



**ÇELİK HASIR İÇİN ÜRETİLEN SOĞUK  
HADDELEME İŞLEMİ UYGULANARAK  
İNCELTİLİP NERVÜRLENDİRİLMİŞ  
ÇUBUKLARIN TEORİK VE MEKANİK ANALİZİ**

**2024  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Halil ER**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**ÇELİK HASIR İÇİN ÜRETİLEN SOĞUK HADDELEME İŞLEMİ  
UYGULANARAK İNCELTİLİP NERVÜRLENDİRİLMİŞ ÇUBUKLARIN  
TEORİK VE MEKANİK ANALİZİ**

**Halil ER**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**KARABÜK  
Haziran 2024**

Halil ER tarafından hazırlanan “ÇELİK HASIR İÇİN ÜRETİLEN SOĞUK HADDELEME İŞLEMİ UYGULANARAK İNCELTİLİP NERVÜRLENDİRİLMİŞ ÇUBUKLARIN TEORİK VE MEKANİK ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

.....

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25.06.2024

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Yahya ALTUNPAK (BAİBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Halil ER

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ÇELİK HASIR İÇİN ÜRETİLEN SOĞUK HADDELEME İŞLEMİ UYGULANARAK İNCELTİLİP NERVÜRLENDİRİLMİŞ ÇUBUKLARIN TEORİK VE MEKANİK ANALİZİ**

**Halil ER**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Endüstriye Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**Haziran 2023, 74 sayfa**

Bu çalışmada, SAE 1008 kalite filmaşın malzeme kullanılarak soğuk haddeleme işlemine tabi tutulmuş ve farklı çaplarda nervürlü çubuk elde edilmiştir. Elde edilen çubukların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme testleri yapılmıştır. Mekanik testler sonucunda, %10'a kadar yapılan çap inceltme ile elde edilen nervürlü demirlerin TS4559 çelik hasır standardına (max. Çekme gerilmesi  $\geq 550 \text{ N / mm}^2$  ve max akma gerilmesi  $\geq 500 \text{ N / mm}^2$ ) göre yeterli mekanik özelliklere sahip olmadığı, daha yüksek çap inceltmelerde yeterli mekanik özelliklerin elde edildiği görülmüştür. Bu çubuklar daha sonra çelik hasır kaynak makinası kullanılarak kaynak yapılmış ve bu punta kaynak noktalarının etkisini incelemek için kaynaklı çubuklara çekme testi uygulanmıştır. Çekme test sonuçlarına göre %10 ve üzerinde çap inceltme ile elde edilen nervürlü demirlerin kaynaklı hali de yeterli mekanik özellik göstermiştir. Ayrıca kaynak esnasında nervürlü demirde oluşan sıcaklık dağılımını incelemek amacıyla

ANSYS WORKBENCH programında termal analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde kaynak bölgesinde kaynak sıcaklığı 1821 °C olduğu, sıcaklığın nervürlü demirin kaynak bölgesinden yaklaşık 3 mm uzaklıkta 246 °C'ye düştüğü görülmüştür. 50 mm uzaklıkta ise ısı miktarı ise 22 °C'ye düştüğü görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Soğuk haddeleme, Punta kaynak ve mekanik özellikler.

**Bilim Kodu** : 10611063

## **ABSTRACT**

**Master Thesis**

### **THEORETICAL AND MECHANICAL ANALYSIS OF THINNED AND RIBBED BARS PRODUCED BY COLD ROLLING PROCESS FOR STEEL MESH**

**Halil ER**

**Karabuk University  
Institute of Postgraduate Education  
Department of Industrial Design Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**June 2024,73 page**

In this study, SAE 1008 grade wire rod material was subjected to cold rolling process and ribbed bars of different diameters were obtained. Tensile tests were performed to determine the mechanical properties of the obtained bars. As a result of the mechanical tests, it was seen that the ribbed bars obtained with diameter thinning up to 10% did not have sufficient mechanical properties according to TS4559 steel mesh standard (max. tensile stress  $\geq 550$  N / mm<sup>2</sup> and max yield stress  $\geq 500$  N / mm<sup>2</sup>), while sufficient mechanical properties were obtained at higher diameter thinning. These bars were then welded using a steel mesh welding machine and a tensile test was applied to the welded bars to examine the effect of these spot welding points. According to the tensile test results, ribbed bars obtained with 10% or more diameter reduction also showed sufficient mechanical properties in the welded state. In addition, thermal analysis was carried out in ANSYS WORKBENCH program in order to examine the

temperature distribution in the ribbed iron during welding. When the results of the analysis were examined, it was seen that the welding temperature was 1821 °C in the welding zone and the temperature decreased to 246 °C at a distance of about 3 mm from the welding zone of the ribbed iron. At a distance of 50 mm, the amount of heat decreased to 22 °C.

Keywords : Cold rolling, spot welding and mechanical properties.

Science Code : 10611063



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında beni büyük bir özveri ve bilgi birikimiyle yönlendiren, araştırma sürecimdeki her adımda ilgi ve destek sunan kıymetli hocam Prof. Dr. Mustafa Yaşar'a içtenlikle minnettarlığımı ifade etmek isterim. Sayın hocamın derin bilgi ve tecrübeleri, çalışmamın bilimsel temellerle güçlenmesine büyük katkı sağlamıştır.

Tez çalışmamda büyük katkıları olan kıymetli bilgisini ve vaktini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Nizamettin Kahraman'a minnet ve şükranlarımı sunarak teşekkür ederim.

Üretim çalışmalarımı ve tez çalışmalarımı bir büyük olarak destekleyen Sayın Yağmur Doğan'a ve tüm Dofer Yapı Malzemeleri A.Ş. çalışanlarına ve ekibime teşekkür ederim.

ANSYS çalışmalarımda bana yardımcı olan Numesys İleri Mühendislik firmasında çalışan Buğra Çakar'a minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Ayrıca, manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme kalbimden teşekkür ediyorum. Onların sevgi dolu desteği, bu tez çalışmasının her zorluğunu aşmamda ve başarıya ulaşmamda benim için en büyük güç kaynağı oldu. Her birine şükranlarımı sunarak, bu yolculukta yanımda oldukları için minnettarlığımı ifade etmek isterim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
KISALTMALAR .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	2
2.1. LİTERATÜR.....	2
2.2. SOĞUK HADDELEME .....	5
2.2.1 Soğuk Hadde Düzeni .....	10
2.2.2. Yakma Alın Kaynağı .....	12
2.2.3. Filmaşın Yerleştirme .....	13
2.2.4. Tufal Kırıcı .....	16
2.2.5. Sabunlama .....	18
2.2.6. Ezme Haddeme ve Nervürlüme.....	20
2.2.7. Ebatlama ve Kesme .....	24
BÖLÜM 3 .....	27
3.1. KULLANILAN MALZEME TANITIMI .....	27
3.2. ÜRETİM PROSESLERİ .....	29
3.3. MEKANİK TEST PROSESLERİ.....	31
3.3.1. Çekme Deneyi.....	31
3.3.2. Akma Gerilmesi ve Çekme Gerilemesi .....	35

BÖLÜM 4 .....	36
SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR .....	36
4.1. ÇEKME TESTİ ANALİZİ .....	36
4.2. ÇELİK HASIR ÜRETİMİ .....	48
4.3. ÇELİK HASIR KAYNAK DÜĞÜM NOKTASI ANALİZİ .....	58
4.4. TEORİK MODELLEME .....	62
BÖLÜM 5 .....	68
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	68
KAYNAKLAR .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	73

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Filmaşın görüntüsü .....	7
Şekil 2.2.	Soğuk çekme haddeleme tipi .....	7
Şekil 2.3.	Soğuk hadde filmaşın girişi ve çıkışı görüntüsü.....	8
Şekil 2.4.	Kalın sac haddeye girişi ve inceltmiş olarak çıkış şekli .....	8
Şekil 2.5.	Nervürlü tabaklarda nervürlü çubuk oluşumu haddelemeden çıkışı .....	9
Şekil 2.6.	3 Eksende nervürlüme tabaklarının genel görünüşü.....	10
Şekil 2.7.	Soğuk haddeleme makinası genel görünümü .....	12
Şekil 2.8.	Uç kaynak makinası görünümü .....	13
Şekil 2.9.	Uç kaynak makinası kaynaklama yapım esnasında bir görüntü.....	13
Şekil 2.10.	Filmaşın kulesi genel görünümü.....	14
Şekil 2.11.	Filmaşın kulesi genel görünümü.....	15
Şekil 2.12.	Soğuk haddeleme filmaşın grubu ve filmaşın kuleleri .....	15
Şekil 2.13.	Soğuk haddeleme önce filmaşın tufal kırıcı görünümü .....	17
Şekil 2.14.	Soğuk haddeleme önce filmaşın tufal kırıcı bölümü genel görünümü.	17
Şekil 2.15.	Çubuğun boyun vererek kopması .....	19
Şekil 2.16.	Soğuk haddeleme öncesi sabunlama makinası genel görünümü.....	19
Şekil 2.17.	3 Eksende nervürlü tabaklardan bir görünüm.....	21
Şekil 2.18.	Soğuk haddeleme tabakları düzenleme ve yerleştirme için kullanılan kaset takımlarına ait görüntü.....	22
Şekil 2.19.	Kaset takımlarından bir görünüm .....	23
Şekil 2.20.	Soğuk haddeleme nervürlü çubukların çıkış anında görüntüsü .....	24
Şekil 2.21.	Soğuk haddeleme makinası genel görünümü .....	25
Şekil 2.22.	Soğuk haddelemede kesilmiş çubukların biriktirme ve istif yapılan kısma ait görüntü .....	26
Şekil 3.1.	Çekme test cihazı .....	34
Şekil 4.1.	8 mm filmaşın gerilim-uzama grafiği .....	36
Şekil 4.2.	6,5 mm nervürlü çelik çubuk gerilim-uzama grafiği .....	37
Şekil 4.3.	Nervürlü hasır çubuğunun çekme testinden sonra fotoğrafı.....	38
Şekil 4.4.	Nervürlü çelik hasır çubuğu.....	38
Şekil 4.5.	Nervürlü çelik çubuğu numune alma.....	38

Şekil 4.6.	8 mm filmaşın kullanılarak elde edilmiş nervürlü çubuklarda deformasyon arttıkça akma miktarındaki artışı gösteren grafik .....	41
Şekil 4.7.	8 mm filmaşın kullanılarak elde edilmiş nervürlü çubuklarda deformasyon arttıkça akma mukavemetindeki artışı gösteren grafik .....	42
Şekil 4.8.	9 mm filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon arttıkça akma mukavemetlerini gösteren grafik.....	44
Şekil 4.9.	9 mm filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon arttıkça akma miktarındaki artışı gösteren grafik.....	45
Şekil 4.10.	8 mm ve 9 mm filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon oranları ile kopma mukavemetlerini gösteren grafik .....	47
Şekil 4.11.	8 mm ve 9 mm filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon oranları ile uzama miktarındaki azalmayı gösteren grafik .....	48
Şekil 4.12.	Hasır kaynak makinası en çubuk haznesine ait bir görüntü.....	50
Şekil 4.13.	Hasır kaynak makinası en çubuk atma mekanizmasına ait görüntü .....	51
Şekil 4.14.	Hasır kaynak makinası kaynak elemanlarına ait bir görüntü.....	52
Şekil 4.15.	Hasır kaynak makinası genel görünümüne ait bir fotoğraf.....	52
Şekil 4.16.	Kaynak elemanları ile nervürlü çubukların pozisyonlarını gösteren çizim .....	55
Şekil 4.17.	Akıllı kaynak kontrol sistemi akış şeması .....	57
Şekil 4.18.	Kaynak düğüm noktası kopma verileri karşılaştırılması. ....	61
Şekil 4.19.	Punta kaynak süreci .....	63
Şekil 4.20.	Birleşik kaynak geçişleri ile akım yüklemesi sonucu nervürlü demirlerde oluşan sıcaklık dağılımı ve meshlerde oluşan değişim.....	64
Şekil 4.21.	Punta kaynağı esnasında sıcaklık dağılımı .....	65
Şekil 4.22.	Punta kaynağı esnasında belirli noktalardaki sıcaklıklar .....	66
Şekil 4.23.	Alt ve üst elektrot birebir ölçü ve çizimi.....	67

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Filmaşın Kimyasal Analiz Oranları.....	27
Çizelge 3.2.	SAE J403 İlgili Standartlarından Bir Bölüm.....	28
Çizelge 3.3.	Filmaşın Muayene Sonucu Mekanik Özellikleri.....	28
Çizelge 4.1.	8 mm filmaşın deney sonuçları .....	36
Çizelge 4.2.	6.5 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.....	37
Çizelge 4.3.	8 mm filmaşın deney sonuçları .....	39
Çizelge 4.4.	7 mm nervürlü çubuk deney sonuçları .....	39
Çizelge 4.5.	8 mm filmaşın deney sonuçları .....	40
Çizelge 4.6.	7,5 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.....	40
Çizelge 4.7.	9 mm filmaşın deney sonuçları .....	42
Çizelge 4.8.	8 mm nervürlü çubukların deney sonuçları .....	43
Çizelge 4.9.	9 mm filmaşın deney sonuçları .....	43
Çizelge 4.10.	8,5 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.....	44
Çizelge 4.11.	6 mm filmaşınların deney sonuçları .....	46
Çizelge 4.12.	5,50 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.....	46
Çizelge 4.13.	TSE laboratuvar sonuçlarına göre alınmış olan kaynak noktalarının kopma mukavemet değerleri .....	59
Çizelge 4.14.	6,5 mm çelik hasır düğüm noktası kopma kuvveti .....	61
Çizelge 4.15.	6,5 mm çelik hasır düğüm noktası kopma kuvveti .....	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

C	: karbon
Mn	: mangan
Si	: silisyum
P	: fosfor
Al	: alüminyum
Ar	: argon
Cu	: bakır
H <sub>2</sub>	: hidrojen
He	: helyum
Ni	: nikel
$\sigma$	: normal gerilme
$\sigma_c$	: tek eksenli basınç dayanımı

## **KISALTMALAR**

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

SAE : Society of Automotive Engineers

TS : Türk Standardı

TSE : Türk Standartları Enstitüsü



# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Dairesel kesitli bir ürün olarak sıcak haddeleme yöntemi ile ergitilerek içerisine farklı oranlarda karbon (C), silisyum (Si), mangan (Mn), fosfor (P), azot (N), alüminyum (Al) gibi elementlerin yapısına katılarak kangal diyerek adlandırılan bobin şeklinde sarılarak farklı özelliklerde elde edilen sıcak haddeleme ürününe ‘‘ filmaşın ‘‘ olarak isimlendirilir. Filmaşınlar içeriğinde bulunan elementlerin oranlarına göre farklı mekanik özellik göstermektedir. Bu filmaşınların adlandırılması ve kodlara bölünmesinin başlıca sebebi ise içeriğinde bulunan karbon miktarıdır. SAE 1008\_\_00 koduyla belirtilen filmaşınların içeriğinde maksimum %0,10 oranında karbon bulunmaktadır.

Soğuk çekme işlemi farklı yöntemler ile farklı metotlar ve haddeleme sistemi ile uygulansa da Çelik hasır nervürlü çubuğu üretimi 3 adet nervür disklerinin 120 derece açıyla birleşimi ve bu birleşim yerinden ezme ve çekme işlemi birlikte uygulanarak yapılmaktadır. Kullanılan filmaşınların kesitinde daralma meydana gelirken bir yandan da düz olan yüzeye nervür basılarak yüzey alanı artırılmış olur. Bu soğuk haddeleme yöntemi malzemeyi deformasyona uğratarak dislokasyonların artmasıyla tane yapısı yassılaşılarak sertleşme ve mukavemet artışı meydana gelmiş olmaktadır. Filmaşınlara kıyasla yaklaşık uygulanan soğuk haddeleme oranlarına değişiklik göstermesine rağmen %40 çekme mukavemeti artarken, akma mukavemetleri %60 varan oranlarla artmaktadır. Uzama miktarı ise %40 ile %100 oranlarında değişen haddeleme oranına bağlı olarak filmaşınlerde düşüş görünmektedir.

Kaynaklanabilirlik özelliği soğuk çekmeden elde edilmiş nervürlü çubukların düğüm noktalarındaki kopma dayanımlarının hesaplanan değerleri ile karşılaştırılarak gözlenmiştir.

## BÖLÜM 2

### 2.1. LİTERATÜR

Şahin F., Çelikhane haddeleme proseslerini araştırarak sıcak haddeleme kalibrasyonlarını inceleyip uygun kalibrasyonlarda yapılan üretimin verimliliği arttırdığını gözlemlemiştir. Üretim esnasında tüm malzemelerin uygunluklarını gözlemlemiştir. Tüm mamuller için ideal bir kalibrasyon olduğunu dile getirmiştir [1].

Çarboğa C., cıvata ve makine elemanlarında soğuk haddeleme uygulama sonuçlarında pekleşmeden ötürü malzemenin sertliğinin arttığını ve en fazla kesit daralması kalıptan çıkış mukavemeti ile sınırlı olduğunu belirtmiştir, malzemenin akma gerilemesi ve kesit alanında hesaplamalar yaparak uygulanması gereken kuvvetin çekme kuvvetinden daha küçük olduğunu tespit etmiştir. Pekleşme sırasında dislokasyon hareketinin dislokasyonların kesişmesi veya bu hareketleri engelleyecek diğer etmenlerin ki bunlar tane sınırları ikinci faz ve inklüzyonlar ve benzerleri etmenler tarafından engellenmesi sonucu dislokasyonların yığılması ile gerçekleştiğini vurgulamıştır [2].

Altun K., soğuk haddeleme işleminde farklı tedarikçiler ile farklı oranlarda birleşime sahip ürünleri inceleyerek karbon miktarının arttıkça dayanımın arttığını % kesit daralmasının ise azaldığını gözlemlemiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda bakır oranındaki artışın çekilebilirliği azalttığını deneyler sonucu dile getirmiştir. Kopma türlerinden bahseden Altun gözlemlerini deneyler sonuçlarını bu çalışmada anlatmıştır [3].

Özer Ö., tel çekme işleminde nihai istenilen ürüne yönelik malzeme kullanılmasının sıcak dökümde oluşan hataların tel çekme işlemini doğrudan etkileyen bir faktör olduğunu matris açılarını ve tel çekme işleminden önce yüzey temizliğinin önemini anlatmıştır [4].

Dönmez G., soğuk haddeleme işleminde kademelerin artmasıyla mukavemetin arttığını ve aynı şekilde sünekliliğin ise azaldığını gözlemiştir. Deformasyon hızının etkilerinden bahsetmiş ve tel çekme hızlarının 150-1500 mm/s aralığında olduğu belirtilerek farklı malzemelerde kullanılarak uygulanan soğuk çekme işleminin sonuçları kıyaslamış ve elde ettiği farkları yorumlamıştır. Deformasyon sertleşmesi metal işleme prosesleri ve malzeme yapısı için önemli bir faktör olduğunu vurgulamıştır [5].

Çolak B., haddeleme kuvvetini etkileyen en büyük unsurun ezme oranı olduğunu ve ezme miktarındaki artışın haddeleme kuvvetini % oranıyla arttırdığını belirtmiştir [6].

Yılmaz Y., yaptığı bu çalışmada, soğuk haddeleme işleminde sertliğin arttığını çekme dayanımının arttığının ve sünekliliğin, aşınmanın ise azaldığını vurgulamıştır [7].

Başkaya A., soğuk haddelemede kullanılacak olan prosesin öncelikle işlenecek malzemenin çekme testi sonuçlarını ele alarak incelenip daha sonra nihai istenilen ürünün işlenecek olan malzemeye kıyaslanarak bir nümerik analiz yöntemiyle uygun haddeleme yöntemi seçilmesini amaçlamıştır [8].

Güzey A., % karbon miktarının arttıkça akma ve çekme mukavemetinin arttığını buna bağlı sertliğin arttığını söylemiştir. Soğuk deformasyon miktarı arttıkça akma dayanımı arttığını söylemiştir. Soğuk deformasyon arttıkça % kesit daralması miktarının azaldığı gözlemiştir [9].

Lin zhenlun, lin guozhen, liu xiuhuo, çelik hasırın Avrupa'da ve Çin'de gelişiminde bahsederek Çelik hasırın hızlıca yaygınlaşmasını tarihsel sürecini malzeme ve işçiliklerde %17 ile % 40 arasında tasarruf sağladığından bahsetmişlerdir [10].

Literatür taramasında yapılan araştırma sonucunda karbon miktarının artmasının akma ve çekme miktarının arttığı buna bağlı olarak sünekliliğin azaldığı ortak görüş ve yapılan deneylerle ispatları gösterilmiştir. Bu tezin konusu düz tellerin soğuk haddeleme uygulanarak belirli ebatlara düşürülerek nervürlendirilmesine daha sonra

nervürlü çelik çubukların ebatlanarak kaynak makinası yardımıyla belirli ölçü ve aralıklar ile kaynaklanma işlemlerinin araştırma konusuna rastlanılmamıştır. Bu çalışmamızda hem düz tellerin deformasyona uğratarak inceltilmesi ve bu durum sonucunda çubuğun mekanik özelliklerinde değişimleri deneyler ile araştırılması ve deformasyona uğratılmış ve nervür basılmış çeliklerin kaynaklanmasını araştıracağız.

Çelik hasır üretimi genellikle belirli bir prosese bağlı kalınarak ilerlemektedir. Bu prosesleri özetlemek gerekirse şu şekilde sıralanabilir.

1. Malzeme seçimi: çelik hasır imalatı için genellikle düşük karbonlu filmaşinler tercih edilmektedir. Düşük karbonlu ve kimyasal bileşenleri farklı olarak bulunan filmaşinlerin belirli kalite standartları mevcuttur. Çelik hasır üretiminde kullanılan SAE 1006 -1008 -1010 kalite filmaşinler mevcuttur. Bu kalite sınıflarından uygun hammadde seçilir. Bu seçim esnasında üretilecek olan Çelik hasır istenilen standartlar mukavemet ve soğuk haddeleme esnasında uygulanabilirlik göz önünde bulundurularak seçim yapılır.

- Düşük karbonlu Çelik
- Süneklik
- Soğuk şekillendirilebilirlik
- Kaynak kabiliyeti
- Maliyet

Malzeme seçimi etkileyen faktörlerdir.

2. Hammadde depolama: Projeye uygun olarak seçilen filmaşin üretim yerine getirilerek depolanır. Depolama esnasında alınan filmaşinin çap, kalite ve miktar bilgileri kayıt altına alınır. Depolama esnasında üretimde kullanılarak hammadde nem ve ıslak yerden uzakta kuru ve düz bir zemin üzerinde muhafaza edilir.
3. Soğuk haddeleme: Alınan hammaddenin projeye uygun uzunlukta ve çapta bir dizi prosesler uygulanarak nervürlü demir haline dönüştürülmesidir.

4. Çoklu punta kaynak makinası: Çelik hasırın kaynak yapımı genel olarak çok noktadan elektrik punta kaynak makinası ile yapılmaktadır. Bu kaynak makinasının bir dizi prosedürü ve ön hazırları vardır. Bu prosedür ve hazırlıklar tamamlandıktan sonra kaynaklama işlemi yapılır.

- Kaynak akımı, kaynak işleminde kullanılan elektrik akımını ifade eder. Kaynak akımı çelik hasır kullanılan çubuk kalınlıklarına göre değişir.
- Kaynak süresi, kaynak akımının uygulandığı süreyi belirler. İki kademedен oluşur ön ısıtma ve kaynak süresi olarak ve çelik hasır özelliğine göre değişkenlik gösterir.
- Elektrot basınç ayarı, kaynak akımı sırasında elektrotların çelik hasır çubuklarına uyguladığı basıncı ifade eder. Bu basınç çubuk çaplarına göre değişkenlik gösterir ve iki nervürlü çubuğun birleşmesini sağlayan önemli bir parametredir.
- Elektrot seçimi, elektrotlar kaynak kalitesi için önemli bir unsurdur. Şekli kalınlığı iletkenliği yapısı önemlidir.
- Çelik hasır konumu ve pozisyonu, çelik hasır proje olarak göz aralıkları en ve boy çubuk kalınlıkları uzunluklarına göre yerleştirilerek işlem yapılır.

