

T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

54SiCr6 ALAŞIMLI ÇELİK KULLANILAN  
PULLUK OK MALZEMESİNİN  
İYİLEŞTİRİLMESİNİN DENEYSEL ANALİZİ VE  
TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

Berkay Burhan KESER

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil ÇETİN

BURDUR, 2023

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca **Yüksek Lisans** Tezi olarak sunduğum **“54SiCr6 Alaşımli Çelik Kullanılan Pulluk Ok Malzemesinin İyileştirilmesinin Deneysel Analizi ve Topoloji Optimizasyonu”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

15/12/2023

(İmza)

**Berkay Burhan KESER**

## ÖNSÖZ

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam **Dr. Öğr. Üyesi Halil ÇETİN**'e teşekkürlerimi sunarım. Deneyleyrimi yapmam için laboratuvarlarını bana açan ve araştırmalarımnda hiçbir yardımı esirgemeyen değerli İbrahim SAVRUKOĞLU'na ve Ahmet ŞENGÜL'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

**Aralık, 2023**

**Berkay Burhan KESER**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. 54SiCr6 Malzemesinin Üretim Süreci .....	4
2.1.1. 54SiCr6 Malzemesinin Özellikleri.....	4
2.1.2. 54SiCr6 Malzemesinin Isıl İşlem ve Mikroyapısal Analizi.....	5
2.1.3. 54SiCr6 Malzemesinin Genel Kullanım Alanları .....	6
2.2. Tarımda Pulluk Kullanımı.....	6
2.2.1. Pulluğun Tanımı ve İşlevi.....	7
2.2.2. Pulluk Çeşitleri .....	7
2.2.3. Pulluk Ok Malzemesi .....	8
2.3. Pulluk Ok Malzemesinin Üretim Süreci .....	9
2.3.1. Malzeme Seçimi .....	9
2.3.2. Ham Malzeme-Yarı Mamul ve Nihai Ürün Süreçleri.....	9
2.3.3. Pulluk Ok Malzemesine Etkiyen Kuvvetler .....	10
2.4. Isıl İşlem .....	12
2.4.1. Isıl İşlem Aşamaları.....	12
2.5. 54SiCr6 Malzemesinin Çekme Deneyine Hazırlığı .....	14
2.5.1. Çekme Deneyi .....	14
2.5.2. 54SiCr6 Malzemesinin Çekme Deneyi için Doğruluk Analizi .....	15
2.5.3. Çekme Deneyleri için Numune Hazırlığı .....	16
2.6. Topoloji Optimizasyonunun Tanımı .....	17
2.6.1. Topoloji Optimizasyonunun Uygulama Alanları .....	17
2.7. Kaynak Özetleri.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	21
3.1. Materyal .....	21
3.2. Aletler ve Cihazlar .....	21
3.3. Yöntem.....	25
3.3.1. Çekme Deneyleri İçin Numunelerin Hazırlanması .....	25
3.3.2. 54SiCr6 Alaşımli Çelik Numunelerinin Isıl İşlemi.....	25
3.3.3. Numunelerin Boyutlandırılması.....	26
3.3.4. Çekme Dayanımı Deneyleri.....	26
3.3.5. YüzeY Morfolojisi İçin Profilometri Görüntülerinin Alınması İşlemi .....	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1. YüzeY Morfolojisi İçin Metalürjik Mikroskopla Tarama Sonuçları.....	28
4.2. Sertlik Deneylerinin Sonucu .....	29
4.2.1. Ham 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Sertlik Deneyleri Sonucu.....	30

4.2.2. Yağ Verilmiş 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Sertlik Deneyleri Sonucu.....	31
4.2.3. Su Verilmiş 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Sertlik Deneyleri Sonucu.....	31
4.3. Çekme Deneylerinin Sonucu.....	32
4.3.1. Ham 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Çekme Deneyleri Sonucu.....	32
4.3.2. Su Verilmiş 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Çekme Deneyleri Sonucu.....	35
4.3.3. Yağ Verilmiş 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Çekme Deneyleri Sonucu.....	38
4.3.4. 54SiCr6 Malzemesinin Çekme Deneyleri İçin Hazırlanan Numuneler.....	41
4.4. Çekme Deneylerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	42
4.5. Statik Analiz ve Topoloji Optimizasyonu.....	45
4.4.1. Ok Malzemesinin Statik Analizi.....	45
4.4.2. Pulluk Ok'unun Topoloji Optimizasyonu Sonuçları.....	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Malzeme yüzeyinde oluşan çatlaklar .....	2
Şekil 2.1. 54SiCr6 yassı çelik sac hali .....	6
Şekil 2.2. Pulluk ok malzemesine ait görsel .....	8
Şekil 2.3. “b” ve “t” parametrelerinin pulluk makinesi üzerinde gösterimi .....	12
Şekil 2.4. Çekme numunesi için parametrelerin gösterimi .....	16
Şekil 3.1. PMS 'AK-4 SJP kumlama makinesi .....	21
Şekil 3.2. CEM DT-8867H infrared termometre .....	22
Şekil 3.3. İZOMSA İZM-AHI-250 indüksiyon ısıtma makinesi .....	22
Şekil 3.4. LARYEE MODEL-Q2 metalografik kesme makinesi .....	23
Şekil 3.5. METKON FORCIPOL 1V parlatma makinesi .....	23
Şekil 3.6. METKON IMM 901 metalürjik mikroskop .....	24
Şekil 3.7. DİĞİROCK-RB profesyonel sertlik ölçüm makinesi .....	24
Şekil 3.8. YUNTES SUNMİLL JHV-1100 CNC freze makinesi .....	24
Şekil 3.9. UTEST BC100 hidrolik çekme makinesi ve kontrol ünitesi .....	25
Şekil 3.10. Alkol, kezzap ve süspansiyonlara (1 mikron, 5 mikron) ait görsel .....	27
Şekil 4.1. Morfoloji görüntüsünün alındığı yüzey geometrisi .....	28
Şekil 4.2. Ham 54SiCr6 malzemesinin 1. çekme deneyi sonuçları .....	33
Şekil 4.3. Ham 54SiCr6 malzemesinin 2. çekme deneyi sonuçları .....	34
Şekil 4.4. Ham 54SiCr6 malzemesinin 3. çekme deneyi sonuçları .....	35
Şekil 4.5. Su verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 1. çekme deney sonuçları .....	36
Şekil 4.6. Su verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 2. çekme deney sonuçları .....	37
Şekil 4.7. Su verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 3. çekme deney sonuçları .....	38
Şekil 4.8. Yağ verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 1. çekme deney sonuçları .....	39
Şekil 4.9. Yağ verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 2. çekme deney sonuçları .....	40
Şekil 4.10. Yağ verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 3. çekme deney sonuçları .....	41
Şekil 4.11. Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin çekme deney numunesi .....	41
Şekil 4.12. Su verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin çekme deney numunesi .....	42
Şekil 4.13. Yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin çekme deney numunesi .....	42
Şekil 4.14. Katı modele atanan malzemenin mekanik özellikleri .....	46
Şekil 4.15. Malzemenin bağlantı deliklerinden sabitlenmesinin gösterimi .....	46
Şekil 4.16. Toprağın uyguladığı kuvvetlerin malzemeye atanması .....	47
Şekil 4.17. Analiz için malzemeye atanmış mesh görüntüsü .....	47
Şekil 4.18. Ok malzemesinin maksimum gerilme sonuçları .....	48
Şekil 4.19. Maksimum gerilmelerin en belirgin noktaları .....	48
Şekil 4.20. Uygulanan yükler karşısında meydana gelen kritik noktalar .....	50
Şekil 4.21. Topoloji optimizasyonunun sonucuna ait görsel .....	51

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. 54SiCr6 malzemesinin kimyasal bileşenleri ve karıştırılma oranları .....	4
Çizelge 2.2. 54SiCr6 malzemesinin fiziksel özellikleri (Fushun Metal, 2023) .....	5
Çizelge 2.3. Toprak çeşitlerine göre özgül toprak dirençleri .....	10
Çizelge 2.4. TS EN ISO 6892-1 standartlarına göre çekme numune toleransları.....	16
Çizelge 2.5. 54SiCr6 malzemesi için üretilmesi istenen numune ölçüleri.....	16
Çizelge 4.1. Mikroskop ile elde edilmiş profilometri görüntüleri .....	29
Çizelge 4.2. Sertlik derecelerinin kıyaslanması .....	31
Çizelge 4.3. Çekme yüklerinin karşılaştırılması .....	42
Çizelge 4.4. Akma yüklerinin karşılaştırılması.....	43
Çizelge 4.5. Malzemelerin uzamalarının karşılaştırılması.....	44
Çizelge 4.6. Statik analiz sonucu malzemedeki yer değiştirme sonuçları .....	49
Çizelge 4.7. Topoloji optimizasyonu sonrası yenilenmiş katı modele ait görsel.....	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>A</b>	: Amper
<b>AR-GE</b>	: Araştırma-Geliştirme
<b>ASTM</b>	: American Society for Testing and Materials
<b>Atm</b>	: Atmosfer
<b>cm<sup>3</sup></b>	: Santimetre küp
<b>CNC</b>	: Computer Numeric Control
<b>GPa</b>	: Gigapascal
<b>HB</b>	: Brinell
<b>HRC</b>	: Rockwell
<b>ISO</b>	: International Organization For Standardization
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>kN</b>	: Kilonewton
<b>kVA</b>	: Kilo-Volt-Amper
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>N</b>	: Newton
<b>Pa</b>	: Pascal
<b>TS EN</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>V</b>	: Volt
<b>°C</b>	: Santigrat

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**54SiCr6 Alaşımli Çelik Kullanılan Pulluk Ok Malzemesinin İyileştirilmesinin  
Deneyisel Analizi ve Topoloji Optimizasyonu**

