etki eden farklı parametreler (hız, redüksiyon oranı vb.) bulunmaktadır ancak karbon da bu parametrelerin başında gelir.

Filmaşinler aynı karbon oranlarında üretilecekler dahi içeriklerindeki alaşım elementlerinin miktarlarıyla orantılı olarak tel çekim işlemi sırasında farklı davranışlar gösterebilir. Aşağıda Denklem 1.2.1'de verilen karbon eşdeğer (CE) denkliğine göre karbonun yanı sıra çeliğin yapısına etkileyen diğer elementlerin oransal katkıları da görülebilmektedir. Bu eşitlikten yola çıkarak % 0,65 C'lu bir filmaşinin içeriğinde bulunan diğer elementlerin oranlarına bağlı olarak farklı karakteristik göstermesi durumu açıklık kazanır. Tablo 1.2.1'de farklı kalite standartlarında üretilen çeliklerin Türk Standartlarına göre kimyasal bileşimleri gösterilmektedir.

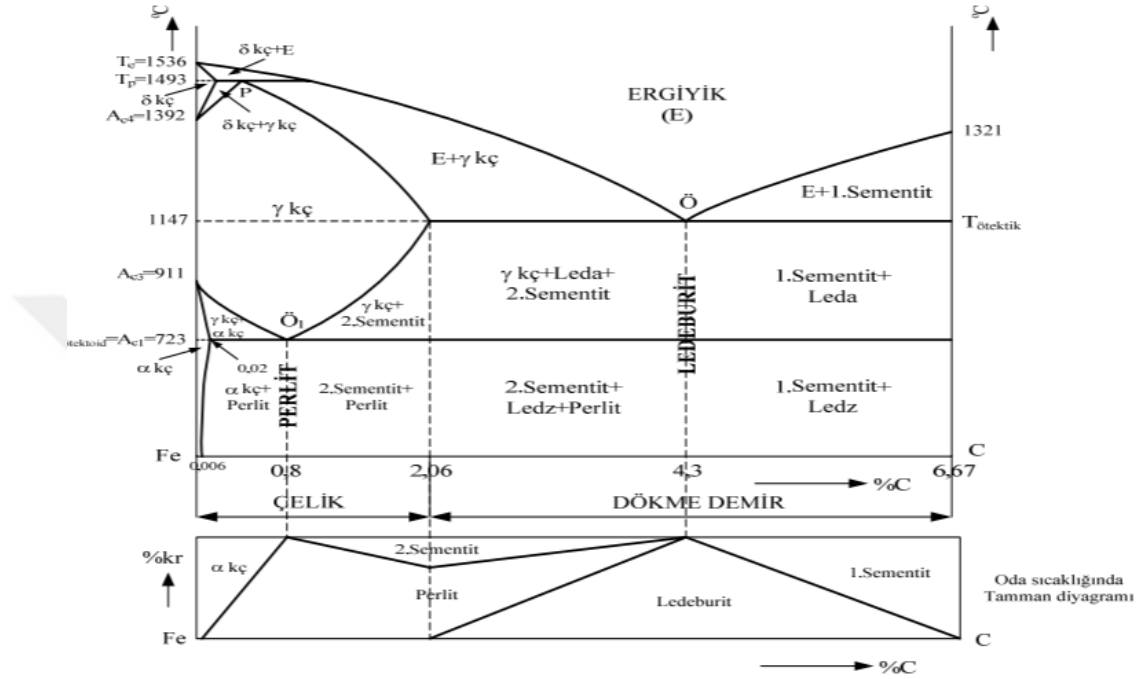
$$CE = \% C + \% \left(\frac{Mn}{6}\right) + \% Cr + \% Mo + \% \left(\frac{V}{5}\right) + \% Cu + \% \left(\frac{Ni}{15}\right) \quad \text{Denklem 1.2.1 [32]}$$

Tablo 1.2.1. Yüksek Karbonlu Çeliklere Ait Kimyasal Bileşim (TS EN ISO-16120-2-4) [30,31]

Çelik Kalitesi	Element 1	Element 2	Element 3	Element 4	Element 5	Element 6	Element 7	Element 8	Element 9	Element 10	Element 11	Filmaşin çapı (mm)	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	
	C %	Si %	Mn %	P % max.	S % max.	Cr % max.	Ni % max.	Mo % max.	Cu % max.	Al % max.	N % max.		Min.	Max.
C45	0,43-0,47	0,10-0,30	0,50-0,70	0,020	0,020	0,10	0,10	0,03	0,12	0,01	0,007	5,5	740	800
C66D2	0,64-0,68	0,10-0,30	0,50-0,70	0,020	0,025	0,10	0,10	0,03	0,15	0,01	0,007	5,5	950	1020
C70	0,70-0,74	0,10-0,30	0,50-0,70	0,020	0,015	0,10	0,10	0,03	0,12	0,01	0,007	5,5	1040	1100
C76D2	0,74-0,78	0,10-0,30	0,50-0,70	0,020	0,025	0,10	0,10	0,03	0,15	0,01	0,007	5,5	1070	1140
C80D2	0,78-0,82	0,10-0,30	0,50-0,70	0,020	0,025	0,10	0,10	0,03	0,15	0,01	0,007	5,5	1100	1170
C70D2	0,68-0,72	0,10-0,30	0,50-0,70	0,020	0,025	0,10	0,10	0,03	0,15	0,01	0,007	7,0	1010	1070

### 1.3. Tel Çekme Mukavemeti

Demir-karbon denge diyagramına göre maksimum % 2.06 oranında karbon içeren demir- karbon alaşımları çelik sınıfına girmektedir [33].



8 kç : 8 katı çözelti,  $\alpha$  kç:  $\alpha$  katı çözelti

Şekil 1.3.1. Demir - Karbon Denge Diyagramı [33]

Piyasada kullanımı en yaygın olan alaşımlardan biri çeliklerdir ve alaşımlı veya alaşımsız olarak gruplandırılırlar. Alaşımsız çeliklerin mevcut özelliklerini iyileştirmek veya yeni özellikler kazandırabilmek için yapılarına bazı alaşım elementleri ilave edilir. Tel çekme mukavemeti büyük oranda hammaddenin içeriğindeki karbon ve diğer alaşım elementleriyle alakalıdır. Çelik içerisinde alaşım elementlerinin ne kadar bulunması gerektiği standartlarla belirtilmektedir (TS EN ISO 16120-2/ 16120-4) [30,31]. Karbon eşdeğer formülü esas alınarak tel mukavemetine etkiyen elementlerin çeliğin yapısına etkileri şu şekilde özetlenebilir [34, 35, 36, 37]

**Karbon (C):** Çeliğin sertliğini belirleyici en temel element karbondur. Karbon miktarındaki artış, çeliğin sıcak haddeleme veya normalize edilmiş halindeki sertlik, akma ve çekme dayanımını artırır. Bunun yanında yüzde uzamasını, esnekliğini, dövülebilme, kaynak edilebilme ve kesilme özelliklerini ise zayıflatır. Çeliğin kullanım

alanına paralel olacak şekilde yüksek dayanıma ihtiyaç duyuluyorsa karbon oranı yüksek, işlenebilirliğe ihtiyaç duyuluyorsa karbon oranı düşük çelikler tercih edilmelidir.

**Mangan (Mn):** Karbon gibi çeliğin dayanımını arttırırken esnekliğini de az miktarda azaltır. Dövülebilme ve kaynak edilebilme özelliğine olumlu katkılar sağlar. Manganın sertlik ve dayanımı artıran özelliği, karbon miktarına bağlıdır. Manganın yüksek karbonlu çeliklerdeki etkisi, düşük karbonlu çeliklere oranla daha fazladır. Mangan su verme derinliğini artırır. Paslanmaya olan dayanımını (korozyon direncini) geliştirir. Ayrıca kükürtle bileşik oluşturur ve demirin kükürtle birleşimini engelleyerek kırılma probleminin önüne geçmeye yardımcı olur [34].

**Krom (Cr):** Kromda mangan gibi çeliğin dayanımını arttırır fakat esnekliğine negatif yönde etki eder. Çeliğin sıcaklığa karşı dayanımını arttırır. Kabuk, tufal oluşumunu engeller ve bu da çeliğin korozyon direncine pozitif yönde katkı sağlar. Çelikte %1 oranındaki krom artışına karşılık, çekme dayanımında yaklaşık olarak 8-10 kg/mm<sup>2</sup>'lik bir artış görülür.

**Molibden (Mo):** Çeliğin çekme dayanımını ve kaynak edilebilme özelliğini artırır. Yüksek miktarda molibden, çeliklerin dövülmesini güçleştirir. Alaşımli çeliklerde molibden, krom ve nikelle birlikte kullanıldığında akma ve çekme dayanımını artırır. Molibden kuvvetli karbür meydana getirdiğinden hava ve sıcak iş çeliklerinde, oksitlenmeye dayanımlı çeliklerde, makine yapım çelikleriyle ısıya dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır.

**Vanadyum (V):** Çok düşük miktarlarda kullanıldığında çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Çelikten imal edilen kesici uçların daha uzun zaman keskin kalmasını sağlar. Genellikle alaşımli makine yapım çeliklerinde bulunan vanadyum miktarı %0.03-0.25 arasında değişir. Karbür yapmaya karşı kuvvetli bir eğilimi vardır. Çeliğin çekme ve akma dayanımını arttırır. Makine yapım ve sıcak iş çeliklerinde özellikle vanadyum ve krom, hava ve makine yapım çeliklerinde ise vanadyum tungsten ile birlikte kullanılır.

**Bakır (Cu):** Sıcak şekillendirmede kırılma eğilimine sebep olduğu için çeliğin içeriğinde % 0.5 oranı pek aşılmaz. Sünekliği ciddi oranda düşürmesine karşın korozyon dayanımını artırır ve sertliği artırdığı için ilave edilir.

**Nikel (Ni):** Çeliğin dayanımını silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman sertliğin derinliklere inmesini sağlar. Krom nikelli çelikler paslanmaya, kabuklaşmaya ve ısıya dayanımlıdır. Özellikle düşük sıcaklıklarda, makine yapım çeliklerinin çentik dayanımını artırır.

**Silisyum (Si):** Çelik dökümlerde fiziksel dayanımı ve özgül ağırlığı artırır. Silisyum, mangan gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Çelik yapımında demir cevherinden veya ocak astarı olan tuğlalardan da bir miktar silis, çeliğin bünyesine kendiliğinden girer. Silisyumlu çelikler, bileşiminde %0.4'den fazla silisyum olan çelikler için kullanılan bir tabirdir. Çelikte silisyumun bulunması esnekliği negatif yönde etkilese de %1 artış için çekme dayanımını 10 kg/mm<sup>2</sup>, akma dayanımını da benzer oranlarda artırır. %1-4 arasında silisyum içeren çelikler, kimyasal tepkimelere karşı dayanımlı olduklarından, bu durumdaki çelikler dövülemezler.

**Kükürt (S):** Çeliği kırılgan yapar ve haddelenmesini güçleştirir. Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilen bir elementtir. Normal olarak müsaade edilen miktar en çok %0.025-0.050 arasında sınırlandırılır.

#### 1.4. Tel Çekme Hızı

Tel çekme prosesinde ard arda haddelerden geçerek inceltilen tel peş peşe yer alan bloklara sarılarak bir sonraki haddeye girer. Kütlenin korunumu yasası gereği giren kütle kaybolmaksızın çıkar ve incelen tel uzayarak bir sonraki bloğa sarılır. Hadde öncesi bloktan gelen telin boyu hadde sonrası çıkan telin boyundan kısadır. Boy uzadıkça bloğun gelen teli boşlamadan sarabilmesi için daha hızlı dönmesi gerekir. Bu nedenle tel çapı inceldikçe de blok hızı artış göstermek zorundadır. Bloklar arası hız komutu dansör adı verilen elektronik haberleşme yöntemi ile yapılır. Giren telin çapı, çekilmek istenen tel çapı ve bu telin reel çekim hızı bilindiğinden blok hızları bu girdiler yardım ile denklem 1.4.1 kullanılarak hesaplanabilir.

$$D_1^2 \times V_1 = D_2^2 \times V_2$$

**Denklem 1.4.1**

$D_1$  = Giriş tel çapı (mm)

$D_2$  = Çıkış tel çapı (mm)

$V_1$ = Giriş blok hızı (m/s)

$V_2$ = Çıkış blok hızı (m/s)

Nihai çıkan telin hızı farklı parametrelere bağlı olarak belirlenir. Makine teknolojisi, makine blok sayısı, hammadde içeriği, redüksiyon oranı, hadde ve sabun seçimi hız noktasında belirleyici rol oynayan en önemli faktörler arasındadır. Bu belirleyici faktörlerden bir veya birkaçı uygun olmazsa hızlı çekim beraberinde yüksek sıcaklık, soğutma problemi ve düşük burma, mukavemet artışına bağlı sertlik kaybı [16], sıcaklık artışına bağlı sabun yanması, nihai telde yüzeyde kalması gereken sabun miktarının azalması, hadde yüzeyini kısa sürede aşındırma, tel kesitinde sünme adı verilen ani kesit daralmaları gibi kalite açısından istenmeyen olumsuzlukları doğurur.

Kaliteyi bozmaksızın yüksek hızda tel çekimi yapmak birim zamanda yapılan üretimi artırdığından çoğu işletme tarafından hedeflenen bir süreçtir. Bu süreci etkin yürütebilmek için yüksek hızın beraberinde getirdiği olumsuzlukları elimine etmek gerekir. Yüksek hız aynı zamanda yüksek sıcaklık anlamına gelir. Sürtünme kuvvetinin etkisiyle oluşan sıcaklık hadde sabunu yardımı ile düşürülse de tek başına yeterli olmaz. Oluşan bu sıcaklık ancak makinenin iyi bir soğutma yapabilmesi ile optimize edilebilir. Her blok ve coiler (koyler) adı verilen çıkış bloğu soğutma sistemleri oluşan sıcaklığı telin yapısını da bozmadan sınır değerler çerçevesinde düşürebilmelidir. Üretilen nihai telin sıcaklığı belli bir sınırın üzerine çıkarsa, bu telin sonraki proseslerde işlenmesi esnasında bir takım problemler oluşturur. Sıcaklık artışına bağlı olarak nihai tel üzerinden bir miktar kalması istenen yağlayıcı sabunun eriyerek yüzeyden uzaklaşması, tel çapındaki ani kesit daralmaları (sünmeler), sıcaklık artışına bağlı olarak telin bazı yerlerinde yüksek mukavemete sahip bölgeler bulunması sonraki proseslerde sorun teşkil eder. Yatak ve kanepa yayı üreticisi bir işletmede telin geçtiği yüzeylerle arasındaki sürtünmeyi minimize eden sabunun yüzeyden uzaklaşması durumunda yay yapımı esnasında sık sık duruşlar olmakta ve makine ekipmanları kısa sürede zarar görmektedir. Yine aynı şekilde sıcaklığa bağlı olarak telin bir metresindeki mukavemetteki tutarsızlıklar yay formuna getirilme esnasında kırılmalara neden olarak kalitesizlik oluştururlar.

Yüksek hızda tel çekimi kalitenin yanı sıra mekanik açıdan da zorluklar barındırır. Makine tasarımının ve tasarımda kullanılan tüm ekipmanların yüksek devir sayısına

uygun seçilmesi gerekmektedir. Yüksek hıza dayanıklı rulman ve yağlar kullanılmalıdır. Aksi halde oluşan sıcaklık rulmanların kitlenmesine, dönen aksamların aşınmasına ve bunun sonucunda da tel yüzeyinin bozulmasına neden olur. Döner aksamların devir hesabı çevresel hız üzerinden açısal hıza geçilen aşağıdaki denklem 1.4.2 ile yapılabilir.

$$V = \pi \cdot D \cdot n \quad \text{Denklem 1.4.2}$$

V= Çevresel hız (m/s)

D= Döner aksamın çapı (mm)

n= Döner aksamın dönüş hızı (d/dk)

Görüldüğü gibi tel çekme prosesinde tüm parametreler birbirleri ile bağlantılı olacak şekilde nihai tel üzerinde belli oranlarda etkilere sahiptir.

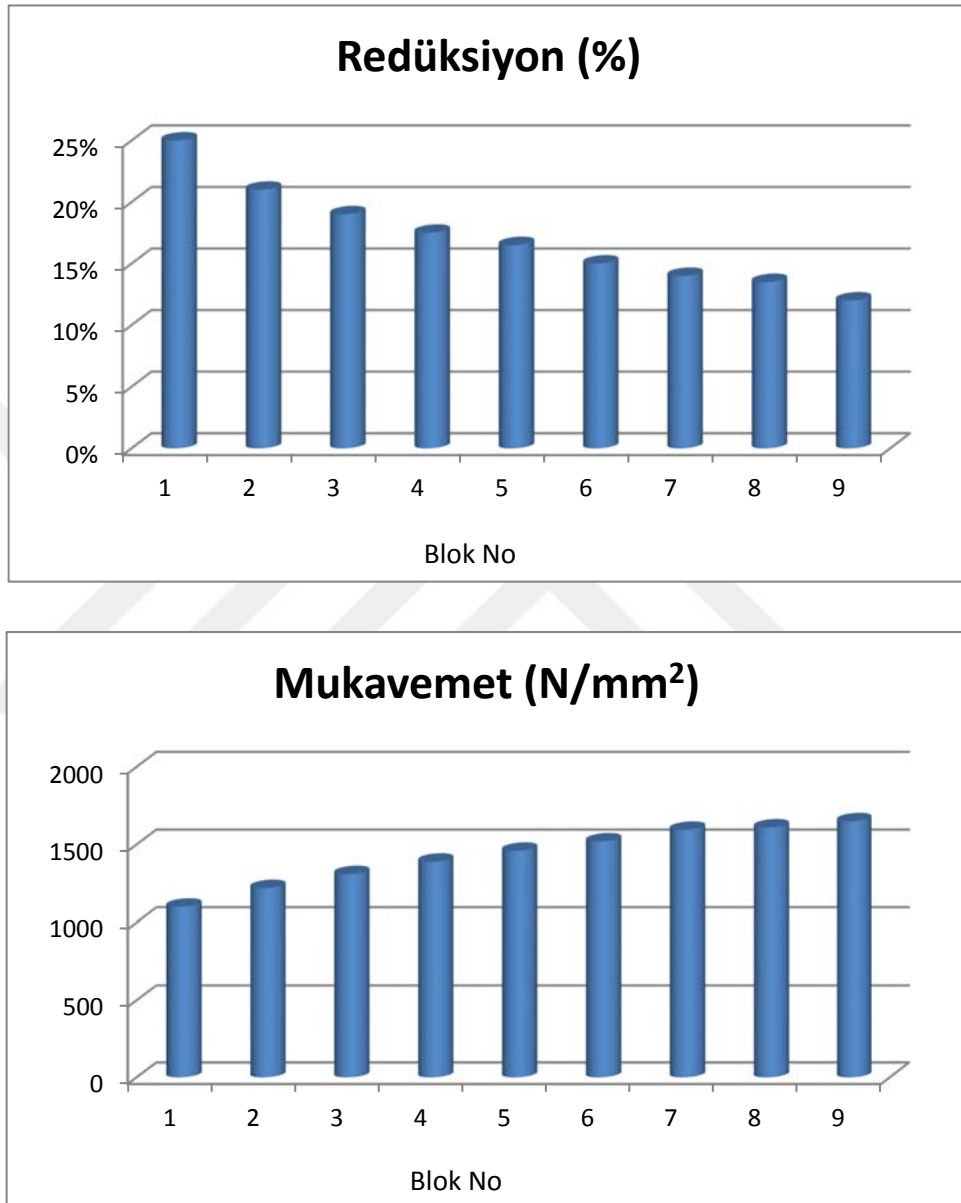
### 1.5. Redüksiyon Oranı (Soğuk Deformasyon Oranı)

Tel çapının kademeli olarak düşülmesi işleminde kademeler redüksiyon oranlarına göre belirlenir. Tel çekme prosesinin en önemli parametrelerinden biri olan redüksiyon oranı çaplar arası düşüşte belirleyicidir. Redüksiyon oranı telin akma mukavemetine ve yüzde uzamasına direkt etki eder [38]. Aynı zamanda tel çekim hızında sınırlayıcı bir etken olan redüksiyon oranı, açığa çıkan sıcaklığa da dolaylı olarak etki eder.

İki hadde arasındaki redüksiyon oranının büyük olması demek daha büyük çaplı teli bir kademedede daha küçük bir çapa indirmek anlamına gelir. Bu durumda da hadde çapından daha büyük çapa sahip telin haddeye girdiği noktada oluşan sürtünme kuvveti, redüksiyon oranı düşük olan haddeye kıyasla daha büyük olduğundan oluşacak sıcaklık da daha büyük olmaktadır. Bunun yanı sıra uygulanan redüksiyon oranı arttıkça nihai üretilen telin akma ve çekme mukavemetlerinde de artış gözlenir [15]. Redüksiyon oranı tel çapı küçüldükçe yani çıkışa doğru gidildikçe düşürülmelidir. Yüksek karbonlu çeliklerden tel üretimi esnasında kullanılan giriş redüksiyonları %25 civarlarında olmaktadır. Çıkış redüksiyonları ise nihai tel çapına bağlı olarak %12' lere kadar düşmektedir.

Tel çekme prosesinde tel çapı düşürülürken, telin ard arda konumlanan haddelerden geçmesi esnasında sürekli bir gerilime maruz kalır ve bu durumdaki gerilim altındaki tele daha az kuvvetle muamele etmek gerekir. Bu da makinenin çalışma hızı konusunda

sınırlayıcı rol oynar. Genellikle tel çekme proseslerinde ilk bloktan son bloğa doğru redüksiyon oranı lineer olarak azalırken mukavemetin ise ters orantılı olarak lineer bir artış profili çizdiği Şekil 1.5.1’de görülmektedir.