İyi bir kaynak akım süresi, çelik tellerin düzgün bir şekilde birleşmesini ve sağlam bir kaynak noktası oluşturulmasını sağlar. Ancak bu parametrelerin belirlenmesi ve ayarlanması birçok değişkene bağlı olduğundan dolayı kullanılan malzeme ekipman ortam şartlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

## **2.2. SOĞUK HADDELEME**

Soğuk haddeleme çelik üretiminde önemli bir yere sahiptir. Soğuk çekme işlemi de tel üretimi için önemli olup sıcak haddeleme ile elde edilen çeliğin akma ve çekme mukavemet değerlerinin yükselmesini sağlarken diğer yandan haddeleme kuvvetini ve gücünün yüksek olması gerekir bu nedenle dezavantaj olarak büyük ekipman büyük motorlar ve yüksek güç gereklidir. Birçok uygulamada sıcak haddelenmiş çeliğin mekanik özelliklerini iyileştirdiği için tercih sebepleri arasındadır.

Soğuk haddelemede kullanılan çeliklerde ve filmaşinlerde yüksek karbon oranları tercih edilmezken düşük ve orta karbonlu çelikler tercih edilmektedir.

Soğuk çekme işlemi sonrasında çeliğin akma ve çekme mukavemetleri, mekanik özelliklerinde iyileşme ve yükselme sebebi işlem sertleşmesi ya da pekleşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Soğuk işlem sırasında kullanılan filmaşinin üzerindeki etkilerinden başlıcalarını aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mukavemet ve dayanım artar,
- Dislokasyon yoğunluğu ve dolayısıyla sertleşme artar,
- Tane şekilleri değişerek tane boyutu uzar,
- Mikroyapıda iç gerilmeler oluşur.

Bunlar soğuk haddeleme işleminin olumlu başlıkları iken olumsuz olan kısımlarını da aşağıdaki gibi sıralanabilir.

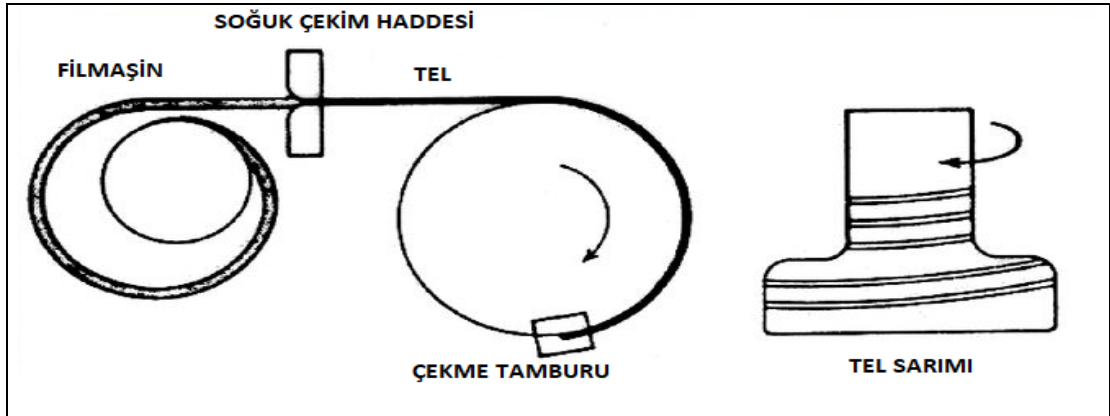
- Sıcak haddeleme yüzey hataları giderilir,
- Ebatlama ve gramaj çap istenilen şekilde ayarlanabilir,
- Süneklik azalır.

Hammadde olarak kullanılan filmaşinin görüntüsü Şekil 2.1’de verilmiştir. Spiral şeklinde olan bu malzeme süreç esnasında hem düzleşerek çubuk şekline gelmekte hem de soğuk deformasyon yoluyla filmaşin çapı küçültülerek nervür basılmaktadır. Soğuk deformasyon oranına bağlı olarak mukavemet artışı da meydana gelmektedir. Bu artışlar Bölüm 3.3.1 çekme deneyleri kısmında gösterilmiş olup soğuk işlem miktarına bağlı olarak dayanım artışları gözlemlenmiştir.



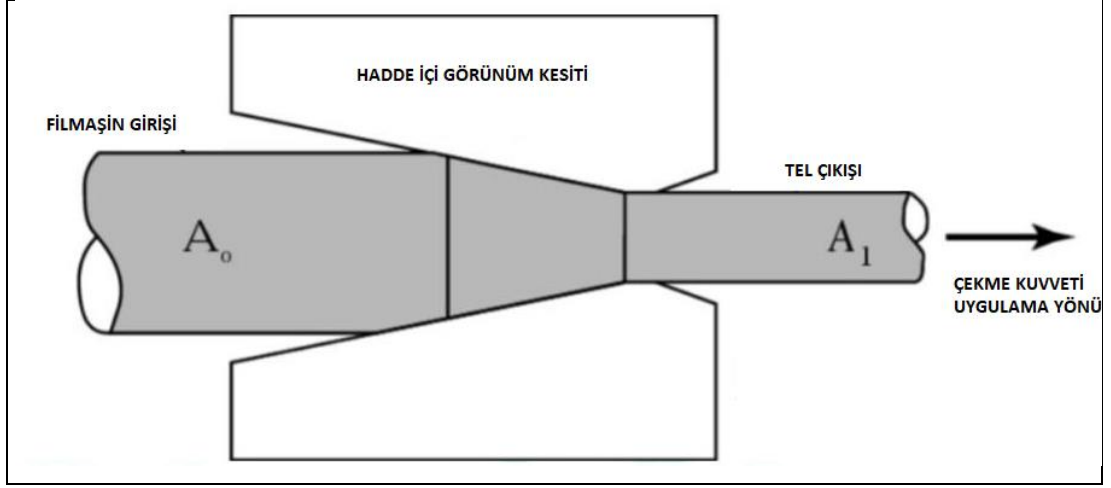
Şekil 2.1. Filmaşın görüntüsü.

Başlangıçta belirli bir çap ve şekilde gelen çeliğin hadde silindirleri, diskleri ve benzeri yöntemler kullanılarak istenilen nihai sonucu ulaşana kadar sürekli olarak deformasyona uğratılma işlemine soğuk haddeleme denilmektedir. Bu yöntem çelik hasır üretimi için özel olarak kullanılmaktadır. 3 Ezme ve nervürlüme diski 3 ekseninde 120 derece açı kullanılarak yerleştirilir ve filmaşın bu üç diskin orta noktasından geçirilir. Böylece filmaşın hem haddeleme hem de nervürlüme yapılarak düzeltilip nervürlü çubuk olarak istenilen boyda kesilir. Genel soğuk haddeleme işlemi sac üretimlerinde silindir ezme ve çubuk mil vb. üretimlerde ise haddeleme tel çekme haddesi kullanılarak işleme yapılır. Şekil 2.2’de haddeleme tipinde görüldüğü üzere filmaşın spiral olarak alınarak mors kovanından geçirilerek inceltilmektedir. Burada çekme kuvveti çekme tamburu ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.2. Soğuk çekme haddeleme tipi.

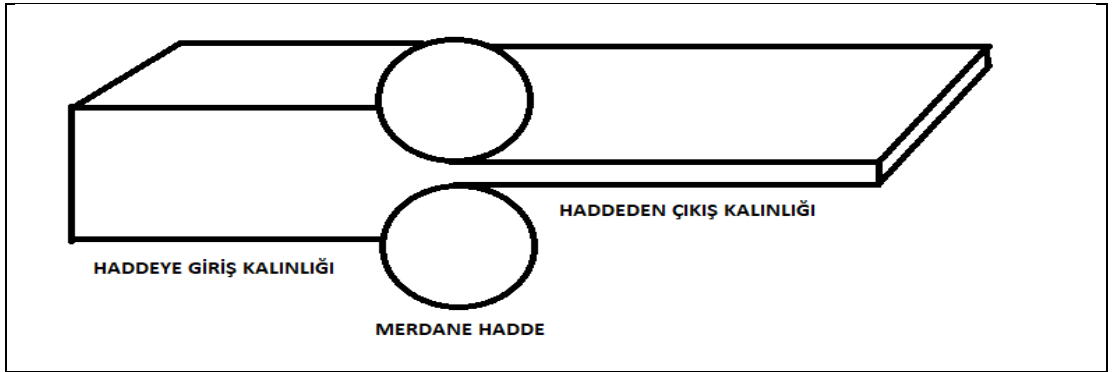
Soğuk çekme haddesi yukarıda görüldüğü üzere filmaşinden çekme tamburu yardımı ile tambura sarılarak, çekme kuvveti uygulanarak çekilir bu çekme işlemi sırasında ise arada bulunan soğuk çekim haddesi içinden (mors kovanı) geçer bu geçme işlemi sırasında inceltme işlemi gerçekleşir. İnceltme işlemi Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3. Soğuk hadde filmaşin girişi ve çıkışı görüntüsü.

Filmaşin şekilde görüldüğü üzere  $A_0$  çapında haddeye girerken hadde çıkışı tel  $A_1$  çapına düşürülmektedir. Bu haddeleme tel ve mil benzeri ürünlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Sac ve benzeri levhalarda ise haddeleme merdaneler yardımıyla yapılmaktadır şekilde görüldüğü üzere alt ve üstte bulunan merdanelerden inceltilerek çıkış yapılmaktadır. Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



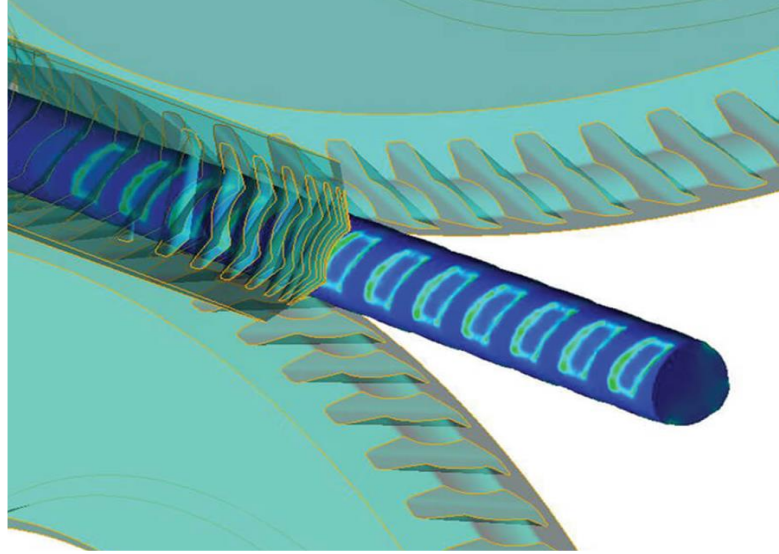
Şekil 2.4. Kalın sac haddeye girişi ve inceltmiş olarak çıkış şekli.



Sac ve benzeri levhalarda ise haddeleme merdaneler yardımıyla yapılmaktadır şekilde görüldüğü üzere alt ve üstte bulunan merdanelerden inceltilecek çıkış yapılmaktadır. Bu merdaneler kullanılan veya istenilen ürüne göre 2 merdane 4 merdane veya yardımcı merdanelerden meydana gelmektedir.

Kutu profil tarzında olan üretim haddeleri ise 4 eksenli bir dizi hadde başlıklarında sırayla geçerek 4 kenarı düzeltilerek imal edilmektedir.

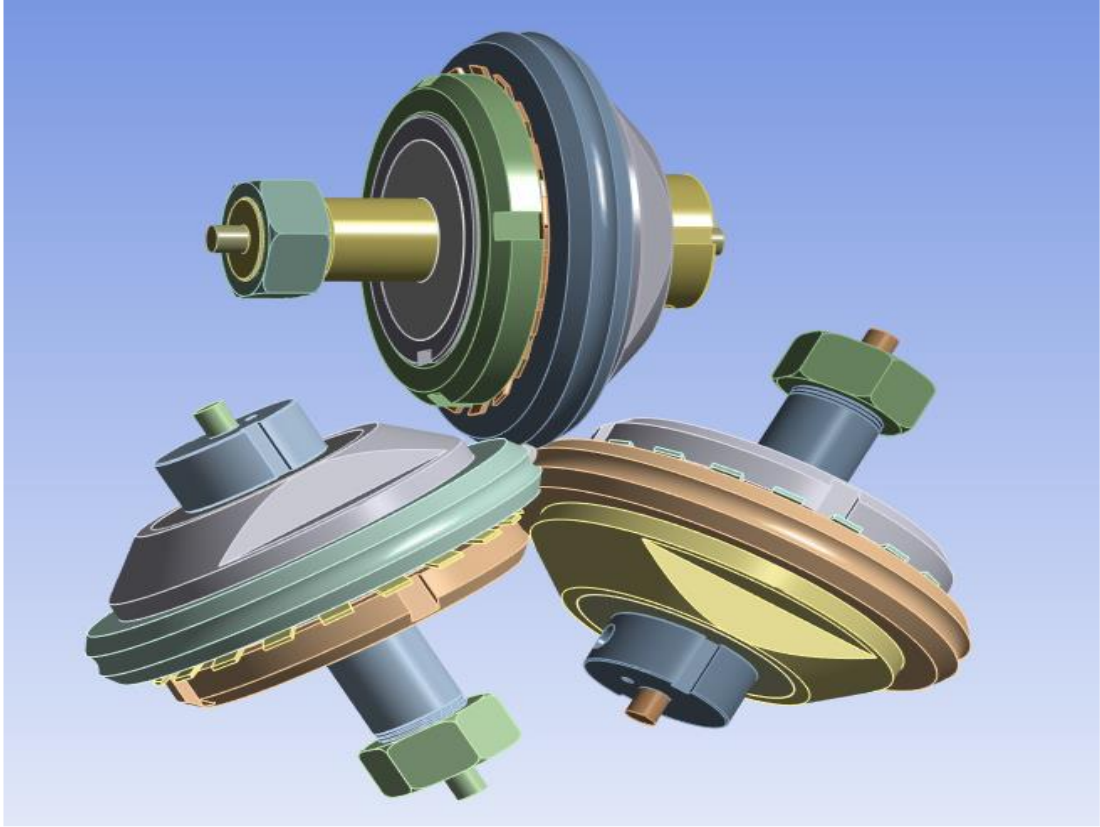
Çelik hasır için kullanılan hadde ise bunlardan farklı olarak disk yöntemi ile oluşmaktadır. 3 farklı eksenli oluşan bu eşit mesafelerde ayarlanan ezme hadde ve onlara zıt yerleştirilen 3 farklı eksenli nervürlü hadde ise meydana gelmektedir. Bu haddeleme tipi özellikle ezme haddeleme olarak değinilecektir. Şekil 2.5’de örnek bir model gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Nervürlü tabaklarda nervürlü çubuk oluşumu haddelemeden çıkışı [11].

Çelik hasırda kullanılan filmanın belirli kalitelerde olmasının nedeni, çelik hasır için soğuk çekme işlemi ile üretilen nervürlü çubuk demirlerin belirli kaliteyi sağlamasının yanı sıra, soğuk çekme işleminde kolaylık ve sürekliliği sağlanması, ardından elde edilen nervürlü çubukların da birbirlerine kaynaklanma kabiliyetinin yüksek olması gibi birbirini takip eden belirli proseslere ihtiyaç vardır.

İnceltmeye giren filmaşınlar farklı çaplarda üretilebilir. Bu kangallar inceltme, nervürlüme, doğrultma ve kesme işlemlerine tabi tutularak istenilen çapa, gramaja ve istenilen boyda kesilerek paketlenmesi yapılmaktadır. Şekil 2.6’da 3 eksende tabakların genel görünümü gösterilmektedir.

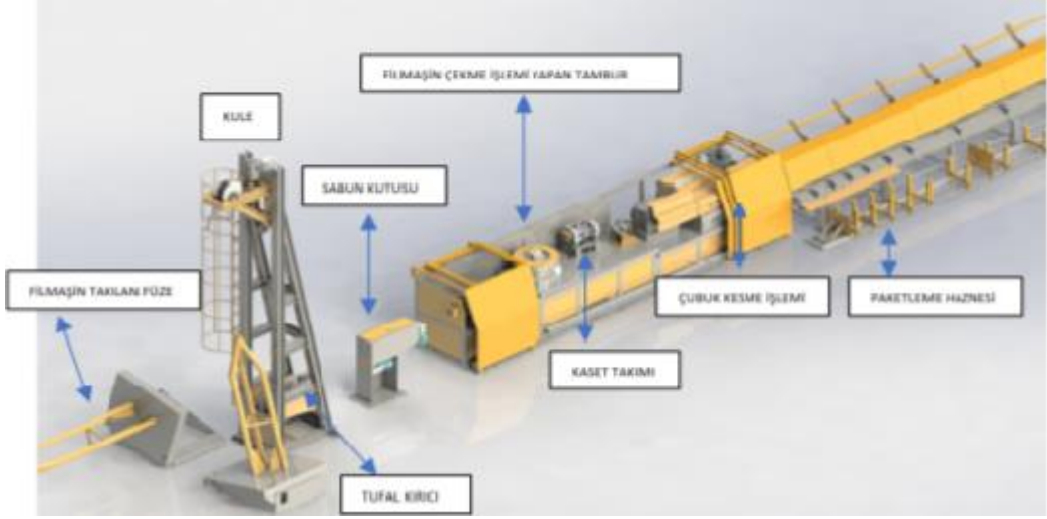


Şekil 2.6. 3 Eksende nervürlüme tabakalarının genel görünüşü.

### 2.2.1. Soğuk Hadde Düzeni

Soğuk haddeme ve nervürlüme işleminde genel olarak ham madenin yerleştirildiği füze adı verilen bobin şeklinde üretilen filmaşının konulduğu bobin yuvası ile başlamaktadır. Filmaşınlar önce yüzeylerinde bulunan kılcal çatlakların, sıcak haddeme işleminin ardından soğuması esnasında yüzeyde oluşan tufalların ve tozların giderilmesi için bir seri makaralardan geçirilerek yüzeylerinin temizlenmesi sağlanır. Yüzeyi temizlenen filmaşın daha sonra; hadde ile filmaşın arasında yüzey gerilmesinin ve sürtünmelerin azalması, yüzey düzgünlüğünü sağlanması amacıyla sabunlama işlemine tabi tutulur. Sabunlanan filmaşın teli, önce inceltme disklerinin bulunduğu

ezme işlemini yapacak olan haddeye aktarılır. Bu ezme işleminde 3 adet disk bulunur, 3 adet disk 120 derece açıyla birbirini tamamlayarak birleşim noktasındaki boşluktan filmaşın teli geçirilir. Bu işlemde bu 3 ezme diski filmaşının çapına göre ve istenilen nihai ürüne göre ayarlanarak baskı işlemi yapar. 3 eksen de uygulanan diskler birbirlerinden bağımsız 3 ayrı motora bağlı bulunmaktadır. 3 ayrı motor tek bir sistemde birbiri ile aynı şekilde çalışmaktadır. Bu 3 motor istenilen hıza ve istenilen torka göre ayarlanabilmektedir. Ezme işlemi sırasında filmaşın deformasyona uğrar. Bu deformasyon sırasında yapısında bulunan dislokasyonlar artarak birbirlerine engel olan bir yapı oluşturur. Taneciklerin bağlanma şekil düzeni bozularak haddeleme yönünde yassılaşıma meydana gelir. Bunların sonucunda mamul hem incelmış hem de mukavemetinde artış meydana gelmiş olur. Ezme işleminin ardından nervürlüme disklerine geçen filmaşın aynı mantıkla 3 eksen den 3 nervürlüme diskine girer. Burada incelmış ve mukavemeti artırılmış olan filmaşına nervürlüme işlemi uygulanır. Nervürlüme işlemi filmaşının yüzeyinde belirli açı, belirli aralıkla ve belirli yükseklikte girinti oluşturur. Bu işlemde filmaşın mukavemeti biraz daha artarken yüzey alanı da artmış olur ve nihai kullanım yeri olan betonarme yapıda betonların içerisinde tutuculuğu da artar, beton içinden sıyrılarak ayrılması zorlaşmış olur. Bu nervürlüme işleminin ardından bir dizi makara sisteminin ortasından geçerken nervürlenen telin düzgün olması sağlanır ve en son işlem olan istenilen boyda kesim yapılmaktadır. Bu kesim işlemi makara üzerinde belirli bir noktada duran bıçak sürekli dönmektedir. Tel istenilen uzunluğa gelince dönmekte olan makara piston yardımıyla alınarak telin üzerine gelir ve kesim işlemi gerçekleşir. Bu kesim işlemi bıçak, piston, enkoder ve bilgisayar sisteminden oluşmaktadır. Kesim işlemi bittikten sonra haznede biriken çubuklar İstenilen sayıya gelince makina durdurulur. Haznedeki çubukların üzerine bilgi etiketi takılarak kaynaklama işlemi için kaldırılır. Şekil 2.7’de soğuk haddeleme makinası genel görünümü yer almaktadır.



Şekil 2.7. Soğuk haddeleme makinası genel görünümü.

### 2.2.2. Yakma Alın Kaynağı (Uç Kaynak)

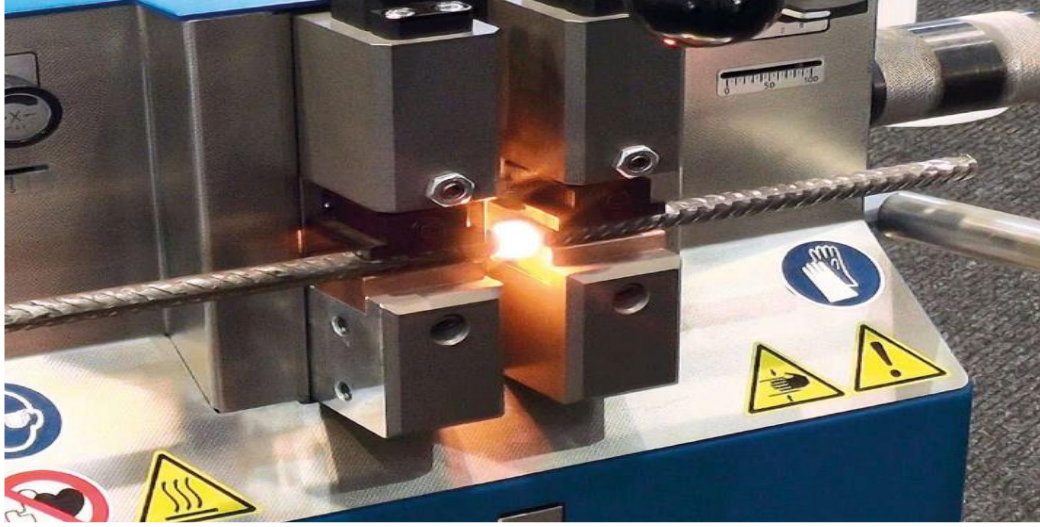
Filmaşınların soğuk çekme işlemi uygulama esnasında sürekliliğin devamı için birbirini takip eden filmaşınların bir tanesinin bitiş ucu ile diğer filmaşının başlangıç ucunu birbirine kaynaklanarak süreklilik sağlanmalıdır. Üretimin aksamaması ve soğuk çekme işleminin ara vermemesi için yapılması gereken işlemlerden biridir.

Yapısal ve güç olarak markalara göre değişebilse de çalışma prensipleri hepsinde aynıdır. Kaynak makinasının kaynak akımı bakır tutucular ile çeliğe aktarılır. Çeliğin kaynak yapılacak olan uçları birbirine değmesi ile direnç artar ve çelik eriyik hale gelir ve baskılama yöntemi ile iki uç birleşir. Birleşme işlemi gerçekleştikten sonra akım kesilir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da bu sistem gösterilmiştir.

Uç kaynak işlemi tamamlandıktan sonra bir süre soğuması beklenen kaynak yerlerinin çapakları temizlenir ve pürüzsüz bir şekilde temizlenir. Bu işlem kaliteli bir şekilde yapılmaz ise soğuk çekme işleminde kaynak yerlerinden ayrılmalar meydana gelmektedir. Bu ayrılma olayı soğuk çekme işlemi durduracak ve uç kaynağı işlemi tekrar edilecektir. Üretimde aksama meydana gelmemesi için titizlikle yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.8. Uç kaynak makinası görünümü [12].