**Berkay Burhan KESER**

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil ÇETİN**

**Aralık, 2023**

Tarım sektöründe kullanılan Pulluk Ok malzemesi olarak adlandırılan makine parçasında hammadde olarak kullanılan 54SiCr6 alaşımli çeliğinin toprak içerisinde bulunan büyüklü küçüklü taş ve çakıllar, agregata, ağaç kökleri gibi öngörülemez zorlanma şartlarına maruz kalması, kullanım koşullarında yeterli dayanımı gösteremeyip malzeme yüzeyinde çatlaklar meydana gelmesinin ardından zorlanmalar karşısında kırılma gibi bozulmalar göstermiştir. Bu tez çalışmasında 54SiCr6 alaşımli çelik malzemenin dayanımlarının ve mekanik özelliklerinin iyileştirilerek bu sorunun ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Öncelikle malzemenin yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmasının ardından ısıtma işlemi prosesi konusunda su ve yağ verme işlemleri yapılmıştır. Yapılan ısıtma işlemleri sonucunda malzeme karakteristik davranışlarındaki değişimler gözlemlenmiş ve analiz edilmiştir. Bu ve bunun gibi problemleri ortadan kaldırmak adına malzeme biliminden faydalanarak 54SiCr6 malzemesinin özelliklerinin iyileştirilmesi adına çalışmalar yapılmıştır. Makine parçasının tek iyileştirilmesi gereken özelliği malzeme dayanımları ve karakteristik özelliği değildir, Pulluk Ok parçasının ağırlığını da optimize etmek makinenin kullanımı için ve traktör arkasına takılarak kullanılan bu makinenin traktör çekiş güçlerine de etkisi olmasından dolayı topoloji optimizasyonu yüksek önem arz etmektedir. Bu yüzden tezin ana çalışmalarından bir tanesi de topoloji optimizasyonudur. Yapılan ısıtma işlemleri sonucunda malzemeye yağ verme işlemi su verme işlemine göre daha az sertlik sağlarken daha fazla süneklik sağlamıştır. Ortalama sertlik değerleri ham malzemede 28 HRC iken yapılan ısıtma işlemleri ile 31.6 HRC sertliğe çıkartılmıştır. Topoloji optimizasyonu yapılmasının ardından optimizasyon ile iyileştirilen tasarım sonucunda malzemenin ağırlığında 1 kg azalma gerçekleştirilirken hacim ve yüzey alanında da iyileşmeler görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** 54SiCr6, topoloji optimizasyonu, pulluk, ok, ısıtma işlemi

# **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

## **Experimental Analysis and Topology Optimization of Improved Plowshare Material Made from 54SiCr6 Alloyed Steel**

**Berkay Burhan KESER**

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Halil ÇETİN**

**December, 2023**

The machine part, referred to as Plowshare, which is used in the agriculture, is made of 54SiCr6 alloy steel as the raw material. Due to the unpredictable stressing conditions such as varying sizes of stones and gravel, aggregates, tree roots, etc., found in the soil, the material fails to demonstrate sufficient strength under usage conditions, leading to cracks on the material surface and subsequent failures such as fracture under stress. In this thesis, the aim is to improve the strength and mechanical properties of the 54SiCr6 alloy steel material to eliminate this problem. Initially, heat treatment processes, specifically quenching and tempering, were performed after subjecting the material to high temperatures. The changes in the material's characteristic behaviors as a result of the heat treatments were observed and analyzed. Studies have been conducted to improve the properties of the 54SiCr6 material by leveraging materials science to address problems like this and others. It's essential to optimize not only the material strength and characteristic properties of the machine part but also to optimize the weight of the Plow Share for the use of the machine and its impact on tractor traction forces when attached to the back of a tractor, making topology optimization highly significant. Therefore, one of the main focuses of the thesis is topology optimization. The quenching process provides less hardness to the material compared to the tempering process but provides more ductility. The average hardness values increased from 28 HRC in the raw material to 31.6 HRC after heat treatments. Following topology optimization, a reduction of 1 kg in the material weight was achieved, along with improvements in volume and surface area.

**Keywords:** 54SiCr6, topology optimization, plough, plough blade, heat treatment

# 1. GİRİŞ

Tarım, insanların yaşamlarını idame ettirebilmeleri için gereken ürünlerin elde edilmesi amacıyla toprağın üzerinde yapılmış olan her çalışmayı kapsayan bir sektördür. Bütünüyle ülkemizde ve dünyada değeri yadsınamaz olan tarım sektörü gün geçtikçe daha da önem arz etmektedir. Kaynağı doğa olan bu sektör insanların beslenmek, giyinmek ve barınmak gibi bütün gereksinimlerini karşılamak için yapılan üretimlerin tamamıdır. Dünyada bulunan nüfusun yaşamlarını idame ettirebilmesi, milli gelire ve çalışan istihdamına gözle görülebilir katkısı, tekstil, iplik, kimyasal, ilaç ve geriye kalan birçok sektörün hammadde gereksinimlerinin karşılanması vb. ihtiyaçlardan ötürü tarım, yaşam için vazgeçilmez bir üretim sektörü olma niteliğindedir. İnsanlığın var olduğu tarihten bu yana en çok gelişen toplumlar tarımsal üretimde en ön sıralarda olan toplumlardır.

Bütün canlılar varlıklarını ve yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için beslenmeye ihtiyaç duyarlar. İnsanlık tarihinde beslenme ihtiyacını gidermek için birçok tarımsal üretim yapılmaktadır. Tarım ürünlerinin toprağa ekilmesi öncesinde, ekim esnasında ve hasat zamanı geldiğinde kullanılmak üzere tarımda makineleşme büyük ölçüde önem arz etmektedir.

Günümüz teknolojiyle bilimin birleşmesi sonucunda tarım üretiminde kullanılan makineler iş gücü ihtiyacını azaltırken, tarımsal makineleşmenin önem kazanmasına aynı zamanda tarımda AR-GE faaliyetlerinin hız almasına ve bu çalışmadaki gibi birçok deneysel araştırma ve analize yol açmıştır. Artan nüfus, artan tüketim ve maliyetler göz önüne alındığında makineleşmek ve bu makineleşme esnasında da verimlilik ve maliyet her zaman ilk planda tutulmaktadır. Bu çalışmada topraklı tarım üretiminde vazgeçilemeyen ve büyük önem arz eden pulluk makinesinin en önemli parçası olan pulluk okunun toprak işleme esnasında farklı zorlanmalara maruz kalması ve bu zorlanmalar neticesinde makine parçasında meydana gelen çatlakların ve kırılmalarının en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

Pulluk makinesinin oklarında kullanılan malzemeler üzerinde toprağın aşındırma etkisi gözlemlenerek, deneysel bir şekilde incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda, Şekil 1.1’de görüldüğü üzere toprağın makineye uygulamış olduğu kuvvetlerin malzeme üzerine gelişi ve toprakta ilerleme hızıyla doğru orantılı olarak aşınmalar, bozulmalar, çatlama ve kırılmalar meydana geldiği görülmüştür.



**Şekil 1.1.** Malzeme yüzeyinde oluşan çatlaklar

Toprak ile pulluğun, pulluk ile pulluk ok malzemesinin birbirleri ile olan etkileşimi ve bunun çeki aracı olan traktör ile dolaylı yoldan enerji tüketimine etkisi, gözle görülebilir derecede büyüktür. Bu sebepten makinenin ve makine parçasının işleme esnasında oluşabilecek zorlanmalardan dolayı aldığı zararlar maddi yönden tarımı doğrudan etkiler, yapılacak olan iyileştirmeler sonucunda daha az çeki kuvvetinin kullanılmasına sebep olmak, bozulmalar ve arızalar sonucu, zaman ve ekonomik kayıplar göz önüne alındığında tarım işleme makinelerinin optimize edilmesi elzemdir. Makine parçasının yapıldığı malzeme, parçanın ağırlığı ve aerodinamik şekli enerji tüketimindeki en büyük rolü oynayan üç unsurdur. Bütün bu parametrelerin toprak işlemedeki etkileri birçok araştırmaya konu olmuştur.

Bu tez çalışmasında 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin kullanıldığı pulluk okuna ısıl işlem uygulaması, bu uygulamanın deneysel analizi ve şekil geometrisi ile birlikte ağırlığının ve üretim kolaylığının sağlanması amacıyla yapılacak olan optimizasyon yer almaktadır. Topoloji optimizasyonu ise burada devreye girmektedir. Topoloji optimizasyonu mühendislik tasarım sürecinde kullanılan bir yöntemdir. Topoloji optimizasyonu, tasarımın mukavemet, ağırlık, rijitlik gibi performans kriterlerini iyileştirmeyi hedefler. Bu çalışmada topoloji optimizasyonunun ne olduğu, nasıl çalıştığı ve pulluk ok malzemesi üzerinde nasıl etkileri olduğu gibi konular ele alınacaktır.

Bu tez çalışmasında, pulluk ok malzemesinin üç boyutlu tasarımının çiziminde, topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Bu tasarım yöntemiyle malzemenin fiziki ve şekil açısından geometrisi ile birlikte, aynı zamanda maksimum dayanıma sahip olan minimum ağırlık ve şekil ölçütleri oluşturulmuştur. Sonuç olarak pulluk okunun uzun

süreler dayanma ve çalışma kabiliyeti toprak işleme makinesi olan pulluğun optimizasyonunu ve üretime entegrasyonunu mümkün hale gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında, ayrıca, toprak işleme makinesi olan pullukların en aktif parçalarından birisi olan ok malzemesinin imalatlarını kolaylaştırmak amacıyla; özgül özellikleri, toprak işleme yöntemleri ve parametreleri hakkında literatür taraması ve kapsamlı veri analizi yapıldı.



## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. 54SiCr6 Malzemesinin Üretim Süreci

54SiCr6 çeliğinin üretim süreci ilk olarak hammadde hazırlığı ile başlar. 54SiCr6 çeliğinin üretimi için gerekli olan hammadde, uygun oranlarda karıştırılarak hazırlanır. Bu hammaddeler genellikle demir, karbon, silisyum, manganez, fosfor, kükürt ve krom gibi elementlerin birleşiminden oluşur. Sonrasında ise eritme prosesi başlar.

Hammadde, uygun bir fırında eritilir. Bu eritme işlemi, yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir ve çelik hamuru elde edilmiş olur. Eritilen çelik hamuru, uygun kalıplara dökülerek şekillendirilir. Bu adımda, çelik hamurunun istenilen formu verilir. Bu form içerisinde yassı tel, plaka sac, yuvarlak mil, boru gibi istenilen form ne ise ona uygun dökme işlemi gerçekleştirilir.

Yay çeliği olarak kullanılacak 54SiCr6 malzemesi sıcak sarma adı verilen bir işleme tabii tutulur ki bu işlem yay şeklinin elde edilmesi için yapılan bir prosestir. Dökülen çelik, sıcak sarma işlemine tabii tutulur. Bu işlemde, çelik tel veya çubuklar, belirli bir sıcaklıkta bükülerek yay şekli verilir. 54SiCr6 çeliği için özel olarak tasarlanmış sıcak sarma makineleri kullanılır. Ardından çeliğin son halini alabilmesi için gereken soğutma işlemi gerçekleştirilir. Sıcak sarma işleminden sonra, yaylar soğutma işlemine tabii tutulur. Bu işlemde, yaylar belirli bir hızda soğutulur ve istenilen sertlik ve tokluk özelliklerine sahip olması sağlanır.

En son adım kesim ve işlemedir. Daha sonra, yayların yüzeyindeki pürüzleri gidermek için işleme adımları da uygulanır.

#### 2.1.1. 54SiCr6 Malzemesinin Özellikleri

54SiCr6 alaşımlı çeliği, genel olarak yay yapımında geniş bir kullanım alanına sahip olan bir çelik türüdür. Bu çelik türü, yüksek mukavemeti ve yorulma özellikleri sayesinde yay yapımında tercih edilmektedir. 54SiCr6 çeliği, sıcak sarma işlemi ve soğutma işlemleriyle elde edilen bir çelik türüdür.

**Çizelge 2.1.** 54SiCr6 malzemesinin kimyasal bileşenleri ve karıştırılma oranları

C	Si	Cr	Mn	Pmax	Smax
0,51-0,59	1,20-1,60	0,50-0,80	0,50-0,80	0,025	0,025

Çizelge 2.1.'de gösterildiği üzere, yüzde olarak 0,51 ila 0,59 arasında Karbon (C), 1,20 ila 1,60 arasında Silisyum (Si), 0,50 ila 0,80 arasında Krom (Cr), 0,50 ila 0,80

Manganez (Mn) birleşimiyle meydana getirilen 54SiCr6 için, Pmax ve Smax sıcakta ve soğukta kırılma değeri gösteren bu değerlerin düşük olması istenen ve bunu en iyi koşullarda sağlayabilen bir alaşım çeliktir.

Karbon oranı %0,20 altında olan çelikler çok iyi kaynak edilebilirlik özelliği sağlarken 54SiCr6 malzemesinin rijitliği yüksek sert bir alaşım çelik olması ve karbon oranının %0,50 üzerinde olması kaynak edilebilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir.

54SiCr6 çeliğinin mukavemet özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Çekme Dayanımı: 800 - 1000 MPa
- Akma Dayanımı: 600 - 820 MPa
- Uzama: %10 - %15
- Sertlik: 200 - 250 HB

54SiCr6 çeliği, tarım makineleri, yaylar, yaylı yataklar, otomotiv parçaları ve diğer birçok uygulamada kullanılmaktadır.

### 2.1.2. 54SiCr6 Malzemesinin Isıl İşlem ve Mikroyapısal Analizi

54SiCr6 çeliği, belirli bir ısıl işlem sürecinden geçirilerek istenen mukavemet özelliklerine sahip hale getirilir. Isıl işlem süreci, çeliğin sertleştirilmesi ve temperlenmesini içerir. Bu süreç, çeliğin kristal yapısını değiştirerek mukavemetini artırır.

**Çizelge 2.2.** 54SiCr6 malzemesinin fiziksel özellikleri (Fushun Metal, 2023)

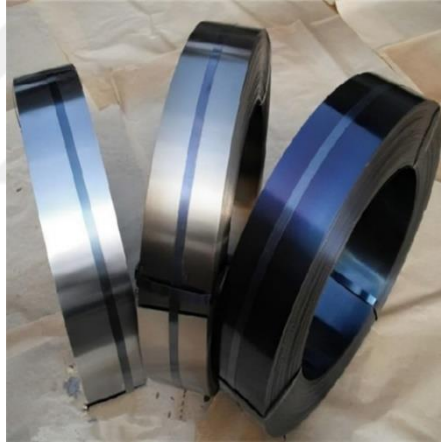
Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	Yöntem
Yoğunluk(x1000 kg/m <sup>3</sup> )	7.7-8.03	25	Yağda söndürülmüş, ince taneli, 425 °C'de temperlenmiş
Poisson Oranı	0,27-0,30		
Elastisite Modülü (GPa)	190-210		
Çekme Dayanımı (MPa)	1158		
Akma Dayanımı (MPa)	1034		
Uzama (%)	15		
Alanda Azalma	53		
Sertlik (HRC)	36		
Sertlik (HB)	335		

Mikroyapısal analizler, 54SiCr6 çeliğinin mikroskobik düzeydeki yapısal özelliklerini inceler. Bu analizler, çeliğin tane boyutu, tane sınırları ve faz bileşimi gibi faktörleri belirlemek için kullanılır. Mikroyapısal analiz sonuçları, çeliğin mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri anlamamıza yardımcı olur.

### 2.1.3. 54SiCr6 Malzemesinin Genel Kullanım Alanları

54SiCr6 çeliği, yay çelikleri arasında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bazı yaygın kullanım alanları ise otomotiv endüstrisinde yaylar, süspansiyon sistemleri ve direksiyon parçaları gibi birçok uygulamada kullanılır, makine sanayisinde makine parçalarının üretiminde kullanılır, bunlar; yaylar, dişliler, miller, yaylı yataklardır. 54SiCr6 çeliği, yaylı yatakların üretiminde kullanılan bir malzemedir. Bu çelik, yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı sayesinde yaylı yatakların uzun ömürlü olmasını sağlar.

Aynı zamanda 54SiCr6 çeliği, tarım makineleri, tarım el aleti yapımı, yaylı kapılar, yaylı koltuklar ve diğer birçok uygulamada da kullanılır.



**Şekil 2.1.** 54SiCr6 yassı çelik sac hali

54SiCr6 çeliği, belirli bir kimyasal bileşime ve ısıl işlem sürecine tabi tutularak istenen mukavemet özelliklerine sahip hale getirilir. Mikroyapısal analizler, çeliğin yapısal özelliklerini inceleyerek mekanik özelliklerini anlamamıza yardımcı olur.

## 2.2. Tarımda Pulluk Kullanımı

Tarım sektörü, insanların temel gıda ihtiyaçlarını karşılamak için hayati bir öneme sahiptir. Tarım faaliyetleri, toprak işleme, ekim, sulama ve hasat gibi bir dizi işlemi içerir. Bu işlemler arasında toprak işleme, tarımın temel adımlarından biridir ve verimli bir tarım için önemlidir. Pulluklar, toprak işleme sürecinde kullanılan önemli tarım makineleridir.

### 2.2.1. Pulluğun Tanımı ve İşlevi

Pulluk tarımda ekim işleminden önce toprağı sürmek yani alt üst ederek toprağı havalandırmak için traktör gibi çekici bir araç arkasına bağlanarak kullanılan toprak işleme makinesidir. Genellikle traktörlerle çekilir ve toprağı sürer, toprağı havalandırır ve düzleştirir. Pulluklar, tarım arazisindeki bitki kalıntılarını kırarak toprağı ekim işlemine hazırlar ve tohumların daha iyi büyümesini sağlar. Ayrıca, pulluklar toprağı yabancı otlardan temizler ve suyun toprağı daha iyi nüfuz etmesini sağlar. Bu şekilde, pulluklar tarım verimliliğini artırır ve hasat öncesi toprak hazırlığına yardımcı olur.

### 2.2.2. Pulluk Çeşitleri

Tarım sektöründe farklı pulluk çeşitleri bulunmaktadır. Her bir pulluk çeşidi, belirli bir toprak işleme ihtiyacını karşılamak için tasarlanmıştır. İki ana başlık altında toplanır:

1. Amerika Tipi Pulluk
2. Avrupa tipi Pulluk

Çeşitlere ayıracak olursak:

- Kulaklı Pulluk: Bu pulluk çeşidi, toprağı sürmek ve havalandırmak için kullanılır. Genellikle tarım arazilerinde yaygın olarak kullanılır.
- Diskli Pulluk: Diskli pulluklar, toprağı daha derinlemesine işlemek için kullanılır. Diskler, toprağı keser ve karıştırır, böylece bitkilerin köklerinin daha iyi büyümesini sağlar.
- Set ve Kanal Açma Pulluğu: Bu pulluk çeşidi, tarım arazisinde setler ve kanallar oluşturmak için kullanılır. Sulama sistemlerinin kurulmasında önemli bir rol oynar.
- Boğaz Doldurma Pulluğu: Boğaz doldurma pullukları, tarım arazisindeki çukurları doldurmak ve toprağı düzleştirmek için kullanılır. Tarım arazilerinin düzgün bir şekilde hazırlanmasına yardımcı olur.
- Bahçe Pullukları: Bahçe pullukları, küçük ölçekli tarım alanlarında kullanılan daha küçük boyutlu pulluklardır. Bahçe işleri için idealdir.
- Mikro Pulluk: Mikro pulluklar, dar alanlarda kullanılan ve toprağı işlemek için tasarlanmış küçük boyutlu pulluklardır. Özellikle sera veya bahçe gibi sınırlı alanlarda kullanılır.