Şekil 1.5.1. Redüksiyon Oranı- Mukavemet ilişkisi

Redüksiyon hesabı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

R: Redüksiyon oranı (%)

D<sub>1</sub>: Giriş tel çapı (mm)

$D_2$ : Çıkış tel çapı (mm)

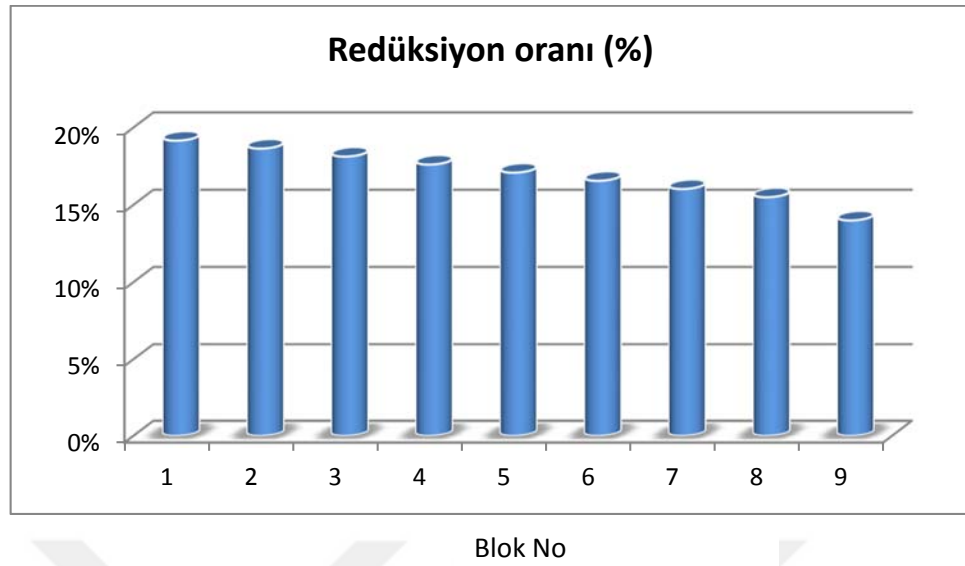
$$\%R = (1 - (D_2^2/D_1^2)) * 100$$

**Denklem 1.5.1 [5]**

Makine imalatçıları ve hadde üreticileri tarafından tavsiye edilen bloklar arası redüksiyon oranları sınırına bağlı kalmak şartı ile kaç blokla istenilen nihai tel çapına ulaşılacağı yukarıdaki formülasyon kullanılarak belirlenebilir. Örneğin giriş çapı 5.50 mm olan bir telin 2.38 mm çapına düşürülmesi esnasında çıkış redüksiyon oranının %12 civarlarında ayarlanması ile geriye doğru lineer olarak artan bir eğri çizilerek giriş çapına ulaşılır ve ideal koşullarda aradaki kademe kadar bloğa sahip bir makine ile ideal tel çekilebilir. 2.38 mm çapındaki tel için bu sayı 9 veya 10 olarak bulunur. On bloklu bir tel çekme makinesi için örnek hadde serisi Tablo 1.5.1'de gösterilmektedir. Bu seri 2.38 mm çapında tel üretimi için kullanılacak ideal serilerden biridir. Serideki hadde çapları redüksiyon aralığı sınırına bağlı kalmak şartıyla değişkenlik gösterebilir. Oluşturulan hadde serisi için Şekil 1.5.2'de redüksiyon eğrisi görülmektedir. Redüksiyonun giriş bloğundan çıkış bloğuna doğru lineere yakın bir profilde azalış göstermesi serinin doğruluğunu onaylayan bir çıktıdır.

Tablo 1.5.1. On Bloklu Bir Tel Çekme Makinesi İçin Hadde Serisi Örneği

Hadde no	Çap (mm)	Redüksiyon oranı (%)
1	5,50	giriş
2	4,95	19%
3	4,46	19%
4	4,04	18%
5	3,66	18%
6	3,34	17%
7	3,05	17%
8	2,79	16%
9	2,57	16%
10	2,38	14%



Şekil 1.5.2. Oluşturulan Hadde Serisi Örneğine Ait Redüksiyon Eğrisi

### 1.6. Tel Çekim Haddeleri ve Hadde Seçimi

Tel çekme prosesinin en önemli girdilerinden biri de şüphesiz hadde adı verilen çekim matrisleridir. Haddeler basit olarak konik iç yapıları ile giren telin kesit alanını düşürerek inceltmeye yarayan basit parçalar olarak ifade edilebilir. Haddelerin, kullanılacakları prosese uygun nitelikte imal edilmesi gerekir. Bir hadde temel olarak yüksek sertlik, darbe ve aşınma direncine sahip olmalıdır ve sürtünme katsayısı düşük olmalıdır [16].

Haddeler dış zarf denilen (çekirdeği tutan kılıf) ana bir gövde ve çekirdek olmak üzere iki parçadan oluşur. Haddelerin içerisindeki asıl işi yapan çekirdek kısımları genel olarak tungsten karbür (WC) veya elmas malzemeden imal edilir. Bunun yanı sıra piyasada patentli elmas, kübik bor nitrür veya bir polikristalden oluşan kompozit haddeler de mevcuttur [39]. Çekirdek imalatında sertlik, yoğunluk ve mukavemet açısından sertleştirilmiş çeliklerden bile daha iyi olması sebebiyle tungsten karbür yoğunlukla tercih edilen malzemedir. Plastik şekillendirmenin sağlanabilmesi içi hadde çekirdeklerinin çekilen çelik telden daha sert olması gerekir. Dış zarf ise sertleştirilmiş çelik veya tungsten karbür malzemeden imal edilir.

Hadde iç yapısı şu kısımlardan oluşur:

- Giriş açısı (giriş koniği)
- Redüksiyon açısı (çekim koniği)
- Silindir boyu (hadde silindiri)
- Back relief açısı (çıkış serbestlik açısı)
- Çıkış açısı (çıkış koniği)



Şekil 1.6.1. Hadde Kesit Görüntüsü ve Hadde Bölgeleri [25]

Hadde iç yapısındaki her bir bölgenin bir amacı vardır. Bunlar kısaca aşağıda açıklanmıştır.

- Giriş açısı (giriş koniği):** Giren tele yön veren kısımdır.
- Redüksiyon açısı (çekim koniği):** Tel ile hadde çekirdeği arasında kalan kısımdır. Bu bölgenin büyüklüğü tel ile hadde arasında çalışan sabunun miktarı ile doğru orantılıdır. İlk bloklarda giriş açıları büyük tutulurken son bloklara doğru açı küçültülür. Bunun temel nedeni ilk bloklarda redüksiyonun fazla olması neticesinde sürtünmeyi minimize edebilmek adına daha fazla sabuna ihtiyaç duyulmasıdır. Daha fazla sabun sürtünmeye karşı çalışan çekme kuvvetini de azaltır [16]. Son bloklara doğru hem redüksiyon azalır hem de nihai tel üzerine taşınan sabun miktarının azaltılabilmesi için açı küçültülür.
- Silindir boyu (hadde silindiri):** Plastik deformasyonun gerçekleştiği kısımdır. Silindir boyu genel olarak çıkan tel çapından %30-40 oranında büyük üretilir.
- Back relief açısı (çıkış serbestlik açısı):** Hadde silindiri ile çıkış koniği arasında yer alan bu bölge silindirden çıkış koniğine keskin geçişi önlemek amacı ile yapılır. Amaç sadece keskin köşelere pah kırılarak makine duruşlarında telin hadde içerisinde bir

miktar geriye gittiği durumlarda tel kırılmalarını veya tel yüzey çizilmelerini engellemektir.

- e. **Çıkış açısı (çıkış koniği):** Telin şekil aldıktan sonra üzerindeki fazla sabunun atılmasına yardımcı olan bölgedir. Aynı zamanda hadde silindirinde yapılan redüksiyon işlemi sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin dağılmasını sağlamaktadır. Çıkış açısının büyük olması halinde fazla yağlayıcı hadde çıkışında daha kolay atılır ve oluşan ısının daha kısa sürede dağılmasını sağlar.

Proseste kullanılan haddelerin bir çalışma ömrü vardır. İçlerinden sürekli olarak yüksek hızlarda geçen çelik malzemeler zamanla haddenin iç yapısında ve geometrisinde bozulmalara sebebiyet verir. Bu durum nedeniyle proses şartlarına bağlı olarak belli periyotlarla hadde değişimi yapmak gerekir. Kullanım ömrünü tamamlamış haddeler tekrar işlenerek iç geometrileri düzeltilir, aşınan bölgeler bu amaçla kullanılmak üzere tasarlanan torna benzeri makineler vasıtasıyla düzeltilir ve böylelikle haddeler dönüşümlü olarak tekrardan prosese dahil olurlar. Bu işleme hadde rektifiye işlemi denir ve özel rektifiye makine ve teçhizatları ile yapılır.

### 1.6.1. Hadde yapımı (hadde rektifiye işlemi)

Tel çekme prosesinde kullanılan haddeler belli bir süre çalıştıktan sonra aşınırlar. İç yüzeyleri aşınan bu haddeler rektifiye işlemi adı verilen yeniden işleme yöntemi ile tekrar kullanılabilir hale getirirler. Aşınan haddeler mevcut geometrileri ne ise bu geometriden türetilebilecek başka bir haddeye rektifiye edilebilirler. Örneğin çapı 2.50 mm, giriş açısı  $8^\circ$  olan bir hadde, çapı 2.50 mm'den büyük ve giriş açısı  $8^\circ$  veya  $8^\circ$ 'den büyük başka bir haddeye dönüştürülmek suretiyle prosese yeniden dahil edilebilir. Bunun sebebi, aşınmış haddenin torna benzeri makinelerle iç yüzeyinden talaş kaldırma metoduyla yeniden üretilmeleridir. Bu haddeler tornalama işleminden geçerken aşınan bölgelerin yok edilmesi sebebi ile mevcut çaplarından daha büyük çaplara ulaşmış olurlar.

Bir haddenin ortalama ömrü çekilen telin hammaddesine, hammaddenin yüzey temizliği ve kaplamasına, makinenin çalışma hızına, haddenin çalıştığı süre zarfında içinden geçen telin tonajına bağlı olarak değişir. Çok bloklu bir makinede her bloktaki haddenin ömrü de bu kapsamda farklılıklar göstermektedir. Günümüzde hadde üreticilerine göre

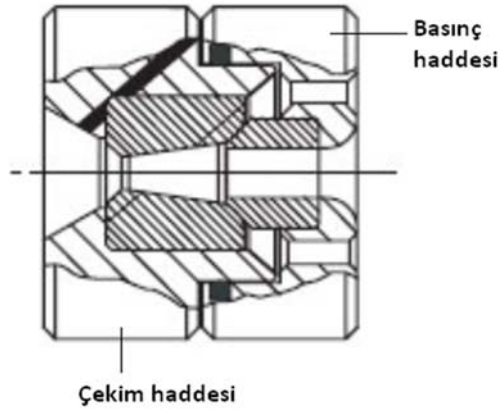
bir tel çekme makinesinde 1.blok haddesi yaklaşık 60 ton tel çektikten sonra, son blok haddesi ise yaklaşık 10 ton çektikten sonra aşınır. Tel çekme makinesi çalışma prensibine bağlı olarak ilk blokta hız düşükken son bloklara doğru hız artıp tel çapı düştüğünden sonlarda bulunan haddelerin çalışma ömürleri daha kısa olmaktadır. Bu değerler hadde kalitesi ve işletme şartlarına göre değişkenlik gösterebilir.

Gelişen teknolojiyle birlikte hadde sistemleri haddeye harici olarak monte edilen ikinci bir parça ile piyasaya sunulmuştur. Bu haddeler basınçlı hadde olarak adlandırılırlar. Şekil 1.6.1.1’de basınçlı çekim haddesine monte edilmiş bir basınçlı hadde kesiti görülmektedir. Basınçlı haddenin yapılma amacı hadde girişinde yağlayıcı sabunu üzerine alan telin bu bölgede oluşan yüksek basınçla tel yüzeyinde tutulması ve böylelikle daha kaygan bir tel yüzeyi elde edilerek tel-hadde temasından doğan aşınmaları geciktirmektir [40].



Şekil 1.6.1.1. Basınçlı Hadde [40]

Basınçlı hadde iç yüzeyi de çekim haddeleri gibi konik bir kesite sahiptir. Bu kesit hadde kesiti kadar detaylı bir geometride yapılmaz. Giriş açısı ve silindir boyu olmak üzere iki ana kısımdan oluşan basınç haddelerinin çapları tel çapından %20 civarı büyük üretilir. Tel direkt olarak haddeye temas etmediğinden basınç haddeleri aşınma süreleri çekim haddelerine kıyasla çok daha fazladır. Bu nedenle basınç haddelerinin rektifiye işlemine ihtiyaçları yoktur. Basınçlı hadde kullanımı tel çekim prosesinde zorunlu olmamakla birlikte prosese dahil edildiklerinde olumlu katkılar sağlarlar.



Şekil 1.6.1.2. Çekim Haddesine Monte Edilmiş Basınç Haddesi Kesiti [40]

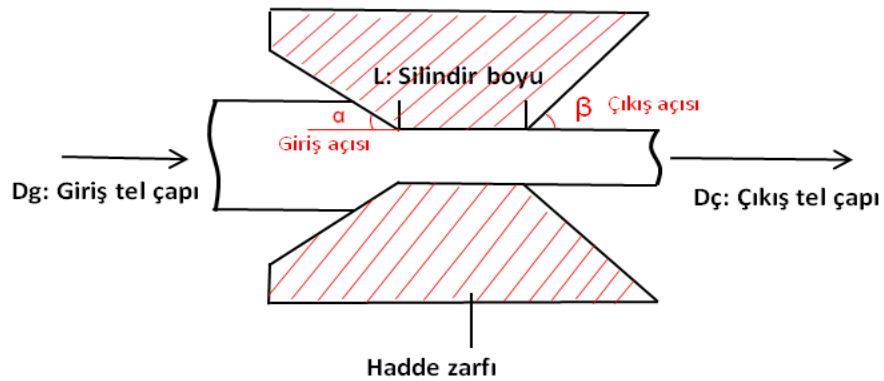
Hadde imalatçıları hadde üretiminde farklı yollar izlemektedirler. İmalatta yaygın yöntem elmas çekirdeğin tungsten karbür zarfa yüksek basınç altında preslenmesi yöntemiyle yapılır. Burada en önemli nokta haddenin konik iç geometrisidir. Bu geometri ne kadar hassas yapılırsa bu hadde ile üretilen ürün de aynı oranda kaliteli olacaktır. Hadde ilk imal edildiğinde bu bölgeler imalatçı firmalar tarafından CNC tezgahlarında oldukça hassas olarak üretilebilmektedir. Tel imalatçıları ise bu haddeleri kullandıktan sonra ömrünü tamamlayan haddeleri Şekil 1.6.1.3'deki gibi tam otomatik hadde işleme makineleri ile rektifiye ederek (tekrar torna ederek) yeniden kullanabilmektedir. Bu noktada aynı kaliteyi yakalayabilmek için rektifiye işlemi sırasında bazı temel adımlar izlenmelidir. Böylece rektifiye edilen her hadde orijinali kadar hassas üretilebilir. Rektifiye işleminde haddeler daima kendi mevcut çaplarından büyük ve en az kendi açılarıyla aynı veya kendi açılarından büyük açıda başka haddelere rektifiye edilebilirler. Bu noktada iki temel sınırlayıcı olan çap ve açılar tespit edildikten sonra rektifiye standartlarına göre yeniden işlenmelidir. Rektifiye işlemi temelde torna prosesine benzerdir ancak bu proses daha hassas işleme gerektirir.



Şekil 1.6.1.3. Tam Otomatik Hadde İşleme (Rektifiye) Makinesi [41]

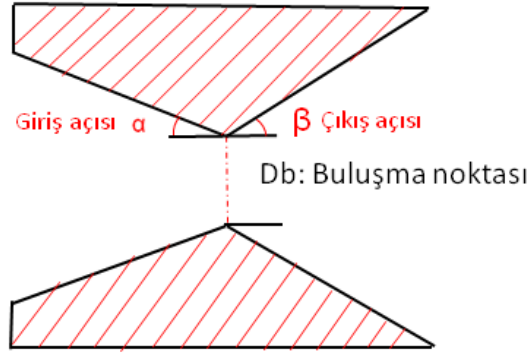
Rektifiye işlemi temelde sekiz adımdan oluşan basit ancak hassas bir işleme metodudur. Bu işlem aşağıdaki sırayla gerçekleştirilir.

- 1- **Hadde temizliği ve kontrol:** Kullanım ömrünü tamamlayan haddeler makinelerden sökülür. İçlerinde bulunan sabun, kirlilik, su gibi kalıntılardan sıcak su ile temizlenerek çap ve açı kontrolünden geçirilir. Hadde çapı ve açısı ölçülerek üzerine yazılır ve haddeler gruplandırılır. Hadde yüzeyindeki aşınmalar ve büyümeler ışık altında mercek yardımı ile görülebilir. Yıkanmış hadde profili Şekil 1.6.1.4'deki gibidir.



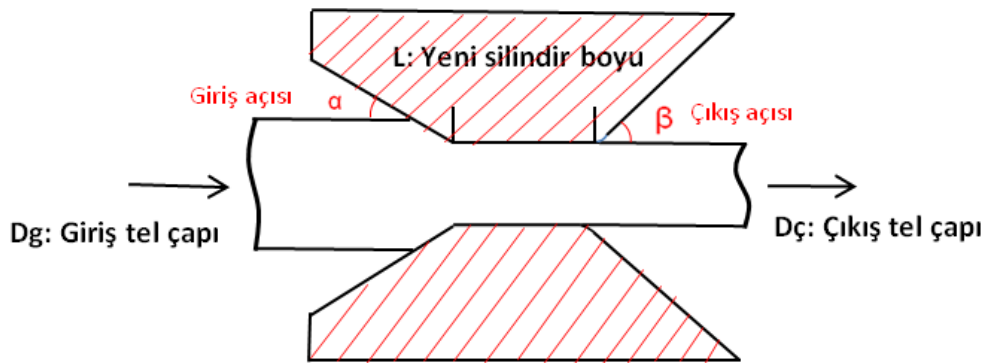
Şekil 1.6.1.4. Rektifiye Edilecek Hadde Kesit Görünüşü

- 2- **Öğütme:** Haddenin mevcut silindiri yok edilir. Hadde bu aşamada Şekil 1.6.1.5'deki gibi giriş ve çıkış açılarından ibaret bir geometriye dönüşür.



Şekil 1.6.1.5. Mevcut Silindiri Yok Edilmiş Hadde Kesit Görüntüsü

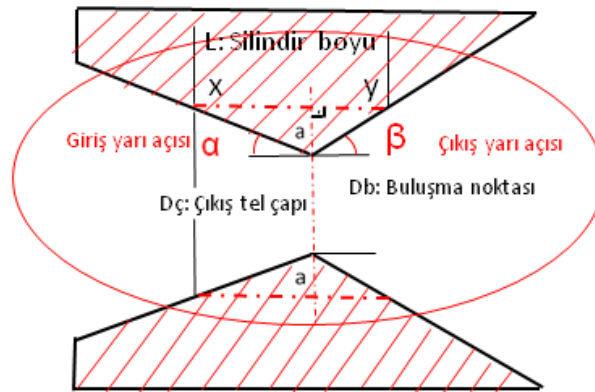
- 3- **Parlatma:** Rektifiye makinesinde aşınan yüzeylere parlatma işlemi yapılır. Böylelikle aşınmış yüzeyler yok edilmiş olur.
- 4- **Ölçülendirme:** Haddeye buluşma noktası esas alınarak belirlenen boyda bir silindir yapılır. Bir önceki çapından daha büyük çapta yeni bir hadde edilmiş olur. Ölçülendirme işlemi sonrası hadde orijinal geometrisine kavuşur. Şekil 1.6.1.6'da ölçülendirme işlemi sonrası hadde kesit görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 1.6.1.6. Rektifiye Edilmiş Hadde Kesit Görüntüsü

Haddenin en önemli bölgesi olan silindir boyudur. Silindir boyu olarak işlenen kısım bazı geometrik hesaplar esas alınarak yapılır. Bu kısmın olması gereken optimum değerden kısa olması durumunda tele istenen çap düşürülmesi işlemi efektif olarak yapılamaz. Aynı zamanda hadde ömrü de kısalmır. Silindir boyunun uzun olduğu durumlarda ise tel-hadde temasının daha uzun sürede olması sürtünme kaynaklı sıcaklık oluşumunun fazla olmasını sağlayacağından proses sıcaklığında artışlar görünür. Bu da makine çalışma performansı ve tel kalitesine negatif etkiler yapar.

Şekil 1.6.1.7’de hadde buluşma noktası hesabının geometrik olarak gösterimi bulunmaktadır. Buluşma hesabında hadde üreticileri tarafından tavsiye edilen optimum bazı kabuller yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilir. Bu geometriye göre buluşma noktası hesabı Denklem 1.6.1’deki formüller kullanılarak bilinmeyenlerin bulunmasıyla buluşma noktasının hesap edilmesi esasına dayanır. Bulunan buluşma noktası çapı ile hadde rektifiye işlemleri yapılır.