Şekil 2.9. Uç kaynak makinası kaynaklama yapım esnasında bir görüntü [13].

### 2.2.3. Filmaşın Yerleştirme

İlk işlem füzelere filmaşın yerleştirilmesi ile başlar yatay pozisyona getirilen birinci füze kargal şeklinde üretilen filmaşın yerleştirilir daha sonra dik pozisyona getirilen füze sabitlenip ikinci füze yatay pozisyona getirilerek işlem tekrarlanır. Birinci füzedeki filmaşın başlangıç ucu kule aşağıya motor yardımıyla indirilerek kule tarafına verilir ve kulede bulunan motor yukarı kaldırılarak en üst seviyeye çıkarılır ve tel tufal kırıcıya verilir. Filmaşın diğer altta kalan uç kısmı ise ikinci füze bulunan

filmaşinin üst kısmındaki ucu ile alın kaynak makinası yardımıyla birleştirilerek devamlılık sağlanır.

Yükleme işlemi, kulenin alt tabanında bulunan hidrolik sistem ile kule de bulunan iki füzeyi birbirinden bağımsız yatay pozisyona getirme şansı verir. Yatay pozisyonda filmaşin yerleştirildikten sonra hidrolik sistem ile 90 ° döndürülerek dikey pozisyona getirilir. Toplam kule yüksekliği 12 metredir. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de filmaşin kulesi genel görünümü gösterilmektedir.

Filmaşin kulesi 1 veya 2 dikey yükseltici ve üzerinde tambur çarklı bir kolondan oluşur. Sabit (baş üstü açma) veya döner (teğetsel açma) olarak çalışır ve tel bu kuleden geçerek tufal kırıcıya ulaşır.



Şekil 2.10. Filmaşin kulesi genel görünümü [14].





Şekil 2.11. Filmaşın kulesi genel görünümü [15].

Şekil 2.12’de soğuk haddeleme filmaşın grubu ve kulelerin genel görünümüne yer verilmiştir. Proses işleyişleri açısından her kulenin arkasına istenilen çapta filmaşın önceden yerleştirilerek üretimde aksama meydana gelmemesi sağlanır.



Şekil 2.12. Soğuk haddeleme filmaşın grubu ve filmaşın kuleleri. [16].

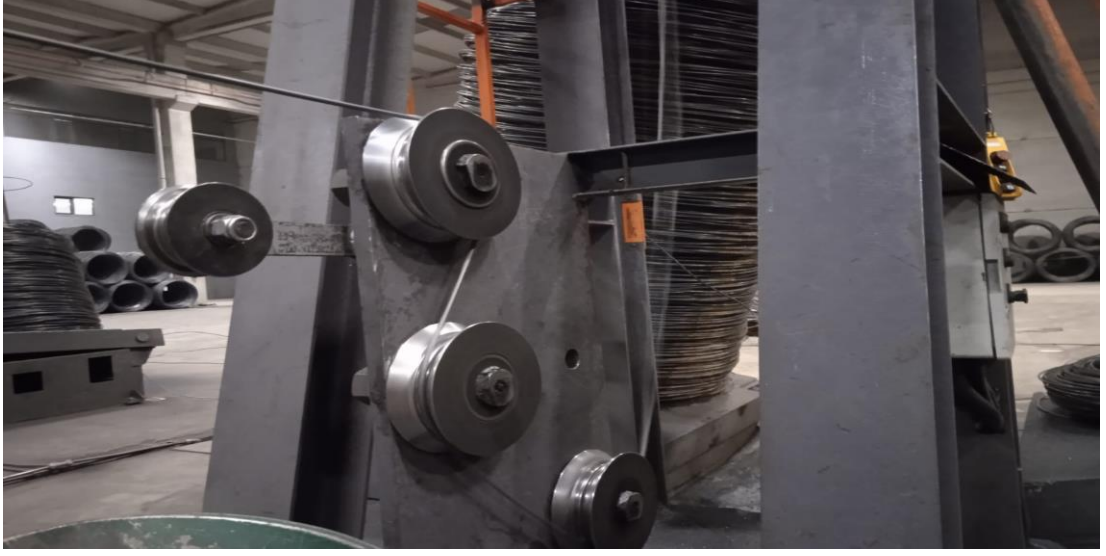
#### 2.2.4. Tufal Kırıcı

Tufal kırıcı tel çekme için çok önemli bir durum arz etmektedir. Filmaşin telinin yüzeyinde kaplı olan tufal tabakası tel çekme işlemi öncesi kimyasal sabunun telin bütün yüzeyini kapmasını engellemektedir. Bu yüzden filmaşin etrafının temizlenmesi gerekmektedir. Bu işlemin en etkili yöntemi ise telin iç ve dış kısımlarından eğilmesi ile yüzeyde meydana gelen gerilme kuvvetleriyle üst tabakada bulunan tufalın dökülmesini sağlamaktır. Bu gerilmeye maruz kalan yüzeydeki ince tufal tabakasında önce çatlama ve kırılmalar oluşarak ardından da yüzeyden uzaklaşır tamamen sıfır seviyesine ulaşmayan tufal sabunlama işlemi sırasında temizlenir. Tufal kırıcılar 4-5-7 gibi farklı sayılarda bulunan tabaklardan geçerek telin yüzeyinde zayıf şekilde duran ince plakayı temizlerler. Bu işlem sırasında ne kadar çok sayıda tabaktan geçerse o kadar temiz bir tel olarak düşünmek ise doğru değildir. Çünkü uygulamada fazla makara veya gereksiz makaralara çubuğun haddeleme sistemine girmeden önce üzerine uygulanan fazladan ön gerilme demektir. Bu da uygulamada istenmeyen bir durumdur. 3 adet tabak ile yapılan işlem büyük ölçüde tufalın temizlenmesine yetmektedir. Ayrıca kullanılan makara ile tel çapının arasında belirli oranları koruması gerekmektedir. Bu makara çok küçük olması veya çok büyük olması sistemin düzenini bozacak ve istenilen performansı vermeyecektir.

Soğuk çekme de kullanılan filmaşinlerde tufal oranı %0,6 oranında olmaktadır. Bu oran filmaşinin üretimden çıktıktan sonra soğuma kısmına göre değişmektedir. Kapalı döküm yapıldıktan sonra kapalı soğutma uygulayan üreticilerde tufal oranı %0,3 oranına kadar düşmektedir. Bunun sebebi sıcak dökümden çıkan filmaşin telinin iç sıcaklığı ile dış kısım sıcaklığı arasındaki farkın yüksek olması telin yüzeyindeki gerilmeleri artırarak tufal oluşumunu yükseltmektedir. Kapalı soğutmada ise telin iç sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı daha yavaş azalarak gerilmeler azalır ve daha az oranlarda tufal oluşumu meydana gelmektedir. Bu tufal oranları sürekli üretim yapan firmalarda ciddi miktarlarda kayıplara yol açmaktadır. Takip edilmesi gereken ve hatta maliyetlerde muhakkak incelenmesi gereklidir.



Tufal kırıcılarda, makara çaplarının tel çapının 18 ila 23 katı olması, tufalın etkili bir şekilde temizlenmesi için en uygun ölçülerin olduğunu göstermektedir. Daha küçük çaplarda tel üzerinde aşırı gerilime neden olan, istenmeyen deformasyonlara yol açabilirken, daha büyük çaplar kullanıldığında ise istenen tufal giderme işlemi başarıyla gerçekleştirilemeyebilir [3]. Şekil 2.13 ve 2.14’de farklı şekillerde tufal kırıcı görünümü verilmiştir.



Şekil 2.13. Soğuk haddeleme önce filmaşın tufal kırıcı görünümü.



Şekil 2.14. Soğuk haddeleme önce filmaşın tufal kırıcı bölümü genel görünümü [17].

### 2.2.5. Sabunlama

Tufal kırıcıdan çıkan tel buradan sabunlama kutusuna giriş yapar sabunlama kutusu alt tarafında ve yan tarafında iki motor bağlı olup bu motorlar mikser görevini üstlenmektedir. Kutunun içinde bulunan sabun sürekli karışarak hem telin daha iyi sabunlanmasını sağlamaktadır hem de tellerin üzerinde gelen ve dökülen tufalın üstte birikmesini önleyerek sabunu karıştırmaktadır. Burada bulunan sabun kutusu belirli aralıklarla kontrol edilerek değiştirilmektedir. Tufal kırıcıdan sonra sabun kutusuna gelen tel dökülmeyen tufallarını burada bıraktığı için zamanla sabun kalitesini düşürmektedir. Kalitesi düşen sabunu boşaltarak yeni sabun ilave edilir ve işlem devam eder.

Eski zamanlardan beri kullanılan sabunlama işlemi hayvansal yağlar, doymuş yağlar gibi yöntemlerle başlamıştır günümüzde ise gelişen teknoloji ile üretilen özel bileşikler kullanılarak yapılmaktadır. Sabun olarak tabir edilen bileşiğin asli vazifesi tel ile hadde arasında bir katman oluşturarak sürtünme kuvvetini azaltmasıdır. Gözle görülme de mikroskopik olarak tel yüzeyinde ve haddede bulunan girinti ve çıkıntılar haddeleme sırasında teli bozabilir veya telin kopmasına neden olabilir. Sabun ise bu girinti ve çıkıntıları doldurmaktadır ve azalan sürtünme kuvveti tel çekme işlemi sırasında uygulanan kuvvet ile tellerin kopmasının ve tel yüzeyinde oluşabilecek çizik ve çatlamları engellemektedir. Tel haddeye girişi yapmadan önce sabunlama kutusundan geçerek tel yüzeyi sabunlanmış bir şekilde çıkmaktadır.

Kullanılacak olan sabunların çekilen filmaşının ve yapılacak olan ürünün özelliklerine göre değişmektedir. Sabunların kullanılan malzemenin karbon oranı, hadde sayısı, sıcaklık, tel çekme hızları vb. etkenler göz önüne alınarak sabun seçimi titizlik ile yapılmalıdır. Yapılan işlemin çeşidine göre seçilen sabun iyi bir sonuç verirken yanlış sabun seçimi de büyük zarar verebilir. Makinanın tel çekme hızları bile çok önemlidir. 1000 m/dk. Tel çekme hızı olan bir makine ile 200 m/dk. Hızı olan bir makinada aynı sabun kullanılmaz. Çünkü sabunun tel yüzeyini tutması ve sarması tel üzerinde plastik bir katman oluşturması sabunların çeşidine göre belirli süreler alabilir kullanıcı bunlara dikkat etmesi gerekmektedir.

Çelik hasır imalatında düşük karbonlu filmaşın ve mekanik kırma işleminden sonra inceltme ve nervürlü yapıldığında dolayı düşük yağ oranlı kalsiyumlu sabun kullanılması tavsiye edilir. Toz halinde kullanılan sabun nemden korumaya özen gösterilmelidir. Ayrıca filmaşınların çekimi esnasında kuru olduğuna dikkat edilmelidir. Islak veya nemli olan filmaşınların çekimi sırasında yüzeyine fazladan hadde sabunu yapışmaktadır.

Şekil 2.15'te gösterilen telin boyun vererek kopması, hadde sabunu yetersiz veya kullanılmadığı durumlarda genel olarak gözlenmektedir. Bunun nedeni yüzeyi iyi sabun almayan tel haddeleme sırasında yüksek çekme kuvvetine maruz kalır bu çekme kuvvetine karşı yardımcı olacak yüzey sürtünmesini azaltacak, yeterli sabunlama yapılmadığında da aynı çekme testi uygulamalarında olduğu gibi çekme kuvvetine yenik düşerek, önce boyun verip daha sonra da tel kopacaktır. Bu gibi bir durum ile karşılaşmamak için tel çekme işleminde sabunlamaya dikkat etmek gerekmektedir. Şekil 2.16'da sabunlama makinesi görülmektedir.



Şekil 2.15. Çubuğun boyun vererek kopması.



Şekil 2.16. Soğuk haddeleme öncesi sabunlama makinası genel görünümü [18].

Temelde üç ana gruba ayrılan hadde sabunları şunlardır: kalsiyum bazlı, sodyum bazlı ve alüminyum bazlı sabunlar. Kalsiyum bazlı sabunlar suda çözünmezler. Bu sabunların saf hali, 145°C ile 165°C arasında yumuşama sıcaklıklarına sahiptir ve düşük tel çekme hızlarında özellikle hiç çekilmemiş filmaşine verilecek ilk pasolarda kullanılır [3].

### **2.2.6. Ezme Haddeleme**

Sert metalden üretilerek elde edilen diskler hadde diskleri denilmektedir. Bu diskler kullanımı yapılacak bölgeye göre tasarımı yapılmaktadır. Disklerin üzerinde çubuğun geçeceği yuvalar bulunmaktadır ve bu yuvalar üretimi yapılacak çapa ve özelliğe göre değişkenlik göstermektedir. Kaset takımının içine üç eksenle birleşecek şekilde yerleştirilir. Disklerin ezme disk üçlüsü olarak işleme başlar ve ovalama yuvalama nervürlüme gibi ayrı ayrı görevleri vardır. Bu diskler Şekil 2.17’de gösterildiği gibi karşılıklı olarak 3 er adet takımlar halinde 3 eksenle birbirlerine 120° açı mesafesi ile çalışmaktadır.



Şekil 2.17. 3 eksenli nervürlü tabaklardan bir görünüm [19].

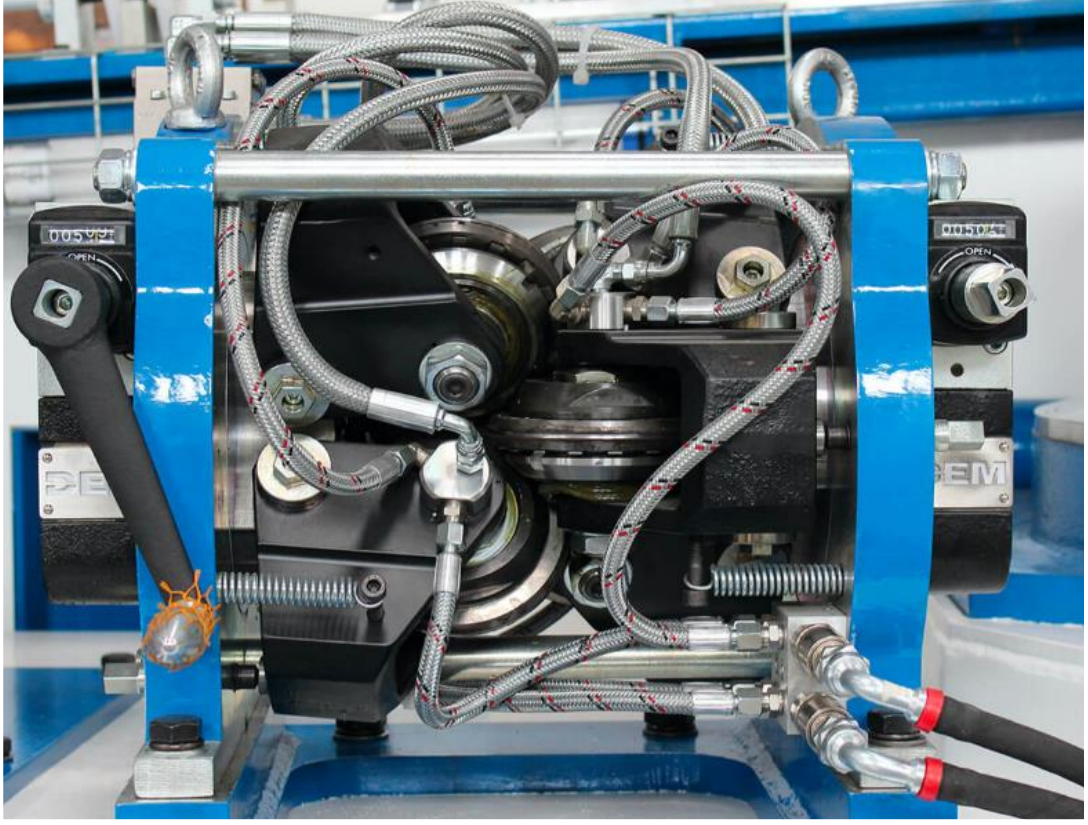
Kaset takımlarının içine yerleştirilen tabaklar belirli üç eksenli birbirlerine eşit şekilde yaklaşır ve uzaklaşmaktadır. Ayar kolu sayesinde eşit şekilde hareket ederek birleşim noktasından tel geçmektedir. Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Tel geçme işlemi sırayla olup sıkıştırma basma kuvveti ile dik doğrultuda çekme kuvvetine maruz kalarak istenilen gramaja çapa göre ayarlanabilmektedir. Bu tabakların belirli çapları vardır hangi çapta çubuk üretimi yapmak istiyorsak tabakları da bunlara göre ayarlamamız gerekmektedir.





Şekil 2.18. Soğuk haddeleme tabakları düzenleme ve yerleştirme için kullanılan kaset takımlarına ait görüntü [20].

Kaset takımları ayarlaması yapılırken tabakları üç eksen den birbirini karşılamalı açıklıkları eşit miktarda olduğu iyi bir şekilde kontrol edilmelidir. Tabakların birbirine değmemesi gerekmektedir. Çok hassas bir hizada çalışan tabaklar bir tanesi ekseni kaçık bir şekilde çalıştırılırsa tabaklar birbirine zarar vererek kırılma ihtimalleri çok yüksektir. Kaset takımlarından geçirilen tel fazla çekme kuvvetine maruz kalırsa teli kopartabilir. Şekil 2.19’da görüldüğü üzere birinci paso olarak geçen birinci kaset takımında kullanılan ovalama (RO) ve yuvalama (RT) tabakları karşılıklı üçlü diskler halinde çalışarak inceltme işlemi başlatmaktadır.



Şekil 2.19. Kaset takımlarından bir görünüm [21].

Bu disklerin yüzeylerine bakıldığında yuvarlak yuvaları görülmektedir. Bu yuvalar üç eksenle bir daire şeklini oluşturarak bu daireden tel geçerken yüzeyinde sıcak döküm esnasında oluşan hatalar giderilir hem de tel istenilen çapa düşürülme işlemi başlamış olur. Tabakların üzerinde marka ismi kısaltması, rakamlar ise disklerin ebatlarını ve hangi işlem için kullanılacaksa onu belirten iki harf ve rakamdan oluşur.

Kaset takımlarına yerleştirilmiş olan tabakların görüntüsü yukarıda Şekil 2.19'da verilmiştir. Kaset takımının yan tarafında bulunan sayaçlı kol ile tabakların ince ayarı yapıldıktan sonra tel haddeleme işlemi başarı ile gerçekleşir. Sarım yapılan tambur sayesinde çekme kuvveti iki ye bölünerek tel üzere tek seferde fazla çekme kuvveti uygulaması engellenir 1.5 mm'den daha fazla tel inceltmeyi sağlık bir şekilde gerçekleştirmek istiyorsak tambur kullanmakta fayda vardır. Tamburun alt kısmında kapalı alanda dişli sistemine bağlı olarak güçlü bir motor bulunur. Tambur bu motor dişli sisteminin yardımıyla döner. Bu dönme esnasında teli çekerek etrafına sarar ilk kaset takımına uygulanan çekme kuvveti burada tambur sayesinde meydana gelir

tamburdan çıkan tel tekrardan kaset takımına verilir. Şekil 2.20’de nervürlü çubukların geçiş anı görüntüsü verilmektedir. Bu kaset takımında nervürlüme işlemi yapılmaya başlar ve bu nervürlüme için gerekli olan çekme kuvveti de kaset takımında ardında bulunan çekme tabakları sayesinde gerçekleşir. Bu işlem sırasında tambur ortadan kalkarak iki kaset takımı ardışık çalışabilir veya bir tane değil çift tambur kullanılarak aynı işlem yapılabilir. Bu tambur işlemi kullanılan filmaşın ve istenilen nihai tel çubuğun çapına göre karar verilerek makine ayarları tambur sayıları, kullanılan rulo tabaklar değişerek ve farklı yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Sonuç olarak soğuk çekme işlemi hangi şekilde kaç etapta, kaç diskte yapılırsa yapılsın TSE standartlarına uygunluğunu korumaktadır.



Şekil 2.20. Soğuk haddeleme nervürlü çubukların çıkış anında görüntüsü [22].

### **2.2.7. Ebatlama ve Kesme**

İnceltip nervürlünen tel bir otomasyon sistemi üzerinden geçerek kanala girer bu sistem bilgisayara bağlı olan bir enkoder, bu enkoder bağlı olan piston ve sürekli

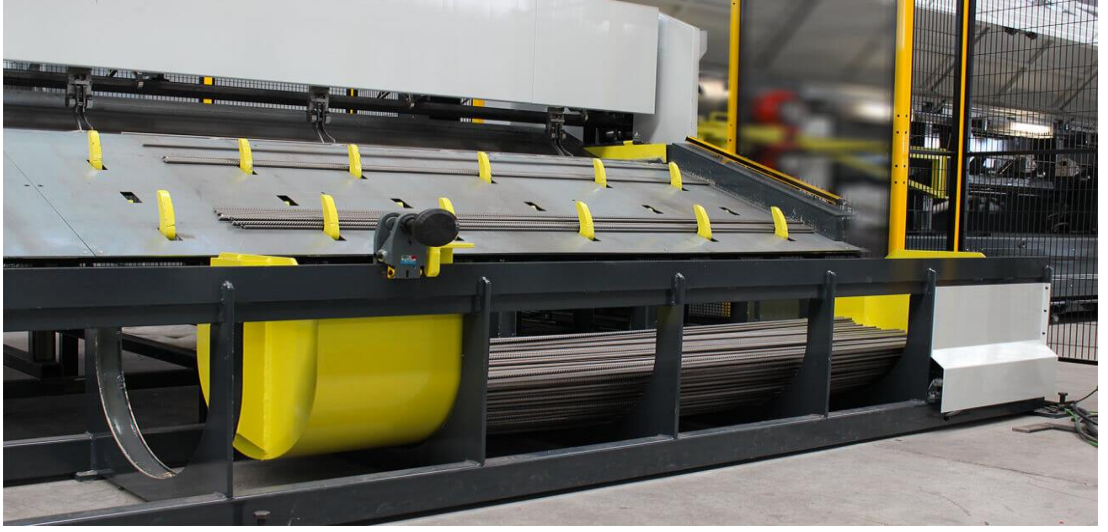


kesime hazır olan bıçaklar sayesinde, sisteme girilen değere göre nervürlü hale gelmiş çubukları istenilen boyda ebatlayarak kesme işlemini gerçekleştirir. Kesilen çubuklar buldukları kanaldan aşağı düşerek bir hazne içinde toplanır ve istenilen adete ulaşıncaya makine kendini durdurur. Ebatlanmış çubuklar bağ telleriyle veya sapanlama işlemi ile bağlanarak paketleme işlemi yapılır. Bu paketleme işleminin ardından üzerine bir etiket asılarak çubuğun özellikleri çap ve uzunluk bilgisi, ayrıca üretim için verilen özel bir poz numarası ve firma unvanı yazılarak detaylandırılır. Daha sonra bir tavan vinci yardımıyla stok sahasına veya istenilen bölgeye götürülür.

Bitmiş tel çapı 2,7 mm – 14 mm arası olabilir. Nervürlü çubukların uzunluğu makine ayarına bağlı olarak 16 metreye kadar ayarlanabilir. Bu ayarların hepsi makine alınırken üretici ile görüşerek elde edilmesi beklenen üretime göre tasarlanmalıdır. Şekil 2.21’de soğuk haddeleme makinası genel görünümü verilmiştir. Makine hızları dakikada 260 metre nervürlü çubuk kesimine kadar çıkabilir. Nihai olarak elde edilen nervürlü çubuklar kesim işlemi yapıldıktan sonra istifleme bölümüne düşer. İstifleme haznesi Şekil 2.22’de görülmektedir. Burada belli sayıya ulaşan çubuklar, vinç yardımıyla kaldırılarak kaynak bölümüne taşınır.



Şekil 2.21. Soğuk haddeleme makinası genel görünümü [23].



Şekil 2.22. Soğuk haddelemede kesilmiş çubukların biriktirme ve istif yapılan kısma ait görüntü [24].