Farklı pulluk çeşitleri, farklı toprak işleme ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır. Tarım sektöründe birçok pulluk üreticisi ve satıcısı bulunmaktadır, bu da

çiftçilerin ihtiyaçlarına uygun bir pulluk seçme imkânı sağlar. Pulluklar, tarım verimliliğini artırır ve hasat öncesi toprak hazırlığına yardımcı olur. Tarım sektöründe pulluklar, etkili bir toprak işleme süreci için vazgeçilmez bir araçtır.

### 2.2.3. Pulluk Ok Malzemesi

Ok, pulluğun en önemli parçalarından biridir ve toprağı keserek, çevirerek veya düzleştirerek tarım işlemlerini gerçekleştirmesi için pulluğun alt takımının destek kirişidir.

Pulluk makinesinin ok malzemesi, genellikle dayanıklı ve aşınmaya karşı dirençli bir malzemedendir. Bu malzeme, toprağı kesme ve işleme işlemlerinde yüksek performans sağlamak için özenle seçilir. Pulluk okları genellikle çelik veya dökme demirden imal edilir. Bu malzemeler, sert ve dayanıklı oldukları için toprakla temas halinde uzun süre dayanabilirler.



Şekil 2.2. Pulluk ok malzemesine ait görsel

Pulluk makinesinin ok malzemesi olarak kullanılan 54SiCr6 alaşımlı çeliğin bazı avantajları vardır:

- Dayanıklılık: 54SiCr6, aşınmaya ve darbelere karşı dayanıklıdır. Bu özellikleri sayesinde pulluk okları uzun süre kullanılabilir ve toprakla temas halinde bile performansını korur.
- Kesme Yeteneği: Pulluk okları, kesme işlemlerinde yüksek performans sağlar. 54SiCr6, toprağı kolayca keserek tarım işlemlerini etkili bir şekilde gerçekleştirir.
- Düşük Bakım İhtiyacı: Pulluk okları, dayanıklı malzemelerden yapıldığı için düşük bakım gerektirir. Bu da tarım işlemlerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlar.

## 2.3. Pulluk Ok Malzemesinin Üretim Süreci

### 2.3.1. Malzeme Seçimi

Pulluk makinesinin ok malzemesi seçimi, tarım alanında kullanılacak olan toprağın özelliklerine ve işlenecek alanın büyüklüğüne bağlıdır. Aşağıda, pulluk makinesinin ok malzemesi seçiminde dikkate alınması gereken bazı faktörler bulunmaktadır:

- Toprak Tipi: Farklı toprak tipleri farklı özelliklere sahiptir. Bazı topraklar daha sert ve kayaçlı iken, bazıları daha yumuşak ve gevşek olabilir. Pulluk oku malzemesi, toprak tipine uygun şekilde seçilmelidir.
- Toprak İşleme Derinliği: Pulluk makinesinin ok malzemesi, toprak işleme derinliğine uygun olmalıdır. Derin toprak işleme için daha uzun ve dayanıklı oklar tercih edilebilir.
- İklim Koşulları: İklim koşulları, pulluk oku malzemesi seçimini etkileyebilir. Örneğin, nemli ve yağışlı bir bölgede kullanılacak olan pulluk okları, paslanmaya karşı dayanıklı olmalıdır.

Tüm bu faktörler göz önüne alındığında 54SiCr6 ok malzemesi olarak yıllardır kullanılmaktadır. 54SiCr6, dayanıklılık, korozyon direnci ve mukavemet gibi özellikleri nedeniyle tercih edilir ve pulluk okunun kullanım amacına, toprak koşullarına ve tarım makinelerine uyum sağlamasını sağlar.

Şekillendirme aşamasında ise, 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi işlenerek pulluk okunun istenen formu malzemeye verilmiş olur. Bu aşamada, malzeme plakalar halinde kesilir ve presleme, dövme veya haddeleme işlemleriyle şekillendirilir. Pulluk okunun ucu ve kenarları, tarladaki toprağa nüfuz etmek ve işlevini yerine getirmek için özel olarak tasarlanır.

Son işlemlere geçildiğinde bu aşamada, pulluk okunun yüzeyi düzgünleştirilir, keskinleştirilir ve gerekli koruyucu kaplamalar uygulanır. Pulluk okların son işlemleri, kullanım kolaylığı ve dayanıklılık sağlamak amacıyla yapılır.

### 2.3.2. Ham Malzeme-Yarı Mamul ve Nihai Ürün Süreçleri

Ok malzemesi pulluk makinesinin en çok yüke maruz kalan parçası olduğu için karşılaştığı yükler karşısında hem esnek olabilmeli hem rijitliğini kaybetmemelidir.

Pulluk okunun üretimi sıcak ve soğuk çekme yöntemi ile ham 54SiCr6 malzemesinin elde edilmesi ile başlar. Ham olarak 6 metre boyutunda standart olarak lama şeklinde 70x35, 80x40, 86x43, 90x45 mm şeklinde birçok farklı boyutlarda tedarik

edilir. Lama elikler oksijen ile istenilen boyutlarda kesilir ve Fueloil yakıtlarla çalışan fırınlarda veya indüksiyon bobinlerinde Şekil verme prosesi için 900  C ila 1100  C arasında ısıtılırlar. Kalıplar ve presler yardımıyla Pulluk Ok'u son Şeklini almış olur.

Ardından CNC makinelerinde, Şasiye montajı için gerekli delik açma ve talaşlı imalat işlemleri yapılır. Bütün bu işlemler sona erdikten sonra yüzey kalitesini artırmak için, kumlama makinesinde kumlanır ve elektrostatik boya hattında boya atılır ve üretim süreci son bulmuş olur.

### 2.3.3. Pulluk Ok Malzemesine Etkiyen Kuvvetler

Toprağın sürülmesi esnasında, toprağın pulluk gövdesinde oluşturduğu bazı kuvvetler vardır. Bunlar pulluk makinesinin ucuna gelen demirin keskin tarafı ve pulluk kulağının toprak kenarında oluşturduğu kesme kuvveti ve buna karşılık gelen tepki kuvveti, bu tepki kuvvetiyle oluşan toprağın kaldırma kuvveti, makine parçası ile toprak arasındaki sürtünme kuvvetleridir. Traktör eki kuvvetlerini bulabilmek ve böylelikle pulluğun mukavemetini hesaplayabilmek için, toprağın özgül direncinin de bilinmesi gerekir. Bu konuyla ilgili yapılan bilimsel çalışma sonuçları (Grsel ve Kftecioglu, 2006) izelge 2.3'de verilmiştir. Buna göre, izelge üzerinde toprak çeşitlerine göre özgül toprak direncini, yani pulluk makinesinin toprağın direnç gösterdiği parçalara gelen yükler görülmektedir.

**Çizelge 2.3.** Toprak çeşitlerine göre özgül toprak dirençleri

Toprak eşitleri	zgl Toprak Direnci $k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Hafif Topraklar	20-30
Orta Ağır Topraklar	40-50
Ağır Topraklar	60-80
Çok Ağır Topraklar	90-150

Çizelge 2.3.'te görüldüğü üzere toprak çeşitlerinin gösterdikleri dirençler değişiklik göstermektedir. Hafif toprakların ve orta ağır toprakların işlenmesinde toprak işleme makinelerinin ekicisine ve makinenin kendisine etki eden kuvvetler 20-50 kN'luk orta düzey denilebilecek dirençlerle karşılaşır ve yapıları gereği bu zorlanmalar karşısında rijitlik gösterebilirler fakat ağır topraklar ile çok ağır toprakların makineye etki ettiği

direnç kuvvetleri 60-150 kN gibi yüksek düzeyde sayılabilecek kuvvetler olduğu gibi makinenin mukavemetlerini aşabilecek kuvvetlere ve zorlanmalara neden olabilmektedir.

Pulluk makinesinin okunda da bu ve bu gibi zorlanmalar ve aşınmalar sonucu malzemede kırılmalar, çatlamlar, şekil bozuklukları meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında ise, bu gibi problemlerin ortadan kaldırılabilmesi için, yapılacak olan ısıl işlemler ile malzemenin iyileştirilmesi topoloji optimizasyonu ile ise, minimum ağırlık-maksimum dayanım sağlanarak, doğru tasarımın yakalanması hedeflenmektedir.