Şekil 1.6.1.7. Hadde Buluşma Noktası Hesabı İçin Geometrik Kesit Görüntüsü

D: Çıkış tel çapı (mm)

L: Silindir boyu (mm)

Db: Buluşma noktası çapı (mm)

Dç: Çıkış tel çapı

$\alpha$ = Giriş yarı açısı

$\beta$ = Çıkış yarı açısı

$$\frac{L}{D} = \%40$$

**Denklem 1.6.1.1**

$$x + y = L$$

**Denklem 1.6.1.2**

$$\frac{(x+y)}{(2a+Db)} = \frac{L}{D}$$

**Denklem 1.6.1.3**

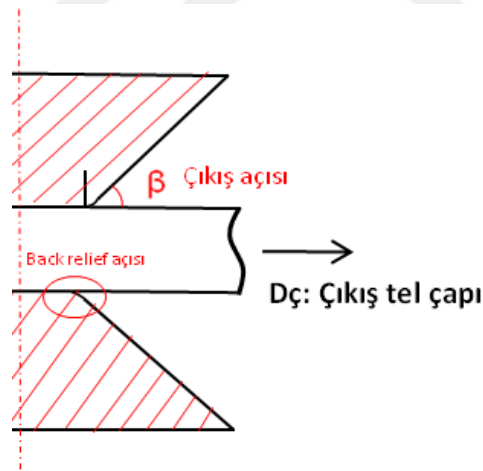
$$\tan(\alpha) = \frac{a}{x}$$

**Denklem 1.6.1.4**

$$\tan(\beta) = \frac{a}{y}$$

**Denklem 1.6.1.5**

- 5- **Back relief açısı (çıkış serbestlik açısı):** Haddenin çıkış kısmına ilaveten bir açı daha verilir. Bu kısım pah kırma işlemi ile keskin köşelerin yok edilmesini sağlar. Back relief açısı gözle görülemeyecek kadar küçük bir açıdır. Back relief açısı olmayan haddelerle de kaliteli tel çekmek mümkündür ancak olası makine duruşlarında telin makine boyunca yapacağı geri hareket sırasında oluşabilecek hasarlardan korunmak amaçlı yapılması hadde üreticileri tarafından tavsiye edilir.



Şekil 1.6.1.8. Back Relief Açısı

- 6- **Son parlatma:** Silindire gelmeyecek şekilde hadde yüzeyi parlatılır. Silindir kısmı tele şeklini veren en önemli bölge olduğundan son parlatma adımında bu bölgeye müdahale edilmesi durumunda buluşma noktası hesabı ile özel ölçülerde yapılan silindirin ölçüleri değişeceğinden nihai telin kalitesi de dolaylı olarak negatif bir şekilde etkilenmiş olur. Bu parlatma işlemleri sırasında elmas tozu ihtiva eden süspansiyon kullanılarak yüzey

parlatılır. Sürtünme yüzeyinin azaltılması ve hadde sabununun daha verimli çalışması açısından bu adım önemlidir.

- 7- **Yıkama:** Rektifiye işlemi sonrasında yüzeyde kalan süspansiyon kalıntıları sıcak su yardımı ile yıkanır.
- 8- **Kurutma:** Yıkanan hadde hava yardımı ile tamamen kurutularak kullanıma hazır hale getirilir.

### 1.7. Tel Çekme Yağlayıcı Sabunlar ve Sabun Seçimi

Telin haddeler içerisinden geçirilerek bloklara sarılması ile yapılan mekanik proseste telin birçok yüzeye temas etmesi sonucu sürtünme kuvveti etkisi ile ısı açığa çıkar. Bu amaçla proseste bir yağlayıcı kullanılarak sürtünme katsayısı düşürülmelidir. Tel çekme proseslerinde sıvı yağlayıcılar kullanılabilir fakat yaygın olarak toz yağlayıcılar tercih edilir. Toz yağlayıcıların çalışma performansı sıvı yağlayıcılara göre daha stabildir. Bunun sebebi sıvıların artan sıcaklıkla beraber viskozitelerinde meydana gelen değişimlerdir [31]. Toz yağlayıcılar prosesin farklı aşamalarında uygun çalışma performansı gösterebilmeleri için farklı kimyasal karakterde üretilirler .

Yüksek karbonlu çeliklerle yapılan tel çekme proseslerinde genellikle ilk 2-3 blokta kalsiyum bazlı toz sabunlar yağlayıcı olarak kullanılırken tel çapının incelik hızının arttığı sonraki bloklarda sodyum bazlı toz sabunlar tercih edilir. Kalsiyum bazlı sabunlar sodyum bazlı sabunlara göre daha büyük tanecik yapısına sahip ve daha yağlı sabunlardır ancak ergime noktaları sodyum bazlı sabunlara kıyasla daha düşük olduğundan hızın nispeten düşük olduğu ilk bloklarda tercih edilirler. Tel incelmeye başladıkça açığa çıkan sıcaklık karşısında ergimeden yağlayıcılık görevini yapabilmesi için sodyum bazlı sabunlar kullanılır.

Yağlayıcı sabunlar hadde kutusu içerisine koyulur ve tel haddeye girmeden önce hadde kutusuna koyulan sabun tozları içinden geçer. Sabun kutusu içerisinde toz sabunun her bölgesinde aynı özelliği göstermesi için bir adet sabun karıştırıcı bulunmaktadır. Şekil 1.7.1.'de boş bir sabun kutusunun üstten görünüşü yer almaktadır. Yüzeyi sabun tozu ile kaplanan tel, hadde ile temas ettiğinde sabunun kaydırıcı etkisinden dolayı sürtünme katsayısını düşürür.



Şekil 1.7.1. Sabun Kutusu Üstten Görünüşü

İyi bir yağlayıcıdan, tel ile hadde temasında sürtünme kuvvetlerini minimize etmesi, telin çalışma şartlarında ergime, yanma gibi oluşumlardan uzak kalarak sabun karakteristiğini koruması ve zamanla hadde ile tel arasında birikintilere sebep olmaması beklenir. Yağlayıcı sabunlar aynı zamanda Şekil 1.7.2.'de görüleceği üzere tel üzerindeki fosfat tabakası ile bir miktar fiziksel etkileşime girerek daha iyi bir yağlama performansı ortaya koyarlar [42]. Bu da daha kaliteli tel çekimine katkı sağlar.



Şekil 1.7.2. Tel Fosfat Kaplama-Yağlayıcı Sabun Etkileşimi [43]

Tel çekme prosesinde çoğunlukla iki sabun kombinasyonu bir arada kullanılsa da bazen özel amaçlar için üçüncü bir sabun da sisteme dahil edilebilir. Proses şartlarına en uygun özellikleri taşıyan sabunun seçilmesi gerekir. Aksi takdirde proses sırasında açığa çıkan ısılar sabunun ergiyerek katılaşmasına ve tel yüzeyi ile makine mekanik aksamalarına zarar vermesi kaçınılmaz olabilmektedir. Bu durumdaki bir sabun yağlayıcı görevini yerine getirmediği gibi başka zararlı etkenlere de sebep olmaktadır. Ayrıca yanlış sabun seçimi sonucu çekilen telin sonraki makinelerde kullanımında da verimsizliklere sebep olduğu yapılan denemelerde gözlemlenmiştir. Şekil 1.7.3 ile Şekil 1.7.4’de de görüleceği üzere yanlış sabun seçimi neticesinde sabunun katılaşmış, makine ve ekipmanlara yapışarak çalışma koşullarını bozmuştur. Özellikle döner aksamlara yapışan sabunların dönme hareketine direnç oluşturması ile kısa sürede rulman kitlenmeleri ve bunun beraberinde dönmeyen rulmanın tele temas ettiği bölgelerde tel yüzeyinde çizikler oluşur.



Şekil 1.7.3. Yüzeyi Çizik Tel Numunesi



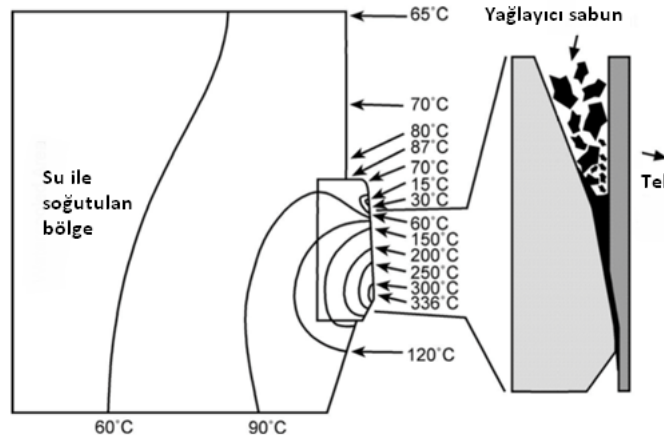
Şekil 1.7.4. Katılaştan Sabun Görüntüsü



Şekil 1.7.5. Döner Aksamlara Yapışarak Dönme Hareketine Engel Olan Sabun Kalıntıları

### 1.8. Proseste Açığa Çıkan Sıcaklık ve Etkileri

Tel çekme prosesinde telin hadde yüzeyi ve bir miktarda tel çekme blokları ile teması neticesinde oluşan sürtünme kuvveti sıcaklık oluşumuna neden olur. Hadde sabunu, tel ile telin temas ettiği hadde yüzeyi arasında bir film tabakası oluşturarak sürtünme kuvvetini minimize eder ancak yüksek hızlarda yapılan tel çekim proseslerinde özellikle nihai tel çapının giriş çapına yakın olduğu üretimlerde yüksek sıcaklık oluşumları kaçınılmazdır [44]. Oluşan sıcaklık dağılımına bakıldığında en yüksek sıcaklığın hadde merkezinde olduğu görülür [43]. Hadde kutusu etrafında dolaşan soğutma suyu ile bir miktar soğutma yapılarak sıcaklık kontrol altına alınır.



Şekil 1.8.1. Hadde sıcaklık dağılımı [43]

Sıcaklık artışının temel nedeni sürtünme kuvvetidir ve sürtünme kuvvetindeki artışa etki eden başka faktörler de vardır. Kullanılan hammaddenin cinsi, yüzey hazırlama, hadde seçimi, sabun seçimi, tel çekme hızı gibi parametreler de sıcaklığı arttırıcı yönde etki sağlarlar [45].

Hammaddenin sertliği arttıkça çekim esnasında oluşacak baskı kuvveti de artacağından açığa çıkan sıcaklıkta da artış görülecektir. Aynı tel çapında iki ürün aynı hızda benzer koşullarda çekilirken farklı sıcaklık oluşumu gözlenebilir. Bu duruma kullanılan hammaddenin iç yapısında bulunan, sertliğe etki eden elementlerin miktarlarındaki farklılıklar neden olabilir.

Kullanılan hammaddenin yüzey temizleme metodu ve temizlenme kalitesi de farklı sıcaklık oluşumuna neden olan bir diğer faktördür. Yüzeyden uzaklaştırılmayan tabakalar tel çekimine negatif yönde direnç oluştururlar.

Çekim haddeleri de uygun imal edilmezse telin hadde girişinde, silindirik kısımdan geçerek şekil alırken ve haddeden çıkarken temas etmemesi gereken yüzeylere temas ederek ekstra sıcaklık artışlarına neden olabilir. Ancak basınçlı hadde sistemleri kullanmak telin sabun ile daha iyi temasını sağlayarak sürtünme kuvvetine karşı pozitif etki yapar ve sıcaklık oluşumunu azaltır [40].

Seçilen sabunun kimyasal özelliklerinin yanı sıra içerdiği yağ oranı, ergime noktası, tanecik boyutu, makinelerin uygun bloklarında kullanımı da sıcaklık oluşumuna direkt

etki eden parametrelerdir. Yüksek karbonlu çeliklerin tel çekiminde tel çapı ve makinenin blok sayısına bağlı olmakla birlikte en yüksek redüksiyon oranlarına sahip ilk 2 ila 4 blokta kalsiyum bazlı sabunlar kullanılırken diğer bloklarda sodyum bazlı sabunlar kullanılır. Çekim koşullarına göre hızın arttığı son bloklarda özel kaydırıcılık sağlayan farklı sabunlarda kullanılarak hıza bağlı sıcaklık oluşumu kontrol altına alınabilir.

Çekim hızı ise sıcaklığa en belirgin etkiyi yapan parametredir. Hızın sadece 1 puan düşürülmesi ile tel sıcaklığı 5-8 °C arasında düşebilmektedir. Belli bir hıza kadar oluşan sıcaklık lineer olmayan bir profilde artarken belli bir değerden sonra hız sıcaklık korelasyonu parabolik olarak artış gösterir.

Çekilen telin plastik deformasyona uğratılması esnasında tel ile hadde arasında oluşan sürtünme kuvvetinden dolayı ısı açığa çıkar [46]. Sıcaklık artışı belli bir sınıra ulaştığında malzemenin iç yapısını etkileyerek şekil değiştirme hızının mekanik özelliklere etkisini artırır [16]. Açığa çıkan sıcaklıkların kontrol altına alınmadığı durumlarda çekilen telin kalitesinde hem nitel (parlak yüzey vb.) hem de nicel (yüksek sıcaklık vb.) değişimler olmaktadır. Kullanılan yağlayıcı sabunun ergime noktası açığa çıkan sıcaklıktan düşükse bu durumda sabun eriyecek ve görevini yerine getiremeyecektir. Telin çekilmesi esnasında yüzeyinde taşıdığı sabun miktarının yeterli olmaması haddelerin ömrünün kısılmasına, proseste sıcaklık oluşumunun artmasına ve dolayısıyla teli yönlendirmek amaçlı kullanılan makara ve kasnak sistemlerindeki rulmanların yüksek sıcaklığa bağlı olarak kitlenmesine, döner aksamlardaki kitlenmeden dolayı da tel yüzeyinin çizilmesine, yüzeydeki kaplamanın zarar görmesine ve telin görüntü olarak parlak çıkmasına neden olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen sekiz farklı etkinin sonucu olarak oluşan sıcaklık proseste meydana gelebilecek problemlerin pek çoğunun ana sebebi olduğu görülmektedir.

### **1.9. Literatür Çalışmaları**

B.Gifford (2000), tel çekimi esnasında çıkan ürün kalitesi üzerine çalışma yapmıştır. Hadde açısı, silindir boyu, yağlayıcılar ve tel çekme hızı gibi belirlenmiş parametrelerin tel kalitesine doğrudan etkilerinden bahsetmiş ve kalite üzerine etki eden, henüz

keşfedilememiş parametreler de bulunduğundan bahsetmiştir. Yaptığı çalışmalar sonucu bu parametrelerden hadde açısının nihai tel sertliği üzerine direk etkisi olduğunu görmüştür [28].

Balin (2004) yaptığı çalışmada, imalat sanayinde kullanılan malzemeleri incelemiş ve çoğunun plastik şekillendirme ile yapıldığını tespit etmiştir. Tel çekim prosesinin de plastik şekillendirme olduğunu ifade etmiş ve bu proses esnasında seçilen karakteristiklerin tel çekmeye olan etkilerini incelemiştir. Bu etkileri analiz teknikleri ve mekanik faktörler olmak üzere iki ana başlıkta toplamıştır [21].

Ünseren (2006), tel çekme matrisleri üzerine yaptığı çalışmada plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan tel çekme prosesini kullanılan hammadde, hadde, makine ve sabunlar bazında incelemiştir. Bu çalışma sonucunda tel çekme parametrelerinin tel çekme matrislerine etkilerini ortaya koymuştur [15].

Salcedo (2010) ve arkadaşları, çekilen tel üzerindeki artık gerilmeler üzerine çalışmışlardır. Sürtünme katsayısı, hadde geometrisi ve redüksiyonun artık gerilmelere etkilerini Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) ile ortaya koymuşlardır. Bu çalışmadaki temel amaç olan artık gerilmelerin düşürülmesi hadde geometrisinde yapılan değişimle başarılmıştır [47].

M.Byon (2010) ve arkadaşları, pilot bir tel çekme makinesinde dört farklı kaplama kalınlığı ile iki farklı sabun kombinasyonu kullanarak sabunun tel çekme prosesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır [48].

Felder ve arkadaşları (2011), tel çekme prosesindeki plastik deformasyon ve sürtünme kayma gerilmelerini inceledikleri çalışmalarında çekim kuvveti ve hadde sıcaklığının aynı anda ölçüldüğü yeni bir metod geliştirmişler ve deneysel olarak belirlenmiş bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi kullanarak modelleme yapmışlardır. Bu modelleme sonucu plastik deformasyona neden olan parametreleri analiz etmişlerdir [49].

Haddi ve arkadaşları (2011), sıcaklık ve tel çekme hızının çekme gerilmesi üzerine etkileri ile ilgili olarak deneysel bir çalışma yapmışlar ve hıza bağlı olarak sıcaklık

yükselmesi ile çekme gerilmelerini kayıt altına almışlardır. Bu veriler ışığında sıcaklık, çekme gerilmesi ve sürtünme kuvveti arasında bir bağıntı olduğunu kanıtlamışlardır [50].

Kyung-Hun ve arkadaşları (2012), tel çekim prosesi boyunca oluşan titreşimlerin hadde aşınması üzerine etkilerini Abaqus FEA ile simüle etmişlerdir ve titreşimin hadde üzerine teorik etkilerinin analiz sonucu ile desteklendiğini görmüşlerdir [51].

Moon ve arkadaşı (2012) sürtünme ve termal şartları tel çekim prosesi sırasında oluşan çekme kuvveti ve haddedeki sıcaklık dağılımı verilerini ölçerek tersine mühendislik metodu ile ortaya koymuşlardır. Bir soğuk şekillendirme prosesi olan tel çekme prosesinde dahi çekim işlemi sırasında oluşan sıcaklığın tel üzerindeki termal etkilerinin göz ardı edilemeyeceği sonucuna varmışlardır [52].

Viktor ve arkadaşları (2012) tel çekme prosesinde hadde açısının önemi üzerine bir çalışma yapmışlardır.  $11^\circ$  ve  $13^\circ$  lik açılarla yapılan prosesin karşılaştırılması sonucu  $11^\circ$  hadde ile yapılan çalışmada tellerin daha düşük sertlik değerinde çıktığını ve bunun da ileriki proseslerde kırılmaların azaltılması yönünde fayda sağlayacağını ortaya koymuşlardır [53].

Kawagishi ve arkadaşları (2013), karbür tel çekim haddelerinin aşınması ile ilgili yaptıkları çalışmada çekim haddesinin yapıldığı malzemeyi sertlik, mukavemet ve korozyon direnci bakımından ele almışlar ve tungsten karbür alaşımı kullanımının tel çekim prosesinde hadde ömrünü uzattığını gözlemlemişlerdir [54].

Kumar ve arkadaşları (2013) tel çekme prosesinde rekabetçi piyasanın verimli ve kaliteli üretim beklentisine yönelik proseste yapılabilecek iyileştirmeleri ve kaynakları verimli kullanma üzerine araştırma yapmışlardır. Bu konu ile ilgili literatür derlemesi hazırlamışlardır [55].

Hassan ve arkadaşları (2015) 3D sonlu elemanlar modelini kullanarak tel çekme işlemine etki eden parametreleri ve bu parametrelerin çekme kuvvetine etkisini analitik ve sayısal olarak incelemişlerdir. Optimum hadde açısını bulmak için farklı

parametrelerle birden çok simülasyon yapmışlar ve bu simülasyonlar sonucunda optimum hadde açısının redüksiyon alanına bağlı olduğunu bulmuşlardır [56].

Suliga ve arkadaşı (2016) çalışmalarında çok bloklu bir makine ile yüksek hızlarda yapılan tel çekme işleminin yağlayıcı sabuna ve yağlama koşullarına verdiği zararı incelemişlerdir. Bu inceleme sonrasında yüksek hızın yağlama koşullarına verdiği zararın yanı sıra tel mukavemetini artırdığını, telin plastisitesinde düşüşe neden olduğunu ve telin teknolojik özelliklerine de zarar verdiği sonuçlarına ulaşmışlardır [42].



## 2. BÖLÜM

### YÖNTEM VE MATERYAL

#### 2.1. Tez Aşamaları

Bu tez çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada konuyla ilgili literatür taraması yapılmış ve yapılan çalışmalar derlenmiştir. İkinci aşamada ise Kayseri’de faaliyet gösteren özel bir firmada proses incelemesi yapılarak karşılaşılan sıkıntıların gerekçeleri alınan fiili ölçümlerin değerlendirilmesi ile ele alınmıştır. Ayrıca ikinci aşamada konuyla ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmalarda ve literatürde yer alan bazı tezlerde öne sürülen konularla (proses sırasında oluşan sıcaklığın kaynağı ve bu kaynağın prosese etkileri) ilgili deney tasarımları oluşturularak anlık alınan ölçümler tablo ve grafiklere dönüştürülerek sonuçlar yorumlanmıştır. Bunun yanı sıra malzemelerde mikro yapı incelenerek soğuk şekillendirme prosesinin iç yapı üzerindeki etkisi de ortaya konulmuştur.

Günümüz teknolojisinde tel çekme makineleri, yüksek kalitede üretimi yüksek verimlilik ve kayıpların minimize edilmesiyle yapabilmek adına hızlı çalışmaya uygun olarak tasarlanmaktadır. Rekabetçi piyasada fark yaratmak isteyen firmaların birim zamanda yaptıkları kaliteli üretimleri artırma istekleri sektörü hızlı tel çekimine itmektedir. Tel çekme prosesi farklı pek çok parametre tarafından kontrol edildiğinden sadece yüksek hıza uygun tasarlanmış makine kullanarak hızlı ve kaliteli üretim yapabilmek mümkün değildir. Bu ancak prosesi etkileyen diğer parametrelerin de uygun seçilmesi ile birlikte başarılabilir.