## BÖLÜM 3

### 3.1. KULLANILAN MALZEME TANITIMI

Ark ocağında ergitilerek içerisinde farklı oranlarda elementler karıştırılarak üretilen ergiyik daha sonra sıcak haddeleme yöntemi ile filmaşın haline getirilir. Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi karbon (C), mangan (Mn), silisyum (Si), fosfor (P), azot (N), alüminyum (Al), bakır (Cu), krom (Cr) gibi elementlerin filmaşın yapısındaki oranları görülmektedir. İçeriğinde bulunan element oranlarına göre hasırlık, tellik olarak KAR 1005, KAR 1006, KAR 1008, KAR 1010 şeklinde Kardemir firması kendi kalite kodu ile isimlendirme yapmaktadır.

Çizelge 3.1. Filmaşın kimyasal analiz oranları [25].

KARDEMİR KALİTE KODU KARDEMİR STEEL GRADE CODE	KULLANIM ALANI	İLGİLİ STANDART RELEVANT STANDART	KİMYASAL ANALİZ, % (Pota-Sıvı) CHEMICAL ANALYSIS, % (Ladle-Liquid)											
			% C	%Mn	%Si	%S max	%P max	N <sub>ppm</sub> max	%Cu max	%Cr	%Ni	%Mo	%Al	%B
KAR 1005	Hasırlık-Tellik	SAE J 403	max 0.06	max 0.35		0.050	0.040		0.20	max 0.15	max 0.20	max 0.06		
KAR 1006			max 0.08	max 0.45		0.050	0.040		0.20	max 0.15	max 0.20	max 0.06		
KAR 1008			max 0.10	max 0.50		0.050	0.040		0.20	max 0.15	max 0.20	max 0.06		
KAR 1010			0.08-0.13	0.30-0.60		0.050	0.040		0.20	max 0.15	max 0.20	max 0.06		
KAR 1015	Düşük karbonlu çelikler	SAE J 403	0.13-0.18	0.30-0.60		0.050	0.040		0.20	max 0.15	max 0.20	max 0.06		
KAR 1016			0.15-0.20	0.60-0.90		0.050	0.040		0.20	max 0.15	max 0.20	max 0.06		
KAR 1018-Modified <sup>16,17</sup>	Tellik	EN 16120-4	0.16-0.20	0.30-0.50	max 0.30	0.025	0.020	70	0.15	max 0.10	max 0.10	max 0.05	max 0.01	
KAR 1018-Modified <sup>16,17</sup>	Bağlantı elemanı	TS EN 10263-4	0.15-0.20	0.60-0.90	max 0.30	0.025	0.025		0.25	max 0.30				0.0008-0.0050
KAR 1020	Düşük karbonlu çelikler	SAE J 403	0.18-0.23	0.30-0.60		0.050	0.040		0.20	max 0.15	max 0.20	max 0.06		

İlgili standart olarak SAE J403’ten yararlanılmaktadır. Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere SAE J403 standartları ulusal geçerliliği olan bir standarttır. İlgili standartta üretim esnasında kullanılacak olan elementlerin karbon, mangan, fosfor, kükürt gibi elementlerin % oranları ile üst limitleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. SAE J403 ilgili standartlarından bir bölüm.

SAE J403 Revised NOV2001					
TABLE 1—NONRESULFURIZED CARBON STEEL COMPOSITIONS APPLICABLE TO SEMIFINISHED PRODUCTS FOR FORGING, TO HOT-ROLLED AND COLD-FINISHED BARS, TO WIRE RODS, PLATES, STRIP, SHEETS, WELDED TUBING, AND TO SEAMLESS TUBING CAST OR HEAT CHEMICAL RANGES AND LIMITS					
UNS No.	SAE No.	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)(2)</sup>	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)</sup>	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)</sup>	Chemical Composition Limits, % <sup>(1)</sup>
		C	Mn	P, Max	S, Max
G10050	1005	0.06 Max	0.35 Max	0.030	0.050
G10060*	1006	0.08 Max	0.25–0.40	0.030	0.050
G10080*	1008	0.10 Max	0.30–0.50	0.030	0.050
G10090	1009	0.15 Max	0.60 Max	0.030	0.050
G10100	1010	0.08–0.13	0.30–0.60	0.030	0.050

İlgili standartlara göre üretilen filmaşın, sıcak hadde ocaklarında üretimi yapıldıktan sonra mekanik testleri ve içeriğindeki element oranları optik emisyonla analiz edilir. Çizelge 3.3’ de analiz sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3.3. Filmaşın muayene sonucu mekanik özellikleri.

Test Standardı : ASTM E-415 Test Standard																				
% C	% Mn	% Si	% S	% P	% N	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% V	% Ti	% As	% Sn	% Sb	% Al	% Nb	% Cev	% B	% Zr	% Pb
0,07	0,47	0,10	0,015	0,012	0,006	0,02	0,032	0,044	0,003	0,004	0,000	0,0123	0,0025	0,0029	0,0027	0,0031	0,16	0,0006	0,0026	0,0002
MEKANİK ÖZELLİKLER MECHANICAL PROPERTIES																				
Test Standardı : EN ISO 6892-1 Test Standard										Test Standardı : - Test Standard										
Çekme Muk. Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Muk. Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama Elongation		Kesit Daralması Reduction of Area (%)	En fazla yükteki toplam uzama ,Agt Total elongation at max. force (%)	Vurma Dayanımı Impact Strength		Tufal Scale (%)	Basma Testi Upset Test	+CH (HRC)	+S (HBW)	+A (HBW)								
		L0	%			Ortam Sıcaklığı Ambient Temperature (°C)	Ortalama Average (J)													
400	307	-	30	73	-	-	-	-	-	-	-	-								

Analiz edilen test sonuçlarından görüldüğü üzere çekme mukavemeti ve akma mukavemetleri N/mm<sup>2</sup> cinsinden gösterilmektedir. Uzama miktarları ve element oranları % cinsinden verilmektedir.

Kullanıcılar üretim yapacakları imalat proseslerine göre farklı kalitelere filmaşın kullanabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan filmaşın kalitesi KAR 1008 kodu ile Kardemir firmasının üretimini yapmış olduğu SAE kodu 1008 olan filmaşın grubudur.

### 3.2. ÜRETİM PROSESLERİ

Çelik hasır için geçerli olan üretim prosesleri birkaç madde üzerinde sıralanır;

1. Filmaşının üretim alanına alınması; Filmaşın grubu üretim alanına geldiğinde öncelikle tartımı yapılır, tartımı yapılan filmaşınların çap ve etiket bilgileri, kalitesi kontrol edilerek yerleştirilir. Projesi hazır olan çelik hasırlara göre ebat ve çap ihtiyaçlarına göre filmaşınlar soğuk haddeleme yapılacak olan üretim kısmına alınarak füzelere yerleştirilir.
2. Yakma alın kaynağı; Füzeye yerleştirilen filmaşınların üretim esnasında devamlılığın arzı ve üretimin aksamaması için birbirlerine yakma alın kaynağı yardımıyla birleştirilir.
3. Tufal kırıcı; Kuleden geçen filmaşın teli ilk etapta tufal kırıcı makaralar yardımıyla tel yüzeyi temizlenme işlemine tabi tutulur. Bu işlem hem sabunlama hem de haddeleme esnasında yüzey hatalarının oluşmasını engellemesiyle yönüyle önemli bir işlemdir.
4. Sabunlama; Tufal kırıcıdan geçen tel yüzeyi temizlenmiş olarak sabunlama kutusuna girer. Sabunlama kutusundan tel yüzeyleri sabunlanarak çıkar. Bu işlem telin bütün yüzeyi eşit şekilde bir matris tabaka oluşması amacıyla sabunlama kutusunun içindeki motor yardımıyla gerçekleşir. Bütün yüzeyin düzgün ve eşit şekilde sabunlanması gerekmektedir. Yüzeyin bir matris oluşturmanın önemi soğuk haddeleme esnasında yüksek çekme kuvvetine maruz kalan tel ile hadde tabakları arasında oluşacak olan sürtünme kuvvetini azalmasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır.

5. Haddelme; Çelik hasır üretimi için kullanılan haddelme yöntemi 3 eksende inceltme için 3 adet hadde tabağı veya diski kullanımı bununla karşılıklı olarak çalışan 3 eksenli hadde tabağı da nervürlüme işlemi için kullanılarak gerçekleştirir. Kaset takımı olarak adlandırılan bu sistemden geçen telin önce incilmesi ve daha sonra nervürlü hale gelme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem sırasında yüksek çekme kuvveti uygulayan motor grubu ve tambur yardımıyla haddeden çekilen telin istenilen çapa düşürülme işlemi yapılmaktadır.
6. Ebatlama ve kesme; İstenilen çapa düşürülen tel, yine istenilen proje boy ölçülerine uygun kesimi yapılmalıdır. Uygun ölçüler bilgisayar sistemi yardımıyla kesme sistemine girilir. Girilen ölçüler doğrultusunda, bir dizi sistem kullanılarak hesap edilen boylara göre, uygun ölçüye geldiğinde, hadde bıçakları yardımıyla kesilir.
7. Çubuk paketleme; İstenilen ebatla kesilen tel istifleme yapılan çubuk paketleme alanına düşer. Burada istenilen sayıya ulaşıncaya kadar beklenen teller, adet sayısı dolunca paketleme yapılarak kaldırılır.
8. Çubukların analizlerinin yapılması; Çubuk paketleme işlemi devam ederken, alınan numune örnekleri ile laboratuvara gönderilerek deney sonuçlarının uygunluğu kontrol edilir. Çubukların mekanik test sonuçları uygun ise paketleme işlemi devam ederek bitirilir. Çubukların mekanik özellikleri uygun değilse, üretim durdurulur, proste en başa dönülerek sistem kontrol edilerek, üretim baştan başlatılır.
9. Kaynak makinası ayarlanması; Uygun mekanik özelliklere sahip olan nervürlü çubuklar kaynak makinasına yerleştirilir. Ebat ve çap kalınlıklarına göre kaynak makinası trafo ve bilgisayar verileri girilerek makine hem yazılımsal olarak hem de mekanik olarak ölçülere göre ayarlanarak hazır hale getirilir.
10. Kaynaklama işlemi; Kaynaklama işlemine hazır olan makine çubukları verilerek kaynak işlemi yapılır. İlk çıkan çelik hasır alınarak kaynak noktaları önce göz kontrol edilir. Daha sonra laboratuvara gönderilerek düğüm noktası

kaynak mukavemeti ölçülür. Dügüm noktası mukavemet değerleri olumlu sonuçlanırsa kaynaklama işlemine başlanarak üretim devam eder. Üretimin devam ettiği sırada tekrar bir numune alınarak tekrar mekanik testleri kontrol edilir ve uygun ise üretim durdurulmadan devam ederek proje üretimi gerçekleşir. Uygun olmayan sonuçlarda makine kaynak ayarları tekrar kontrol edilerek test sonuçları gözden geçirilir.

11. Hasır paketleme; Kaynaklama işleminden sonra gönderilecek olan firma bilgileri, adet ve ebatları bilgileri etiketlere yazılarak paketleme yapılarak istiflenir.
12. Hasırların analizlerinin yapılması; Çelik hasırların analizleri üç yerde tekrar edilerek yapılır. Birinci etap ilk kaynak makinası ayarı yapıldığında ikinci sefer üretim devam ederken ve üçüncüsü çelik hasır paketleme işleminden sonra alınan numunelerde, her etapta 6 adet numune ile yapılır. Dügüm noktası kopma kontrolleri yapılarak uygunluğu kontrol edilir.
13. Sevkiyat; Bütün prosesleri tamamlayan çelik hasırlar müşteri talebine göre sevkiyatları gerçekleştirilir.

### **3.3. MEKANİK TEST PROSESLERİ**

Deformasyon oranları dikkate alınarak akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve süneklik kontrolü çelik hasır nervürlü çubukları için yapılan bir prosestir. Çelik hasır için ise düğüm noktası mukavemeti kontrolü yapılmaktadır.

#### **3.3.1. Çekme Deneyi**

Malzemelerin dayanımı ve genel yapısı hakkında bilgi edinmek, tasarım bilgilerini çözümlenmek ve malzemeleri sınıflandırmak amacıyla yapılır. Çekme deneyi, belirtilen ilgili standartlara göre numuneler hazırlanır ve deney numunesinin tek ekseninde tutucu çenelere bağlanır, bağlanmış olan numune belirli sıcaklıkta deney standartlarına göre uygun veya belirtilmiş sıcaklık dahilinde belirli bir çekme hızında

numunenin kopması durumuna kadar uygulanan çekim işlemidir. Deney sırasında, numunenin belirli bir yük altında çekilmesi esnasında belirli oranlardaki uzaması, boyun verme ve yüzde oranında kesitteki daralma miktarları göz önünde tutularak not edilir. Bu işlemde numune hakkında mekanik temel özellikleri belirlenir.

Bu özelliklerden başlıcaları şu şekilde sıralanabilir;

1. Akma gerilmesi
2. Çekme gerilmesi
3. Kopma uzaması
4. Kesit daralması
5. Tokluk
6. Elastisite modülü
7. Rezilyans

Çekme deneyi işleminden önce hazırlanan numuneler malzemenin temsil ettiği özelliklerin değişmemesi adına numune alınması ve hazırlanması önemli bir durumdur. Numune hazırlama standartları mevcut olup hesaplamaları ve hazırlanması standartlara uygun olmalıdır. 4. Bölümde şekil 4.5'te numune alma hesabı detaylı olarak anlatılmıştır.

TS4559 standartlarına uygun nervürlü çubukların çekme deneyi analizi TS EN ISO 6892-1'e uygun olacak şekilde TS708'de anlatılan şekle uygun olarak yapılmalıdır. TS4559 madde 1.2.1'e göre kontrol edilerek uygun olup olmadığına bakılır. TS4559 standartlarında 4 mm ile 12 mm arası 4 mm anma çapı ve 12 mm anma çapları dahil olmak üzere nervürlü çubuklar 0,5 anma çapı artarak ilerler ve  $\pm 0,2$  mm tolerans olarak hesaplanmaktadır.

Günümüz teknolojisi göz önünde bulundurularak bu işlemleri çok gelişmiş makineler ile yapılmaktadır. Bu makineler çalışma prensibi olarak hidrolik ve elektronik sistemler kullanılarak üretilmekte olup kullanılması düşünülen uygulanacak numune çeşitlerine göre hazırlanmakta ve farklı yükleme kapasitelerine sahip olmaktadır. Teknoloji çağında yazılımsal ve donanımsal olarak her türlü imkân mevcut olmakla birlikte



numuneye uygulanan yük ve numune üzerinde meydana gelen uzama miktarı aynı an içinde bilgisayar programı sayesinde hem analizi yapıp hem de bu analizi grafiksel ve görsel olarak çizdirilebilmektedir. Bu grafiklerde bir gerime-uzama diyagramı oluşur ve bu diyagram üç ana bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölge numunenin elastik deformasyon bölgesi olarak gösterilir ikinci bölge homojen plastik deformasyon bölgesi adlandırılır. İkinci bölge olarak homojen olmayan plastik deformasyon bölgesidir. Elastik deformasyon bölgesinde gerilme ve uzama değeri orantılı olarak birlikte artarlar gerilmenin geri kaldırılması üzerine uzama değeri de ilk haline geri dönerek sıfıra iner bu bölgede kalıcı deformasyon meydana gelmemektedir. Bu bölgedeki eğimin oranına elastisite modülü denir. İkinci bölgede gerilme daha da artarak elastik bölgenin dışına çıkar ve kalıcı deformasyon oluşmaya başlar bu bölge homojen plastik şekil değişimi olarak adlandırılır ve homojen deformasyon bölgesine girer. İkinci bölgede numune üzerine gerilmenin kaldırıldığında, elastik şekil değişimi ortadan kalkar fakat kaymanın neden olduğu plastik şekil değişimi kalıcı deformasyona uğradığından dolayı ortadan kalmaz. Kaymanın başladığı nokta ise numunenin ayırım noktasıdır. Burada plastik ve elastik davranış ayırtıran noktadır. Üçüncü bölgede ise numune artık homojen olmayan bir davranış sergiler bunun nedeni ise artık gerilmeler numune üzerinde eşit şekilde dağılmamaktadır. Numune üzerinde kesit büzölmeye başlar numune boyun verir ve daha da artan gerilmeler numuneyi kopartarak deney sona erer.

Çekme deneyi farklı materyaller üzerinde yapılabilmektedir. Farklı materyallerin farklı elastisite modülü farklı kayma modülü ve farklı sonuçlar elde edilir. Bu farklılıklar materyallerin özelliklerini ve sınıflandırılmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 3.1. Çekme test cihazı.

Şekil 3.1’de görülen çekme test cihazı kullanılarak fabrika sahası içinde testler yapılmaktadır. Bu yapılan testler TSE kalibrasyonu 6 ayda bir yenilen güvenilirliği kontrol edilmektedir. Çekme cihazı üst bölümde bulunan çekme görevini üstlenen gövde malzemeye yük uygulama kısmı bulunur. Bu yük ile malzemenin uzamasını ölçen ekstansometre birlikte ölçülerek bir yük uzama grafiği oluşturur. Yapılan testler öncelikle numune hazırlama süreci ve hesaplamaları yapılmaktadır. Daha sonra hazırlanan numuneler makinanın alt bölümünde bulunan alt ve üst çenelere takılır. Daha sonra bilgisayar kısmından malzeme tanıtımı yaparak malzeme bilgileri girilir ve numuneye yük vermeye başlar. Numune çekme testi sırasında önce boyun verip daha sonra boyun verdiği yerden kopar. Numunenin uzama miktarı, akma ve kopma mukavemet değerleri alınarak işlenir. Laboratuvar sıcaklığı 23 °C ( $\pm 2$ ) olarak kullanılmaktadır. Maksimum yük 200 kN çekme kuvvetine bir cihaz tercih edilmiştir.

### 3.3.2. Akma Gerilmesi ve Çekme Gerilmesi

Akma gerilmesi, mühendislikte kullanılan malzemeler için çok mühim mekanik özelliklerindedir. Akma mukavemeti izin verilen en üst sınırdır. Bu sınırın üzerindeki farkı ise istenilen malzeme için şekillendirme ve diğer işlemlerde kullanılmaktadır. Çelik hasır imalatında TS4559 da verilen sınır değerler ise akma gerilmesi için minimum 500 N/mm<sup>2</sup> olarak belirtilmiştir. Bu değer altının kabul edilmediği bu değer üst kısmında ise malzeme kullanılan nervürlü çubukların soğuk haddeleme esnasında şekillendirme ve nervürlüme esnasında kullanılmaktadır.

Çekme gerilmesi, malzemenin kopmadan önce veya dayanabileceği en fazla gerilme yükünün numunenin kesit alanına bölünerek elde edilmesiyle hesap edilir. Bu hesap TS4559'da çelik hasır nervürlü çubuğu için 550 N/mm<sup>2</sup> olarak sınırlandırılmıştır.

Kopma uzaması, numunenin kopana kadar ne kadar uzadığını gösteren değerdir. Kopma anında numune toplam uzaması numunenin ilk boyuna orantı yapılarak yüzde uzama miktarı bulunur. TS4559 da bu değer %5 oranında verilmektedir.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

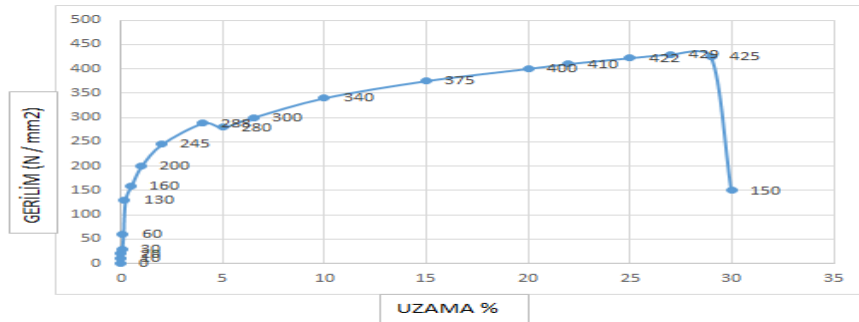
#### 4.1. ÇEKME TESTİ ANALİZİ

Üretimde kullanılan yarı mamul ürün olan 8 mm filmaşın akma ve çekme mukavemetleri aşağıda bulunan çizelge 4.1’de yer verilmiştir. Çizelgede yer alan değerler deneyler sonucu elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre elde edilen grafik Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Aşağıda bulunan çizelgelerde 8 mm filmaşın hammadde olarak kullanılarak 6,5 mm, 7,0 mm, 7,50 mm çaplarında soğuk haddeleme işlemi uygulanarak nervürlü demir çubuklar elde edilmiştir. Bu nervürlü çubukların akma mukavemetleri, çekme mukavemetleri ve uzama oranlarında artışlar görülmüştür.

Çizelge 4.1. 8 mm filmaşın deney sonuçları.

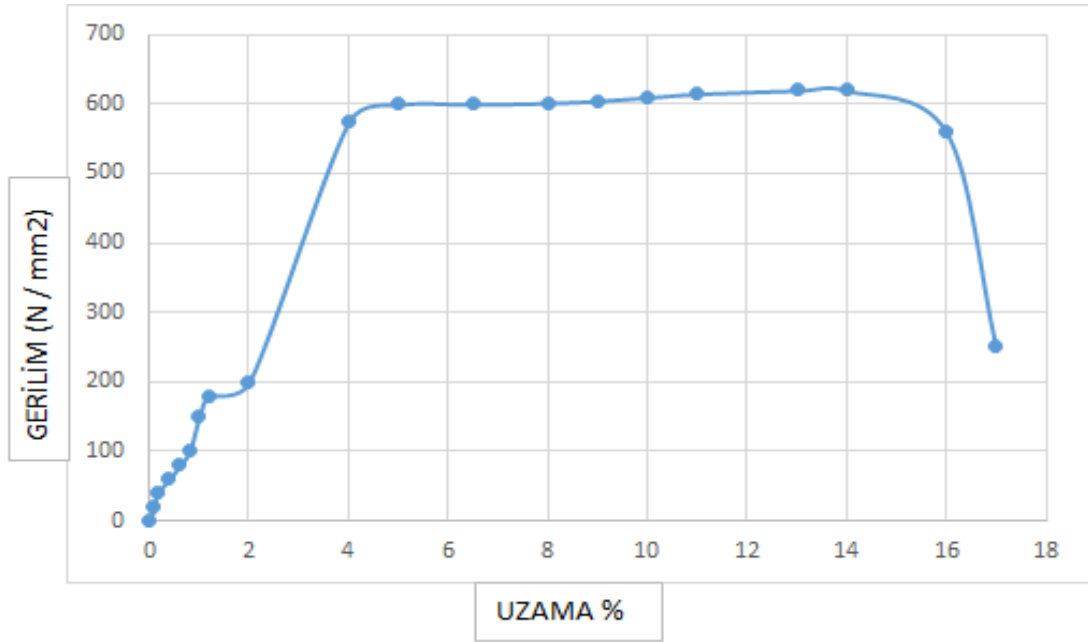
Deney Sayısı	Filmaşın Çapı (mm)	Karbon Oranı (C%)	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
1	8,00	0,01	429,00	288,00	29
2	8,00	0,01	429,00	288,00	29
3	8,00	0,01	429,00	288,00	29
4	8,00	0,01	429,00	288,00	29



Şekil 4.1. 8 mm filmaşın gerilim-uzama grafiği.

Çizelge 4.2. 6.5 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.

Nervürlü Çubuk (mm)	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Max Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Deformasyon Oranı (%)	Akma Mukavemeti Artış Oranı (%)	Çekme Mukavemeti Artış Oranı (%)	Uzama Miktarında Azalma Oranı (%)
6,50	573	610	15,5	20%	98,9%	42,19%	87%
6,50	577	618	14,5	20%	100,3%	44,05%	100%
6,50	579	615	17	20%	101%	43,35%	70%
6,50	558	597	11	20%	93,7%	39,16%	160%

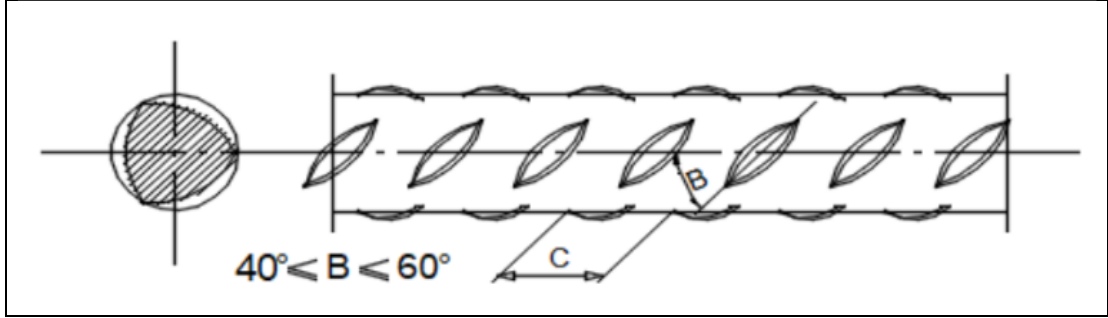


Şekil 4.2. 6,5 mm nervürlü çelik çubuk gerilim-uzama grafiği.