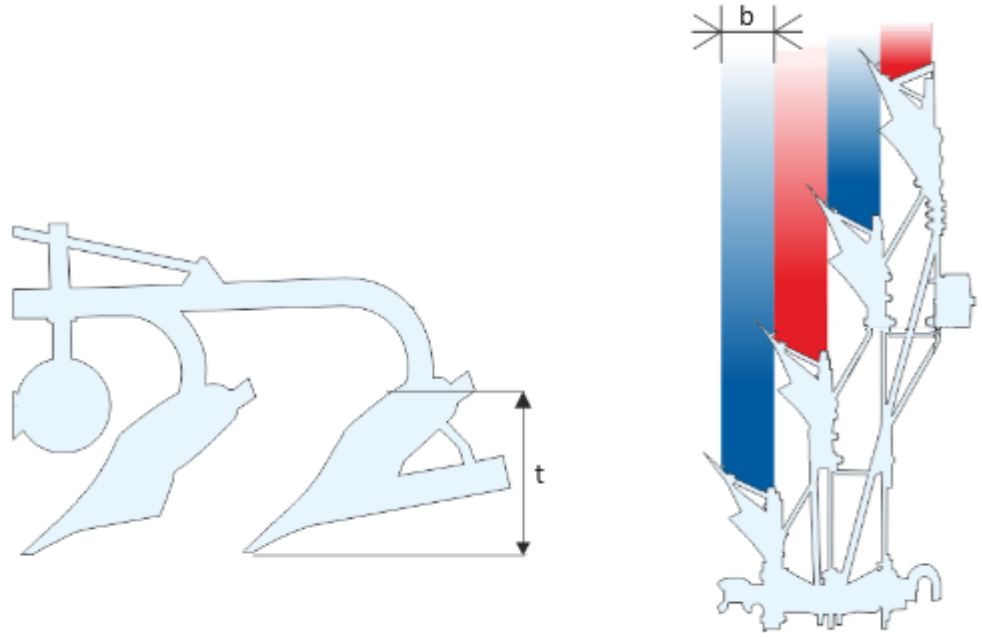
Aynı zamanda bir araştırma makalesinde, toprağın makinelere uygulayabileceği özgül direnç hesabı aşağıda gösterilen denklemler ile yapılmıştır (Talaş vd., 2020). Bu tez çalışmasında pulluk makinesinden ok malzemesine gelen yükler, bu dirençler dikkate alınarak hesaplanacaktır.

$$F_x = ktb + \epsilon v^2 \quad (1.1)$$

$$v = 0 \text{ için}; \quad (1.2)$$

$$F_x = ktb \quad (1.3)$$

- $k = 100 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır. Bu seçim ‘‘Çizelge 2.3. Çeşitli Topraklardaki Özgül Toprak Dirençleri’’nde çok ağır topraklar için ölçülen ortalama yüküdür.
- $b = 0,38 \text{ m}$  alınmıştır. Buradaki ‘‘ $b$ ’’ sabiti Şekil 2.3.’de gösterildiği üzere makinenin sürme genişliği, yani makine parçasının toprağı ne kadar genişlikte işlediğini göstermektedir. Ortalama olarak bir pulluğun maksimum işleme derinliği 38 cm olarak deneysel olarak ölçülmüştür. Sınır olarak görülen bu değerin alınma sebebi ise maksimum yüke karşı direnç sağlayacak bir tasarıma sahip olabilmek ve topoloji optimizasyonunu buna göre analiz ederek, ok malzemesinin en mukavemetli olacağı geometriyi elde etmektir.
- $t = 0,32 \text{ m}$  alınmıştır. Buradaki ‘‘ $t$ ’’ sabiti Şekil 2.3.’de gösterildiği üzere pulluk makinesinin iş derinliği ölçüsüdür. Bu ölçü de pulluk makinesinin maksimum sürme derinliğine tekabül etmektedir. Aynı amaç doğrultusunda doğru analiz için maksimum değerler göz önünde bulundurulacaktır.
- Yapılan araştırmalar sonucu pulluk makinesi ortalama 6.5 km/h ilerleme hızı ile çekildiğinde etkiyen kuvvet 12.4 kN olarak bulunmuştur (Bastaban, 2011).



**Şekil 2.3.** “*b*” ve “*t*” parametrelerinin pulluk makinesi üzerinde gösterimi

- $\varepsilon v^2 = 0$  alınmıştır. Burada hızın ( $v$ ) 0 alınmasının nedeni sürtünmenin diferansiyel olarak malzemenin ilk hareketinden hemen önce maksimum olmasından kaynaklıdır. Maksimum sürtünmenin olması demek gereken kuvvetin de maksimum olacağı anlamına gelmesinden kaynaklıdır.

Bütün bu değerler göz önünde bulundurulduğunda toprağın makine üzerine etkiyeceği kuvveti  $F_x = 12,1$  kN olarak bulunmuştur.

Yapılan başka bir araştırmada benzer bir şekilde pulluk çeki kuvvetleri hesaplanmıştır(Keçecioğlu ve Gülsoylu, 2002).

## 2.4. Isıl İşlem

Isıl işlem, bu işleme tabi tutulan malzemenin özelliklerini değiştirmek için uygulanan bir dizi işlem tekniğidir. Bu işlemler, bir malzemenin sertliğini, dayanıklılığını, mukavemetini ve diğer mekanik özelliklerini iyileştirmek veya değiştirmek amacıyla yapılır. Isıl işlem, metalürjinin önemli bir alanıdır ve birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.4.1. Isıl İşlem Aşamaları

1. Isıl İşlem Seçimi: İlk adım, uygulanacak ısıl işlemi belirlemektir. Bu ise, malzemenin türüne, kullanım amacına ve istenen sonuca bağlı olarak yapılır. Bu işlemler, malzemenin sertliğini, dayanıklılığını, mukavemetini, esnekliğini veya diğer fiziksel

özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılır. Bu tez çalışmasında 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinde bulunan silisyum elementinin malzemeye kattığı sertlik ve aynı zamanda da süneklik çok önemlidir. Yapılan araştırmada silisyum elementinin oksijen giderici olarak kullanıldığı ve çeliğin akma ve çekme dayanımlarını artırırken sünekliği de artırdığı belirtilmiştir. Çelik yapısındaki silisyum miktarı artarsa tufal yapma oranının azaldığı ortaya konulmuştur(Aytaç vd., 2018). Burada yapılacak olan ısıtma işlem çeşitlerinden birkaçını şöyle sıralayabiliriz;

- Sertleştirme işlemi: Bu işlem malzemenin sertliğini artırmak için uygulanan bir işlemdir. Bu işlem genellikle çeliğin sertleştirilmesinde kullanılır. Malzeme ısıtılır ve ardından hızla soğutulur, böylece malzeme içindeki kristal yapı değişir ve sertlik artar.
- Normalleştirme işlemi: Bu işlem malzemenin homojen bir yapıya sahip olmasını sağlamak için uygulanan bir işlemdir. Malzeme ısıtılır ve yavaşça soğutulur, böylece iç yapısı stabilize olur. Bu işlem çelik gibi malzemelerin işlenebilirlik özelliğini artırır.
- Yumuşatma işlemi: Yumuşatma işlemi malzemenin sertliğini azaltmak ve işlenebilirlik özelliğini artırmak için uygulanan bir işlemdir. Malzeme ısıtılır ve yavaşça soğutulur, böylece malzeme içindeki gerilmeler giderilir ve sertlik azalır.
- Östenitleme işlemi: Östenizasyon işlemi malzemenin östenit fazına dönüşmesini sağlamak için uygulanan bir işlemdir. Östenit, malzemenin sertliği ve mukavemeti için önemli olan bir fazdır. Malzeme ısıtılır ve ardından yavaşça soğutulur, böylece östenit fazı oluşur.

Seçimin yapılmasının ardından ısıtma işleminin diğer bir aşaması olan ön hazırlık aşamasına geçilir.

2. Isıtma İşlem Ön Hazırlık: İşlem öncesi, malzeme yüzeyi temizlenir, bu temizleme kimyasallar ile olabildiği gibi zımpara taşıyla yapılan yüzey parlatma işlemi gibi diğer birçok temizlik proseslerini de içine almaktadır. Hazırlık için gerektiğinde malzeme kesilir veya şekillendirilir. Bu adım, malzemenin işlem için hazır hale getirilmesini sağlar.

3. Isıtma: Her malzeme için belirlenen özel bir sıcaklık vardır ve malzeme bu sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu ısıtma işleminin hızları da önem arz etmektedir çünkü ısıtma hızı malzemede iç gerilmelere neden olabildiği gibi kristal yapıların bozulmasına da neden olabilir. Isıtma süresi ve sıcaklığı, malzemenin türüne ve istenen sonuca bağlı olarak

değişebilir. Bu ısıtma işlemleri, malzemenin yapısını değiştirmek için kullanılan bir adımdır.

4. Soğutma: Isıtılan malzeme, belirli bir hızda soğutulur. Soğutma süreci, malzemenin istenen özelliklerini elde etmek için önemlidir. Farklı soğutma hızları, farklı yapılar ve özellikler oluşturabilir.

5. Tavlama: Bazı durumlarda, ısıtma işlem sonrası malzeme tavllanır. Tavlama, malzemenin iç gerilmelerini gidermek ve daha istikrarlı bir yapı oluşturmak için yapılır. Tavlama sıcaklığı ve süresi, malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişebilir.

## **2.5. 54SiCr6 Malzemesinin Çekme Deneyine Hazırlığı**

### **2.5.1. Çekme Deneyi**

Sürecin ilk adımı deneyin amacını ve hedeflerini belirlemektir. Hangi mukavemet özelliklerinin ölçüleceği, hangi malzemelerin test edileceği gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun ardından standart araştırması yapılmalıdır. İlgili standartlara bakarak, çekme deneyi için uygun malzeme özelliklerini belirlemek önemlidir. Standartlar, malzeme boyutlarını, geometrilerini, test koşullarını ve gerekli olan diğer hususları belirleyecektir.

Malzeme Seçiminde ise standartlara uygun malzemeler arasından en uygun olanı seçmek gerekmektedir. Malzeme, deneyin amacına ve hedeflerine en uygun şekilde temsil edici olmalıdır. Ayrıca, malzemenin kullanılabilirliği, maliyeti ve erişilebilirliği de dikkate alınmalıdır. Malzeme özelliklerinin değerlendirilmeli ve gerekli ölçümler yapılmalıdır.

Malzemenin kimyasal bileşimi, mekanik özellikleri, termal özellikleri gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Ardından ise numune hazırlığı gelecektir, seçilen malzemeden uygun boyutlarda ve geometrilere numuneler hazırlanmalıdır. Numunelerin işlenmesi ve montajı da dikkate alınmalıdır. Bu aşamada çekme deneyleri için numuneler hazırlanmalıdır. Numuneler, belirli boyutlara ve geometrilere sahip olmalıdır. Örneğin, çubuk veya plaka şeklinde numuneler kullanılabilir.