#### 2.2. Proseste Açığa Çıkan Sıcaklıkların Ölçümü

Makine üreticileri tarafından filmaşinin içeriği, üretilecek nihai tel çapı, çekim öncesi hazırlıklar, kullanılan haddeler, seçilen sabun kombinasyonları gibi parametrelerin de

içinde bulunduğu teknolojik şartlar sağlandığı zaman geçerli olmak şartıyla belirledikleri hız limitleri baz alınarak makine farklı hızlarda çalıştırılmıştır. Makinenin her çalıştığı hız değeri için üretilen tel üzerinden sıcaklık verisi dijital termometreler vasıtasıyla kayıt altına alınmıştır. Bu veriler ışığında makine hızında yapılacak birkaç puanlık artış veya azalışın nihai tel sıcaklığı üzerinde fark yarattığı görülmüştür.

Farklı sıcaklıklarda üretilmiş tellerden belli bir sınır değer üzerine çıkıldığında bu telin kullanıldığı sonraki proseslerde (yay üretimi, helezon üretimi vb) ne gibi davranış sergilediği incelenmiştir. Yatak ve kanepa yayı üreten bir firmada yapılan denemeler sonucu nihai teller için sınır sıcaklık değeri belirlenmiş ve bu belirlenen değerin üzerinde bir sıcaklıkta üretilen telin yay makinelerinde çalışması esnasında süreksizliğe (üretim esnasında sık sık makine duruşlarına) sebep olduğu gözlemlenmiştir.

### **2.3. Tel Mukavemet Ölçümü**

Tel çekme prosesi sırasında özellikle tel ile hadde arasında oluşan sürtünme kuvveti kaynaklı açığa çıkan sıcaklığın prosese doğrudan etkilerini görmek için iki farklı çapa sahip tel çekim prosesinden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler makine üzerindeki çekim bloklarından ve çıkışta sepet adı verilen, tellerin üzerine biriktiği aparata düşen tel üzerinden termal sıcaklık ölçer vasıtası ile alınmıştır. Aynı zamanda bu şartlarda üretilen tellere ait mukavemetler de Zwick Roell tek eksenli çekme cihazı ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu veriler ile farklı çapta tel üretiminde açığa çıkan sıcaklıklar ile çıkıştaki telin sıcaklığında oluşacak artış veya azalışların mukavemete etkisi gözlenmiştir.

### **2.4. Hadde Seçimi ve Rektifiye Prosesi**

Tel çekme prosesinde, çap değişimi işleminin gerçekleştiği haddelerin seçimi de prosese en fazla etkisi olan bir diğer önemli parametredir. Haddelerin tek başına iyi bir geometriye sahip olması yeterli değildir, haddelerin aynı zamanda içinde bulunduğu prosesin şartlarına uygun olarak seçilmiş olması da önem arz etmektedir. Haddenin imal edildiği malzeme, hadde iç geometrisi, ömrünü tamamlayan haddenin prostesten çıkarılması ve çıkarılan haddenin orijinali ile aynı standartlarda rektifiye edilmesi ve iç yüzey düzgünlüğü(pürüzsüzlüğü) konuları da tel çekme prosesinde son derece etkili roller oynar. Dış kaynaklardan tedarik edilen haddeler hassas iç yapıya sahip olması ve

ince işçilik gerektirmesi gibi sebeplerden ötürü CNC tezgahlarda imal edilirler. Rektifiye işlemi ise torna makinesine benzer mantıkta üretilmiş özel hadde işleme makineleri ile yapılmaktadır.

Bu adımda hadde farkının proses üzerindeki etkilerini ölçebilmek adına iki büyük hadde üretici firma tarafından imal edilen haddelerin, proste hadde dışındaki tüm parametreler sabit tutulmak şartıyla denemeler yapılmıştır. İlk olarak birinci firmaya ait haddeler kullanılmış ve haddelerin kullanıldığı süre zarfındaki performansları, aşınma süreleri ve aşınma dereceleri, nihai tel kalitesi üzerine etkisi ve nihai tel sıcaklığına etkilerini görebilmek adına bu veriler kayıt altına alınmıştır. Sonrasında aynı adımlar ikinci üreticinin haddeleri kullanılmak suretiyle tekrarlanmıştır. Bu iki çalışma sonucunda farklı haddelerin performansları ve çekim prosesine etkileri kıyaslanmıştır.

Ayrıca rektifiye işleminin hassasiyetinin proses üzerinde oluşturacağı etkileri gözlemleyebilmek adına iç geometride bilinçli olarak yapılan farklılıkların proses etkileri de gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır.

## **2.5. Tel Çekme Prosesi Öncesi Yapılan Hazırlıklar**

İyi bir proses ancak iyi bir ön hazırlıkla gerçekleşebilir. Bu bağlamda tel çekme öncesi yapılan yüzey temizliği ve fosfat kaplama adımları doğru bir şekilde yapılmalıdır. Yüzeyi iyi temizlenmemiş bir filmaşın yüzeyine iyi bir kaplama yapılamaz ve iyi kaplanamamış filmaşın de tel çekim süreci sırasında haddelerde kısa sürede aşınmaya sebep olur [57]. Bu noktada işletme şartlarında çalışma koşullarına uygun olarak belirlenen kaplama kalınlığından daha düşük seviyede kaplama yapılan filmaşın tel çekme makinelerine alınmış ve bu filmaşının çekimi esnasında hadde aşınmasına etkisi gözlemlenmiştir.

Aynı zamanda iyi bir kaplama prosesinden geçmemiş filmaşın stoklandığında kısa sürede korozyona uğrar. Kaplama süreci bilinçli olarak doğru yapılmayan bir filmaşın ile doğru kaplama prosesinden geçen bir filmaşın stok sahasında aynı bölgede bir süre bekletilmiş ve bu süre sonunda yüzeyde oluşan korozyonlar incelenerek kıyaslanmıştır.

Filmaşın yüzeyindeki kaplamanın kalınlığının hadde aşınması üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır [25]. Fosfat havuzlarına daldırma metodu ile yapılan kaplama işleminde

daldırma süresinin kısaltılması ile yüzey kaplaması daha ince filmaşınlar üretilmiş ve kaplama kalınlıkları ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Standart kaplama kalınlığına sahip bir filmaşının çekim esnasında haddelerdeki aşınmaya (haddenin iç çap olarak büyümesi ve yüzey düzgünlüğü) etkisi ile kaplama kalınlığı düşük filmaşına ait ölçümler kıyaslanmıştır ve kaplama kalınlığının önemine değinilmiştir. Bu konuyla ilgili yazılan Uluslararası bildiri 2017 yılında Sırbistan’da yapılan Triboloji sempozyumunda yayınlanmıştır [25].

## **2.6. Tel Çekme Yağlayıcılarının Karakteristiği ve Doğru Yağlayıcı Seçimi**

Tel çekme prosesinde yağlayıcı olarak görev yapan sabunların olmadığı bir tel çekme prosesi düşünülemez. Sabunlar sürtünme katsayısını düşürerek metal-metal temasını minimize ederler. Aynı zamanda tel üzerindeki fosfat ile reaksiyona girerek iyi bir yağlama performansı göstererek kaliteli tel üretimine katkı sağlarlar [42].

Proses üzerine doğrudan, nihai tel üzerine ise dolaylı etkileri olan yağlayıcı sabunların hem tel çekim prosesi hem de sonrasında telin işlenebilirliği üzerine etkilerini ortaya koyabilmek için üç farklı sabun üreticisinden aynı amaçla üretilmiş ancak kimyasal reçeteleri birebir aynı olmayan kalsiyum ve sodyum bazlı sabunlar temin edilerek bu sabunlarla tel çekimi prosesi gerçekleştirilmiştir. Bir proseste sadece tek firmaya ait sabunların kullanıldığı ve diğer değişkenlerin sabit tutulduğu deneme çalışmaları yapılmış ve çalışma performansları gözlemlenmiştir.

Sabunların nihai tele dolaylı etkisini görebilmek için yay makinelerindeki çalışma performansı izlenmiştir. Bazı tellerin şekillendirme esnasında yüzey kayganlığı farkından ötürü farklı makine ayarları gerektirdiği, dolayısıyla zaman ve verim kaybı yaşattığı görülmüştür. Bunun sebebinin de nihai tel yüzeyinde kalan sabun miktarı ile ilgili olduğu düşünülerek nihai tel yüzeyinde kalan sabun miktarı ölçülerek bu bilgi doğrulanmıştır.

## **2.7. Tel Çekmede Optimum Redüksiyon Oranlarının Belirlenmesi**

Tel çekim proses parametreleri oluşturulurken giriş tel çapının nihai tel çapına indirgenmesi sırasında haddeler arası kademeli tel çapı düşüşleri yani redüksiyon oranları hem makinenin çalışma hızını hem de nihai telin mukavemet değerlerini

doğrudan etkiler. Lineer olarak azalan bir redüksiyon oranı proseste bir miktar daha hızlanabilmeyi sağlar. Redüksiyon oranının lineer olması halinde nihai telde hedeflenen mukavemet değerleri kolaylıkla yakalanırken düzgün olmayan redüksiyon oranlarında tel mukavemeti artarak sert ve kırılğan teller elde edilir. Bu teller de gerek tel çekim prosesinde gerek telin işlenebilirliğinde kırılmalara sebebiyet verebilir. Redüksiyon oranının proses üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek için farklı redüksiyon oranlarında tel çekimi prosesi yapılmış ve nihai telin mukavemet değerleri Zwick Roell test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler kıyaslanmış ve sonuçların bu bilgiyi doğruladığı görülmüştür.

Tüm bu parametreler incelendikten sonra soğuk şekillendirme prosesinin malzeme iç yapısında meydana getirdiği değişimleri gözlemek üzere proses öncesi filmaşinin ve proses sonrası telin mikro yapıları incelenmiştir. Proses esnasında sıcaklık açığa çıksa da bu sıcaklık tavlama prosesinde olduğu gibi iç yapıyı değiştirebilecek mertebede olmadığından soğuk şekillendirmenin iç yapıya etkilerini gözlemleyebilmek adına mikroskop görüntüleri alınmıştır.

## 3. BÖLÜM

### BULGULAR

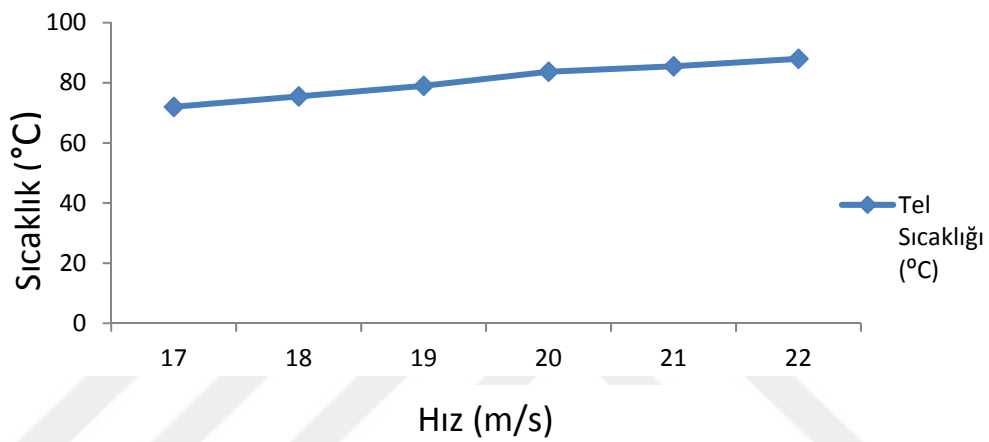
Bu bölümde tel çekme prosesindeki önemli bir takım girdilerin prosese olan etkileriyle alakalı yapılan denemelerin sonuçları paylaşılmıştır. Girdilerin ortak çıktısı ise oluşan sıcaklık parametresidir. Oluşan sıcaklık, proseste istenmeyen durumlar oluşmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda proseste oluşan sıcaklıkları olabildiğince kontrol altına alarak prosesin genelini kontrol altına almak daha da kolaylaşacaktır.

#### 3.1. Değişken Makine Hızının Açığa Çıkan Tel Sıcaklığına Etkisi

Tel çekim prosesinde her makinenin belli hız limitleri vardır. Bu limitler dahilinde üretilecek teller için tel çapına uygun optimum hızlar belirlenmelidir. Bu hızlarda tel çekme makinesinin teknolojisinin, prosese etken diğer parametrelerin doğru seçilmesinin yanı sıra telin çekileceği çeliğin kimyasal bileşimi belirleyici bir rol oynar. Tüm şartların uygun bir şekilde sağlandığı varsayıldığında her birim hız artışında telin proses girişinden çıkışına kadar temas ettiği yüzeyler ile arasında oluşan sürtünme kuvveti etkisiyle sıcaklıklar oluşur. Oluşan bu sıcaklıklar makinenin çıkış tarafına doğru tel vasıtasıyla taşınmaktadır. Bu etkiler bir sınıra kadar makine soğutma sistemleri, hadde seçimi, sabun seçimi gibi diğer parametrelerce kontrol altına alınabilse de bir noktadan sonra sınır değerler aşılarak proseste istenmeyen sonuçlara sebep olabilmektedir. Makine tipi, sabun seçimi, kullanılan hadde, redüksiyon oranları ve ortam şartları tamamen aynı olan bir proses için farklı hızlarda nihai tel üzerinden sıcaklık değerleri dijital termometre vasıtasıyla ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Alınan sıcaklık ölçümlerinde hız artışının sıcaklığı artırdığı gözlenmiştir.

Tablo 3.1.1. 2.20 %0.65 C Tel İçin Blok Çıkışından Alınan Hız-Sıcaklık Ölçümleri

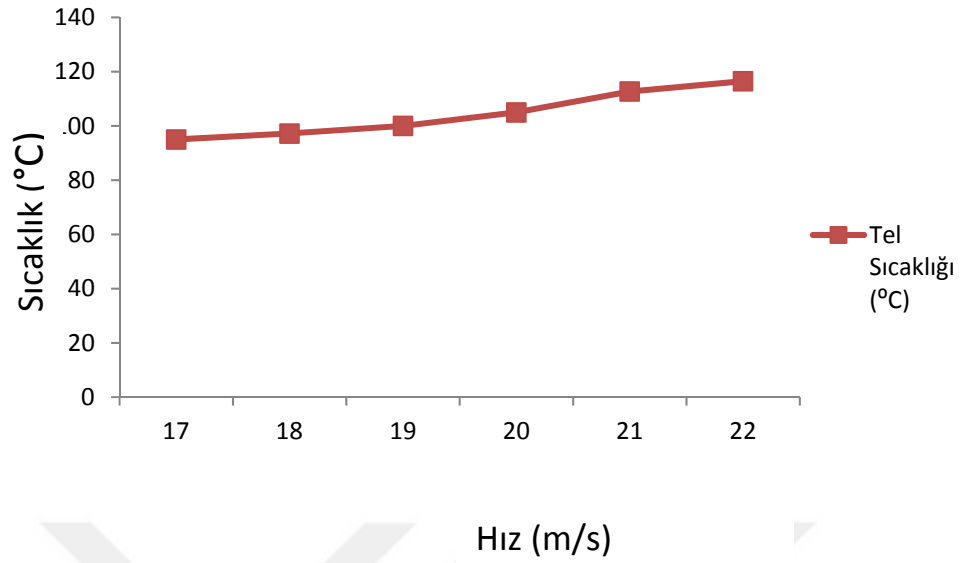
2.20 mm %0.65C	
Makine hızı (m/s)	Tel Sıcaklığı (°C)
17	72
18	75,5
19	79
20	83,7
21	85,5
22	88



Şekil 3.1.1. 2.20 % 0.65 C Tel İçin Hız-Sıcaklık İlişkisi Grafiği

Tablo 3.1.2. 2.38mm % 0.65 C Tel İçin Alınan Hız-Sıcaklık Ölçümleri

2.38 mm %0.65C	
Makine hızı (m/s)	Tel Sıcaklığı (°C)
17	95
18	97,2
19	100
20	105
21	112,7
22	116,5



Şekil 3.1.2. 2.38 mm %0.65 C Tel İçin Hız-Sıcaklık İlişkisi Grafiği

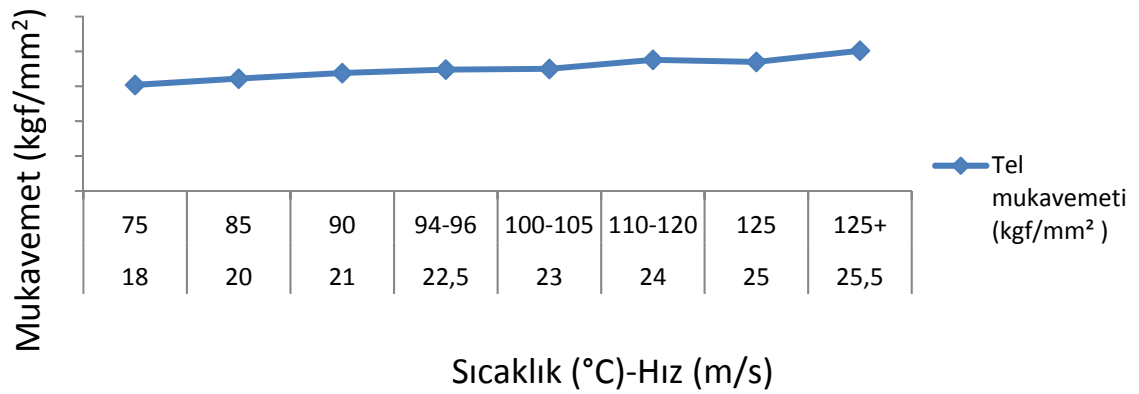
### 3.2. Tel Çekme Prosesi Sırasında Açığa Çıkan Sıcaklığın Tel Mukavemeti Üzerine Etkisi

Tel çekme prosesinde telin makine girişinden çıkışına kadar temas ettiği tüm yüzeylerle arasında oluşan sürtünme kuvveti ile meydana gelen sıcaklıkların tel mukavemeti üzerinde nasıl bir etkisi olduğunun tespit edilebilmesi için bir deneme çalışması yapılmıştır. Çalışmada 2.20 mm çapında %0.65 C bir tel ile 2.38 mm %0.65 C değerine sahip bir tel için sıcaklığa bağlı mukavemet değişimleri incelenmiştir. Çekim hızlarında yapılan değişiklikler neticesinde tellerin çıkış sıcaklıkları değişmektedir. Farklı çıkış sıcaklıklarıyla üretilen tellerin çekme mukavemet değerleri laboratuvar ortamında Zwick Roel test cihazı ile ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. 2.20 mm 0.65C'luk tel için ölçülen değerler Tablo 3.2.1'de, 2.38 mm 0.65C'lik tel için ölçülen değerler Tablo 3.2.2'de görülmektedir. Bu sonuçlar neticesinde sıcaklık artışının sertliği artırması nedeniyle tel mukavemetini de artırdığı görülmüştür. Her iki tel için sıcaklık-mukavemet ilişkisi Şekil 3.2.1 ile Şekil 3.2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2.1. 2.20 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerleri İçin Tel Mukavemet Ölçümleri

2.20 mm %0.65C Tel İçin Sıcaklık-Mukavemet Ölçümleri		
Makine Hızı(m/s)	Tel Sıcaklığı (°C)	Tel mukavemeti (kgf/mm <sup>2</sup> )
18	75	152
20	85	161
21	90	169
22,5	94-96	174
23	100-105	175
24	110-120	188
25	125	185
25,5	125+	201

\*\*telde kesit daralması var.

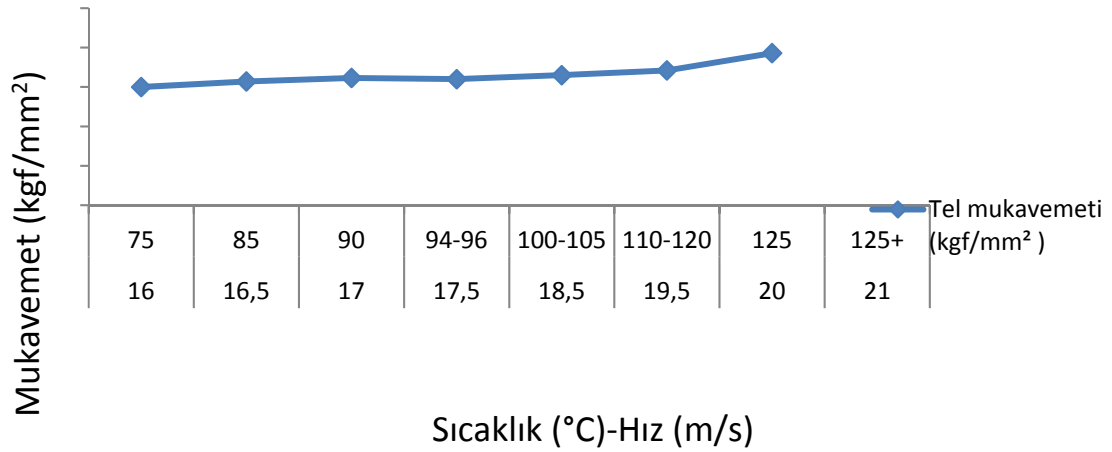


Şekil 3.2.1. 2.20 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerlerine Göre Tel Mukavemet Grafiği

Tablo 3.2.2. 2.38 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerlerine Göre Tel Mukavemet Ölçümleri

2.38 mm %0.65C Tel İçin Sıcaklık-Mukavemet Ölçümleri		
Makine Hızı(m/s)	Tel Sıcaklığı (°C)	Tel mukavemeti (kgf/mm <sup>2</sup> )
16	75	150
16,5	85	157
17	90	161,5
17,5	94-96	160
18,5	100-105	165
19,5	110-120	171
20	125	193
21	125+	-

\*\*Tel kopması var, ölçüm alınmadı



Şekil 3.2.2. 2.38 mm %0.65C Tel İçin Değişken Hızlardaki Sıcaklık Değerleri İçin Tel Mukavemet Grafiği

Sıcaklık ölçümleri yatak yayı üretmek üzere tel çeken bir fabrikadan en çok üretilen iki farklı tel çapı için alınmıştır. Farklı sıcaklık-hız değerlerinde üretilen tellerin mukavemeti Zwick kopma cihazı ile ölçülmüştür. Burada sıcaklık değişimi sadece hız parametresi değiştirilerek yapılmıştır. Sıcaklığa etki eden hadde, sabun, redüksiyon oranı gibi parametreler sabit tutulmuştur. Tel çapları için TS EN ISO-16120-2 ve TS EN ISO-16120-4 standartlarında belirtilen mukavemet değeri aralıkları referans alınmıştır [30, 31]. Alınan veriler analiz edildiğinde artan sıcaklık değeri ile birlikte

telin mukavemeti de beklenildiği gibi artmaktadır [58]. 120°C sıcaklıktan sonra mukavemet değerlerinde ani artışlar olduğu ve bu yüksek sıcaklıkların etkisiyle tel çaplarında sünme (kesit daralması) olduğu ve telin belli bölgelerinde sünek kırılmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. 120 °C işletme şartlarında mevcut koşullarla birlikte tecrübe edilerek belirlenmiş bir sıcaklık değeridir ve bu değer sınır sıcaklık değeri olarak kabul edilerek proses gerçekleştirilmektedir.