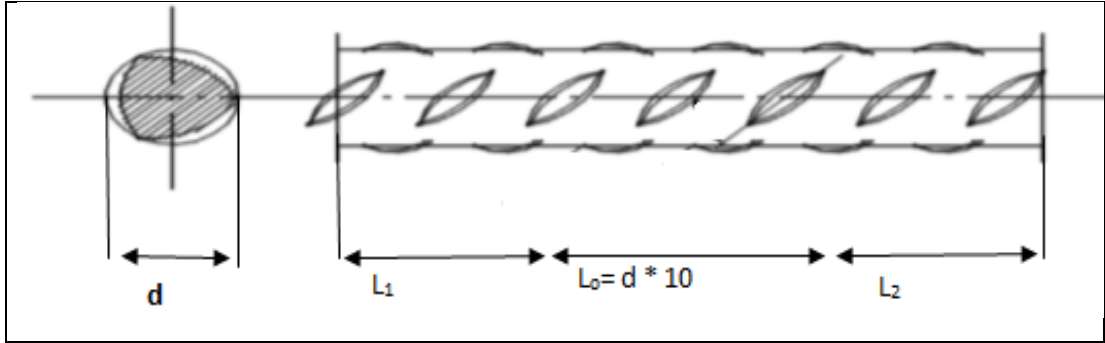
Karabük üniversitesi Türk Akreditasyon Kurumu tarafından onaylı Demir Çelik enstitüsü Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi Laboratuvarında yapılan deneylerde, yarı mamulün mamule dönüşmesi esnada, uygulanan soğuk haddeleme işlemi sırasında 8 mm filmaşinden elde edilen ve çizelge 4.2’de verilen değerlere göre, kesitin %20 oranında daraltılması sonucunda, akma ve çekme dayanımlarında ciddi oranda yükselmeye neden olduğu görülmektedir. Filmaşinin %20 deformasyon ile elde edilen nervürlü çubukların akma mukavemetinin çizelge 4.2’de görüldüğü üzere yaklaşık %100 oranında çekme mukavemeti ise yaklaşık %40 oranında artış gözlenirken uzama oranında; ortalama %100’e yakın bir azalma gözlenmiştir. Şekil 4.2’de elde edilen sonuçların grafiği görülmektedir. Soğuk haddeleme sırasında kesit daralması deformasyon oranı arttıkça, dislokasyonları artmasına bağlı olarak, akma ve çekme dayanımını arttırmıştır.



Şekil 4.3. Nervürlü hasır çubuğunun çekme testinden sonra fotoğrafı.



Şekil 4.4. Nervürlü çelik hasır çubuğu [26].



Şekil 4.5. Nervürlü Çelik çubuğu numune alma.

d= nervürlü çelik çubuk çapı

$L_1=L_2$ = Çekme cihazı çene mesafesi

$L_0= d*10$

Bir diğer deneyde ise aynı filmaşın kullanılarak elde edilen farklı çaptaki nervürlü çubuğun akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama miktarlarındaki sonuçların nasıl değiştiği çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3'te 8 mm filmaşının deney sonuçları yer almaktadır. Bu filmaşın kullanılarak elde edilen çubuk deney sonuçları da çizelge de 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. 8 mm filmaşın deney sonuçları.

Deney Sayısı	Filmaşın Çapı (mm)	Karbon Oranı (C%)	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
1	8,00	0,01	429,00	288,00	29
2	8,00	0,01	429,00	288,00	29
3	8,00	0,01	429,00	288,00	29
4	8,00	0,01	429,00	288,00	29

Çizelge 4.4. 7 mm nervürlü çubuk deney sonuçları.

Nervürlü Çubuk (mm)	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Max Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Deformasyon Oranı (%)	Akma Mukavemeti Artış Oranı (%)	Çekme Mukavemeti Artış Oranı (%)	Uzama Miktarında Azalma Oranı (%)
7	519	557	19,5	12,50%	80%	30%	49%
7	527	566	21	12,50%	83%	32%	38%
7	527	579	19	12,50%	83%	35%	52%
7	527	577	20	12,50%	83%	34%	45%

TS 4559 standartlarına göre uygunluk oranı akma sınırını 500 N / mm<sup>2</sup> çekme sınırının 550 N/mm<sup>2</sup> olduğu göz önünde bulundurulursa 8 mm filmaşın kullanılarak soğuk haddeleme ve nervürlüme işlemine tabi tutularak üretilerek elde edilen 6,50 mm çapında nervürlü çubuklar ile 7,00 mm çapında nervürlü çubukların analizleri uygunluk vermekte olduğu deneyler ile gözlenmiştir. Deformasyon oranları göz önüne alınarak ve TS4559 standartlarının sınır akma ve çekme değerleri kıyaslama yapıldığında 8 mm SAE 1008 kalite filmaşın kullanılarak %12,50 oranında deformasyon güvenlik sınırlarına çok yaklaştığı gözlenmiştir. Bu sınır değerlerin altında üretimin mümkün olmadığı düşünülürse %12,50 deformasyondan daha az yapılan soğuk haddeleme işlemi çelik hasır üretiminde kullanılmaması gerektiği düşünülmektedir. Bunun içinde 8 mm filmaşın kullanılarak çizelge 4.5’de verilmiştir. Bu filmaşın kullanılarak %7,14 oranında bir deformasyonla elde edilmiş 7,50 mm çapında nervürlü çubuğun analizi aşağıda çizelge 4.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. 8 mm filmaşın deney sonuçları.

Deney Sayısı	Filmaşın Çapı (mm)	Karbon Oranı (C%)	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
1	8,00	0,01	429,00	288,00	29
2	8,00	0,01	429,00	288,00	29
3	8,00	0,01	429,00	288,00	29
4	8,00	0,01	429,00	288,00	29
5	8,00	0,01	429,00	288,00	29

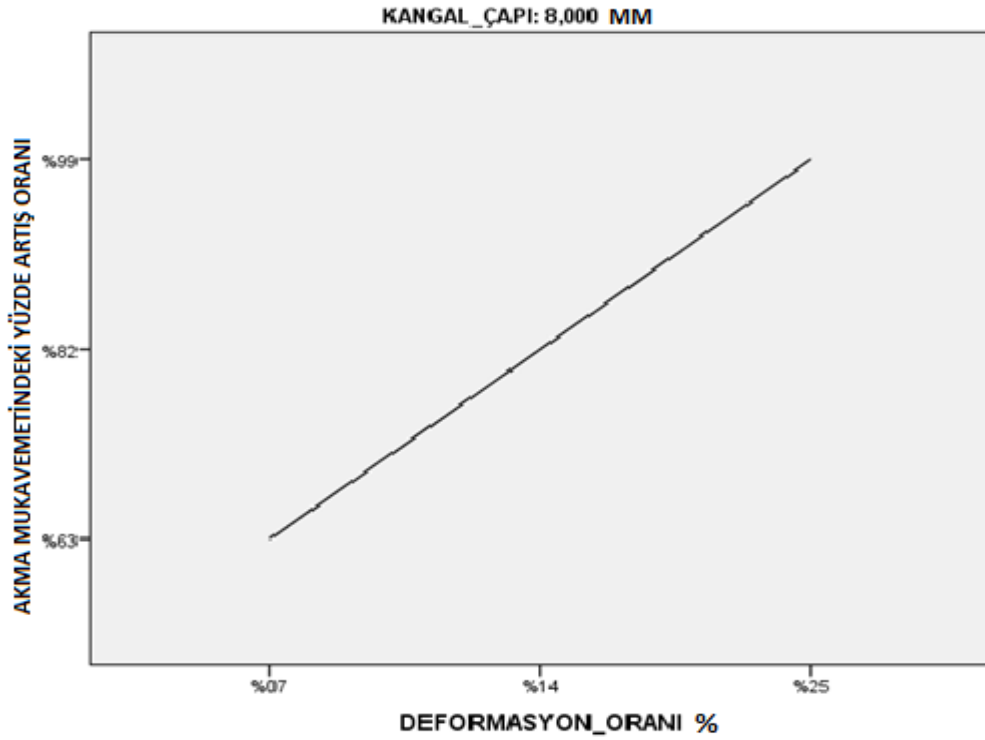
Çizelge 4.6. 7,5 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.

Nervürlü Çubuk (mm)	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Max Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Deformasyon Oranı (%)	Akma Mukavemeti Artış Oranı (%)	Çekme Mukavemeti Artış Oranı (%)	Uzama Miktarında Azalma Oranı (%)
7,50	475	528	22,50	7,14%	65%	23%	29%
7,50	468	517	23,00	7,14%	62,5%	20,5%	26%
7,50	465	514	17,50	7,14%	61,5%	20%	65%
7,50	476	526	18,00	7,14%	65%	22,6%	61%
7,50	462	514	19,00	7,14%	60%	20%	52%

8 mm filmaşın kullanılarak soğuk haddeleme ve nervürlüme işleminde %7,14 oranında deformasyona uğratarak elde edilmiş nervürlü çubukların akma mukavemet ortalama 470 N/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiş ve çizelge 4.6’da verilmiştir. TS4559 standartlarında verilen 500 N / mm<sup>2</sup> sınır değerinin altında kalarak uygun olmadığı anlaşılmıştır. Çekme mukavemet ortalaması ise yaklaşık 520 N/mm<sup>2</sup> gelerek TS4559 standartlarında verilen 550 N / mm<sup>2</sup> sınır değerinin altında kalarak uygun olmadığı gözlenmiştir.

8 mm SAE 1008 kullanılarak elde edilen 7,5 mm, 7,0 mm ve 6,5 mm nervürlü çubukların deformasyon ve akma mukavemetleri Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



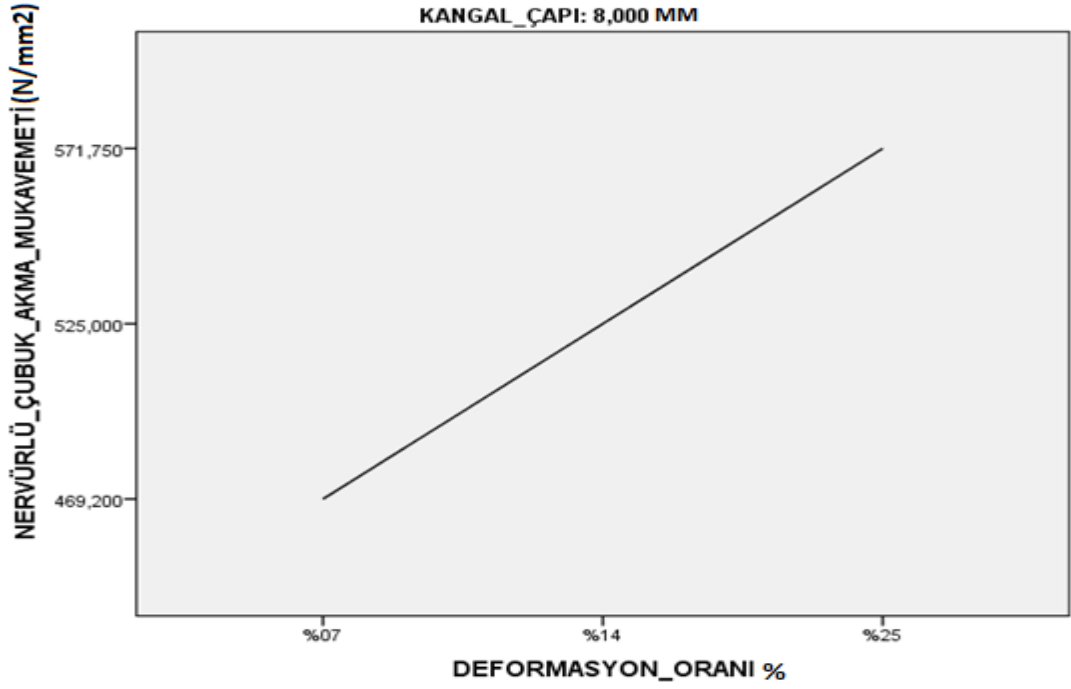


Şekil 4.6. 8 mm filmaşın kullanılarak elde edilmiş nervürlü çubuklarda deformasyon arttıkça akma miktarındaki artışı gösteren grafik.

Şekil 4.6’da verilen grafikte görüldüğü üzere deformasyon oranı %7, %12,5, %20 miktarında arttıkça akma mukavemet miktarında %63, %82, %99 oranında artış olduğu gözlenmiştir. Sınır değerleri kontrol edilerek deformasyon miktarı artırılarak üretim yapılmalıdır.

Carboğa yapmış olduğu çalışmada, soğuk deformasyon dislokasyon miktarını artırır diyerek yaptığı deneylerde Ç1010 kalite filmaşın kullanarak %15 deformasyon ile elde etmiş olduğu çubuklarda çekme dayanımının %45 oranında artarken akma dayanımının %72 oranında arttığını ve sünekliliğin ise %68 oranında azaldığını belirtilmiştir [2]. Bu çalışma kapsamında SAE 1008 kalite ile yapmış olduğumuz deneyler %12,5 deformasyon miktarı ile %82 akma mukavemetinde artış olduğunu gösterilmiştir.

Deneylerde 8 mm filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların % 12,5 civarına kadar yapılan deformasyonlar yaklaşık sınır değerlere ulaştığı görüldüğü üzere deformasyon oranının bu değerlerden aşağı yapılması istenilmemektedir. Şekil 4.7’de gösterildiği gibi deformasyon ile akma mukavemeti doğru orantılı artıp azalmaktadır.



Şekil 4.7. 8 mm filmaşın kullanılarak elde edilmiş nervürlü çubuklarda deformasyon arttıkça akma mukavemetindeki artışı gösteren grafik.

Deformasyon oranına göre kontrol edildiğinde %12,5 oranına karşılık gelen akma sınırının 500 kN değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Deformasyon miktarı arttıkça doğrusal olarak akma mukavemeti de artmaktadır.

Çizelge 4.7. 9 mm filmaşın deney sonuçları.

Deney Sayısı	Filmaşın Çapı (mm)	Karbon Oranı (C%)	Çekme Mukavemeti (N/mm2)	Akma Mukavemeti (N/mm2)	Uzama (%)
1	9,00	0,05	402	297	30
2	9,00	0,05	402	297	30
3	9,00	0,05	402	297	30
4	9,00	0,05	402	297	30
5	9,00	0,05	402	297	30

Deformasyon oranları ile kullanılan SAE 1008 kalite filmaşın hammadde olarak akma sınırları 290 N/mm2 civarında gelmektedir. Hammadde filmaşın değerleri üreticiden alınan kalite belgeleri kontrol edilerek bu değerlerin düşüklük gösteriyorsa deformasyon miktarının artırılması gerekmektedir. Düşük akma mukavemetine sahip olan hammaddelerde daha büyük deformasyonlar kullanılmalıdır.

Çizelge 4.8. 8 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.

Nervürlü Çubuk (mm)	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Max Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Deformasyon Oranı (%)	Akma Mukavemeti Artış Oranı (%)	Çekme Mukavemeti Artış Oranı (%)	Uzama Miktarında Azalma Oranı (%)
8,0	515	556	13	11,11%	73%	38%	130%
8,0	516	561	12,5	11,11%	74%	40%	140%
8,0	512	556	12,5	11,11%	72%	38%	140%
8,0	521	561	13	11,11%	75%	40%	130%
8,0	521	567	13,5	11,11%	75%	41%	140%

Çizelge 4.7’de kullanılan çekme sonuçları yazılmış olan 9 mm çapındaki düz filmaşinde elde edilen 8 mm nervürlü çubuk çizelge 4.8’de verilmiştir. Karabük üniversitesi Türk Akreditasyon Kurumu tarafından onaylı Demir Çelik enstitüsü malzeme araştırma ve geliştirme merkezi laboratuvar sonuçları kullanılarak alınan bilgilerde akma mukavemeti miktarındaki artış yaklaşık %11,11 deformasyonda %75 civarında olduğu gözlemlenirken çekme mukavemetindeki artış yaklaşık %40 civarında olduğu görülmüştür. 9 mm SAE 1008 kalite düz filmaşin kullanılarak %11,11 deformasyona uğratarak elde edilen 8 mm nervürlü çubukların TS4559 standartlarına göre sınır değerlerde kaldığı görülmüştür.

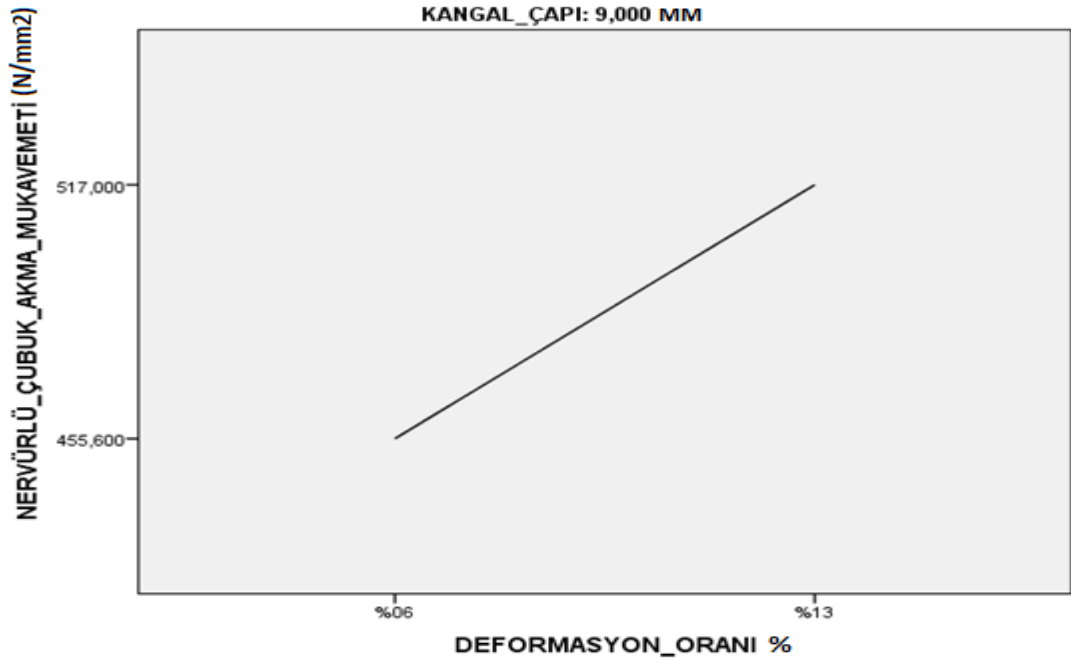
Bu deformasyon miktarının altında yapılan soğuk haddeleme üretimini için TS4559 standartlarına uygun olmayacağı ve bunun da deney ortamında gözlenmek istenilmiştir. Aşağıdaki çizelge 4.9’da yer verilen 9 mm SAE 1008 kalite filmaşinden çizelge 4.10’da gösterilen 8,5 mm nervürlü çubuk mekanik test değerler ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.9. 9 mm filmaşin deney sonuçları.

Deney Sayısı	Filmaşin Çapı (mm)	Karbon Oranı (C%)	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
1	9,00	0,06	415	302	30
2	9,00	0,06	415	302	30
3	9,00	0,06	415	302	30
4	9,00	0,06	415	302	30
5	9,00	0,06	415	302	30

Çizelge 4.10. 8,5 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.

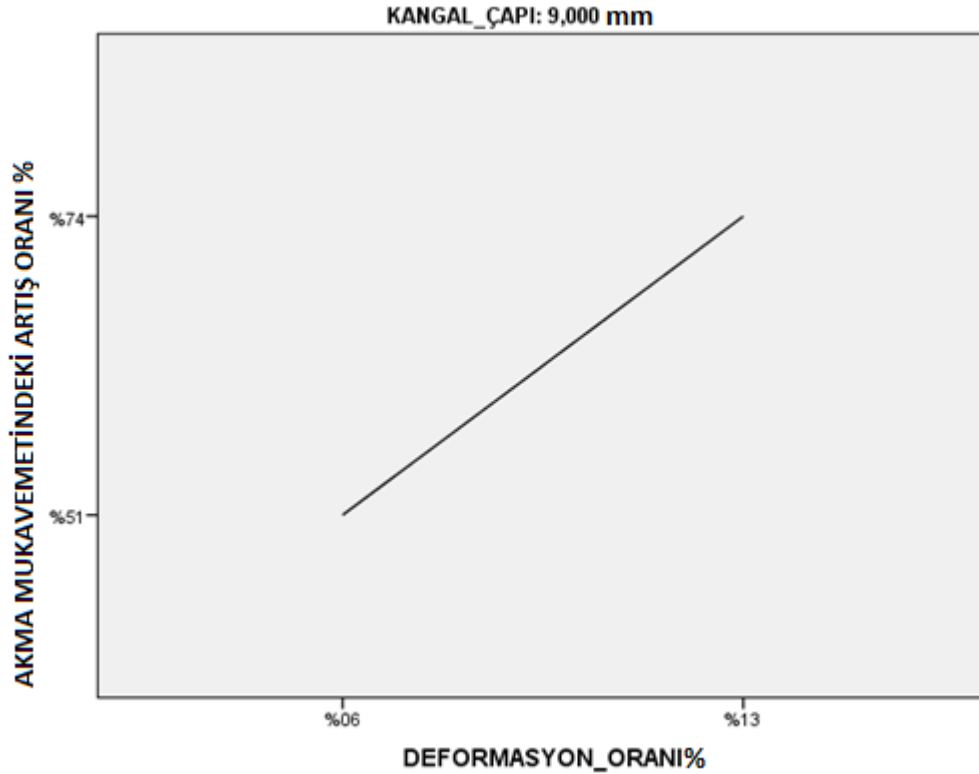
Nervürlü Çubuk (mm)	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Max Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Deformasyon Oranı (%)	Akma Mukavemeti Artış Oranı (%)	Çekme Mukavemeti Artış Oranı (%)	Uzama Miktarında Azalma Oranı (%)
8,5	456	507	14	5,55%	51%	22%	114%
8,5	459	510	16	5,55%	52%	23%	88%
8,5	463	516	15	5,55%	53%	24%	100%
8,5	448	497	15	5,55%	48%	20%	100%
8,5	452	503	15	5,55%	49%	21%	100%



Şekil 4.8. 9 mm filmaşin kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon arttıkça akma mukavemetlerini gösteren grafik.

Yapılan deneylerde görüldüğü üzere 9 mm SAE 1008 kalite filmaşinin deformasyon oranını azaltarak yapılan çalışmalarda TS4559 standartlarında belirtilen sınır değerlerin altında kalarak soğuk haddeleme için üretilen nervürlü çubukların uygun olmadığı görülmüştür. Akma mukavemeti 500 N/mm<sup>2</sup> sınır değerinin altında kalmıştır. Çekme mukavemeti 550 N/mm<sup>2</sup> sınır değerinin altında kalarak uygun olmadığı deneyler sonucu gözlenmiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görüldüğü üzere deformasyon ile orantılı şekilde akma mukavemeti hareket etmektedir.

8 mm SAE 1008 kalite ve 9 mm SAE 1008 kalite filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların akma ve çekme mukavemetleri yapılan deformasyona göre kıyaslanmıştır. Deformasyon oranlarının 8 mm SAE 1008 kalite filmaşın için yaklaşık %12,50 deformasyonun altında olmaması gerektiği, 9 mm SAE 1008 kalite filmaşın için ise yaklaşık %11,11 deformasyonun altında olmaması gerektiği görülmektedir.



Şekil 4.9. 9 mm filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon arttıkça akma mukavemetindeki artışı gösteren grafik.