Numuneler, malzemenin belirli bir yönünde veya çeşitli yönlerde kesilebilir. Numune kesimi için uygun bir yöntem seçilmelidir.

Kesme işlemi, numunenin kesitinde herhangi bir deformasyona veya hasara neden olmadan gerçekleştirilmelidir. Manuel olarak veya özel bir kesme makinesiyle kesme

işlemi yapılabilir. Alınacak örneklerin yönelimi tamamıyla üretim işlemine, şekline ve analiz edilecek özelliklere bağlıdır.

Dökümlle üretilmiş ürünlerde teoride her yön birbirine eşitken, genel olarak katılma yönüne paralel yönelim tercih edilmektedir. Numunelerin yönleneğe bağı özellikleri değışebilir. Bundan dolayı numune alırken yönleneğin göz önüne alınması gerekebilir. Numune işleme esnasında numunelerin yüzeyleri pürüzsüz olmalıdır. Numuneler, düzgün ve temiz bir yüzeye sahip olmalıdır. Zımparalama, kimyasal temizlik veya özel işlemlerle numunelerin yüzey kalitesi iyileştirilebilir. Böylelikle numune hazırlığı bitmiş olacaktır.

Numune hazırlandıktan sonra deney makinesi ayarları yapılmalıdır. Çekme deneyleri genellikle evrensel çekme makinesi veya test cihazı kullanılarak yapılır. Deney makinesi, doğru ölçümler yapabilmek için doğru şekilde ayarlanmalıdır. Deney hızı, ölçüm hassasiyeti ve diğere parametreler dikkatlice ayarlanmalıdır. Çekme deneyi için ölçüm cihazına numune montajı yapılmalıdır. Numune, deney makinesine doğru bir şekilde monte edilmelidir. Numune, makineye sıkıca bağlanmalı ve doğru hizaya getirilmelidir. Numunenin deformasyona uğramayacağından ve doğru yük uygulanacağından emin olunmalıdır. Numune makineye monte edildikten sonra çekme deneyi yapılabilir. Deney sırasında numunenin gerilme ve uzama değerleri kaydedilmelidir. Deney, belirlenen hızda veya belirli bir yük altında gerçekleştirilebilir.

Deney bittikten ve sonuçlar bilgisayar ortamında alındıktan sonra deney sonuçları analiz edilmeli ve yorumlanmalıdır. Elde edilen veriler, malzemenin mukavemet özelliklerini değerlendirmek için kullanılabilir. Ölçülen değerler, çekme dayanımı, elastisite modülü, uzama miktarı gibi parametrelerin hesaplanması için kullanılabilir.

### **2.5.2. 54SiCr6 Malzemesinin Çekme Deneyi için Doğruluk Analizi**

Çekme deneyinde her malzeme kullanılabilirliğinin analizi için aşağıdaki yeterlilikleri sağlamalıdır;

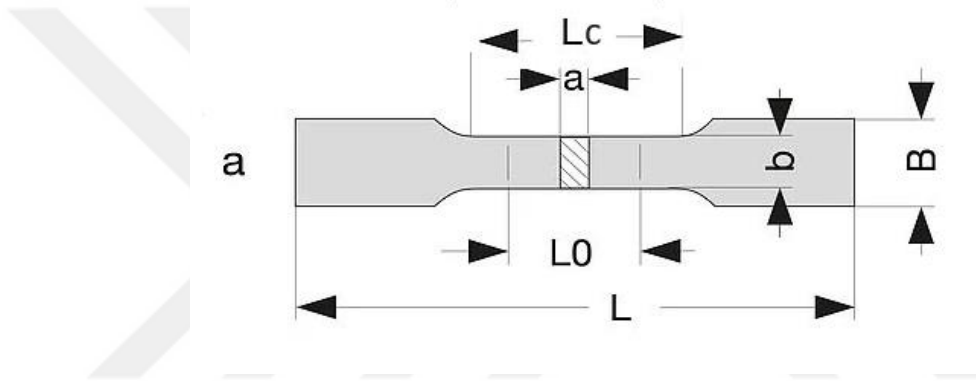
1. Temsil Edicilik: Malzeme, çekme deneylerinde temsil edici olmalıdır. Yani, gerçek kullanım koşullarında malzemenin maruz kalacağı gerilmelere benzer gerilmeleri yansıtmalıdır. Örneğin, bir yapı elemanın çekme dayanımını ölçmek için, aynı malzemedan yapılmış bir numune kullanılmalıdır.
2. Standartlara Uygunluk: Malzeme, ilgili standartlara veya spesifikasyonlara uygun olmalıdır. Standartlar, çekme deneyleri için belirli boyutlar, geometriler ve test koşulları belirler. Bu standartlara uygun olmayan malzemeler, yanlış sonuçlara yol açabilir.

3. Yeterli Miktar: Malzeme, çekme deneylerinde yeterli miktarda bulunmalıdır. Çünkü deneyler tekrarlanabilirlik için birden fazla numune gerektirebilir. Ayrıca, malzemenin homojen olması da önemlidir. Yani, malzeme içinde herhangi bir değişkenlik veya bozulma olmamalıdır.

4. İşlenebilirlik: Malzeme, çekme deneylerinde işlenebilir olmalıdır. Numunelerin kesilmesi, zımparalanması veya şekillendirilmesi gibi işlemler sırasında malzeme kolaylıkla şekil alabilmeli ve bozulmamalıdır.

Bütün bu aşamalar için geçerlilik sağlayan 54SiCr6 malzemesi artık bir diğer aşama olan numune hazırlamaya geçilebilir demektir.

### 2.5.3. Çekme Deneyleri için Numune Hazırlığı



Şekil 2.4. Çekme numunesi için parametrelerin gösterimi

Numunelerinin hazırlanması esnasında "TS EN ISO 6892-1" standartları göz önünde bulundurulmuştur. Standartlara göre toleranslandırmalar aşağıdaki gibi olmalıdır; a: Numune kesitini göstermektedir ve kalınlığa ait bilgileri içermektedir.

Çizelge 2.4. TS EN ISO 6892-1 standartlarına göre çekme numune toleransları

	B	b	$\Delta b$	L	Lc	Lo
Minimum	20	12,5	0,05	200	60	50
Maksimum	50	40	0,1	450	225	200

Şekil 2.4'te gösterilen sembollerin açıklaması Çizelge 2.4'te verilmiştir. Buna göre elde etmek istediğimiz numune ölçülerinin aşağıdaki gibi olması istenmektedir;

Çizelge 2.5. 54SiCr6 malzemesi için üretilmesi istenen numune ölçüleri

B	b	$\Delta b$	L	Lc	Lo
20	15	0,05-0,1	300	100	75

54SiCr6 malzemesi için hazırlanacak olan numune öncelikle hammadde halinde elde edilip, ardından CNC Freze makinesinde talaşlı imalat yapılarak gerekli toleranslarda ölçülere getirilmiştir.

## **2.6. Topoloji Optimizasyonunun Tanımı**

Topoloji optimizasyonu, bir yapı veya sistemdeki topolojik özellikleri analiz edilerek, en iyi performansı sağlamak, malzeme kullanımını azaltmak, enerji verimliliğini artırmak, maliyetleri düşürmek ve yapısal dayanıklılığı iyileştirmek gibi hedeflere ulaşmayı amaçlayan bir tasarım sürecidir. Topoloji optimizasyonu, bir yapı veya sistem üzerindeki kuvvet etkileşimlerini analiz ederek en uygun topolojiyi belirlemeye çalışır. Topoloji optimizasyonunda aşağıdaki adımlar takip edilir:

1. Tasarım parametrelerinin belirlenmesi: Optimizasyon süreci için tasarım parametreleri ve kısıtlamalar belirlenir. Bu parametreler, yapıda değişiklik yapılabilen noktaları, malzeme özelliklerini, yükleri ve diğer önemli faktörleri içerebilir.
2. Topolojik modelin oluşturulması: Tasarım parametreleri kullanılarak topolojik bir model oluşturulur. Bu model, yapıdaki farklı bileşenlerin ve bağlantıların nasıl yerleştirileceğini gösterir.
3. Analiz ve optimizasyon: Oluşturulan topolojik model, bilgisayar destekli tasarım ve benzetim yazılımları kullanılarak analiz edilir. Bu analiz, yapıdaki kuvvet etkileşimlerini ve performansı değerlendirir. Optimizasyon algoritmaları, yapıda topolojik değişiklikler önererek en iyi performansı sağlamak için çalışır.
4. Sonuçların değerlendirilmesi: Optimizasyon süreci tamamlandıktan sonra, elde edilen sonuçlar değerlendirilir. Bu sonuçlar, yapıya yapılan topolojik değişikliklerin etkisini, performansı, maliyeti ve diğer faktörleri içerebilir.