### **3.3. Haddelerin Tel Sıcaklığına Etkisi**

Tel çekmede kullanılan haddelerin temelde tek bir ana geometride yapılması gerekir. Ancak farklı hadde üreticileri hadde içerisinde küçük eklemeler veya çıkarmalar yaparak prosese farklı katkılar hedefleyerek birbirinden farklı profilde haddeler imal edebilirler. Firmalar tarafından prosese en uygun hadde seçilmeli ve sonrasında hadde rektifiye işlemleri de bu bilgi göz önünde tutularak yapılmalıdır.

Yerli ve yabancı imalatçılar tarafından tercihen tungsten karbür malzemeden üretilen tel çekim haddeleri telin çapını belli oranlarda kademeli olarak düşürerek istenen çapta tel üretimini sağlayan ana parçalardır. Basit olarak konik bir kesite sahip olsalar da iç geometrinin hassasiyeti haddenin kalitesini belirler. Haddenin prosese ne denli etkileri olduğunu gözlemleyebilmek için iki farklı hadde üreticisinden temin edilen haddeler ve rektifiye edilmiş ikinci el haddeler kullanılarak üç farklı deneme yapılmıştır. Bu denemeler sonrası prosesin ana çıktısı olarak nihai tellerin sıcaklığı ve proses boyunca haddelerde meydana gelen aşınma süreleri kayıt altına alınmıştır.

Tablo 3.3.1. Farklı Haddelerin 24 saatlik Kullanımı Sonrası Çaplarındaki Büyümeler (mm) ve Oluşan Tel Sıcaklıkları (°C)

2.38 mm %0.65C Bir Telin Farklı Haddeler İle Çekilmesi Sonucu Haddelerde Meydana Gelen Çap Büyümeleri ve Tel Sıcaklıkları (°C) (24 saat çalışma sonucu)							
Blok No	Orijinal Hadde Serisi Çapları (mm)	Hadde tedarikçisi					
		X Firması Haddeleri (mm)	X Firması Haddeleri Çap Büyüme Oranı (%)	Y Firması Haddeleri (mm)	Y Firması Haddeleri Çap Büyüme Oranı (%)	Fabrikada Rektefiye Edilen Haddeler (mm)	Fabrikada Rektefiye Edilen Haddelerin Çap Büyüme Oranları(%)
1	4,95	4,974	2,4%	4,969	1,9%	4,971	2,1%
2	4,44	4,456	1,6%	4,447	0,7%	4,459	1,9%
3	3,93	3,952	2,2%	3,941	1,1%	3,944	1,4%
4	3,55	3,563	1,3%	3,561	1,1%	3,575	2,5%
5	3,22	3,236	1,6%	3,228	0,8%	3,254	3,4%
6	2,92	2,945	2,5%	2,937	1,7%	2,958	3,8%
7	2,73	2,759	2,9%	2,748	1,8%	2,762	3,2%
8	2,55	2,572	2,2%	2,563	1,3%	2,580	3,0%
9	2,36	2,378	1,8%	2,371	1,1%	2,38	2,0%
Nihai Tel Sıcaklığı (°C)		100		96		106-110	

Tablo 3.3.1’de yapılan üç farklı denemeye ait % hadde büyüme oranları ve oluşan tel sıcaklıkları yer almaktadır. Denemeler esnasında tek değişken hadde tedarikçisidir. Bunun dışında kalan, makine hızı, blok sayısı, sabun cinsi, hammadde gibi değişkenler sabit tutulmuştur. 24 saatlik bir çalışma periyodu sonucunda alınan ölçümlere göre en iyi performansı Y firması haddeleri göstermiş. Hem çalışılan süre içerisindeki hadde büyüme oranı hem de tel üzerinde oluşan sıcaklık bu firmaya ait haddelerde diğerlerine kıyasla düşük çıkmıştır. Tablo incelendiğinde en kötü performansın da fabrika da rektifiye edilen haddelerde olduğu görülmektedir. Bir operatör tarafından rektifiye makinesi ile rektifiye edilen hadde performansı firmaların ürettiği tam otomatik CNC tezgahlarla yapılan haddelere kıyasla nispeten kötü bir performans göstermişlerdir. Bu fark kabul edilebilir bir farktır ve bu farkı elimine etmek amacıyla rektifiye edilen hadde serilerinin değişim periyotları daha kısa sürelerle sınırlandırılır.

Hadde serisindeki her bir haddenin farklı çalışma süreleri vardır. Hızın ve sıcaklığın düşük olduğu ilk blok haddelerinin proseste sağlıklı çalışma ömürleri hızın ve sıcaklığın daha yüksek olduğu çıkış bloklarına kıyasla daha uzundur. Bu bakımdan her hadde için optimum çalışma süreleri belirlenip o süreler sonunda değiştirilmeleri gereklidir. Ancak

bu rekabetçi çalışma koşullarında firmaların tercih etmeyeceği bir yoldur. Bu şekilde yürütülen bir proste sürekli duruşlar ve değişim süresinden dolayı yaşanacak kayıplar firmaya verimsizlik olarak dönmektedir. Bundan dolayı serideki tüm haddeleri kapsayacak şekilde (minimum çalışma ömrü baz alınarak) bir değişim periyodu belirlenir ve bu süre dolduğunda serideki tüm haddeler değiştirilir. Bu süre günlük 24 saat çalışan bir fabrika için makine hızına bağlı olarak 2 ila 3 gün arasında değişkenlik göstermektedir.

Günlük 24 saat çalışılan bir firmadan 18 m/s hızla çalışan bir makine için 2.38 mm %0.65C'lu çelik bir tel için 3 gün sonundaki hadde büyümeleri Tablo 3.3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.3.2. 72 Saatlik Çalışma (3 gün) Sonucunda Haddelerdeki Büyüme Oranları

Blok No	Orijinal Hadde Serisi Çapları (mm)	72 Saatlik Çalışma (3 gün) Sonucunda Haddelerdeki Büyümeler (mm)	72 Saatlik Çalışma (3 gün) Sonucunda Haddelerdeki Büyüme Oranları (%)
1	4,95	4,96	1,0%
2	4,44	4,48	4,0%
3	3,93	3,95	2,0%
4	3,55	3,57	2,0%
5	3,22	3,24	2,0%
6	2,92	2,95	3,0%
7	2,73	2,76	3,0%
8	2,55	2,59	4,0%
9	2,36	2,38	2,0%
<b>** Ömrü dolmuş haddeler</b>			

Bu tabloya göre üç günlük çalışma periyodu sonunda bazı haddeler ömrünü tamamlamış olarak görülürken bazı haddelerin halen çalışabilir olduğu görülmektedir. Ancak bu şekilde çalışılmaya devam edilirse sistemdeki ömrünü tamamlamış haddenin görevini tam olarak yerine getirememesinden dolayı kalitesiz tel üretimi yapılmış olacaktır.

Yapılan denemeler neticesindeki sonuçların sebepleri araştırılmış ve haddelerin iç geometrileri incelenmiştir. En iyi performansı sergileyen Y firmasına ait haddelerde hadde iç yüzeyi düzgün, geometri ideal olarak tanımlanan hadde bölümlerinden oluşmaktadır. Hadde silindir boyu da optimum seviyede yapılmıştır. Tüm bu etkiler bir araya gelerek prosese olumlu etki etmiştir. X firması haddelerinde ise Y firması ve

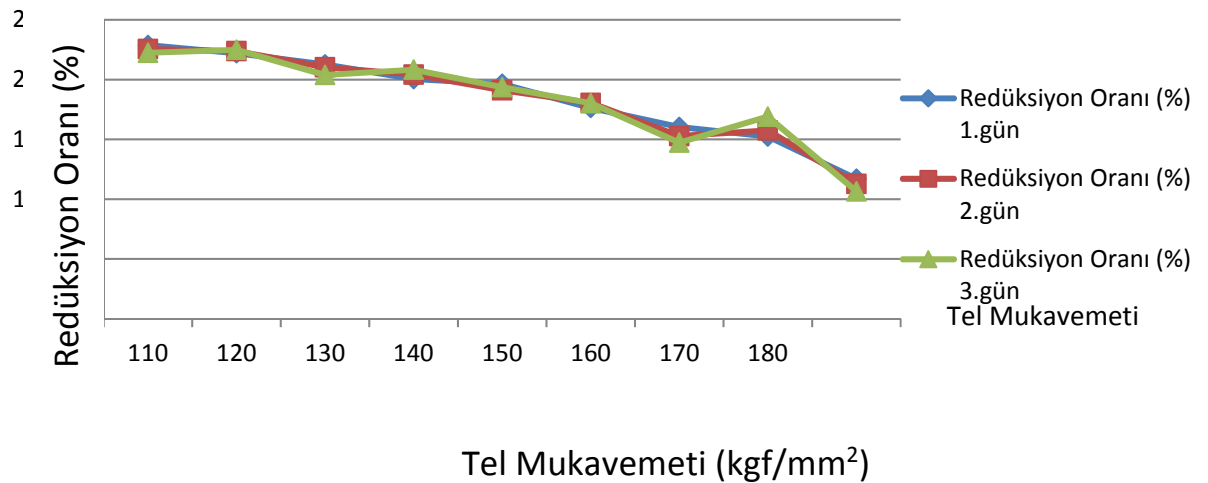
fabrikada rektifiye edilen haddelerden farklı olarak back relief bölgesi bulunmamaktadır. Ancak hadde iç yüzeyi ve silindir boyu olarak Y firması haddesine yakın kalitede üretilmiştir. Ayrıca X haddesi çıkış açısı Y haddesine kıyasla daha küçük yapılmıştır. Bu da nihai teller üzerinde oluşan sıcaklık farkını açıklayan sebeplerden biridir. Fabrikada rektifiye edilen hadde ise orijinaline yakın işlenmiştir. İç yüzey, geometri ve silindir boyu optimum seviyelerde imal edilmiştir. Ancak rektifiye işleminde tam otomatik cihazlar kullanılmadığından haddeler orijinalleri kadar hassas geometrilerde yapılamamaktadır. Bu durum, hadde ömründe bir miktar kısalmaya ve tel sıcaklığında bir miktar yükselişe neden olsa da firmalar tarafından belirlenen sınır değerleri aşmadığı sürece kabul edilebilir. Geometrideki bu küçük farkların birleşerek hadde performanslarında önemli farklılıklar ortaya koyduğu yapılan çalışmalar neticesinde doğrulanmıştır.

Haddelerin, proses ilerlerken zamanla iç yüzeylerinde aşınmalar meydana geldiği gibi (çizikler, mikro çatlaklar vb.) çap büyümeleri de gözlemlenir. Çap büyümeleri her haddede farklı oranda olmaktadır. Bunun sonucu redüksiyon oranları da değişeceğinden tel mukavemetleri de farklılık göstermeye başlayacaktır. Proses başlangıcındaki lineer eğriler proses sonuna doğru lineeritelerini kaybedecek ve bu durum da mukavemetler de negatif etkilenerek doğrusal olmayan bir eğri çizecektir. Bu nedenle hadde serileri için ideal değişim periyotları koymak ve bu periyotlar sonrası bütün haddeleri değiştirmek önem arz eder. Tablo 3.3.3'de 2.18 mm %0.65C bir tel için üç günlük çalışma periyodu sonunda çaplarında meydana gelen büyümeleri göstermektedir. Bu büyümelere karşın değişen redüksiyon oranları ve tel mukavemet değerleri de tabloda yer almaktadır. İdeal olan serideki büyümelerin lineer profili koruması veya bu profil yakınlarında olmasıdır.

Tablo 3.3.3. 2.18 mm %0.65C Bir Tel İçin Üç Günlük Çalışma Sonucu Hadde Büyümesi, Redüksiyon Oranları ve Tel Mukavemeti Değişimleri

Blok Numarası	Hadde Serisi Çapları (mm) 1.gün	Redüksiyon Oranı (%) 1.gün	Tel Mukavemeti (kgf/mm <sup>2</sup> ) 1.gün	Hadde Serisi Çapları (mm) 2.gün	Redüksiyon Oranı (%) 2.gün	Tel Mukavemeti (kgf/mm <sup>2</sup> ) 2.gün	Hadde Serisi Çapları (mm) 3.gün	Redüksiyon Oranı (%) 3.gün	Tel Mukavemeti (kgf/mm <sup>2</sup> ) 3.gün
1	4,83	22,9%	115	4,84	22,6%	116,5	4,85	22,2%	116,5
2	4,26	22,2%	127	4,264	22,4%	127	4,27	22,5%	127
3	3,78	21,3%	134,5	3,789	21,0%	134,5	3,81	20,4%	137
4	3,38	20,0%	141,5	3,38	20,4%	141,5	3,39	20,8%	141,5
5	3,03	19,6%	148	3,04	19,1%	150	3,044	19,4%	148
6	2,75	17,6%	154,5	2,752	18,0%	154,5	2,756	18,0%	154,5
7	2,52	16,0%	159	2,533	15,3%	161	2,545	14,7%	162
8	2,32	15,2%	166	2,325	15,7%	164,5	2,32	16,9%	164
9	2,18	11,7%	170	2,19	11,3%	168	2,193	10,6%	173

Şekil 3.3.1'deki grafik yukarıdaki tablodaki verileri kapsamaktadır. Bu grafikte hadde serisi kullanıldıkça redüksiyon ve mukavemet eğrilerinin ilk güne kıyasla lineerliğinde değişimler olduğu gözlenmektedir. Hadde değişim periyodu oluşturulurken bu durum da göz önünde bulundurulur. Aşağıdaki grafikteki düzgünsüzlükler sınır değerler içerisinde kaldığından kabul edilebilir. Seri değişim periyodu daha uzun olursa grafikteki düzgünsüzlükler de daha fazla artacak ve sınır değerler aşılabacaktır. Bu durum da tel kalitesini olumsuz etkileyecektir.



Şekil 3.3.1. 2.18 mm %0.65C Bir Tel İçin Üç Günlük Çalışma Sonrası Redüksiyon-Mukavemet Grafiği

### 3.4. Kaplama Kalınlığının Hadde Aşınmasına Bağlı Tel Sıcaklığına Etkisi

Sıcak haddeleme metodu ile üretilen filmaşın adı verilen kalın çaplı çelik hammaddeler tel çekim prosesi öncesi yüzey temizliği ve kaplama prosesine tabi tutulurlar. Bu adım, tel çekme prosesinin düzgün ilerleyebilmesi, çekilmiş tellerin uzun süre paslanmadan stoklanabilmesi, nihai ürün üretiminde kullanılan tellerin düzenli çalışması için olmazsa olmaz adımlar olarak nitelendirilir. Bunun yanı sıra yüzeyi iyi temizlenmemiş veya optimum kaplama kalınlığından farklı kalınlıklarda kaplanmış teller prosese negatif etki yapmasının yanı sıra makine ekipmanlarına da kısa sürede zarar verir. Bu bakımdan en fazla zararı en hassas ekipmanlardan biri olan haddeler görür.

Tel çekiminden önce filmaşınlar çekim prosesi için bir ön hazırlıktan geçer. İyi bir kaplama ancak iyi bir yüzey temizliği ile sağlanabileceğinden kaplama öncesi filmaşınlar temizlik ünitelerine alınır. Yüzeydeki pas ve tufal tabakaları HCl veya H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> banyolarında daldırma yöntemi ile temizlenir. Daha sonra filmaşınlar durulama havuzlarına daldırılarak su yardımı ile yüzeylerindeki fazla asit kalıntılarından, pas ve tufal tabakalarından arındırılır. Ardından yüzeyi kaplamaya hazırlayan aktivasyon banyolarına alınır. Bu banyolarda da bir müddet bekleyen filmaşın fosfat kaplama havuzlarına alınır. Hedeflenen kaplama kalınlığına bağlı olarak havuzda bekleme süresi belirlenir. Bekleme süresi arttıkça kaplama kalınlığı artar ancak bir değerden sonra yüzey ile banyo etkileşimi durur ve kalınlık süreye bağlı olarak artmaz. Fosfat havuzundan çıkan ürün tekrar sırası ile durulama ve nötralizasyon banyolarına alınır ve bu aşamalardan sonra filmaşın çekime hazır hale gelir [58]. Şekil 3.4.1'de daldırma havuzlarında muamele gören filmaşınlar yer almaktadır.



Şekil 3.4.1. Fosfat Kaplama Banyoları (Boyçelik Metal)

Hadde iç yüzeyleri hassas olarak işlenen, özel olarak parlatılan kısımlardan oluşur. Çekme kuvveti etkisi ile içlerinden geçen teller hadde iç yüzeyindeki şekli alarak çıkar. Bu nedenle iç yüzey ne ölçüde kaliteliyse çıkan tel de o oranda kaliteli olur. Bu noktada oluşan metal-metal temasını elimine etmek için yağlayıcı sabunlar kullanılır. Tel yüzeyine yapılan fosfat kaplama yağlayıcı sabun ile bir miktar etkileşime girerek sabunun tel yüzeyine daha iyi tutunmasını sağlar. Bu da sürtünme kaynaklı oluşan hasarı minimize etmeye yardımcı olur.

Temizlik ve kaplama işlemlerinin yapıldığı fosfathane adı verilen özel alanlarda birden fazla 20 ton hacmine sahip daldırma banyosu olarak bilinen havuzlar bulunmaktadır. Bu daldırma banyolarından en önemlisi kaplamanın yapıldığı fosfat banyosudur. Fosfat banyosunun kimyasal bazı değerleri ile sıcaklık parametresi özel olarak belli periyotlarda takip edilmelidir. Bu parametreler daldırma süresine ilave olarak kaplama kalınlığını etkileyen diğer önemli parametrelerdir. Fosfat banyosunda toplam asit noktası olarak tabir edilen banyodaki serbest asit miktarı ölçülmelidir. İçerisinden geçen filmaşın tonajı arttıkça asit banyolarının içerisindeki serbest asit oranı düşer. Bu nedenle asit banyolarındaki asit de belli periyotlarda yenisi ile değiştirilmelidir. Fosfat banyoları da içerisinden geçen filmaşın tonajı arttıkça banyonun fosfat konsantrasyonunda düşmeler olur. Bu durumda filmaşınlar belirlenen daldırma süreleri içerisinde yüzeylerine yeteri miktarda fosfatı alamayacaktır. Bu noktada banyoların fosfat konsantrasyonları anlık ölçülerek otomatik dozajlama sistemleri ile konsantrasyonu sabit tutmak hedeflenir. Toner noktası ise banyodaki katalizör malzemenin konsantrasyonunu gösterir. Prosesin optimum şartlarda ilerleyebilmesi için belirlenen sınır değerler arasında tutulmaya çalışılır. Toplam asit noktasının fosfat noktası değerine oranı olan banyo dengesi ise bir diğer önemli kriterdir. Burada asit banyosu içerisindeki serbest asit miktarı ile fosfat banyosundaki fosfat yoğunluğu eşit seviyelerde düşerse banyo dengesi sabit kalacağından proseste anlık büyük etkiler görülmeyecektir. Bu sebeple asitin kullanım ömrü düştüğünde banyo dengesini koruyacak şekilde ayarlamalar yapılarak proses dengesi sağlanmış olur.

Fosfat havuzlarında sıcaklık değeri de anlık ölçülmesi gereken bir diğer parametredir. Denemelerin yapıldığı işletmede fosfat havuzlarına sıcaklık değerinin minimum ve maksimum değerleri aşması halinde sesli uyarı veren sıcaklık sensörleri koyularak sıcaklığın daima belirlenen aralıkta kalması sağlanmaktadır. Fosfat kaplama reaksiyonu

ancak belli hızlarda etkin gerçekleşebilmektedir. Bu sebepten dolayı sıcaklıklar 70-75 °C aralığında tutulmaya çalışılır.