TS4559 standartlarına göre filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubuklar 0,5 ve tam değerler olarak üretilebilmektedir. Bunun için yapmış olduğumuz deneyler ile anlatmak gerekirse 9 mm SAE 1008 kullanılarak 8 mm nervürlü çubuk demir sınır değerlerimizi karşılıyor. 8,5 mm sınır değerlerimizi karşılamıyor.

Bunun arasında olan 8,3 mm sınır değerlerimizi karşılayabilir fakat 8,3 mm çapında bir hasır üretimine TS4559 standartlarına uygun olmadığından dolayı bu ara çapların akma ve çekme deneyleri yapılmamıştır.

Filmaşın çapları düşük olduğu zaman 6 mm SAE 1008 kalite filmaşın üretim konusunda en az deformasyon ile 5,5 mm nervürlü demir çubuk üretimi yapabiliriz. Bunun içinde 6 mm SAE 1008 kalite filmaşından %16,66 deformasyon uygulamamız gerekmektedir.

Deformasyon oranı, başlangıçtaki çaptan son çapa olan değişimin yüzdesi olarak tanımlanır. Bu durumda, başlangıçtaki çap 6 mm'dir ve son çap 5,5 mm'dir. Bu nedenle, değişim  $6 \text{ mm} - 5,5 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm}$ 'dir. Bu değişimin başlangıçtaki çapa oranı ise  $0,5 \text{ mm} / 6 \text{ mm} * 100 = \%16,66$ 'dır. Hammadde olarak alınan SAE 1008 kalite filmaşının akma mukavemeti düşüklük göstermiyor ve ortalama yaklaşık 300 N/mm<sup>2</sup> geldiği düşünülürse bu deformasyon oranıyla TS4559 şartlarına uygunluk göstereceği düşünülebilir bunun için analiz çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. 6 mm filmaşınların deney sonuçları.

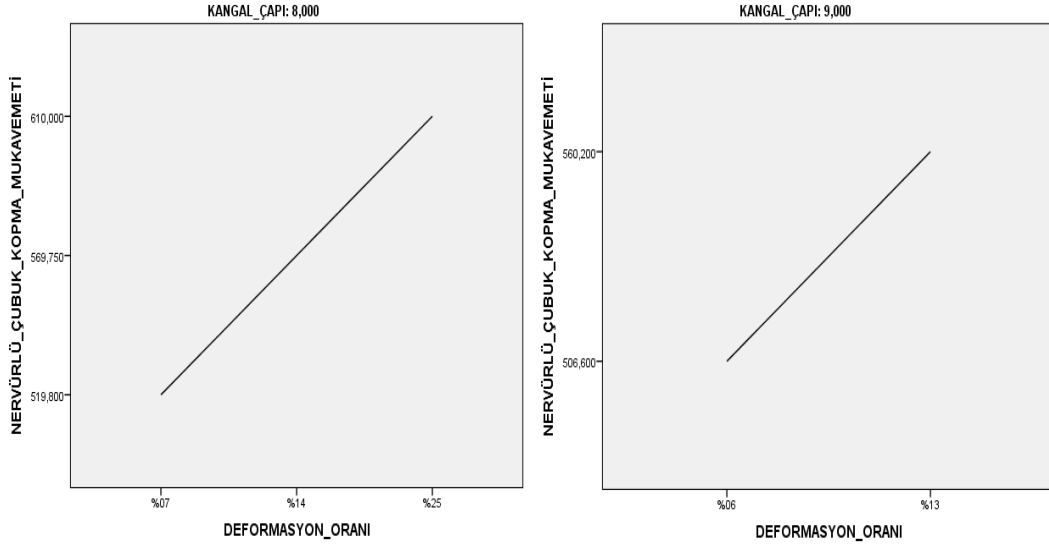
Deney Sayısı	Filmaşın Çapı (mm)	Karbon Oranı (C%)	Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
1	6,00	0,08	454,00	333,00	30
2	6,00	0,08	454,00	333,00	30
3	6,00	0,08	454,00	333,00	30
4	6,00	0,08	454,00	333,00	30
5	6,00	0,08	454,00	333,00	30

Çizelge 4.12. 5,50 mm nervürlü çubukların deney sonuçları.

Nervürlü Çubuk (mm)	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Max Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Deformasyon Oranı (%)	Akma Mukavemeti Artış Oranı (%)	Çekme Mukavemeti Artış Oranı (%)	Uzama Miktarında Azalma Oranı (%)
5,50	539	575	12,00	16,66%	61,86%	26,65%	150,00%
5,50	537	574	12,00	16,66%	61,26%	26,43%	150,00%
5,50	536	573	11,00	16,66%	60,96%	26,21%	172,73%
5,50	538	573	11,00	16,66%	61,56%	26,21%	172,73%
5,50	539	573	12,00	16,66%	61,86%	26,21%	150,00%

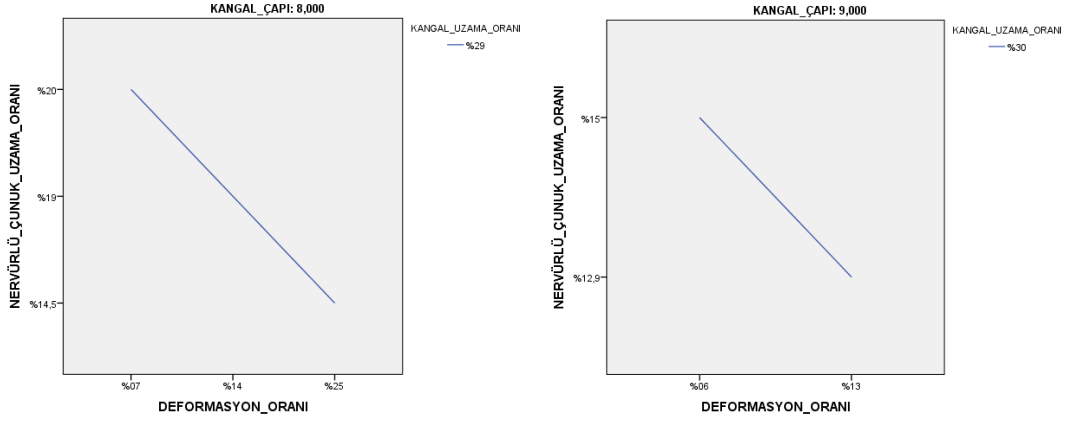
Çizelge 4.11'de verildiği üzere akma dayanımı yüksek olan bir filmaşın kullanılarak ve deformasyon oranını %16,66 uygulanarak üretilen soğuk haddeleme işlemi TS4559 sınırlarına uygunluk vermektedir.

TSE laboratuvarlarında yapılan sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. Kullanılan filmaşinin akma mukavemet değerinin yüksek olduğu göz önüne alınarak nervürlü çubuklardaki artışlar kontrol edilirse 6 mm SAE 1008 kalite filmaşinden üretilen 5,5 mm nervürlü demir çubukların üretim sonrası çekme deneylerine tabi tutularak standartlara uygunluğu ispatlanması gerekmektedir. Çünkü yapılan çekme deneylerinde kullanılan numune için hammadde akma mukavemet değeri 333 N/mm<sup>2</sup> dir. Hammaddelerin daha düşük akma mukavemetine sahip olduklarını bilindiğinden dolayı sınır değerlerde olup analizler yapılarak kontrol altına alınması düşünülmektedir.



Şekil 4.10. 8 mm ve 9 mm filmaşin kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon oranları ile kopma mukavemetlerini gösteren grafik.

Deformasyon arttıkça çekme kuvvetinin de arttığını gösteren grafik yukarıda Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Yapılan test sonuçları TS4559 normu uygun olarak TSE laboratuvarında ve Karabük üniversitesi Türk Akreditasyon Kurumu tarafından onaylı Demir Çelik enstitüsü malzeme araştırma ve geliştirme merkezi laboratuvar yapılmıştır.



Şekil 4.11. 8 mm ve 9 mm filmaşın kullanılarak elde edilen nervürlü çubukların deformasyon oranları ile uzama miktarındaki azalmayı gösteren grafik.

Deformasyon arttıkça kangal uzama oranına göre nervürlü çubuk uzama oranı azalmaktadır. Deformasyon ile ters orantılı olan uzama miktarları çelik hasır kullanımı için verilen sınır şartları kontrol edildiğinde sınır şartlarını rahatlıkla sağladığı deney sonuçlarında Şekil 4.11’de görülmektedir.

Çimenoğlu ve Kayalı [27], soğuk işlem malzemeye plastik şekil verme yöntemiyle uygulanır. Plastik şekil verme yöntemi (örneğin haddeleme) ile deformasyon sertleşmesine uğratıldıktan sonra kullanılırlar. Deformasyon sertleşmesi, çeşitli yapı elemanlarının emniyetini artırma açısından da faydalı olmaktadır. Eğer bir yapı elemanı aşırı yüklenecek olursa, plastik deformasyona uğrar ve buna bağlı olarak mukavemeti artar. Yapmış olduğumuz deformasyon miktarına bağlı mukavemet artışlarını görmüştür.

## 4.2. ÇELİK HASIR ÜRETİMİ

Çelik hasır, yapı malzemesi olarak kullanılan bir donatı çeşididir. Yapılarda, kaynaklı donatı olarak tercih edilmektedir. Kullanım alanları binalarda zemin, çatı, duvar, saha alanı yapımı gibi bölümlerde kullanılırken tünellerde, köprülerde, yol yapımında, kanal yapımında, havalimanı pisti endüstriyel ve sivil binalarda askeri alanlarda barajlar gibi birçok alanda kullanımı mevcuttur. Çelik hasır, günümüzde kullanımı yaygın olarak görülürken gün geçtikçe kullanımı da artmaktadır. Deprem bölgelerinde, Toki inşaatlarının birçok bölümünde çelik hasır kullanılmaktadır. Hem işçilik maliyeti



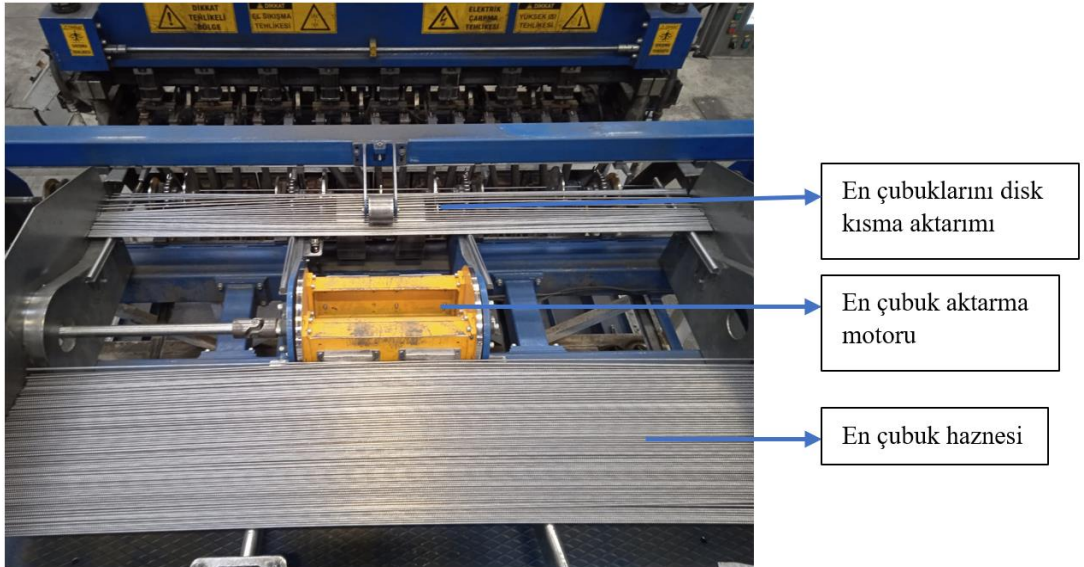
yönünden tasarruf sağlanması, hem de yapım işlerinin hızlı ve güvenilir olması açısından çelik hasır inşaatlarda önemli bir yer tutmaktadır. Nervürlü çubukların, kaynaklanarak bir ağ şeklinde imalatı, betonarme yapının iskeletini oluşturmaktadır.

Çelik hasırın gelişimi 20. Yüzyılın başlarında 20 ve 30 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve İngiltere gibi ülkelerde başlamıştır. Çelik hasır ilk üretim yıllarında sıcak haddelenmiş düz çubuklardan meydana gelirken daha sonra soğuk haddelenmiş düz çubuklardan üretimi yapılmaya başladı. 1968 yılında Avrupa ülkeleri soğuk çekilmiş nervürlü çelik üretimi yapmaya başlamıştır. 1973 yılında  $550 \text{ N/mm}^2$  çekme mukavemetine sahip nervürlü çubuklar çelik hasırın ana hammaddesi olarak kullanılmaya başladı. Çap aralıkları 5 -12 mm arasındaydı. Asya ülkelerinde 1950-1960 yılları arasında bu teknoloji yavaş yavaş girmeye başladı. Çin’de ilk fabrika 1987 yılında yurtdışından çelik hasır makinası getirilerek başlanılmıştır. İnşaat maliyetlerinden tasarruf ve inşaat hızında artma işgücünde azalma gibi avantajları sayesinde hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Literatür verilerine göre inşaat demirine kıyasla %17 ile %40 arasında tasarruf sağladığı belirtilmiştir [10].

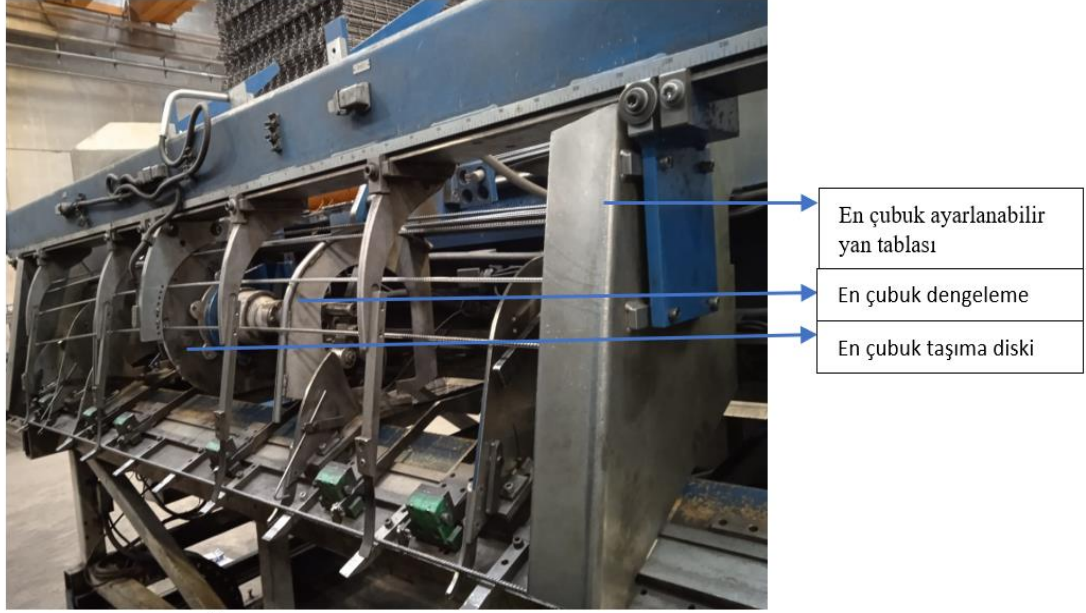
Çelik hasır belirli mekanik özellikleri, akma çekme mukavemetleri belirli bir sınıırın üzerinde imalatı yapılmaktadır. Kaynak performansları ve ızgara şeklinde oluşturulan hasırın eğilme bükülme sınırları her yönüyle incelendiğinden dolayı, işçilik hatalarını ve uygulama hatalarını minimize etmektedir. Deprem kuşağında olan Ülkemizde hayati öneme sahip olan yapı sağlığını arttırdığını ve bu yönüyle de çok kıymetli bir konumdadır.

Çelik hasır üretim makinasının genel hatları itibariyle makinanın ilk etapta en ve boy nervürlü çubukların yerleştirilmesiyle başlar. Çelik hasır kaynak makinasının üst kısmında bulunan nervürlü en çubuk hazne kısmına uygun ölçüde olan en çubukları yerleştirilir. Bu sistem yeni nesil geliştirilmiş kaynak makinalarında insan gücü gereksinimi olmadan bilgisayar sistemi tarafından da yapılabilir. Genel olarak en çubuklarının yerleştirilmesi ve kaynaklama kısmına iletilmesi ve ayarlarını yapılmasını, üretilecek hasırların cinsine ve özelliğine göre ebatları ve çapı kontrol edilen nervürlü çubuklar en çubuk haznesine kontrol edilerek sağ ve sol tarafında bulunan ayar tablasından ayarlanarak yerleştirilir. Nervürlü çubuklar yerleştirildikten

sonra orta kısımda bulunan motor ile belirli sayıda çubuk disk tarafına aktarılır burada nervürlü demir çubuklar tek tek disk haznesine yönlendirilerek disklerde hazır konumda bekler disklerdeki çubuklar kaynaklama sırasında tek tek gönderilerek istenilen konum ve çelik hasır göz aralıklarına kafes ızgara mesafelerine göre diskten çıkar diskler boşaldıkça sensörler vasıtasıyla bilgi sisteme iletilir ve motor tekrar çalışarak diskleri doldurur. Diskler dolduğunda sensörler yardımıyla tekrar sisteme bilgi iletilerek motora durma komutu iletilir. Diskten çıkan nervürlü demir çubuklar dengeli bir şekilde kaynaklama noktasında bulunan en çubuklarını tutma görevi yapan magnetlere tutunur. Bu tutunma sırasında yine bir dizi sensör yardımıyla en çubuğunun doğru konumda olduğu kontrol edilerek sisteme bilgi verir doğru konumda olan en çubukları boy çubuklarının belirli aralık ve mesafe ile üst kısmına düşerler. Kaynaklama noktasına ulaşan en çubukları bilgisayar sisteminden verilen emir ile üst elektrotların bağlı olduğu pistonlar vasıtasıyla boy çubukları üzerine baskılama yapılır. Bu baskılama esnasında kapalı sistem devre oluşturularak akım geçişine izin verir. En ve boy çubuklarının birleşim noktasından geçen akım birleşim bölgesini eriyik hale getirerek kaynaklama işlemini gerçekleştirir. Standard bir hasırda 33 adet en çubuğu 150 mm ara ile ileri hareket eden boy çubuklarının üzerine düşerek kaynaklama işlemi sağlanır ve bu anlatılan döngü bir adet standart 500 cm uzunluğunda boy çubuğuna 150 mm ara ile 33 defa uygulanarak sona erer.



Şekil 4.12. Hasır kaynak makinası en çubuk haznesine ait bir görüntü.

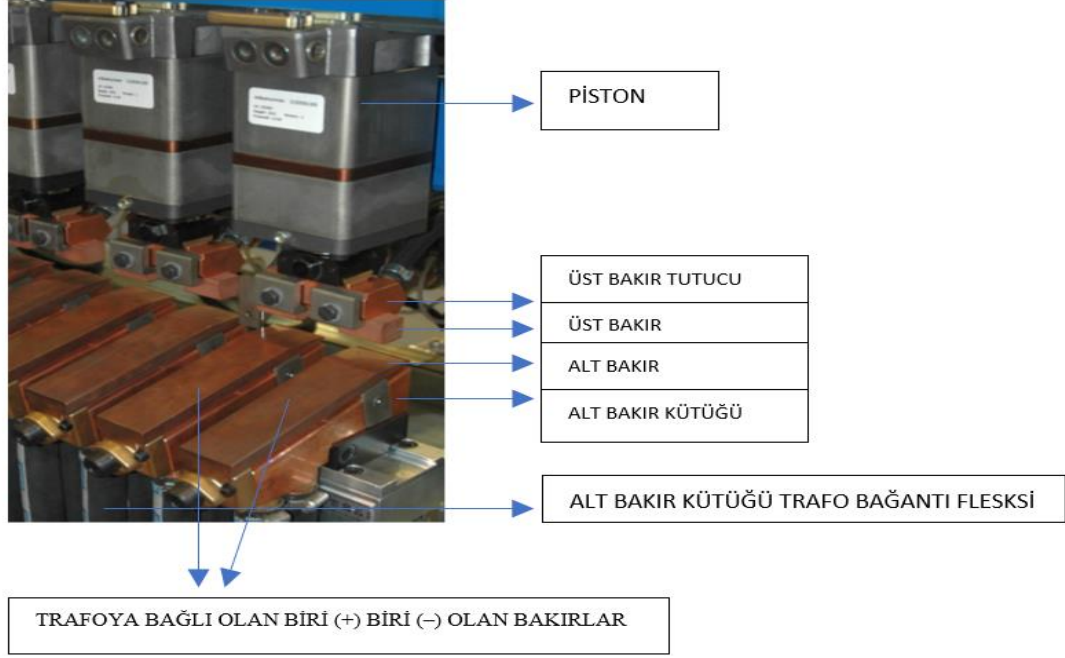


Şekil 4.13. Hasır kaynak makinası en çubuk atma mekanizmasına ait görüntü.

Baskılama süresi bekleme süresi ve akım süreleri nervürlü demir çubuk çapına göre otomasyon ayarları yapılarak kaliteli bir kaynak yapımı sağlanır.

Pistonların çalışması makine üst kısmında olan hava tankları otomasyon sistemi ile gerçekleşir. Pistonların devreye girebilmesi için en ve boy nervürlü demir çubukların yerini alması gerekmektedir. Bu nervürlü çubukların sensörler yardımıyla bilgi kontrol edilerek sisteme bilgi verir. Piston basınçlı hava ile dolarak üst elektrot olan bakırı ve onun altında hazır bulunan enine nervürlü çubuğu nervürlü boy çubuğunun üzerine ittirerek birleşimi sağlar. Piston içerisinde bulunan basınçlı hava kaynaklama süresi bitiminde boşaltılır ve basınç kalkınca içerisinde bulunan yay sayesinde geri yukarı çıkarak ilk konuma gelir. Standard bir hasır yapımı için 8 adet piston 15 adet boy çubuğunun üzerinde 90<sup>0</sup> açıyla nervürlü en çubukların kesişmesi sağlayarak aynı anda 15 noktadan 15 üst elektroda baskı verir. Bu 8 adet pistondan her bir adeti biri artı biri eksi olarak bir adet trafoya bağlı olan elektrotların hareketini sağlamaktadır. Standard bir hasırda 33 adet piston aşağı inerek baskı yapıp tekrar yukarı çıkar ve 8 saatlik çalışma mesaisinde ortalama üretilen 1000 adet hasır göz önüne alındığında 33 bin kez bu hareketi tekrar eder. Kaliteli bir kaynak ve baskılama için piston keçeleri ve yayları

kullanım ömürleri göz önünde bulundurularak değiştirilmesi kaynak kalitesinin düşmesini engelleyecektir.



Şekil 4.14. Hasır kaynak makinası kaynak elemanlarına ait bir görüntü.



Şekil 4.15. Hasır kaynak makinası genel görünümüne ait bir fotoğraf.

Trafolar ise üretilecek olan çelik hasır nervürlü en çubuğunun uzunluk ölçüsüne ve boy çubuğunun sayısına göre bağlantı ayarları yapılarak prosese başlanır. Standard bir hasırda 15 adet boy çubuğu kullanılmaktadır. Her bir trafoda iki adet alt elektrot kullanılır. Bunlardan bir tanesi trafonun pozitif kutbuna bir tanesi ise negatif kutbuna bağlanır. Boy ve en çubuklarının teması üzerine devre sistemi kapalı sisteme dönüşür ve akım geçerek düğüm noktalarında kaynak meydana gelir. Trafolar akım süreleri akım değerleri bilgisayar otomasyon üzerinden ayarlanır. Üretilecek hasır cinsine ve nervürlü çubukların kalınlıklarına göre değişen bu değerler kaynak kalitesini doğrudan etkilemektedir. Üretilen çelik hasır boy çubuk adeti azaldığında trafo sayıları da azaltılmaktadır. Trafo değerleriyle birlikte kullanılan elektrot bakır temizliğinde kaynak kalitesini doğrudan etkilemektedir. Temiz bir elektrot ile ısı kayıpları yaşanmadan kaynak çapakları oluşmadan üretim sağlanabilmektedir.