### **2.6.1. Topoloji Optimizasyonunun Uygulama Alanları**

Topoloji optimizasyonu birçok amaca hizmet etmektedir. Bu amaçla topoloji optimizasyon yöntemi kullanılarak parça tasarımda gerçek çalışma şartlarında karşılaşılan yükler ve zorlanmalar karşısında sınır şartları belirlenerek en ekonomik ve optimum ürünler geliştirebilmek (Kahraman ve Küçük, 2020), verilen bir yapı veya sistem içindeki topolojik düzenlemeleri optimize ederek belirli hedeflere ulaşmayı sağlamaktır. Bu optimizasyon türü, genellikle mühendislik tasarımında kullanılır ve aşağıdaki amaçlara hizmet eder;

1. Malzeme Tasarrufu: Topoloji optimizasyonu, bir yapı veya parçanın içindeki malzeme dağılımını en iyi şekilde düzenleyerek malzeme israfını önler. Bu, malzeme maliyetlerini azaltır ve sürdürülebilirlik açısından olumlu bir etki yaratır.
2. Ağırlık Azaltma: Topoloji optimizasyonu, bir yapının gereksiz ağırlığını azaltarak daha hafif ve taşınabilir ürünlerin tasarlanmasına yardımcı olur. Özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde bu önemlidir, çünkü hafiflik yakıt verimliliği ve performansı artırabilir.
3. Dayanıklılığı Artırma: Yapıların dayanıklılığını artırmak, güvenlik ve uzun ömür açısından önemlidir. Topoloji optimizasyonu, malzeme dağılımını optimum şekilde ayarlayarak dayanıklılığı artırabilir.
4. Performansı Optimize Etme: Bir yapı veya sistemdeki performansı artırmak, topoloji optimizasyonunun bir diğer hedefidir. Bu, özellikle spor donanımları, araçlar veya endüstriyel makinelerin tasarımında önemlidir.
5. Maliyet Azaltma: Topoloji optimizasyonu, tasarımın maliyetini minimize etmeyi hedefler. Malzeme tasarrufu ve verimli yapılar, ürünlerin üretim maliyetlerini düşürebilir.
6. Verimlilik ve Sürdürülebilirlik: Topoloji optimizasyonu, enerji ve kaynak kullanımını optimize ederek ürünlerin daha sürdürülebilir ve çevre dostu olmasına yardımcı olabilir.

Bu amaçlar, topoloji optimizasyonunun çeşitli endüstrilerde kullanılmasını motive eder. Genel olarak, topoloji optimizasyonu, bir yapı veya sistem tasarımının en iyi topolojik düzenlemesini belirleyerek, maliyeti düşürmek, performansı artırmak ve sürdürülebilirlik hedeflerini karşılamak için güçlü bir araçtır.”

## 2.7. Kaynak Özetleri

Albak, (2019) topoloji optimizasyonu üzerine yaptığı araştırma çalışması sonucunda topoloji optimizasyonunun malzeme çalışma şartlarını koruyarak yada bazı durumlarda iyileştirerek daha hafif yeni tasarımlar oluşturmaya yardımcı olduğu ortaya koyulmuştur.

Alkan ve Bayhan, (2003) araştırmalarında pulluk makinesinin çeki kuvveti, patinaj, ilerleme hızı, yakıt tüketimi değerlerini belirlemeye çalışmışlardır.

Aydemir, vd., (2015) yaptıkları araştırmada farklı numune boyutlarının sebep olduğu değişimler araştırılmıştır. Çalışmadan alınan bilgiler doğrultusunda bu tez çalışmasında kullanılan numune boyutlarına karar verilmiştir.

Bastaban, (1994) pulluk makinesi ile toprağın işlenmesi esnasında pulluğa etki eden kuvvetlerin analizini yapmıştır. Çeki kuvvetini teorik olarak hesaplayarak bununla birlikte kuvvetlerin artmasıyla yakıtın nasıl değişkenlik gösterdiğini araştırmıştır.

Toprak makinaları imalatında kullanılan 54SiCr6 çeliğine benzeyen 60SiMn5 çeliğine uygulanan sertleştirme ve menevişleme ısı işlem parametrelerinin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi üzerine araştırma yapmışlardır (Durmuş vd., 2020).

Gokhman vd., (2023) sürekli olarak yavaş soğutma işlemi gerçekleştirdikleri bu çalışma koşullarında 54SiCr6 çeliğinde östenit ayrışma kinetiğini analiz ederek alaşımlı çeliğin mekanik özelliklerindeki değişim araştırılmıştır.

Güler ve Özcan, (2014) yüksek alaşımlı çelik malzemeye su verme işlemi uygulayarak, bu işlemin malzemenin dayanımı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Burada lineer olarak sıcaklık artırımının ne sonuçlara yol açacağını da açıklamışlardır. Yüksek alaşımlanmış ve yüksek karbonlu çeliklere uygulanan su verme işleminin ardından mekanik özelliklerindeki değişim gözlemlenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen ısı işlemler sonucunda elde edilmiş olan bulgular yorumlanmıştır. Isıl işlem sıcaklıkları 700, 750, 800, 850, 900 dereceye kadar çıkartılarak malzemedeki sertlik değişimleri, çekme mukavemetindeki farklılıklar ve % uzama değerleri incelenmiştir.

Gürsel ve Köftecioğlu, (2006) kulaklı pulluk elemanlarının analizinde pulluk gövdesinin taşıdığı maksimum kuvvet ve bu kuvvetlerin değişimi üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Kotous vd., (2018) yaptıkları araştırmada 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin farklı sıcaklık değerlerinde ısı işlemlerini yapmışlardır. Burada ortaya konulan sonuçlar 810, 830, 850, 870 derecede yapılan temperleme işleminin malzeme üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Mattetti vd., (2017) ortaya koydukları araştırma makalelerinde bir pulluk üzerindeki basınç sinyallerinin ölçülmesi ve analiz edilmesi için bir metodoloji geliştirmiş ve hızın etkisi belirlemiştir.

Shuming vd., (2008) 54SiCr6 alaşımlı çeliğinin farklı yükler altındaki tepkilerini deneylerle analiz etmişlerdir. Bu deneyler 54SiCr6 malzemesinin silindirik formda çekme numunelerinin hazırlanması ve çekme testlerine sokulması ile ilgili açıklamaları kapsamaktadır.

Araştırmada 54SiCr6 ve 60SiMn5 alaşımlı çelikleri üzerinde ısı işlem proseslerinden su ve yağ verme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Ham malzemeleri suda ve yağda ayrı ayrı soğutarak sertleştirirken malzeme üzerinde oluşan artık gerilmelerin

gidermesi amacıyla temperleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Temperleme ardından sertlik ölçülerinde düşüş olan çeliklerin üzerinde deneysel araştırma bulguları ortaya konulmuştur (Talaş vd., 2020).

Yapılan tez çalışmasında daha yüksek silisyum içeriğine sahip olan alaşımın mikroyapısında daha düşük silisyum içeriğine sahip alaşıma kıyasla daha fazla miktarda ikincil faz gözlemlenmiştir. Faz miktarının yüksek alaşımda düşük silisyum alaşımına göre %50 daha fazla olduğu görülmüştür (Tüfekçi, 2019).

Özel ve Özcan, (2021) araştırmada statik analiz ile ilgili veriler ortaya konulmuştur. Jet motorlarının statik davranışlarını belirlemek için bilgisayar destekli tasarım programlarından yararlanılarak SolidWorks programında kaplama işlemi uygulanmış kanatçıkların statik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Değirmencioğlu vd., araştırma makalesinde 3 soklu pulluğa gelen yükün 36 kN olduğu ve her bir soka gelen kuvvetin yaklaşık olarak 12 kN olduğu ve buna nazaran denk gelen gerilme değerleri gözlemlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

54SiCr6 malzemesi Savrukoğlu Ziraat Makinaları Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nden tedarik edilmiştir. Numunelerin metalografik görüntüsü elde edilmeden önce süspansiyon edilmesi gerekir ve bu işlem sırasında "METKON DIAPAT-M 1 MİKRON ve DIAPAT-M 5 MİKRON" kimyasal süspansiyonlar kullanılmıştır.

Isıl işlem yapılmış ve özellikleri iyileştirilmiş 54SiCr6 malzemesinin topoloji optimizasyonu ise "SolidWorks" isimli bilgisayar destekli çizim programında yapılmıştır.

#### 3.2. Aletler ve Cihazlar

Numunelerin kumlanma işlemi gerçekleştirilirken PMS marka "AK-4 SJP" model numarasına sahip kumlanma makinesi kullanılmıştır.



Şekil 3.1. PMS 'AK-4 SJP kumlanma makinesi

Isıl işlem göreceğ olan 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin ısıl işlem esnasında belirli sıcaklıklara ulaştırılması, istenilen sıcaklıkta belirli süre tutulması ve istenilen sıcaklıklara kadar soğutulması gerekmektedir. Bu sebeple sıcaklık kontrolleri için "CEM DT-8867H" infrared lazer termometre kullanılmıştır. Bu infrared termometre -50 °C ile 1650 C° ölçüm yapmaktadır.



**Şekil 3.2.** CEM DT-8867H infrared termometre

Isıl işlem için malzemenin ısıtıldığı sistem ise indüksiyon bobinleridir. Isıtma işlemleri esnasında “İZOMSA İZM-AHİ-250” indüksiyon bobinleri kullanılmıştır. Makine giriş voltajları 375 V – 410V aralığında olup 415 A güç tüketimi yapmaktadır. 450 kg – 500 kg ağırlıklar ile çalışabilirken 250 kVA güce sahiptir.

İşlem yapılacak malzeme için 1100 °C ila 1200 °C sıcaklık değerleri sağlayabilmektedir. İki adet indüksiyon bobini bulunmakta ve bu bobinler soğutma sıvısıyla soğutulmaktadır.



**Şekil 3.3.** İZOMSA İZM-AHİ-250 indüksiyon ısıtma makinesi

Isıl işlem görmemiş ham malzeme numuneleri ile birlikte ısıl işlem görmüş malzeme numuneleri “LARYEE MODEL-Q2” metalografik kesici ile kesilmiştir. Kesici içerisinde bir adet kesme taşı bulunmaktadır. Sulu ve susuz kesim yapabilmektedir.



**Şekil 3.4.** LARYEE MODEL-Q2 metalografik kesme makinesi

Boyutlandırılan numuneler ‘‘METKON FORCIPOL 1V’’ profesyonel taşlama ve parlatma tezgâhında 500, 800, 1200, 1500 ve 2000 grit kum zımparalar ile zımparalanmıştır. Makine yapılacak olan işlemler için sulu zımparalama ve susuz zımparalama imkânı sunmaktadır.



**Şekil 3.5.** METKON FORCIPOL 1V parlatma makinesi

Taşlanmış ve parlatılmış malzemelerin yüzey morfolojisinin incelenmesi amacı ile profilometri görüntülerinin elde edilme işlemi ‘‘METKON IMM 901’’ metalürjik mikroskop yardımı ile yapılmıştır.