Tablo 3.4.1. Fosfat Banyosu Kritik Değerler Tablosu

Toplam asit noktası	60
Fosfat noktası	30
Toner noktası	4
Banyo dengesi	2
Banyo sıcaklığı	75 °C
Kaplama kalınlığı	8-12 g/m <sup>2</sup>

Kaplama işleminde önemli noktalardan biri yapılan kaplamanın kalınlığıdır. Tablo 3.4.1’de fosfat banyosu kritik değerleri arasında kaplama kalınlığı değerinin de yer aldığı görülmektedir. Kaplama kalınlığı basit olarak ağırlık farkı metodu ile ölçülür. Burada kaplama sonrası yüzeydeki kaplamayı çözerek uzaklaştırmak için özel bir çözeltiliye ihtiyaç vardır. Çözelti aşağıdaki kimyasalların karıştırılması ile elde edilir.

1. 100 gr 0,1N NaOH
2. 90 gr EDTA
3. 4 gr TEA ( treatonmil)
4. 1000 ml saf su

Daha sonra bu çözeltili beher içine alınır. Kaplama kalınlığı tespit edilecek filmaşinden yaklaşık 100 mm boyunda numuneler kesilir. Hazırlanan çözeltili ısıtıcı yardımı ile 75 °C’ye ısıtılır. Bu esnada numunelerin kaplama öncesi ağırlıkları ( ilk ağırlık) hassas terazi yardımı ile ölçülür ve kaydedilir. Numuneler ısınmış çözeltiliye atılır ve 5 dk bekletilir. Bekleme süresi dolduğunda çözeltiliden çıkarılan numuneler su altında bir peçete yardımı ile peçeteye siyah kaplama gelmeyene kadar tekrarlanarak silinir. Temizlenen numuneler kurutulur ve son ağırlıkları hassas terazi yardımı ile ölçülerek kaydedilir. Bu aşamalardan sonra Denklem 3.4.1 yardımı ile kaplama kalınlığı ağırlık farkı metoduyla tespit edilmiş olur.

$$m_A = \Delta m / A \quad (\text{g/mm}^2)$$

**Denklem 3.4.1**

$$\Delta m = \text{İlk ağırlık (g)} - \text{Son ağırlık (g)}$$

$$A=\pi.d.l$$

$$\Pi=3,14$$

d=numune çapı (mm)

l= numune boyu (mm)

Yatak ve kanepeler üreten bir işletmede belirlenen optimum kaplama kalınlık değerlerinin altında veya üstünde yapılan kaplamalarda filmaşınların tel çekme makinelerinde çalışması sonucu haddelerde meydana getirdiği hasarlar ölçülmüştür. %0.65C'luk çelik bir filmaşının yüzeyi diğer tüm şartlar(yüzey temizlik süresi, yüzey temizlik maddeleri, fosfat banyosu değerleri vb.) sabit tutularak farklı kalınlıklarda fosfat ile kaplanmıştır. Sonrasında bu filmaşınlar tel çekme makinelerine alınarak 2.38 mm çapında teller üretilmiştir ve haddelerin bu süre zarfında çaplarında meydana gelen büyümeler ölçülmüştür. Ayrıca hadde çapındaki büyüme dışında hadde yüzeyindeki aşınmalar, daireselliğin bozulması (ovalleşmesi) gibi durumlar da incelenmiştir. Bu veriler optimum kaplama kalınlığına sahip bir filmaşının aynı proses sonucunda haddelerde meydana getirdiği büyümeler ve aşınmalarla kıyaslanmıştır.

Tablo. 3.4.2. Sınır Değerlerde Kaplama Kalınlığındaki 3 Filmaşının Hadde Çap Büyümelerine Etkileri

Blok No	Hadde Serisi Çapları (mm)	Kaplama kalınlığı 8,09 g/mm <sup>2</sup>		Kaplama kalınlığı 8,53g/mm <sup>2</sup>		Kaplama kalınlığı 9,56 g/mm <sup>2</sup>		Deneme Sonu Total Hadde Çap Büyümesi(%)
		1.Filmaşın Çıktıktan Sonraki Hadde Çapları (mm)	1.Filmaşın Çıktıktan Sonraki Hadde Büyüme Oranı (%)	2.Filmaşın Çıktıktan Sonraki Hadde Çapları (mm)	2.Filmaşın Çıktıktan Sonraki Hadde Büyüme Oranı (%)	3.Filmaşın Çıktıktan Sonraki Hadde Çapları (mm)	3.Filmaşın Çıktıktan Sonraki Hadde Büyüme Oranı (%)	
1	4,892	4,893	0,02%	4,900	0,14%	4,901	0,02%	0,18%
2	4,363	4,365	0,05%	4,366	0,02%	4,367	0,02%	0,09%
3	3,910	3,912	0,05%	3,9125	0,01%	3,9134	0,02%	0,09%
4	3,534	3,534	0,00%	3,535	0,03%	3,536	0,03%	0,06%
5	3,212	3,212	0,00%	3,213	0,03%	3,214	0,03%	0,06%
6	2,954	2,954	0,00%	2,955	0,03%	2,955	0,00%	0,03%
7	2,710	2,722	0,44%	2,7227	0,03%	2,723	0,01%	0,48%
8	2,525	2,525	0,00%	2,527	0,08%	2,528	0,04%	0,12%
9	2,375	2,375	0,00%	2,377	0,08%	2,377	0,00%	0,08%

Tablo 3.4.2'deki veriler sadece 3 filmaşın çekimi sonrası hadde çaplarında meydana gelen değişimleri kapsamaktadır. 2 saat süren deneme sonucunda hadde büyümeleri yukarıdaki seviyelerde olmuştur. Burada kaplama kalınlıkları sınır değerler arasında

tutulduğu için haddelerde dairesel büyümeler olmuş herhangi bir ovalleşme veya yüzey bozulması görülmemiştir.

Tablo 3.4.3. Sınır Değerden Düşük Kaplama Kalınlığındaki 3 Filmaşinin Hadde Çap Büyümelerine Etkileri

Blok No	Hadde Serisi Çapları (mm)	Kaplama kalınlığı 5,03 g/mm <sup>2</sup>		Kaplama kalınlığı 7,12 g/mm <sup>2</sup>		Kaplama kalınlığı 4,39 g/mm <sup>2</sup>		Deneme Sonu Total Hadde Çap Büyümesi(%)
		1.Filmaşin Çıktıktan Sonraki Hadde Çapları (mm)	1.Filmaşin Çıktıktan Sonraki Hadde Büyüme Oranı (%)	2.Filmaşin Çıktıktan Sonraki Hadde Çapları (mm)	2.Filmaşin Çıktıktan Sonraki Hadde Büyüme Oranı (%)	3.Filmaşin Çıktıktan Sonraki Hadde Çapları (mm)	3.Filmaşin Çıktıktan Sonraki Hadde Büyüme Oranı (%)	
1	4,892	4,894	0,04%	4,913	0,39%	4,915	0,04%	0,47%
2	4,363	4,364	0,02%	4,365	0,02%	4,367	0,05%	0,09%
3	3,910	3,914	0,10%	3,916	0,05%	3,918	0,05%	0,20%
4	3,534	3,537	0,08%	3,538	0,03%	3,541	0,08%	0,20%
5	3,212	3,213	0,03%	3,214	0,03%	3,218	0,12%	0,19%
6	2,954	2,955	0,03%	2,957	0,07%	2,961	0,14%	0,24%
7	2,710	2,718	0,30%	2,723	0,18%	2,725	0,07%	0,55%
8	2,525	2,529	0,16%	2,532	0,12%	2,537	0,20%	0,48%
9	2,375	2,376	0,04%	2,379	0,13%	2,39	0,46%	0,63%

\*2.blok haddesinde ovalleşme (4,367-4.368

\*7.blok haddesinde ovalleşme var( 2,725-2,727

\*9.blok haddesi sınır değeri aştı (Sınır 2,38 mm)

Tablo 3.4.3’de ise kaplama kalınlıkları sınır değerlerin altında kaplanan filmaşinlerin hadde çaplarındaki büyümelere etkileri ölçülmüştür. Burada kaplama kalınlığı en düşük olan 3.filmaşin en son sırada makineye girmiştir. Çaplardaki büyümeler en fazla bu filmaşinde olmuştur. Ayrıca bu filmaşinde çaplarda ovalleşme ve aşırı büyümeler de gözlemlenmiştir.

Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar sonucu alınan verilerle hazırlanan “Effect of Coating Thickness on Die Wear (Kaplama Kalınlığının Hadde Aşınmasına Etkisi) adlı bildiri 2017 yılında Sırbistan Triboloji Sempozyumunda yayınlanmıştır [58]

### 3.5. Yağlayıcı Sabun Seçiminin Açığa Çıkan Sıcaklığa Etkisi

Tel çekme prosesinde genel olarak giriş bloklarında kalsiyum bazlı, sonraki bloklarda ise sodyum bazlı sabunlar tercih edilmektedir. Yüksek hızlarda tel çekimi, yüzeyi daha kaygan olması istenen tel üretimi gibi bazı durumlarda son bloğun sabun kutusunda özel içerikli farklı bir sabun üçüncü yağlayıcı olarak prosese eklenebilmektedir. İlk bloklarda kalın tel çapları kademeli olarak bir alt çapa indirilir. Bu bloklarda hız yavaştır ve tel yüzeyindeki fosfat kaplaması homojen bir şekilde teli sarar. Bu nedenlerden dolayı

sürtünme kuvveti etkisiyle oluşan sıcaklıklar son bloklara kıyasla düşük olur. Sonraki bloklarda ise hız ve oluşan sıcaklık değerleri giderek artar. Bu nedenlerden dolayı ilk bloklarda kalsiyum bazlı sonraki bloklarda ise sodyum bazlı sabunlar tercih edilir.

Tel yüzeyindeki fosfat kaplama sabun ile fiziksel bir reaksiyona girer ve sabunun yüzeye daha kolay tutunmasını sağlar. Fosfatla reaksiyona giren sabun tel çekim prosesinde olumlu etkiler yaparken reaksiyona giremeyen sabunlar da telin sonraki makinelerde kullanımı esnasında kaydırıcılık sağlayarak prosese olumlu katkılar sağlar.

İlk 2-3 blok dışındaki diğer bloklarda tercih edilen sodyum bazlı sabunların tanecik yapıları kalsiyum bazlı sabunlardan daha ince, ergime noktaları ise daha yüksektir. Prosesin doğası gereği ilk bloktan son bloğa doğru lineer olarak artan hız değeri beraberinde sürekli artan sıcaklıkları da getirir. Bu durumda sabunun erimeden prosese kalıp çalışabilmesi için ergime noktasının yüksek olması gerekir. Ayrıca tel çekim prosesi sırasında, incelen telin yüzeyinde birim alanda kalan fosfat kaplama miktarı düşeceğinden sabunun tel yüzeyine daha kolay tutunabilmesi açısından ince tanecik yapısına sahip olması bu bağlamda avantaj sağlar.

Yağlayıcı sabunların tel çekme prosesine etkilerini ortaya koyabilmek adına bir takım deneme çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak sabun seçiminin hadde kutularında oluşan sıcaklığa etkilerinin görülebilmesi için 2.38 mm %0.65C bir tel için bloklarda bulunan hadde kutusu çıkışlarından telin yüzey sıcaklık ölçümü alınmıştır. Ölçümler makineler çalışır vaziyetteyken, makine üzerindeki gözlem pencerelerinden dijital termometreler yardımı ile alınmıştır. Prosesteki sabun dışındaki tüm parametreler sabit tutularak iki farklı tedarikçiden temin edilmiş A ve B sabunlarının sıcaklık oluşumu üzerine etkilerini görebilmek için farklı marka yağlayıcı sabunlar proseste kullanılarak ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler sonucu iki farklı yağlayıcı sabunun sıcaklık oluşumu üzerinde bariz farklı etkiler bıraktığı görülmüştür. Bu bağlamda sıcaklık oluşumunun düşük olduğu sabun (B), üretim proseslerinde tercih edilen iyi nitelikte sabun olarak adlandırılır.

Tablo 3.5.1. Farklı Marka Yağlayıcı Sabunlarla Yapılan 2.38 mm %0.65C'luk Tel Çekimi Esnasında Oluşan Sıcaklığa Etkileri

Hadde no	Hadde çıkışı tel sıcaklığı (°C) - A sabunu	Hadde çıkışı tel sıcaklığı (°C) - B sabunu
1	Gözlem penceresi yok, veri alınmıyor	Gözlem penceresi yok, veri alınmıyor
2	98	86
3	102	93
4	125	107
5	144	124
6	137	120
7	126	119
8	159	134
9	Gözlem penceresi yok, veri alınmıyor	Gözlem penceresi yok, veri alınmıyor

Tel çekme prosesinde sabun seçimi kadar tel çekim prosesi sonunda tel yüzeyinde kalan sabun miktarının da çekilmiş tellerin sonraki proseslerde kullanımı sırasındaki performansını etkilediği düşünülmektedir. Bazı teller yay makinesinde çalışırken sürekli duruşlar meydana getirmekte ve üretilen yaylardan bir kısmının bozuk geometride üretilmesine neden olmaktadır. Hata kaynağı araştırıldığında bazı tellerin yay makinesinde yay yapıcı parçadan geçerken direnç gösterdiği gözlemlenmiştir. Tellerin bu direnci yenmesine yardımcı olmak için basit bir düzenek kurulmuştur. Bu düzenekte telin yay makinesinde yay yapıcıya girdiği bölgeye içerisinde sıvı koruma yağı ile yağlanmış bir keçenin bulunduğu küçük bir parça monte edilmiştir. Bu parçanın içinden geçen tel yüzeyi yağlanmış ve yay yapıcıda kolaylıkla kayarak şekil alabildiği görülmüştür.

Yağlı keçe olmaksızın yapılan üretimde telin yay yapıcıya gösterdiği direnç hata kaynağının tel yüzeyinde kalan sabun miktarı ile ilgili olabileceği fikrini doğurmuştur ve bu nedenle tellerin yüzeyinde kalan sabun miktarları ölçülmüştür. Yüzeyde kalan sabun miktarı ölçümü, yüzeydeki sabunun solvent yardımı ile kaplamaya zarar verilmeden uzaklaştırılması ve sonrasında ağırlık farkı metodu kullanılarak telin üzerinde kalan sabun miktarı  $g/m^2$  cinsinden ölçülmesi ile tespit edilmiştir.



Şekil 3.5.1. Yay Makinesi Girişindeki Tel Yüzeyinin Yağlı Keçe İle Yağlanması

Düzenli çalışan ve sorunlu çalışan aynı tel çapına ve içeriğe sahip tellerin yüzeylerinde kalan sabun miktarları ölçüldüğünde sonuçların farklı olduğu görülmüştür ve bu tellerin üretimlerine gidildiğinde çıkış sıcaklıklarının da birbirinden farklı üretildiği bulunmuştur. Çıkış sıcaklığı yükseldikçe yüzeyde kalan sabun miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında farklı sıcaklıklarda çekilen teller üzerinde kalan sabun miktarları ölçülerek kayıt altına alınmış ve bu tellerin yay makinesinde çalışması izlenmiştir. Yüzeyde kalan sabun miktarı azaldıkça telin çalışma performansı düşüş göstermiştir. Bu durum yüzeyde kalan sabun miktarının çalışma performansına doğrudan etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 3.5.2. Tel Çekim Prosesi Sonrası Tel Yüzeyinde Kalan Sabun Miktarları

Tel Çapı (mm)	Karbon oranı (%)	Yüzeyde Kalan Sabun Miktarı (g/m <sup>2</sup> )
2,20	0,65	0,68
2,20	0,65	1,38
2,20	0,65	2,05
2,20	0,65	1,81
2,20	0,65	1,01
2,20	0,65	1,97
2,38	0,65	3,01
2,38	0,65	2,95
2,38	0,65	2,32
2,38	0,65	2,63
2,38	0,65	2,44
2,38	0,65	2,28

### 3.6. Redüksiyon Oranının Tel Sıcaklığı Üzerine Etkisi

Tel çekme prosesinin temeli redüksiyona dayanır. Soğuk şekillendirme ile yapılan tel çekim prosesinde deformasyon oranı olarak tabir edilen değer redüksiyon oranına tekabül etmektedir. Kalın çapta iken haddelere giren telin çapı hadde vasıtasıyla düşürülür ve haddeye giren tel istenen çapa inceltilerek çekim işlemi tamamlanır. Haddeye giren tel çapı birkaç basamakta istenilen çapa indirilmektedir. Buradaki basamak sayısı redüksiyon oranına göre belirlenir. Eğer teller tek adımda istenilen çapa indirilmeye çalışılırsa yüksek çekme kuvvetinin etkisiyle çekme gerilimleri de yüksek olacaktır [59]. Bir telin çapının istenilen çapa indirilmesi esnasında çekme kuvvetinin etkisiyle kendi çapından daha küçük bir bölgeden geçirilmesiyle birlikte oluşan sürtünme kuvveti hem proseste bir sıcaklık oluşturacak hem de telin mukavemet değerinde değişikliklere neden olacaktır. İdeal bir proseste belirlenmiş olan optimum redüksiyon oranlarına göre bir çaptan başka bir çapa inildiğinde telin fiili çıkış mukavemet değeri teorik olarak yapılan hesaplarla benzer sınırlar içinde çıkacaktır. Belirlenen optimum redüksiyon oranları giriş haddesinden çıkış haddesine doğru lineer olarak azalacak şekilde oluşturulur. Örneğin yüksek karbonlu çeliklerde giriş çapının 5.50 mm, çıkış çapının 2.00-2.40 mm aralığında olduğu durumlarda giriş redüksiyonları %25 mertebelerinden başlarken çıkış redüksiyonları %12 civarlarında olacak şekilde hedeflenen çapa ulaşabilmek için hadde serileri dizayn edilir.

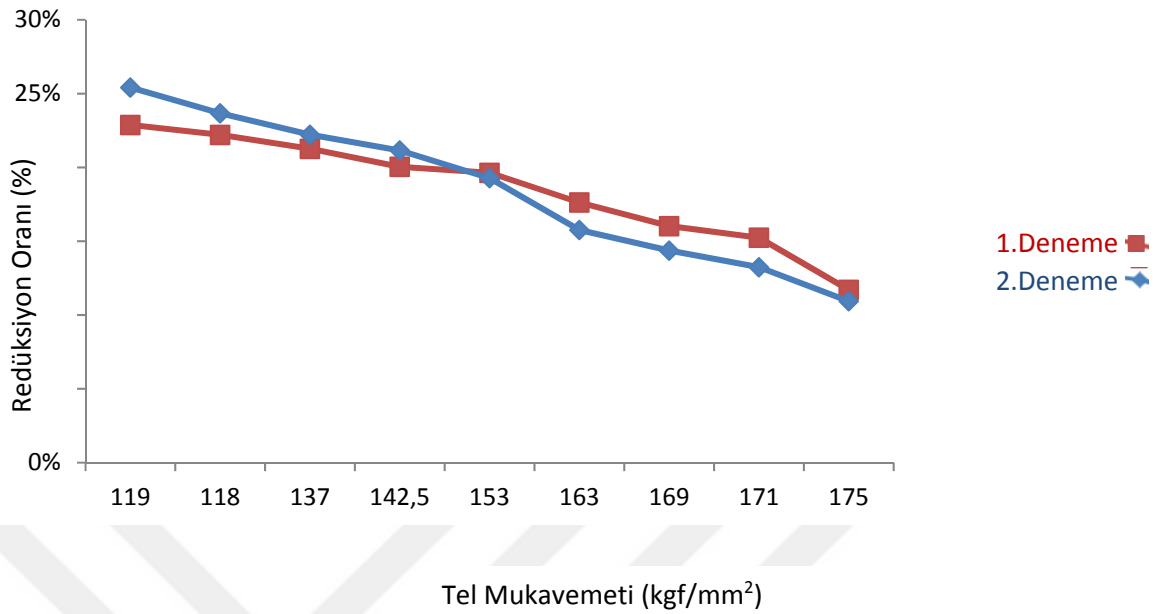
Tablo 3.6.1. 2.20 mm %0.65'lük C Bir Tel İçin Oluşturulan Hadde Serisi

Blok Numarası	Hadde Serisi Çapları (mm)	Redüksiyon Oranları (%)
Giriş (filmaşın)	5,5	
1	4,83	23%
2	4,26	22%
3	3,78	21%
4	3,38	20%
5	3,03	20%
6	2,75	18%
7	2,52	16%
8	2,32	15%
9	2,18	12%

Redüksiyon oranını ile mukavemet arasında ters bir orantı vardır. Redüksiyon oranının lineer olarak azaldığı bir hadde serisinde mukavemetler ise lineer olarak artış gösterir. Bu şekilde bir artış profili telin sonraki proseslerde kullanımı esnasında performansını artırır. Aksi durumlarda telin mukavemetinde dalgalı yani iniş çıkışların bulunduğu lineer olmayan mukavemet profili, telin kullanımı esnasında sürekli makine ayar ihtiyacı doğuracaktır ve teller kullanım esnasında aynı kuvvetler uygulanmak suretiyle şekillendirilirken tel kırılmalarına sebebiyet verecektir. Bunun temel nedeni ise soğuk şekillendirmede deformasyon oranı arttıkça malzeme dayanımının artması (pekleşme artışı) ve buna bağlı olarak da sertlik artışı sebebiyle tellerin şekil alabilme kabiliyetinin düşmesidir [26]. Bu nedenle bahsedilen etkilerin gözlemlenebilmesi adına farklı redüksiyon oranları ile teller çekme denemeleri yapılmış ve mukavemet değerleri ölçülmüştür.