Izgara şeklinde yapılan ürünün ızgara boyutu göz aralıkları, nervürlü çelik çubukların çapları kalınlıkları ve mekanik özellikleri ve kalite konusunda katı gereksinimleri vardır. Enine ve boyuna nervürlü çubukların kaynaklarının yapımı kaynak kalitesi ciddi bir güvenlik sorununa uygulama nihai ürünlerin yaşam alanları olduğu göz önüne alınarak büyük güvenlik sorunları neden olabilir. Bu yüzden kaynak imalatının kalitesi önemli bir unsurdur.

Üretim süreci bilgisayar teknolojisinin, sensor sistemlerinin ve akıllı sistemlerin gelişmesiyle günümüz teknolojisi ile özel imalat makinaları kullanılarak yapılmaktadır. Kaynak teknolojisi direnç nokta kaynağı olan sistemlerde küçük çaplı nervürlü çubukların kaynak alanları esas alınarak otomatik sistemler yardımıyla aynı anda birçok nokta direnç kaynağı yapılmaktadır. Hem yüksek verimlilik hem de üretim sistemlerinin birçok alana hitap ederek ihtiyacı karşılaması için uygun tasarlanmış olan makinalar kullanılmaktadır. Kaynak yapılacak olan nervürlü çubukların çaplarının düşük olması, boyuna ve enine nervürlü çubukların birleşim alanlarının kesiştiği noktalarda yapılan nokta direnç kaynağın kalitesi ile hesap edilmesi gerekmektedir.

Boyuna ve enine oluşan nervürlü çubukların elektrik akımı iletkenliği özelliği kullanılarak birleşim alanına piston yardımıyla baskı uygulanır ve kapalı sistem bir devre oluşur. Devreden akımın geçmesiyle nervürlü çubuklar direnç görevi gören

kaynak bölgesinin yüksek ısı üretmeye başlar. Yüksek direnç sebebiyle oluşan ısı birleşim bölgesini yüksek ısıya maruz kalarak enine ve boyuna çubukların kesişme alanı kaynak birleşim bölgesi olarak eriyik hale gelir. Eriyik bölgenin soğumasıyla boyuna ve enine çubukların kesişme alanı kaynak edilmiş olmaktadır.

Akım, kaynak süresi ve sıcaklık gibi değerler genel bir formül kullanılarak hesap edilemezler çok değişkenli parametrelere sahip olan bu işlemler birçok değişken etkiyi bir arada barındırır. Kullanılan elektrotlar her kaynaktan sonra değişkenlik gösterir kullanılan nervürlü çubuğun her kaynak noktası alanı farklılık gösterir ortam sıcaklıkları trafo ömürleri gibi birçok etken vardır. Ancak genel bir formül vermek zordur ama açıklama yapmak istersek şu şekilde özetleyebiliriz. Pratikte bu tür parametrelerin belirlenmesi genellikle deneysel çalışmalara veya malzeme bilimine dayanarak optimize edilir.

$Q=I^2 \cdot R \cdot t$  formülü ile kaynak kontrolünün ana elektrik parametreleri voltaj, direnç ve akımdır.

$Q$ =Üretilen ısı miktarıdır. (Watt-saniye)

$I$ =Akım (amper)

$R$ =Toplam direnç (ohm)

$t$ = zaman (saniye)

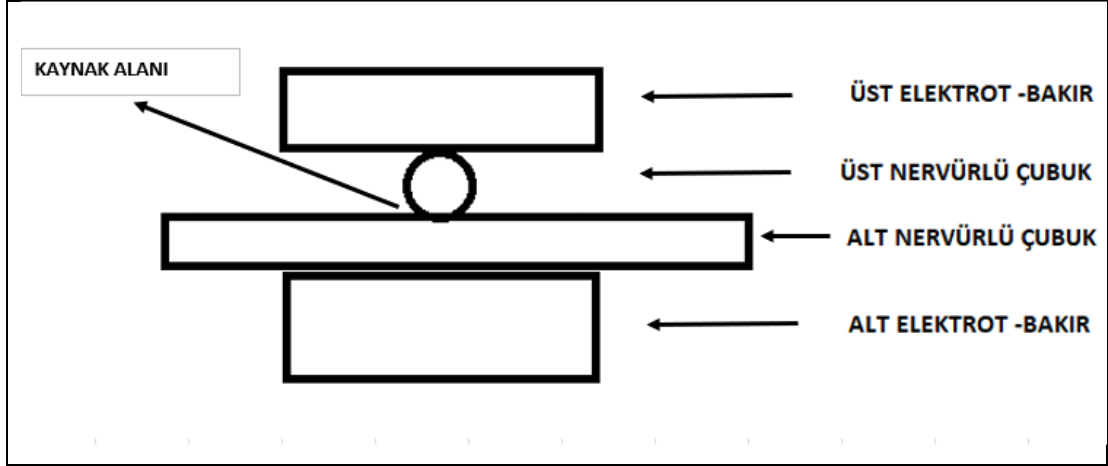
Bu formül de kullanılan direnç değerleri birçok etki eden malzemeyi içerdiğinden dolayı çok değişkenlidir.

$R= (q \cdot L)/A$  olarak yazılabilir ve etki eden malzemenin öz direnci uzunluk ve alanı hesap edilerek bulunur.

Akım değişkenlik gösterebilir. Zaman olarak mikro saniye cinsinden 20 ms ile 80 ms arası değişkenlik gösterebilir buna ilave olarak ön ısıtma uygulayarak sürenin uzaması sağlanabilir.

Isı miktarı ise kaynak bölgesinin alanında bulunan nervürlü çubuk demirlerinin eriyik bölge oluşturmasını sağlayan sıcaklıktır.

Direnç kaynağı, kaynak için ısı üretmek maksadıyla kullanılırken çelik hasır üretiminde kullanılan direnç kaynağı nervürlü çubukların kendisi olmaktadır.

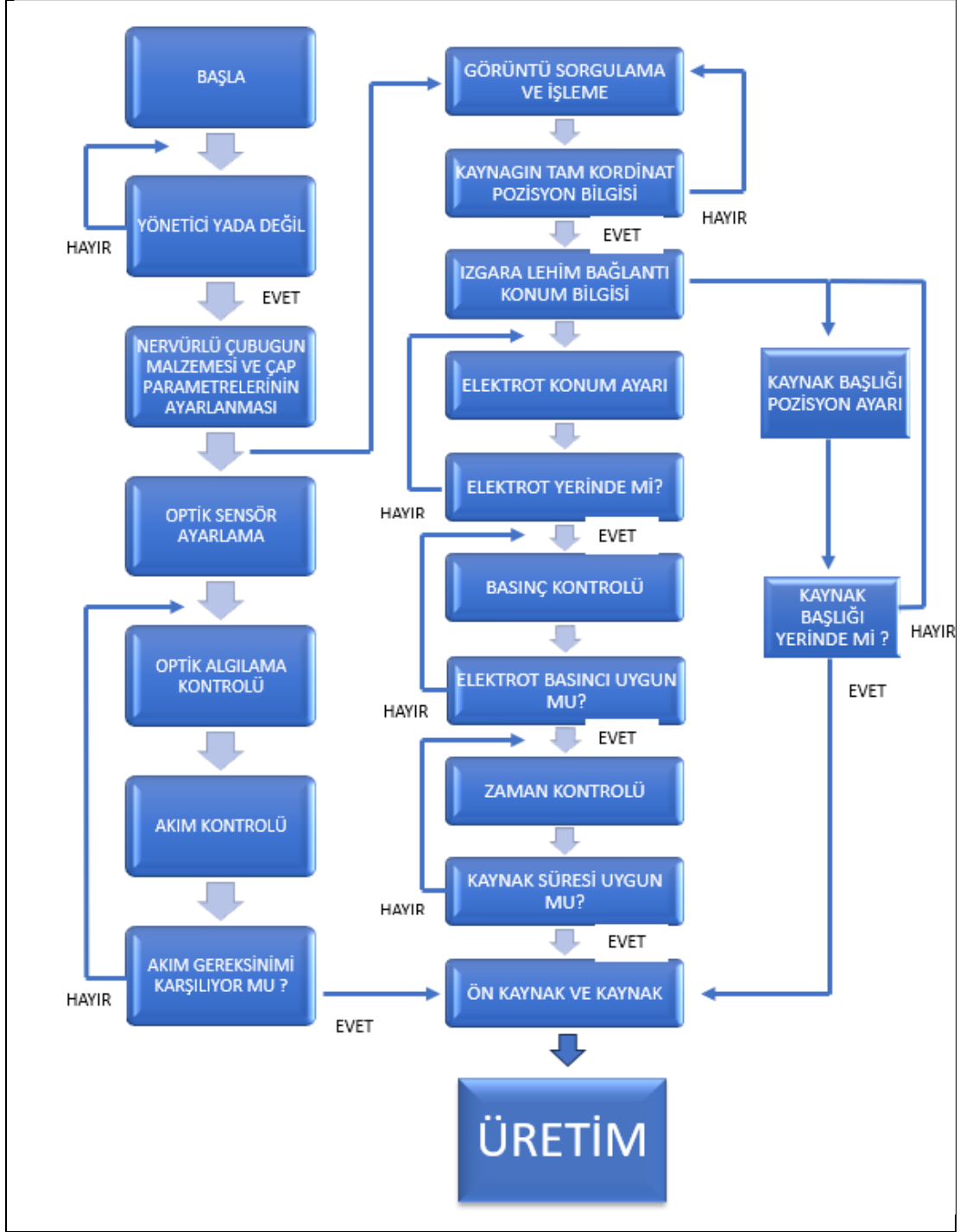


Şekil 4.16. Kaynak elemanları ile nervürlü çubukların pozisyonlarını gösteren çizim.

Kaynak süreleri çok kısa süreler tutulduğundan dolayı çok yüksek akımlar gerekmektedir. Burada kullanılan enine ve boyuna çubukların çaplarının artması ile direnç artacağından dolayı daha yüksek ısı gerekmektedir. Isıyı artırmak için ise akımın artması gerekmektedir. Kalite bir kaynak yapabilmek için kademeli olarak ısı artışı sağlanması ve sürenin uzatılması istenilmektedir. Bilgisayar sisteminde PLC'nin çıkışında 2 kademeli sistem vardır. Birincisi ön ısıtma denilen küçük sabit akım ikinci kademe ise asıl kaynak kısmı olan büyük sabit akım verilen kademedir. Elektrot basıncı düşük olmamalıdır. Düşük elektrot basıncı kaynak kalitesini düşürür. Kaynak kalitesi için elektrot basıncı artarken kaynak akımını arttırmak veya süreyi uzatmaktır. Fakat sürenin uzaması verimli üretimi düşüreceğinden dolayı akımı arttırmayı ilk etapta tercih edilmektedir. Akımın artması ise kullanılan bakır elektrotların kullanım ömrünü azalttığı gibi elektrik sarfiyatını artıracığı gibi unsurlar göz önüne alınarak maliyet artışının da önüne geçmek için optimum süreler ve akım ayarının yapılması gerekmektedir.

Kullanılan bakır elektrotlar yüksek ısıya maruz kaldığından dolayı kısa sürelerde geri soğutulması gerekmektedir. Bu soğutma işlemi bakır elektrotların iç kısmında oluşturulan su kanalları sayesinde içerisinde soğuk su döngüsü sağlanarak yapılmaktadır. Elektrot olarak kullanılan bakırların mekanik özelliklerinin önemli olan kısmı iletkenliğin yanında kaynak sürekli olarak tekrarlanan baskılama kısmında oluşacak kuvvete dayanabilecek özelliğe sahip olmalıdır. Sert bakır olarak söz edilen bakır içerikleri CuCrZr – CuCoNiBe – CuNi2SiCr gibi farklı içeriklere sahip olan elektrotlar kullanılmaktadır.





Şekil 4.17. Akıllı kaynak kontrol sistemi akış şeması.

Kontrol sistemi iki bölüme ayrılır. Alt bilgisayar sistemi ve üst bilgisayar sistemi olarak alt bilgisayar sistemi endüstriyel bir bilgisayardır. Personel girişi, bilgi girişi, temel parametre ayarları, görüntü alma, analog sinyal alma, depolama ve analiz kontrol sinyali çıkışı kaynak kontrolü olarak ilerleyen bir prosestir. Personel girişinde nervürlü çubuğun bilgisi çapı ve diğer parametreler yazılır sistem otomatik olarak basıncı

ölçerek atama yapar. Çelik hasır tam boyutunun girilmesine gerek yoktur referans noktalarına sahip tam koordinat haritası görüntü alımı ile oluşturur. Alt bilgisayar, ön uç sensör sinyallerinin alınmasından ve arka uç kaynağının kontrolünü yapar, kaynak başlığı konumu, nervürlü çubuğun konumu, kaynak elektrot konumu görüntü sensörleri ile grafiksel olarak işlenir. Basınç kontrolü basınç sensörü tarafından algılanır. Genel olarak akış şeması Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

### **4.3. ÇELİK HASIR KAYNAK DÜĞÜM NOKTASI ANALİZİ**

TS4559 standartlarına göre uygun olarak hazırlanan numuneler kendi eksenini doğrultusunda dönen ve eğilme hareketi engellenecek şekilde boyuna çubuklara kuvvet uygulanarak çekme işlemi yapılırken en çubuklarından ise sabitlenerek kaynak düğüm noktası ayrılma kuvvetine bakılır.

TS4559 da belirtilmiş nervürlü çubukların düğüm noktasında kaynağın kopma dayanımı formülü şu şekilde verilmiştir.

Düğüm noktası mukavemeti  $=0,30 \cdot A_s \cdot f_{0,2}$  olarak TS4559 da formülize edilmiştir [26].

$A_s$  : düğüm noktası alanında kaynaklanmış nervürlü çubukların küçük çaplı nervürlü çubuk alanı

$f_{0,2}$  : Kullanılan nervürlü çubuğun minimum akma sınırı 500 N/mm<sup>2</sup> kullanılır.

Düğüm noktası deneyi için en az 5 düğüm noktası kaynak kopması deneyi yapılmaktadır ve bu deneylerin sonucu formülize edilmiş sonucun 0,8 katından az olmamalıdır [26].

Türk standartlar enstitüsü deney ve kalibrasyon merkezine bağlı bir laboratuvarında yapılmış sonuçları çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. TSE laboratuvar sonuçlarına göre alınmış olan kaynak noktalarının kopma mukavemet değerleri.

ANMA ÇAPI (mm)	1. ÖLÇÜM (kN)	2. ÖLÇÜM (kN)	3. ÖLÇÜM (kN)	4. ÖLÇÜM (kN)	5. ÖLÇÜM (kN)	Ortalama (kN)
6,5 mm	14,73	8,01	11,54	11,34	11,61	11,45
6,0 mm	14,33	10,28	12,07	10,02	6,99	10,74
5,5 mm	5,15	6,42	8,34	8,1	8,17	7,24
5,0 mm	10,58	5,02	5,58	5,49	9,38	7,21

$0,30 * A_s * f_{0,2}$  = düğüm noktası mukavemeti [26].

$$A_s = 6,5^2 * (\pi) / 4 = 33,18 \text{ mm}^2$$

$$0,30 * (33,18 \text{ mm}^2) * (500 \text{ N/mm}^2) = 4,977 \text{ kN}$$

Bu değer 0,8 katından küçük olamaz.  $4,977 \text{ kN} * 0,80 = 3,9816 \text{ kN}$  küçük olması uygun olmayacaktır.

6,5 mm kaynaklı nervürlü çubuğun düğüm noktası kopma değeri 3,9816 kN büyük olmalıdır.

$0,30 * A_s * f_{0,2}$  = düğüm noktası kopma mukavemeti

$$A_s = 6,0^2 * (\pi) / 4 = 28,27 \text{ mm}^2$$

$$0,30 * (28,27 \text{ mm}^2) * (500 \text{ N/mm}^2) = 4,240 \text{ kN}$$

Bu değer 0,80 katından küçük olamaz.  $4,240 \text{ kN} * 0,80 = 3,392 \text{ kN}$  küçük olması uygun olmayacaktır.

6,0 mm kaynaklı nervürlü çubuğun düğüm noktası kopma değeri 3,392 kN büyük olmalıdır.

$0,30 * A_s * f_{0,2}$  = düğüm noktası kopma mukavemeti

$$A_s = 5,5^2 * (\pi) / 4 = 23,76 \text{ mm}^2$$

$$0,30 * (23,76 \text{ mm}^2) * (500 \text{ N/mm}^2) = 3,564 \text{ kN}$$

Bu değer 0,8 katından küçük olamaz.  $3,564 \text{ kN} * 0,80 = 2,8512 \text{ kN}$  küçük olması uygun olmayacaktır.

5,5 mm kaynaklı nervürlü çubuğun düğüm noktası kopma değeri 2,8512 kN büyük olmalıdır.

$0,30 * A_s * f_{0,2} = \text{düğüm noktası kopma mukavemeti}$

$$A_s = 5,0^2 * (\pi) / 4 = 19,63 \text{ mm}^2$$

$$0,30 * (19,63 \text{ mm}^2) * (500 \text{ N/mm}^2) = 2,944 \text{ kN}$$

Bu değerin 0,80 katından küçük olamaz.  $2,944 \text{ kN} * 0,80 = 2,3552 \text{ kN}$  küçük olması uygun olmayacaktır.

5,0 mm kaynaklı nervürlü çubuğun düğüm noktası kopma değeri 2,3552 kN büyük olmalıdır.

TSE laboratuvarından alınan sonuçlar ile TS4559 standartlarında belirtilen düğüm noktası kopma değerleri arasındaki farkın yaklaşık 2 katı olduğu görülmüştür. Kaliteli bir punta kaynağın standartların çok üzerinde olduğu görülmüştür.

5 mm çapında nervürlü çubuğun kaynak düğüm noktası kopma değeri ortalama olarak 7,21 kN çıkarken TS4559 değerine minimum olması gereken değer 2,36 kN dur. Çizelge 4.13'de görülen değer ile minimum olması gereken değerleri karşılaştırdığımızda yapılan punta kaynağının güvenilir olduğu tespit edilmiştir.

Malzemenin deformasyon miktarı arttıkça kaynak düğüm noktasının kopma yükünün artığı yapılan deneylerde görülmüştür. Yapılan kaynak işlemi esnasında makine ayarları ve bütün makine parçaları korunarak aynı değerlerde aynı sürede üretim yapılmıştır. 8 mm çapında SAE 1008 kalite filmaşin kullanılarak üretilen 6,5 mm nervürlü çubuklar kaynaklanmıştır ve daha sonra bu kaynaklanan çubukların düğüm noktaları kopma yükü laboratuvarında incelenmiştir. 8 mm filmaşin kullanılarak %19 lük bir deformasyon miktarı ile elde edilen 6,5 mm hasırın düğüm noktası kopma yükü ortalama 7,025 kN olarak bulunmuştur. Çizelge 4.14'de değerler görülmektedir.

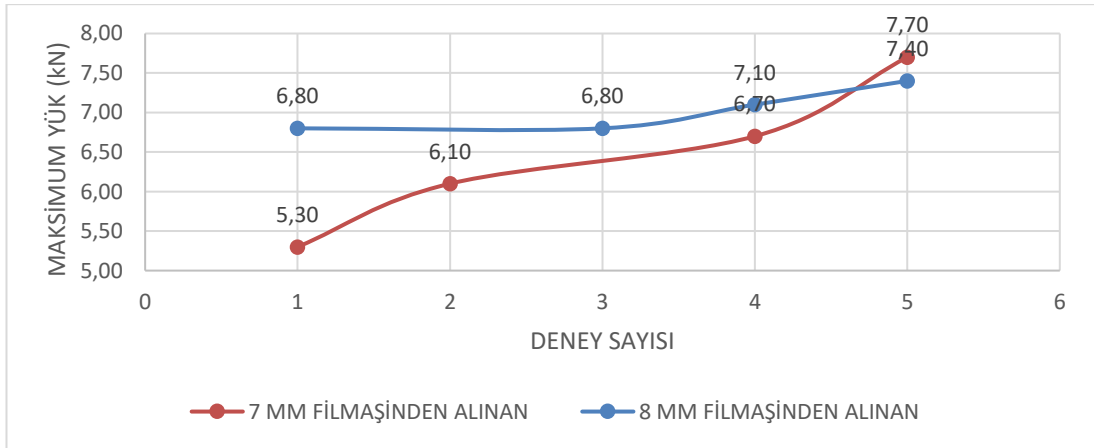
Çizelge 4.14. 6,5 mm Çelik Hasır Dügüm Noktası Kopma Kuvveti.

Dency Sayısı	Kangal Çapı (mm)	Nervürlü Çubuk Çapı (mm)	Dügüm Noktası Kopma Yüğü (kN)
1	8	6,5	7,40
2	8	6,5	6,80
3	8	6,5	6,80
4	8	6,5	7,10
ORTALAM			
A	8	6,5	7,025

7 mm çapında SAE 1008 kalite filmaşın kullanılarak üretilen 6,5 mm nervürlü çubuklar kaynaklanmıştır ve daha sonra bu kaynaklanan çubukların düğüm noktaları kopma yüğü laboratuvarında incelenmiştir. 7 mm filmaşın kullanılarak %7.1 lik bir deformasyon miktarı ile elde edilen 6,5 mm hasırın düğüm noktası kopma yüğü ortalama 6,45 kN olarak bulunmuştur. Çizelge 4.15’de değerler görölmektedir.

Çizelge 4.15. 6,5 mm Çelik Hasır Dügüm Noktası Kopma Kuvveti.

Dency Sayısı	Kangal Çapı (mm)	Nervürlü Çubuk Çapı (mm)	Dügüm Noktası Kopma Yüğü (kN)
1	7	6,5	6,70
2	7	6,5	5,30
3	7	6,5	6,10
4	7	6,5	7,70
ORTALAM			
A	7	6,5	6,45



Şekil 4.18. Kaynak düğüm noktası kopma verileri karşılaştırılması.

Şekil 4.18’de görüldüğü üzere 8 mm filmaşın kullanılarak %19 deformasyon uygulanan ve daha sonra kaynaklanan çelik hasırın düğüm noktası mukavemetinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

#### **4.4. TEORİK MODELLEME**

Kaynak noktalarının maruz kaldığı çeşitli kuvvetlere dair tam bir öngörü sağlamanın temel zorluğu, punta kaynaklı bağlantılarda değişen yükleme koşulları ve farklı iş parçalarının kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, her bir yükleme durumu ve mukavemet değerinin kesin olarak hesaplanamamasına yol açmaktadır [28].

Hesap edilemeyen yüklemeler karşısında teorik modelleme ve teorik hesapların yanında bilinmeyen olasılıklar karşısında katsayı çarpanları da kullanılmaktadır. Bu katsayı çarpanlar ile teorik modelleme ve hesaplamalar büyük önem arz etmektedir.

Doğru hesaplamaların ve etkili tasarımın kullanımıyla, maliyet açısından avantajlı bir yaklaşım benimsemek ve gerçeğe yakın sonuçlara ulaşmak mümkündür. Bu amaçla kullanılan iki temel strateji bulunmaktadır. İlk strateji, prototip üretimi ve deneysel çalışmalar yoluyla gerçekleştirilirken, ikinci strateji bilgisayar ortamında oluşturulan gerçek boyutlu modeller üzerinde çalışmayı içermektedir [28].

Prototip üretimi ve deneysel çalışmaların sağladığı avantajlar arasında, ürün veya sistem performansını doğrudan gözleme imkânı, gerçek malzemelerin kullanılmasıyla tasarımın pratikteki uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, hızlı iterasyonlar ve deneysel verilerin teorik modellerin doğruluğunu doğrulamak için kullanılabilmesi bulunmaktadır. Ancak, bu strateji maliyetli ve zaman alıcı olabilir.