Tablo 3.6.2. Farklı Redüksiyon Oranında Çekilen 2.20 mm %0.65C'luk Bir Tel İçin Redüksiyon-Mukavemet değerleri

1. Deneme				2. Deneme			
Blok Numarası	Hadde Serisi Çapları (mm)	Redüksiyon Oranları (%)	Tel Mukavemeti (kgf/m <sup>2</sup> )	Blok Numarası	Hadde Serisi Çapları (mm)	Redüksiyon Oranları (%)	Tel Mukavemeti (kgf/m <sup>2</sup> )
Giriş (filmaşın)	5,5			Giriş (filmaşın)	5,5		
1	4,83	23%	115	1	4,75	25%	119
2	4,26	22%	127	2	4,15	24%	118
3	3,78	21%	134,5	3	3,66	22%	137
4	3,38	20%	141,5	4	3,25	21%	142,5
5	3,03	20%	148	5	2,92	19%	153
6	2,75	18%	154,5	6	2,68	16%	163
7	2,52	16%	159	7	2,48	14%	169
8	2,32	15%	166	8	2,31	13%	171
9	2,18	12%	170	9	2,18	11%	175



Şekil 3.6.1. Redüksiyon Oranı-Tel Mukavemet Eğrisi

Redüksiyon oranı tellerin sonraki proseslerde kullanımına direkt etki ederken tel çekim prosesine de dolaylı olarak etki eder. Doğrusal olmayan bir redüksiyon oranı nedeniyle sıcaklık oluşumu beklenenin üzerinde çıkar ve tel çekme makinesi de belirlenmiş optimum hız değerinde çalıştığında sıcaklığa bağlı olarak sünme, kırılma gibi kalitesizlikler ortaya çıkar.

### 3.7. Tel Çekme Prosesi Sonrası İç Yapıda Meydana Gelen Değişimler

Soğuk şekillendirmede deformasyona bağlı olarak iç yapıda bazı değişiklikler meydana gelmektedir. Sıcak şekillendirme proseslerindeki kadar iç yapıda değişiklik meydana getirecek boyutlarda bir sıcaklık oluşumu mevcut olmadığından iç yapıda mikro boyutta değişiklikler olması beklenmektedir. Ancak bazı durumlarda bu mikro değişiklikler tel çekme prosesinde hammadde olarak kullanılan filmaşınların sıcak şekillendirme ile elde edilmeleri sırasındaki üretim hataları (döküm boşlukları, içerikteki safsızlıklar vb) ile birleşerek tel çekimi esnasında tel kopması, farklı bölgelerden tel kırılması gibi hatalara sebep olabilmektedir.

Yüksek karbonlu çeliklerin tel çekimi esnasında iç yapıda meydana gelen değişimleri gözlemleyebilmek için %0.65C'luk bir çelikte tel çekimi öncesi filmaşın ve çekim prosesi sonrası elde edilen nihai teller SEM (Scanning Electron Microscope- Taramalı

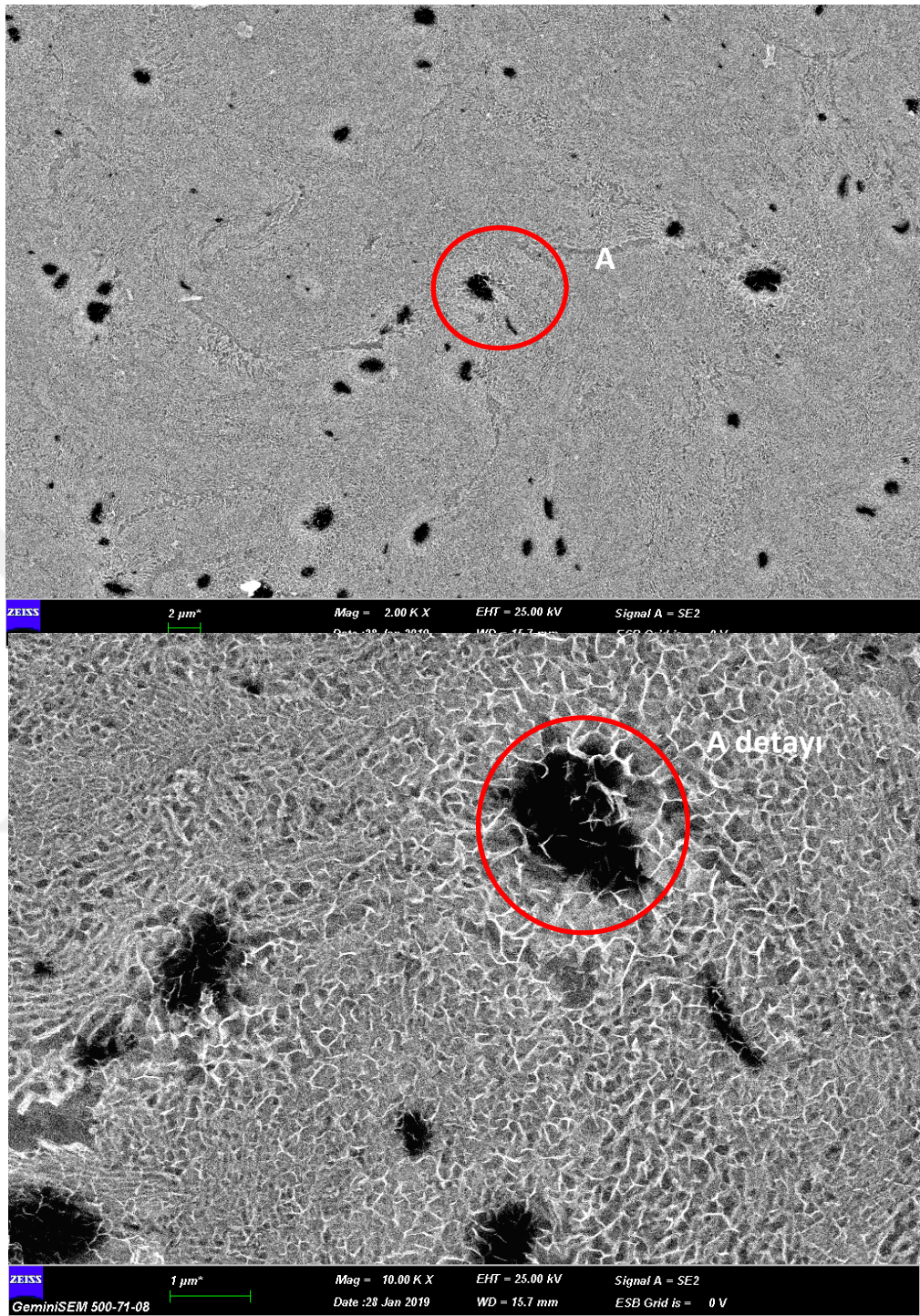
Elektron Mikroskobu) ile analiz edilerek iç yapıları incelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

### **3.7.1. SEM İle İç Yapı İncelenmesi**

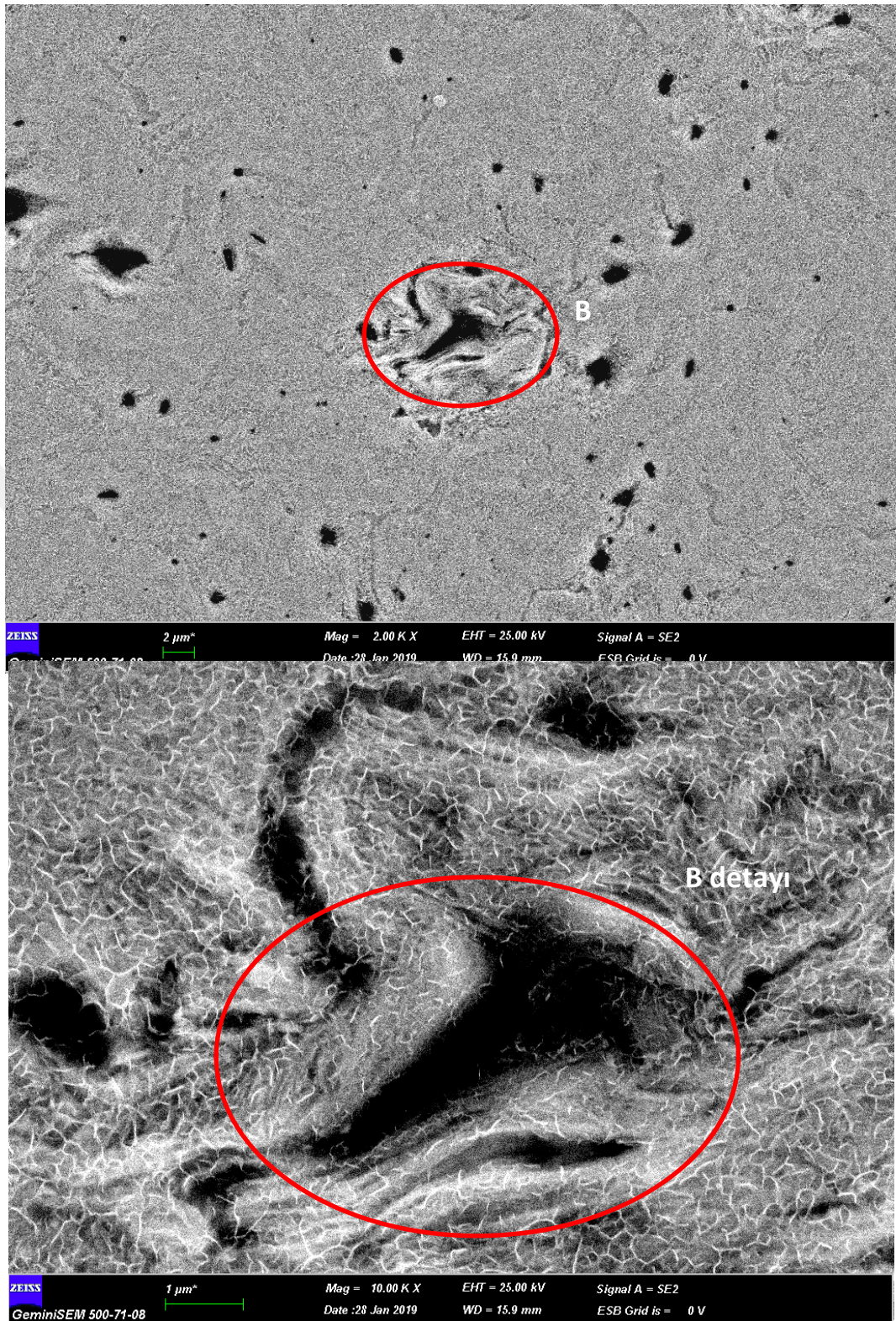
SEM (Scanning Electron Microscope), taramalı elektron mikroskobu olarak dilimize çevrilen elektronlar vasıtasıyla bir numunenin yüzeyinden yüksek çözünürlükte görüntü almayı sağlayan sistemlerdir. Işık mikroskobuna göre daha iyi çözünürlük ve kalitede görüntü alınabilmesinin yanı sıra daha fazla büyütme özelliğine sahip olması nedeni ile daha çok tercih edilir. SEM cihazına uygun olarak hazırlanan numuneden mikroskop altında elektronlar vasıtasıyla görüntüler alınarak ekrana yansıtılır. Burada önemli nokta numunenin temiz ve uygun büyüklükte hazırlanmasıdır.

Soğuk çekim prosesi olan tel çekme prosesinde yapılan işlemin iç yapıya etkilerini gözlemleyebilmek adına proses öncesi filmaşinden ve proses sonrası 2.20 mm 0.65C'luk çekilmiş telden numuneler alınarak iç yapı incelenmiştir.

Sıcak haddeleme metodu ile üretilen filmaşinlerde döküm boşlukları veya üretim sırasında meydana gelebilecek iç yapı bozuklukları olabilmektedir. Soğuk çekim prosesi olan tel çekme işleminde ise iç yapısı düzgün bir filmaşin kullanılması durumunda prosesin mikro yapıda büyük değişiklikler oluşturması beklenmemektedir. Şekil 3.7.1 ve Şekil 3.7.2'de çekim öncesi 5.50 mm çapında 0.65C'luk bir filmaşine ait iç yapı görüntüleri görülmektedir. Görüntüler filmaşinin farklı bölgelerinden alınmıştır.

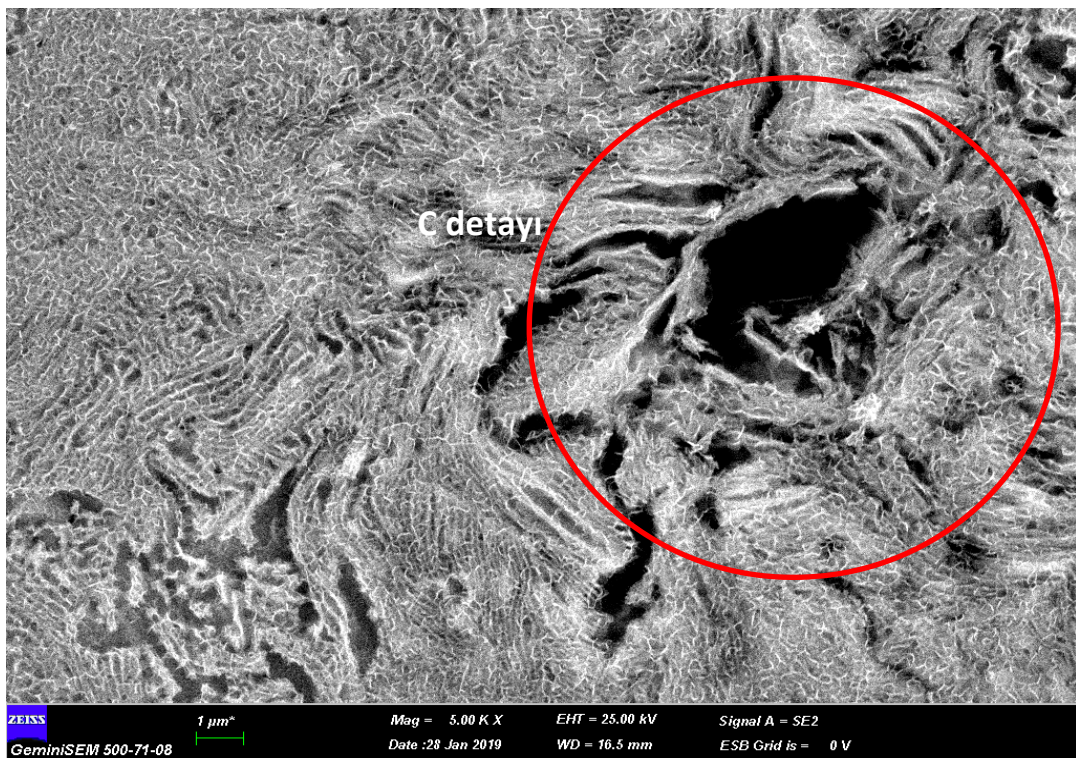
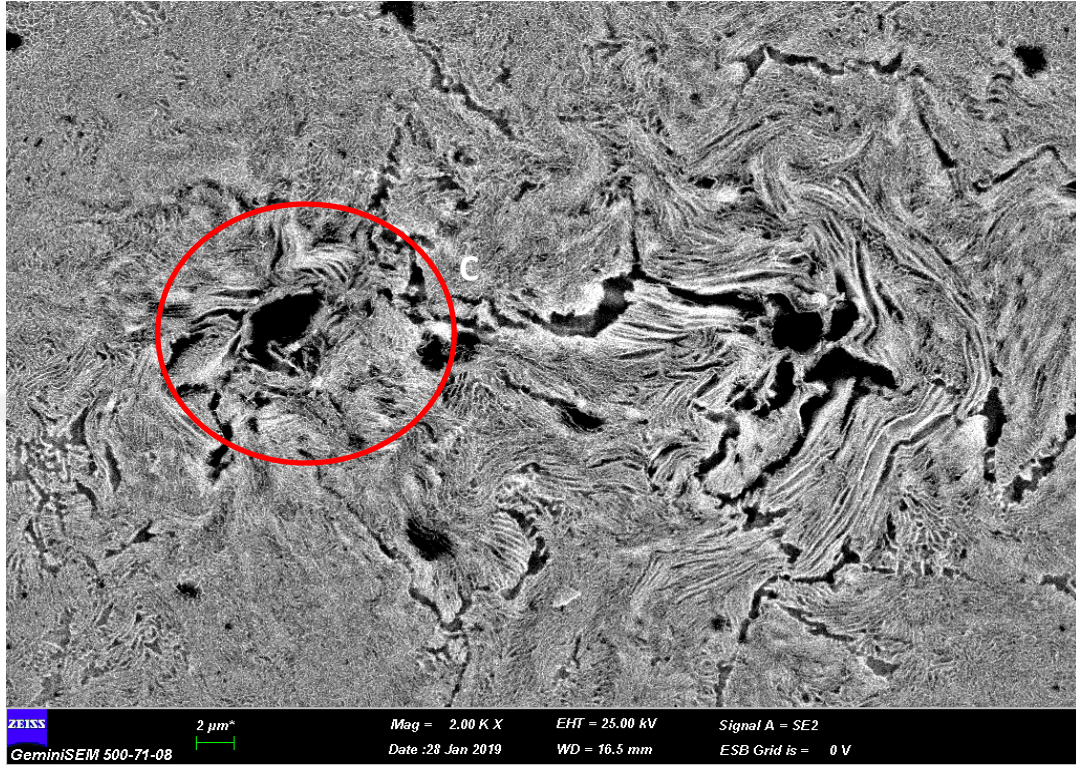


Şekil 3.7.1. 5.50 mm Çapında %0.65C'lık Bir Çelik Filmaşinin Farklı Bölgelerinin İç Yapısı

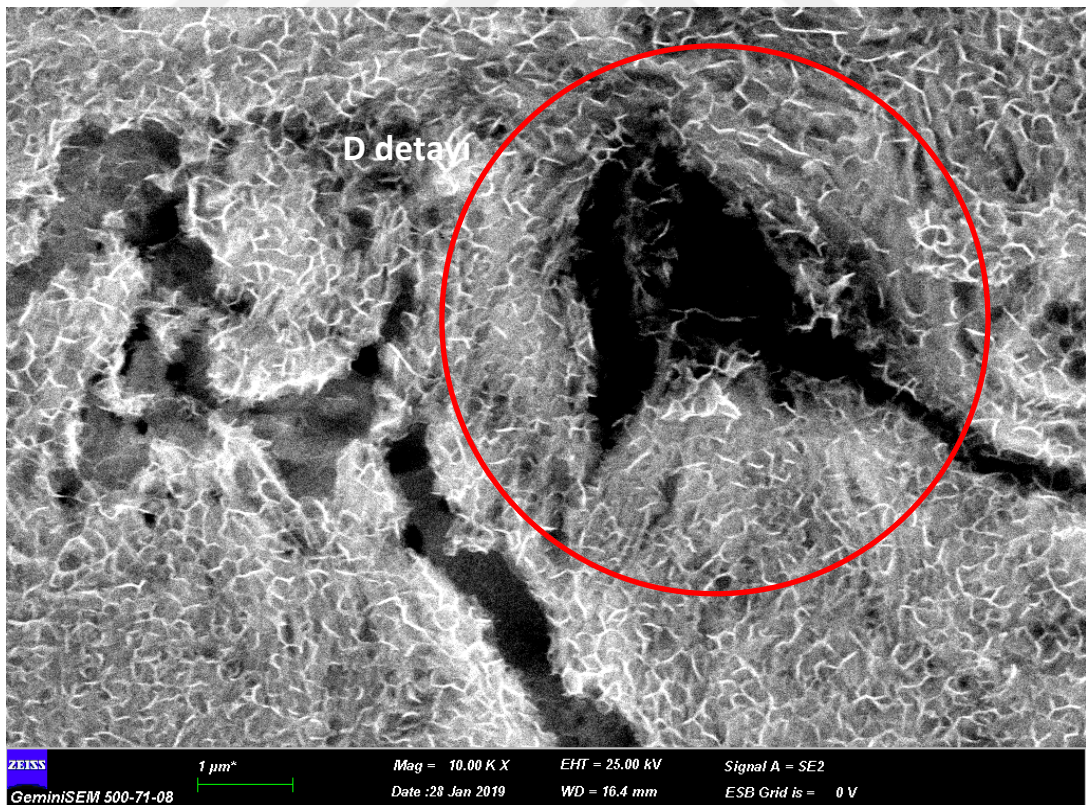
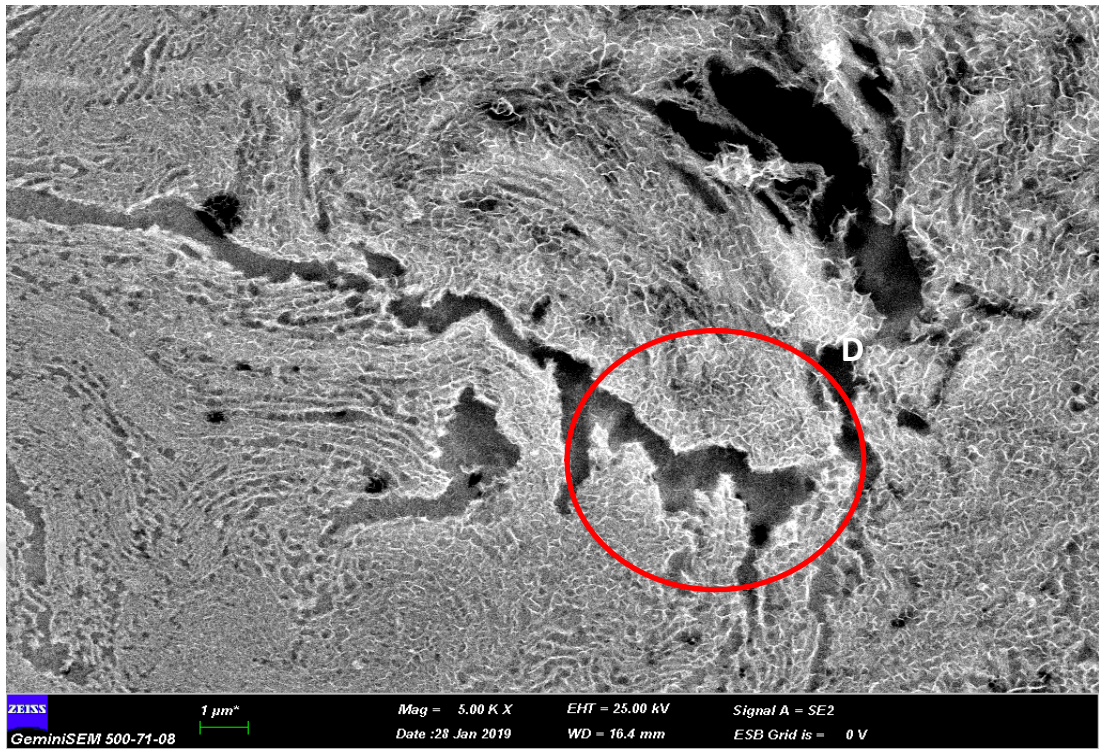


Şekil 3.7.2. 5.50 mm Çapında %0.65C'lık Bir Çelik Filmanın Farklı Bölgelerinin İç Yapısı

Şekil 3.7.3 ve Şekil 3.7.4'de ise çekim öncesi iç yapısı incelenen filmaşından çekilen 2.20 mm çapında bir tele ait iç yapı görüntüleri mevcuttur.



Şekil 3.7.3. 2.20 mm Çapında %0.65C'luk Bir Çelik Telin Farklı Bölgelerinin İç Yapısı



Şekil 3.7.4. 2.20 mm Çapında %0.65C'lık Bir Çelik Telin Farklı Bölgelerinin İç Yapısı-2

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

#### 4.1. Tartışma-Sonuç

Yapılan çalışmalar ve denemelerin neticesinde tel çekme prosesi birden fazla girdinin bulunduğu ve bu girdilerin her birinin optimum çalışma şartlarına doğrudan etki ettiği bir soğuk şekillendirme prosesidir. Tüm girdilerin prosese en önemli etkisi sürtünmeye bağlı sıcaklık oluşumudur. Proses esnasında oluşan sıcaklıklar çekim prosesinin verimliliğinden üretilen nihai telin kalitesine kadar pek çok noktaya doğrudan etkide bulunur. Bu nedenle bu proseste yapılacak her türlü iyileştirmelerin oluşacak sıcaklıkları kontrol altına almaya yönelik yapılması gerekmektedir.

Literatürde yapılan farklı çalışmalarda tel çekme prosesi değişik açılardan ele alınmış ancak prosesin optimum şartlarının belirlenmesi üzerine yapılan deneysel çalışmaların ilerletilmesi ve pratik hayata uyarlanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında prosesi etkileyen parametrelerin optimum sınırları işletme koşullarına göre belirlenerek hayata geçirilmiş ve işletme bu kriterleri baz alarak proseslerini devam ettirmiştir.

Sürtünme kuvvetinin hiçbir zaman sıfırlanamayacağı gerçeği göz önünde bulundurularak proseslerdeki sürtünmeye bağlı sıcaklık oluşumunu azaltıcı ve oluşan sıcaklığın proses ve nihai ürün üzerindeki etkilerini azaltıcı sistemler geliştirilmelidir. Son yıllarda gelişen teknolojilerle birlikte makine soğutma sistemlerinin yanı sıra farklı üstün özellikler de sunan makine üreticileri bulunmaktadır. Bu doğrultuda geliştirmeler yapılması sektörde önemli bir yere sahip olan soğuk şekillendirme ile üretim yapan tesislere önemli faydalar sağlayacaktır.

Tel çekme prosesi tezin ilk bölümlerinde sıralanmış maddeler baz alınarak değerlendirilmiştir. Bu başlıkların proses üzerine etkileri nitel ve nicel değerler ile ortaya koyulurken telin işlenebilirlik adımı performans ölçümleri nicel olarak

ölçülebildiğinden öne sürülen önemli parametrelerin telin çalışma performansı üzerine doğrudan değil dolaylı yoldan etki ettiği düşünülmektedir. Bu konu halen araştırılmaktadır.

Çeliğin ihtiva ettiği C miktarı değişmediğinde hammaddenin mukavemetinde ve sertliğinde değişimler olmayacaktır. Bu durumda bu hammaddeden çekilen tel için de aynı durum beklenecektir. Ancak tel çekim prosesinde mukavemet ve sertliğe etki eden diğer parametreler olan redüksiyon oranı ve sıcaklık artışları bu durumu değiştirmektedir. Bu bağlamda teorideki sonuçlar ile pratik sonuçların benzerlik seviyesi tel çekim prosesindeki girdilerin ne derecede kontrol altına alındığı ile ilgili olacaktır.

Tel çekme prosesinin iç yapı üzerinde sıcak prosesler kadar etki etmeyeceği öngörüsü ile yapılan mikro yapı incelemeleri de beklendiği gibi sonuçlanmıştır. Çekilen telin iç yapısı genel itibari ile düzgün bölgelerden oluşmaktadır.

Bu çalışmada yapılan sonuçlar göstermiştir ki prosesteki optimum çalışma koşullarının belirlenmesi durumunda maksimum verimde bir tel çekme prosesi gerçekleştirebilir. Bu konuda geliştirmeler ve iyileşmeler gelişen teknolojiye paralel olarak değişecek ve ilerleyecektir.

#### **4.2. Öneriler**

Değişken makine hızlarının tel çekme prosesinde açığa çıkan sıcaklığa etkisini görebilmek adına 5.50 mm, %0.65C'luk bir filmaşından 2.20 mm ve 2.38 mm çaplarında teller 17, 18, 19, 20, 21 ve 22 m/s olmak üzere 6 farklı hızda çekilmiş ve tambur çıkışından tel sıcaklığı ölçümleri yapılmıştır. Bu sonuçlar artan hızın oluşan sıcaklığı da artırdığını göstermiştir. Ölçümler tel çekme kalıbı çıkışından alınmamıştır. Bunun sebebi kapalı sistem çalışan makinelerde ölçüm alınabilecek gözlem pencerelerinin bulunmamasıdır. Daha hassas proseslerde, örneğin otomotiv sektörü için çekilen tellerde, net sonuçlar alabilmek adına makinelere gözlem pencereleri açılarak termal kameralar yardımı ile tel çekme kalıbı çıkışından veriler alınarak sonuçlar yeniden değerlendirilmelidir.

Tel çekme prosesi sırasında açığa çıkan sıcaklıklar aynı zamanda tel çıkış mukavemetini de doğrudan etkilemektedir. Bu savı ispatlamak adına 5.50 mm, %0.65C'luk bir filmaşından 2.20 mm ve 2.38 mm çaplarında tellerin farklı sıcaklıklarda üretilmiş ve üretilen tellerin mukavemetleri tek eksenli çekme cihazı olan Zwick Roell yardımı ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Telin çıkış mukavemeti sürtünmeden ileri gelen sıcaklık artışı ile belli bir sınır sıcaklık değerine kadar artarken, sıcaklığın sınır değer üzerine çıkması ile ani artışlar göstererek kırılma veya çapta sünmeye(kesit daralmasına) neden olmaktadır. Bu bilgiler ışığında denemelerin yapıldığı işletme şartları için belirlenen çaplarda sınır sıcaklık değeri 120 °C olarak ölçülmüştür. Bu değer işletmede kullanılan makine tipinden kullanılan diğer ekipmanların farklı olması durumuna göre değişkenlik göstereceğinden her işletme kendi optimum değerlerini bu bakış açısı ile belirlemelidir.

Hadde (tel çekme kalıbı) seçimi prosese etki eden en önemli parametrelerin başında yer almaktadır. Temelde benzer geometriye sahip, farklı imalatçılar tarafından üretilen haddelerle tel çekimi yapılmış ve haddelerin 24 saatlik çalışma sonucu iç geometrilerindeki değişimler ve yüzey aşınmaları incelenmiştir. Bunun yanı sıra işletme bünyesindeki hadde rektifiye atölyesinde yapılan haddeler de proses dahil edilerek performans kıyaslamaları yapılmıştır. Tüm bu deneme çalışmalarının çıktısı olarak hadde büyüme (aşınma) süreleri, proseste oluşan sıcaklıklar ve üretilen tellerin sonraki proseslerde kullanımı kayıt altına alınmıştır. Farklı haddelerle yapılan bu çalışma neticesinde alınan sonuçlar haddelerin prostesteki önemini ortaya koymuştur. İşletmelerde bilhassa hadde rektifiye işlemleri yapılıyorsa yapılan işlemin doğru adımlardan geçtiği kontrol edilmeli ve üretim kalitesini doğrudan etkileyen bu parametre kontrol altına alınmalıdır.

Tel çekme prosesi öncesi filmaşını çekime hazırlamak adına yapılan fosfat kaplama işlemi de hem hadde ömrü açısından hem de tel performansı açısından önem arz etmektedir. Bu önemi ortaya koyabilmek ve optimum fosfat kaplama kalınlığı değerini tespit edebilmek adına 5.50 mm %0.65C'luk filmaşınların yüzeyleri 8.09, 8.53, 9.56, 5.03, 7.12 ve 4.93 g/mm<sup>2</sup> olmak üzere 6 farklı kalınlıkta kaplanmıştır. Makine üreticileri tarafından tavsiye edilen kaplama kalınlığı aralığı 8-12 g/mm<sup>2</sup>'dir. 8 g/mm<sup>2</sup>'nin altında ve 8 ila 12 g/mm<sup>2</sup> aralığında yapılan kaplama işlemi sonucunda tellerin çekimi esnasında haddelerde meydana gelen büyüme ve yüzey aşınmaları gözlemlenmiştir. Düşük

kaplama kalınlığına sahip filmanın haddeleri kısa sürede aşındırdığı görülürken kaplama kalınlığı arttıkça hadde ömrünün uzadığı görülmüştür. Yapılan gözlemler sonucu bu işletme için optimum kaplama kalınlığının 8-10 g/mm<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma Uluslararası bir sempozyum olan Serbia Trib'17' de sunulmuştur. Yüksek karbonlu çelikler için belirlenmiş olan 8-12 g/mm<sup>2</sup> kaplama kalınlığı çekilecek telin kullanım alanına göre değişkenlik gösterebilir. Bu değişkenlik işletme şartlarına göre yapılacak denemelerle tespit edilmelidir.

Redüksiyon olarak adlandırılan haddeler arası çap düşme oranları da tel kalitesinde etkin rol oynayan bir diğer parametredir. Redüksiyon oranının mukavemetle olan ilişkisini ortaya koyabilmek adına 2.18 mm %0.65C'luk bir tel çekimi için farklı redüksiyon oranlarında üretilen haddelerle teller çekilmiş ve çıkan bu tellerin mukavemetleri ölçülmüştür. Redüksiyon oranının çıkış haddelerine doğru azaldığı bir seride tel mukavemetinin de çıkışa doğru arttığı alınan verilerle grafiğe dökülmüş ve redüksiyon oranı ile mukavemet arasındaki ters orantı ilişkisi bulunmuştur. Doğru bir tel çekme prosesi için redüksiyon oranları belli periyotlarda kontrol edilmelidir.

Yağlayıcı toz sabunların prosese etki ve katkılarını nicel olarak ortaya koyabilmek adına farklı üreticilerden temin edilmiş benzer karakteristikteki yağlayıcılarla prosesteki diğer tüm değişkenler sabit tutulmak şartıyla oluşan sıcaklıklar tambur çıkışından ölçülmüştür. A firması sabunu ile yapılan çekim prosesi sonrası tel sıcaklığının B prosesine kıyasla 20-25 °C fazla olduğu görülmüştür. Bu fark iki tel arasında bariz bir kalite farkı doğuracak mertebededir. Gelişen teknoloji ile birlikte üretilen fonksiyonel yağlayıcılar takip edilerek çalışma performansı daha iyi yağlayıcılar takip edilerek prosese dahil edilmelidir.

Soğuk şekillendirme metotlarından biri olan tel çekme prosesinde çekim işleminin iç yapı üzerinde sıcak proseslere kıyasla büyük etkileri olmayacağı düşünülmektedir. Yine de prosesin iç yapı üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek adına 5.50 mm %0.65C'luk bir filmaşinden 2.20 ve 2.38 mm çaplarında teller çekilmiş ve çekim öncesi filmanın iç yapısı ile çekim sonrası tellerin iç yapısı SEM aracılığı ile incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucu beklendiği gibi yapıda ciddi değişimler olmamıştır. Filmaşinden kaynaklı döküm hataları Sem ile görülürken çekim işlemi sonrası yapıda değişkenlik olmadığı analiz edilmiştir. Benzer çalışma, proseste yaşanan herhangi bir probleme de

uyarlanarak iç yapıdaki değişimler gözlenebilir. Örneğin ani sıcaklık yükselmesine bağlı kırılmaların olduğu bir proste sıcaklığın yükseldiği bölgeden numune alınarak iç yapı incelemesi yapılabilir.



## KAYNAKÇA

1. Gifford, R.B., 2000, An Investigation Of Product Quality Modification Capabilities During Wire Drawing, **Theses and Dissertations**
2. Kesti, E., 2009, C- 4140 Çeliğinin Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi
3. Oğuz, B. ,1985, Karbonlu Ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, **Oerlikon Yayını**
4. Bodur, H., 1975, Metallere Plastik Şekil Verme Usulleri, **Birsen Kitabevi Yayınları**
5. Güzey, A., 2009, Demirsel Tellerin Üretim Sürecinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi
6. Eker, A.A., 2009, **Yıldız Teknik Üniversitesi Korozyon ve Koruma Ders Notu**
7. Gandy, D., 2007, **Carbon Steel Handbook**
8. Varol, R., 1995, Az Karbonlu Çeliklerde Tel Çekme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, **SDÜ Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 23-29, Isparta**
9. [http://www.osmanli-bohler.com/upload/pdf/teknik\\_bilgiler/Takim\\_Celikleri.pdf](http://www.osmanli-bohler.com/upload/pdf/teknik_bilgiler/Takim_Celikleri.pdf), Erişim tarihi: 12.06.2019
10. Yılmaz, M., 2005, Failures During the Production and Usage of Steel, **Journal of Materials Processing Technology**
11. Kim, T.H., 1997, Prediction of die Wear in the Wire-drawing Process, **Journal of Materials Processing Technology, Volume 65, Issues 1–3, March 1997, Pages 11-17**
12. <https://www.mflgroup.com/>, Erişim tarihi: 12.06.2019
13. Ünseren, M., 2006, Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Sayfa 43-44
14. <http://www.metalurjik.net/tag/haddeleme-nedir>, Erişim tarihi: 12.06.2019
15. Ünseren, M.,2006, Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi Sayda 51

16. Newbury, B.D, 2004, The History and Evolution of Wire Drawing Techniques, **The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society, Pages 33-37**
17. <http://www.sampspa.com/blog/the-origins-of-wire-technology-part-1/> , Erişim tarihi: 12.06.2019
18. <http://melissamanleystudios.blogspot.com.tr/2013/09/viking-knit.html> , Erişim tarihi: 12.06.2019
19. Persson, L.E., 2005, A short History of Wire Drawing, **Wire Industry, Pages 387-390**
20. <https://atlantic-cable.com/CableCos/RichardJohnson/richard%20johnson%20and%20nephew%20ltd.pdf> , Erişim tarihi: 12.06.2019
21. Balin, B., 2004, Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi
22. Şenyürek, Ü., 2002, Tel Çekme Prosesi ve İnküzyon Hasarları, **SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6.Cilt, 3.Say1**
23. Eker, A.A., 2009, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, **Malzeme ve İmalat Teknikleri Ders Notu**
24. Callister, W.D., Material Science and Engineering, **An Introduction ,7 th.Edition**
25. Alkan, H., 2017, Effect of Coating Thickness on Die Wear, **Serbia Trib'17**
26. Ay, İ., 10992, **İmalat Yöntemleri II Ders Notu**
27. Verlag, S., 2018, Monitoring and Evaluation of the Wire Drawing Process Using Thermal Imaging, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**
28. Larsson, J., 2013, Monitoring of the Wire Drawing Process, **Wire Association International Annual Convention Conference Paper**

29. Lee, J.W., 2004, Evaluation Of Microstructures And Mechanical Properties Of Chromized Steels With Different Carbon Contents, **Surface and Coatings Technology, Volumes 177–178, Pages 525-531**
30. TS EN ISO 16120-2 standartları
31. TS EN ISO 16120-4 standartları
32. <https://www.metabunk.org/attachments/174413923-28247782-carbon-steel-handbook-pdf.4544/> [11]
33. Gandy, D., 2006, Carbon Steel Handbook, **Electric Power Research Institute, Pages 4-19**
34. Pineau, A., Benzerga, A.A., Pardoën, T., Failure of metals I: Brittle and Ductile Fracture, **Acta Materialia, Volume 107, 1 April 2016, Pages 424-483**
35. Şap, E., 2012, Kobalt Esaslı Alaşımların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Ti ve Mn İlavesinin Etkisinin İncelenmesi, **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 9, No: 3, 2012**
36. Coşar, İ., 2000, Az Alaşımlı Karbon Çeliği Beton Çubuklarının Sürünme Davranışları ve Mikroyapısal Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi
37. [www.haddemetal.com](http://www.haddemetal.com), Erişim tarihi:12.06.2019
38. Hwang, J., 2015, Effect of Reduction of Area on Microstructure and Mechanical Properties of Twinning-Induced Plasticity Steel During Wire Drawing, **Metals and Materials International, Volume 21, Issue 5, pp 815–822**
39. Wentorf, J., 1974, Composite wire drawing dies, **United States Patent**
40. <https://www.vassena.it/index.php/en/production/dies-and-pressure-dies> , Erişim tarihi: 12.06.2019
41. <https://www.bremer-willi.de/o-050-650-mm.html> , Erişim tarihi: 12.06.2019

42. Suliga, M., 2016, The Influence Of Lubricant Carrier And Lubrication Conditions On Mechanical-Technological Properties Of High Carbon Steel Wires, **METALURGIJA 55 (2016) 4, 651-654**
43. Marrel, V., 2007, Wire Drawing Soap Lubrication: Principles And Factors Affecting Selection, **Condat Corporation**
44. Muskalski, Z., 2014, Selected Problems From The High-Carbon Steel Wire Drawing Theory And Technology, **Archives of Metallurgy and Materials, Volume 59 -Issue 2, Page 527-535**
45. Vega, G., 2009, Temperature Effects On Wire-Drawing Process: Experimental Investigation, **International Journal of Material Forming**
46. Domiaty, E.A., Kassaab, S.Z., 1998, Temperature Rise in Wire Drawing, Journal of Materials Processing Technology, **Page 72-83**
47. Salcedo, D., 2010, Analysis of Residual Stresses in Wire Drawing Processes, **14th International Research/Expert Conference**
48. Byon S.M., Lee, S.J., Lee, D.W., Lee, Y.H., Lee, Y., 2011, Effect Of Coating Material and ubricant On Forming Force And Surface Defects In Wire Drawing Process, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**
49. Felder, E., Levrau, C., Mantel, M., Truong Dinh, N.G., 2011, Identification Of The Work of Plastic Deformation and The Friction Shear Stress in Wire Drawing, **Article**
50. Haddi, A., Imad, A., Vega, G., 2011, Analysis of Temperature and Speed Effects on The Drawing Stress for Improving the Wire Drawing Process, **Materials and Design**
51. Kyung Hun, L., Sang Kon, L., Byung Min, K., 2012, Advanced Simulation of Die Wear Caused by Wire Vibrations During Wire-Drawing Process , **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**

52. Moon, C., 2012, Analysis of Wire-Drawing Process With Friction and Thermal Conditions Obtained by Inverse Engineering, **Journal Of Mechanical Science And Technology**
53. Tittel, V., Zelenay, M., 2012, Effect of Drawing Angle Size Of A Die On Wire Drawing and Bunching Process, **International Conference on Metallurgy and Materials-Metal**
54. Kawagishi, Y., 2013, Wear of Cemented Carbide Dies for Steel Cord Wire Drawing, **Materials Transactions, Vol. 54, No. 10 (2013) Page 2011 to 2017**
55. Kumar,P., Agnihotri, G., 2013, Cold Drawing Process –A Review, **International Journal of Engineering Research and Applications**
56. Hassan, A.K.F., 2015, Three Dimensional Finite Element Analysis of Wire Drawing Process, **Universal Journal of Mechanical Engineering**
57. Gillström, P., Jarl, M., 2006, Wear of Die After Drawing of Pickled or Reverse Bent Wire Rod , **Örebro University, Department of Technology**
58. Arslan, Ç., Güzey, A., 2012, Tensile Properties of Cold-Drawn Low-Carbon Steel Wires, **Materials and technology 47 (2013) 2, 245–252**
59. Chandramouli, R., 2014, Aspects of Wire Drawing and Tube Drawing, **Associate Dean-Research SASTRA University**

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Hülya ALKAN

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 06 Ağustos 1989, Ankara

Medeni Durumu: Evli

E-posta: [hulya0alkan@gmail.com](mailto:hulya0alkan@gmail.com)

### EĞİTİM

Lisans	Erciyes Üni., Müh.Fak., Mak. Müh.	2012
Lise	Kalaba Lisesi, Ankara	2007

### İŞ DENEYİMLERİ

Has Çelik ve Halat San. Tic. A.Ş.	Planlama Mühendisi	2012-2014
Boyçelik ve Metal San. Tic. A.Ş.	Üretim Mühendisi	2014-2017
Orta Anadolu Mensucat	Ür-Ge Mühendisi	2017-Halen

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR

1. Bildiri- Effect of coating thickness on die wear- Serbia Trib'17