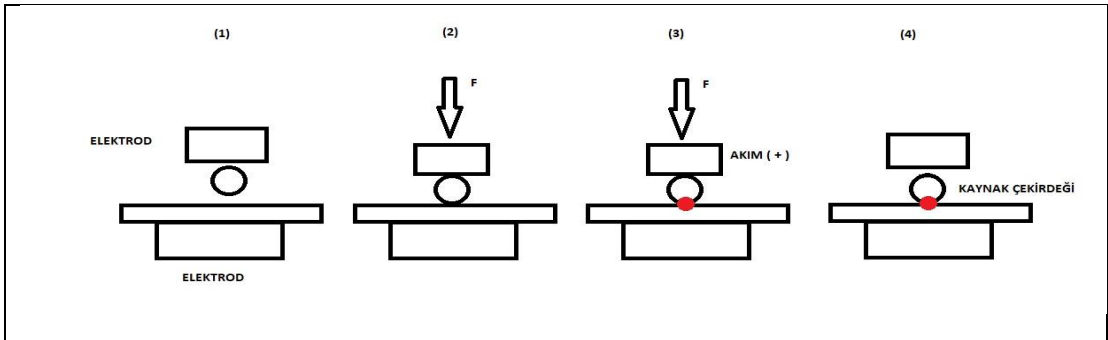
Diğer yandan, bilgisayar destekli tasarımın (CAD.) avantajları arasında daha hızlı ve ekonomik bir tasarım süreci, dijital prototipler ve modeller üzerinde hızlı iterasyonlar yapma imkânı, tasarım hatalarını daha erken aşamalarda tespit etme yeteneği ve malzeme/maliyet analizleri gibi verilerin kullanılabilirliği bulunmaktadır. Ancak, teorik modellerin gerçek dünya performansını tam olarak yansıtmama riski vardır.

Bu iki stratejiyi birleştirerek, bilgisayar destekli tasarımın hız ve ekonomik avantajlarından yararlanırken, gerçek dünya performansını doğrulamak için prototip üretimi ve deneysel çalışmalardan da faydalanmak mümkündür. Bu, tasarım sürecini hızlandırabilir ve aynı zamanda maliyeti minimize edebilir.

Isı ve basıncın birleşik kullanıldığı bir kaynak yöntemi olan direnç nokta kaynağı, birleştirilen parçaların ara yüzelerindeki elektriksel direnç nedeniyle ortaya çıkan ısı ile oluşmaktadır. İlk olarak, birleştirilecek parçalar bir fikstür üzerine sabitlenir. Daha sonra, birleştirilmek istenen parça üzerine kapatılan iki bakır elektrot, gerekli kuvveti uygulamak için kullanılır.

Ardından, bakır elektrotlar üzerinden geçirilen yüksek akım, genellikle 100 ila 50,000 Amper arasında değişen bir değere sahiptir. Yüksek akımın etkisiyle ısınan parça, birleşmeyi sağlamak için dışarıdan uygulanan basınç arttırılarak çalışır. Bu basınç altında ısınan parçalar, yeniden katılaşıp birleşir. Direnç nokta kaynağı, basınç etkisiyle dövme işlemi gerçekleştirir ve bu nedenle diğer kaynak yöntemlerine göre daha düşük sıcaklıklarda uygulanabilir. Ayrıca, yüksek akımın kullanımı, ısı oluşumunu hızlandırmak amacıyla parçadan çok kısa bir süre için geçirilir; bu süre genellikle 0.06 ila 3 saniye arasında değişir [28].

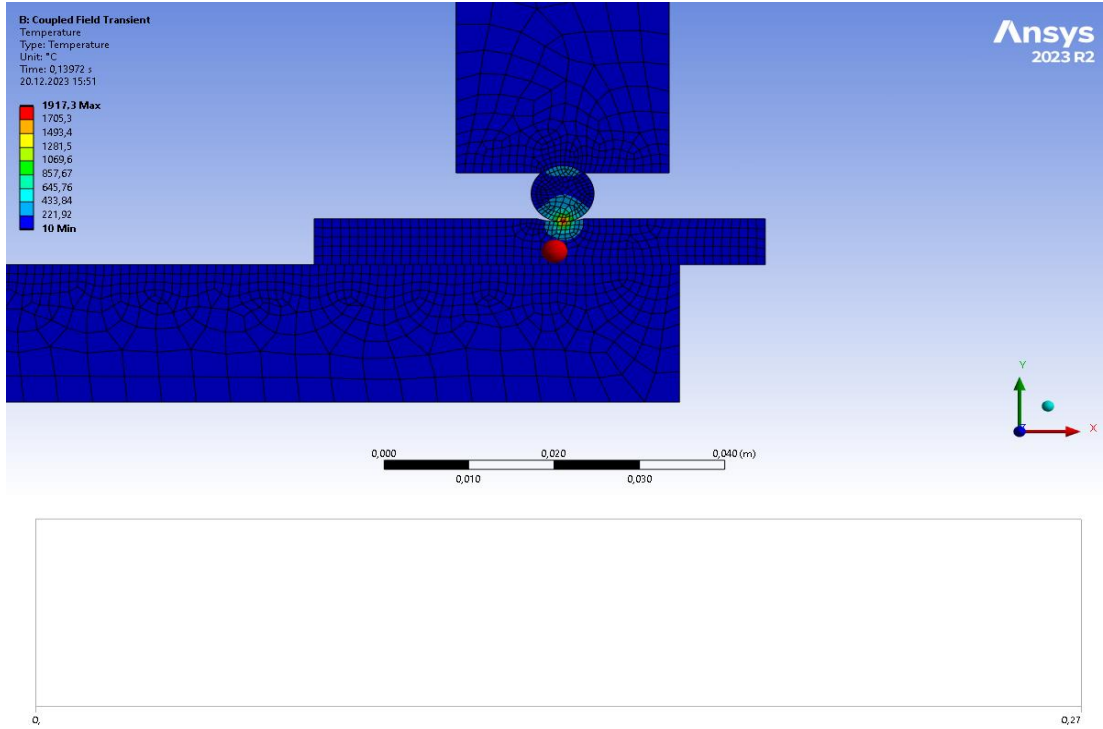
Yüksek akım ve düşük gerilim, kaynak makinası içindeki transformatör aracılığıyla dönüştürülerek kaynağın gerçekleşmesi için sağlanır. Puntanın oluşması için gerekli olan sıkıştırma kuvveti ise genellikle hidrolik, pnömotik veya mekanik makine donanımlarıyla uygulanır [29].



Şekil 4.19. Punta kaynak süreci.

- 1- En ve boy çubuklarının yerine yerleştirilmesi
- 2- Piston yardımıyla kuvvet uygulama ve iş parçalarının teması
- 3- Kuvvet ile birlikte akımın verilmesi ve iş parçalarının erimiş bölge oluşturarak punta kaynağının yapılması
- 4- Kuvvetin ortadan kalkarak kaynak çekirdeğinin soğuma süreci ve kaynak bitimi

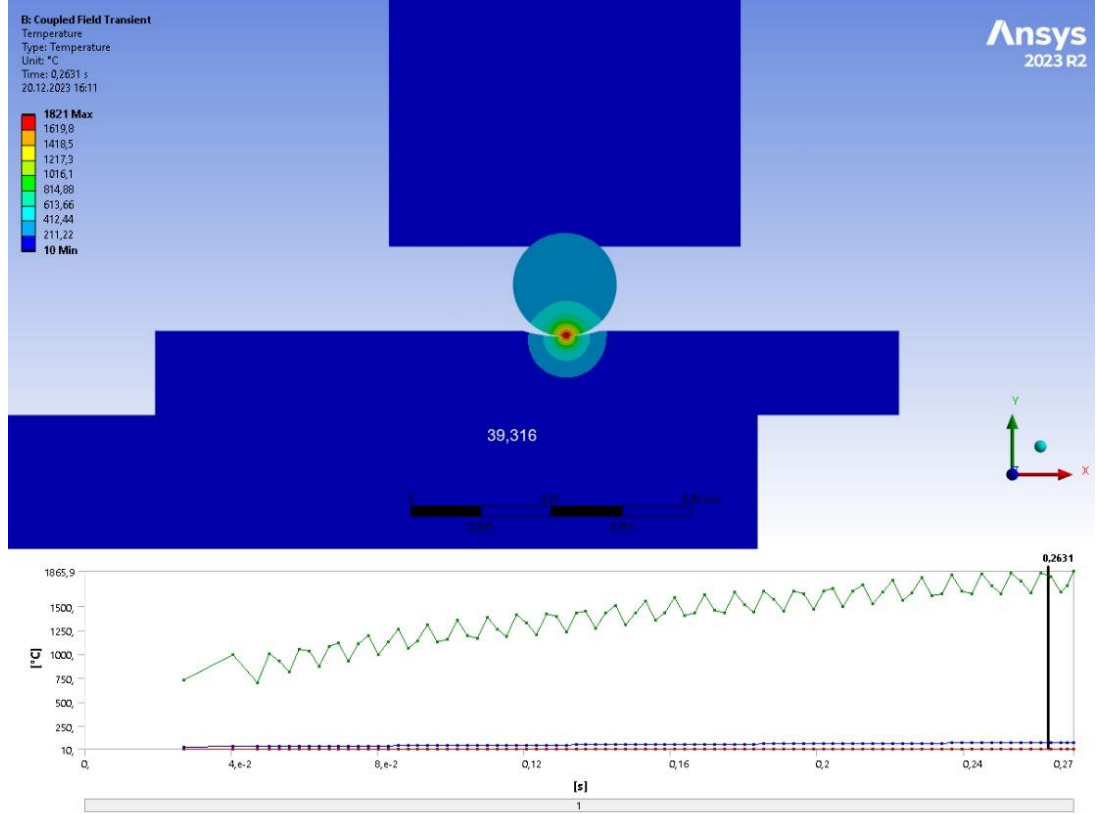
Punta kaynak modellemesi yaparken, çelik hasır elektrodları ve iş parçası nervürlü demir çubuklar birebir modellemesi yapıldıktan sonra ANSYS workbench programına aktarıldı. Bire bir modelleme yapılan elektrodla ve nervürlü çubukların malzeme tanımlaması (literatürde verilen değerler malzeme ısı iletim ve ergime sıcaklıkları kullanılmıştır) yapıldıktan sonra çelik hasır kaynak makinası akım değerleri ve süreleri programa yüklenmiştir. Daha sonra programda punta kaynak noktalarında oluşan ısı değerleri gözlemlendi. Şekil 4.20’de gösterilen akım uygulanması sürecinde iş parçalarının birleşim noktalarında yüksek ısı oluşumu görülmektedir. Malzemenin yüksek ısı sonucu eriyik bölge oluşumu ve bununla birlikte basınç altında birleşimiyle neticelenmektedir.



Şekil 4.20. Birleşik kaynak geçişleri ile akım yüklemesi sonucu nervürlü demirlerde oluşan sıcaklık dağılımı ve meshlerde oluşan değişimi.

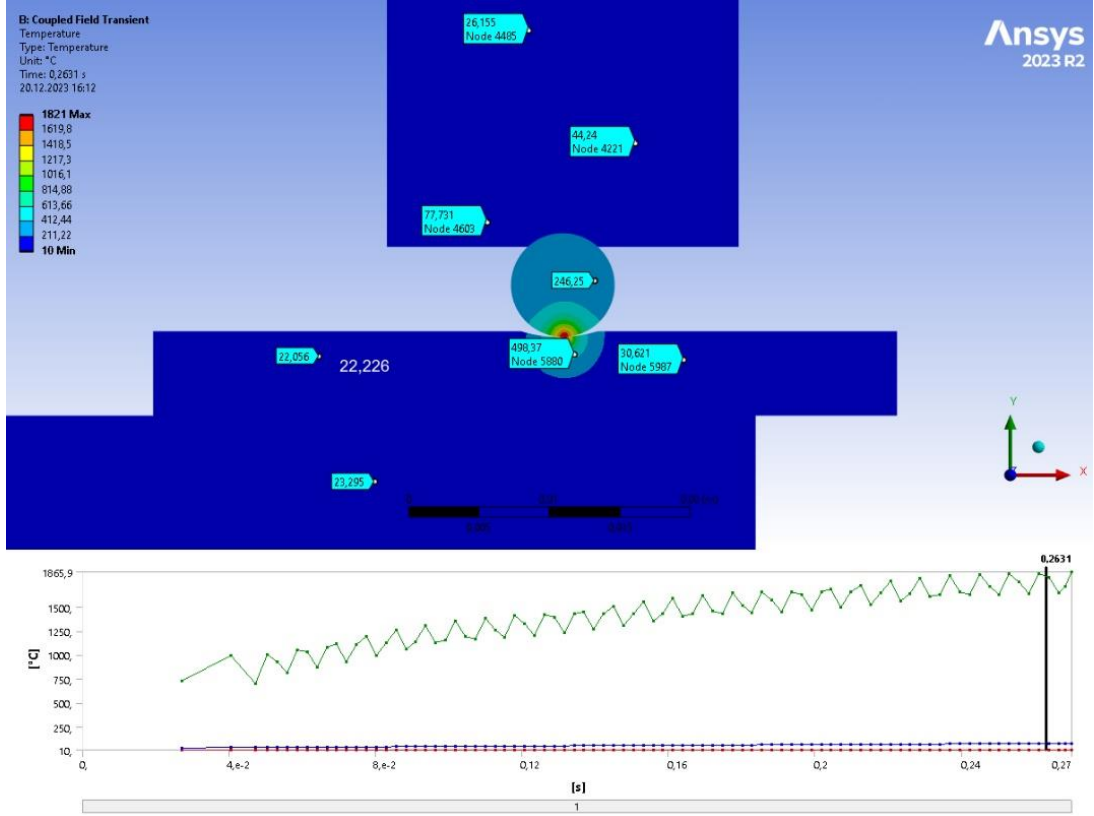


Şekil 4.20.'de görüldüğü üzere basınç ve sıcaklık etkisiyle nervürlü demir çubukların punta kaynak bölgesi ve çevresi mesh haritasında bozulmalar meydana geldiği görülmektedir. Nervürlü çelik çubukların birleşimi esnasında mekanik bozulmalar da meydana geldiği tespit edilmiştir. Punta kaynak noktasında maksimum seviyede olan sıcaklık dalgasının hızlı bir şekilde azalarak yayıldığı analiz sonucunda görülmektedir.



Şekil 4.21. Punta kaynak esnasında sıcaklık dağılımı.

Analiz sonuçlarına gözlemlendiğinde (Şekil 4.21.) kaynak noktasının maksimum seviyede sıcaklığa sahip iken sıcaklık dalgasının hızla azaldığını bununda noktasal kaynak yapımında kaynak bölgesi harici yerlerin erime sıcaklığının çok altında bir sıcaklık değerine sahip iken, kaynak işlemi tamamlandığında yakın bölgelerin dahi kaynak sıcaklığından neredeyse etkilenmeden çıktığını göstermektedir.



Şekil 4.22. Punta kaynağı esnasında belirli noktadaki sıcaklıklar.

Analiz sonuçları incelendiğinde (Şekil 5.22.) kaynak bölgesinde kaynak sıcaklığı 1821 °C olduğu, sıcaklığın nervürlü demirin kaynak bölgesinden yaklaşık 3 mm uzaklıkta 246 °C'ye düştüğü görülmüştür. Yaklaşık 4 cm uzaklıkta sıcaklığın nervürlü demir üzerinde 22 °C'ye kadar düştüğü görülmektedir. Bunun yanında kullanılan elektrodların kaynak sırasında sıcaklık ve deformasyona uğradığı da belirlenmiştir. Şekil 4.23'de birebir olarak modellenmiş alt ve üst bakır elektrotların çizimi görülmektedir. Alt bakır 188 mm uzunluğunda alt bölümünde 2 adet trafo güç kaynak girişi mevcuttur. 17,85 mm çapında olan trafo giriş bağlantılarından biri artı (+) kutup bir diğeri eksi (-) kutup olarak görev yapmaktadır. Alt elektrotun üstüne 190 mm uzunluğunda kırlangıç adı verilen bir bakır iş parçası ilave edilir. Bu bakır elektrot iş parçası makinanın kaynak yapma esnasında yıpranmalara neden olarak çalışma sürecinde değiştirilebilir bir ilave elektrottur. Üst kısımda ise 25x25x40 mm bir bakır iletken elektrot görev yapmaktadır. Bu elektrot parçası sıkıştırma yöntemi ile doğrudan pistonlara bağlanarak baskılama kuvveti ile elektrik geçişini sağlama görevinde



## BÖLÜM 5

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada SAE 1008\_00 kalite filmaşın kullanılarak, soğuk haddeleme ve nervürlüme işlemleri gerçekleştirildi. Farklı çaplardaki filmaşınler mekanik analizlere tabi tutularak akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve süneklikleri belirlenmiştir. Belirlenen özellikler doğrultusunda soğuk haddeleme işlemine tabi tutularak nervürlü çubuklar üretildi. Soğuk haddeleme ile üretilen nervürlü çubukların mekanik analizleri ve değerleri ölçülerek kayıt altına alındı. Aynı filmaşın kullanılarak farklı çaplardaki nervürlü çubukların mekanik analizleri karşılaştırıldı ve EXCEL programı ile grafikleri incelendi. Sonuç olarak elde edilen görüşler aşağıda belirtilmiştir.

- Aynı çapta aynı kalite filmaşın kullanılarak farklı çaplarda elde edilen nervürlü çubukların deformasyon miktarı arttıkça akma mukavemeti ve çekme mukavemeti artmış olup süneklik miktarında ise azalma olduğu görülmüştür.
- %5,55 ve %7,14 deformasyon miktarı ile alınan sonuçların TS4559 standartlarına uygun olmadığı ve deformasyon miktarının %10 üzeri olduğu durumlarda ise TS4559 Standartlarına uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- Kalın malzeme deformasyon miktarı daha az olsa da ince malzemeye kıyasla akma mukavemetinde ve çekme mukavemetinde daha fazla artış olduğu gözlenmiştir. Kalın malzemelerde daha az deformasyon ile daha yüksek sonuçlar elde edildiği görülmüştür.
- Kaynak noktası punta kopması sonuçlarında kalınlık arttıkça kopma mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Bu değerlerin TS4559 standartlarının çok üzerinde olduğu görülmüştür.

- Kaynak noktası punta kopması sonuçlarında deformasyon miktarı arttıkça kaynak düğüm noktası mukavemetinin yükseldiği gözlenmiştir.
- Çelik hasır elektrodları ve iş parçası nervürlü demir çubuklar birebir modellenmesi yapıldıktan sonra ANSYS programında kaynak sıcaklığının 1841 °C kadar yükseldiği görülmüştür.

Özetle, çelik hasır üretiminde soğuk haddeleme ile yapılan ve elde edilen nervürlü çubukların soğuk haddeleme deformasyon oranının önemli bir etki olduğu ve nihai üründe çap, gramaj ve ebatlama olarak sorun teşkil etmeyecek dahi olsa mekanik özellik yönünden çok önemli olduğu ve en az %10 deformasyon uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuç ile birlikte deformasyon miktarı arttıkça akma mukavemeti ve çekme mukavemetinin arttığı bunun yanında ise sünekliğin azaldığı gözlenmiştir. Deformasyon miktarı arttıkça kaynak düğüm noktası mukavemetinin de arttığı gözlenmiştir.

Tez çalışmasında soğuk haddelemeden, nervürlü çubuk üretiminden ve mekanik analizlerinden bahsedilmiştir. Ancak bu tez çalışmasında soğuk haddeleme işlemi sırasında uygulanan sabunlama işleminin soğuk haddeye etkisi incelenmesi önerilmektedir. Çelik hasır kaynak makinasının parametre değerleri alınarak kaynak sıcaklıkları ANSYS Workbench programında incelenmiştir. Ancak farklı parametreler ile farklı çelik hasır üretimi ve sonuçları incelenmemiştir. Deformasyon miktarı arttıkça kaynak düğüm noktası mukavemet artışı gözlenmiştir. Fakat kaynak noktası iç gerilmeleri ve yapısı detaylı incelenmemiştir. Bu çalışmaların yapılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Şahin, F., “Çok kademeli haddeleme prosesinin incelenmesi ve analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2021).
2. Çarboğa, C., “Ç1010 Yapı çeliğinde soğuk çekme ile sağlanan deformasyonun malzemenin yorulma davranışına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2002).
3. Altun, K., “Soğuk çekme metoduyla üretilen kaynak tellerinde görülen hataların belirlenmesi ve giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2015).
4. Özer, Ö., “Tel çekme işlemine etki eden faktörlerin mekanik ve teknolojik olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1993).
5. Dönmez, G., “Zincir çeliklerinin soğuk çekme oranına bağlı olarak deformasyon davranışlarının belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2003).
6. Çolak, B., “Soğuk haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen haddeleme parametrenin ve malzeme özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2018).
7. Yılmaz, Y., “Soğuk çekme işleminde redüksiyon oranı ve ısıl işlemin çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine olan etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, (2022).
8. Başkaya, A., “Soğuk haddeleme işleminin proses amaçlı en iyilenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2020).
9. Güzey, A., “Demirsel tellerin üretim sürecinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, (2009).
10. Lin zhenlun, lin guozhen, liu xichuo “Bina inşaatında kaynaklı Çelik hasırın uygulanması” inşaat teknolojisi dergisi şubat 17, cilt 14, no 46 doi:10.7672/sgjs2017040053
11. İnternet: Soğuk Haddeleme Makina İmalatçısı, “Nervür Tabağı Birleşim Görüntüsü”, <https://www.demgroup.com/cold-rolling-cassettes/> (2023)

12. İnternet: Çelik Hasır Kaynak İmalatçısı, “Uç Kaynak Makinası”, <https://www.schlattergroup.com/en/welding-machines/wire-butt-welding-machines/#54-product> (2023)
13. İnternet: Çelik Hasır Kaynak İmalatçısı, “Uç Kaynak Makinası” , <https://www.schlattergroup.com/en/welding-machines/wire-butt-welding-machines/#54-product> (2023)
14. İnternet: Çelik Hasır Kaynak İmalatçısı, “Kangal Füzesi Genel Görünümü”, <https://www.schlattergroup.com/en/wire-production/cold-rolling-process/#3083-product> (2023)
15. İnternet: Çelik Hasır Kaynak İmalatçısı, “Kangal Füzesi Genel Görünümü”, <https://www.demgroup.com/reinforcing-wire-rolling/#line-highlights> (2023)
16. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Çekme Makinaları Genel Görünümü”, <https://www.demgroup.com/reinforcing-wire-rolling/#line-highlights> (2023)
17. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Tufal Kırıcı Genel Görünümü”, <https://www.demgroup.com/reinforcing-wire-rolling/#line-highlights> (2023)
18. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Sabunlama Bölümü Genel Görünümü”, <https://www.demgroup.com/reinforcing-wire-rolling/#line-highlights> (2023)
19. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Hadde Tabakları Görüntüsü”, <https://www.demgroup.com/reinforcing-wire-rolling/#line-highlights> (2023)
20. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Kaset Takımları Genel Görüntüsü”, <https://www.demgroup.com/cold-rolling-cassettes/> (2023)
21. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Kaset Takımları Genel Görüntüsü”, <https://www.demgroup.com/cold-rolling-cassettes/> (2023)
22. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Nervür Tabağı Birleşim Görüntüsü”, <https://www.demgroup.com/cold-rolling-cassettes/> (2023)
23. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Makina Görüntüleri”, <https://www.demgroup.com/reinforcing-wire-rolling/#line-highlights> (2023)
24. İnternet: Soğuk Haddeme Makina İmalatçısı, “Nervürlü Çubuk İstifleme Bölümü”, <https://www.demgroup.com/reinforcing-wire-rolling/#line-highlights>
25. İnternet: Kardemir Firması, “Kimyasal Analiz Belgesi Ve Kullanım Alan Bilgileri”, <https://www.kardemir.com/dosyalar/KimyasalAnaliz/analiz.pdf> (2024)

26. TS4559 Beton Çelik Hasır Türk Standartları
27. Çimenoğlu, H. ve Kayalı, S.,” Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları” , Ders Kitabı ,İstanbul Teknik Üniversitesi Bölümü , Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 84-85 (1991).
28. Durdu, M., “Punta Kaynağı ve Perçin Bağlantılarının Mukavemetlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2006).
29. Açış, İ., “Punta Kaynak Keplerinin fe ve ni esaslı intermetaliklerle esd kullanılarak kaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, (2019).



## **ÖZGEÇMİŞ**

Halil ER 2012 yılında Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında mezun oldu. 2018 yılında Çelik hasır imalat müdürü olarak göreve başlayarak halen devam etmektedir. 2022 yılında Karabük Üniversitesi'nde Endüstriyel Tasarım Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.