**Şekil 3.6.** METKON IMM 901 metalürjik mikroskop

Malzemelerin ve numunelerin sertliklerini ölçmek için “DİĞİROCK-RB” profesyonel sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.



**Şekil 3.7.** DİĞİROCK-RB profesyonel sertlik ölçüm makinesi

Malzemelerin işlenmesi için YUNTES marka “SUNMİLL JHV-1100” model CNC freze makinesi kullanılmıştır.



**Şekil 3.8.** YUNTES SUNMİLL JHV-1100 CNC freze makinesi

Hazırlanan numuneler ‘‘UTEST’’ marka hidrolik deney cihazında çekilerek ‘‘UTEST BC100’’ otomatik kontrol ve veri toplama ünitesinden bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



Şekil 3.9. UTEST BC100 hidrolik çekme makinesi ve kontrol ünitesi

### 3.3. Yöntem

#### 3.3.1. Çekme Deneyleri İçin Numunelerin Hazırlanması

Bu tezin amacında olduğu gibi 54SiCr6 alaşımlı çeliklerden üretilen ok malzemesinde çalışma esnasında makine parçasının maruz kaldığı yükler altında çatlaması üzerine ortaya çıkan problemleri aşmak olması çelik malzemenin fiziksel özelliklerini iyileştirilmesidir. İşbu nedenle ham malzeme üzerinde ısıl işlemler ile malzemenin iyileştirilmesi ve daha mukavim olurken daha da elastik olması istenmektedir. Çekme testleri için 300 mm ve 200 mm boyunda numuneler oluşturulacağı için öncelikle ham malzemedan üç adet 350 mm boyunda işleme toleransını da göz önünde bulundurulacak şekilde numune kesildi. İlk numuneler ham olarak analiz edileceği için herhangi bir ısıl işlem prosesine sokulmayacak olup diğer numuneler ise ısıl işlem proseslerine maruz bırakılacaktır.

#### 3.3.2. 54SiCr6 Alaşımlı Çelik Numunelerinin Isıl İşlemi

Çekme numunesi boyutlarına işlenmemiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzeme önceden hazırlanmış özel ısıl işlem yağına ve ısıl işlem suyuna daldırılmak üzere öncelikle 850 °C’ye indüksiyon bobinlerinde ısıtıldı, bu ısıtma işleminin hemen ardından malzemenin ani soğumasını sağlayarak sertleştirme işlemi için yağ ve suya daldırıldı. Yağda ve suda sertleştirilmiş numuneler 270 °C’de fırında bekletilerek yüzey gerilimlerinin giderilmesi

amacıyla temperlendi. Yapılan araştırmada 270 °C’de temperleme işlemi daha dūřuk derecelerde yapılan temperleme işlemlerine gōre daha optimum sonuē vermiştir (Durmuř vd., 2021). Bu tez kapsamında yapılan bütōn ısıl işlemler ve alınan bütōn sonuēlar bu ēalıřmaya ōzgōn deēerlerdir.

### 3.3.3. Numunelerin Boyutlandırılması

Yūzey pūrōzlölōēünün giderilmesi amacı ile ısıl iřlemlerin ardından kumlama makinesine giren numuneler boyutlandırma iřlemleri iēin talařlı imalat ařamasına geēti. CNC freze makinesinde iřlenmiř malzemeler ēekme deneyi iēin hazır hale getirilmiřtir.

Numuneler iēin Şekil 2.5’e gōre boyutlar ařaēıdaki gibidir;

1. Ham malzeme numunesi iēin;
  - L: 207 mm
  - b: 20 mm
  - B: 50 mm
  - Lc: 110 mm
2. Su verilecek malzeme numunesi iēin;
  - L: 300 mm
  - b: 20 mm
  - B: 50 mm
  - Lc: 145 mm
3. Yaē verilecek malzeme numunesi iēin;
  - L: 300 mm
  - b: 20 mm
  - B: 50 mm
  - Lc: 145 mm

### 3.3.4. ēekme Dayanımı Deneyleri

ēekme deneyleri iēin hazır hale getirilmiş numunelerin Őekil 3.8’de gōsterilen UTEST BC100 hidrolik ēekme cihazında deneysel analizleri yapıldı. Bu deneyler sonucunda yapılan ısıl işlemlerin malzemelerin fiziki ōzelliklerindeki deēiřimleri gōzlemlememize ve analiz etmemize olanak saēlayacaktır. Deneylerde elde edilen sonuēlar BC100 kontrol ūnitesinden bilgisayar ortamına aktarıldı. Bilgisayar ortamına aktarılmış gōrüntüler ve deney sonuēları analiz edilerek raporlandı. Bu tez ēalıřmasında

yapılmış olan çekme deneylerinin tamamı tezin amacına uygun ve özgün sonuçları içermektedir.

### 3.3.5. Yüzey Morfolojisi İçin Profilometri Görüntülerinin Alınması İşlemi

Fiziksel dayanımları iyileştirilmiş malzemelerin mikroskop yardımıyla profilometri görselleri elde edilmesi ve numunelerin hazırlanabilmesi için öncelikle Şekil 3.4'te gösterilen LARYEE MODEL-Q2 Metalografik Kesme Makinesinde malzemeler su yardımıyla mikroskop görüntüleme alanına sığacak şekilde kare geometride kesildi.

Kesilen numuneler Şekil 3.5'te gösterilen METKON FORCIPOL 1V Parlatma Makinesinde kalından inceye gidecek şekilde kum zımparalar yardımıyla yüzeyleri sulu zımparalama işlemlerinden geçirildi ve yüzeyin olabildiğince pürüzsüz hale getirilmesi sağlandı. Profilometri görsellerinin oluşturulabilmesi için numune yüzeyleri parlatma işleminden arta kalan metal tozlarından alkol ile yıkama sonucunda arındırılmıştır.

Moleküllerin daha düzgün görüntülenmesini sağlamak için bütün bu işlemlerin arkasına aşağıda Şekil 3.10'da gösterildiği üzere METKON DIAPAT-M 1 MİKRON ve DIAPAT-M 5 MİKRON kimyasal süspansiyonlar ile yıkanmıştır. Profilometri görüntülerinin tamamı bu tez çalışmasına özgün olarak elde edilmiştir.



**Şekil 3.10.** Alkol, kezzap ve süspansiyonlara (1 mikron, 5 mikron) ait görsel

Kimyasal süspansiyon işleminin ardından düzgün görüntü alınabilmesi için kezzap ile numunelerin yüzeyleri dağlanmışır. Dağlama yapılırken malzemenin yüzeyi beş saniyeyi geçmeyecek şekilde kezzap içerisine daldırılır ve bekletilir.

Görüntü alınmak için hazır hale getirilmiş numuneler METKON IMM 901 metalürjik mikroskop ışığı altında moleküller arası bağlar ve mikroyapılar incelenmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Yüzey Morfolojisi İçin Metalürjik Mikroskopta Tarama Sonuçları

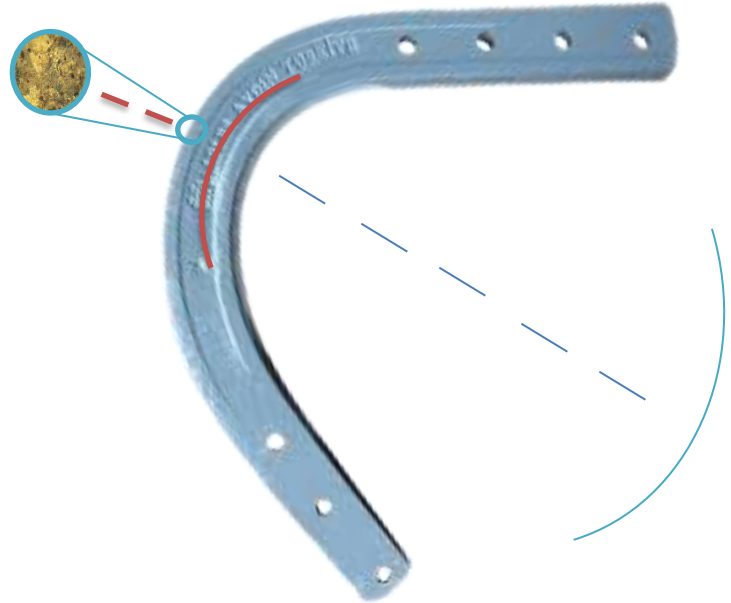
Isıl işlemlerden geçirilmiş ve fiziki özellikleri iyileştirilmiş olan 54SiCr6 alaşımli çelik malzemesinin sona geldiği noktada yüzey morfolojisi incelenerek analiz edilebilmesi için Şekil 3.6'da gösterilen metalürjik mikroskopta profilometri görüntüleri taranarak bilgisayar ortamına aktarıldı.

Bilgisayar ortamında görüntüleri alınan malzemelerden Çizelge 4.1'de gösterilen 1 numaralı ham malzemeye ait görselden anlaşılacağı gibi parlak şekilde belirmiş çatlaklar mevcuttur, 2 numaralı görselde ise koyu ve siyah renkli olarak gözükten morfolojide ise malzeme yüzeyinden kopmuş parçalar görülmektedir.

Mikroskop ışığı altında incelendiğinden kopan parçalardaki siyahlığın sebebi kopan parçaların derinliğinin daha yüksek olması ve bu çukurlaşmış yapı içerisine gölge düşmesidir.

Çizelge 4.1'de gösterilen şekillerde ısıl işlemler ile iyileştirilmiş malzeme görselleri bulunmakta ve bu görsellerin yüzey morfolojisinin ham malzeme yüzey morfolojisine göre çok daha düzgün ve sağlıklı bir yapıda olduğu görülmüştür.

Buda yapılan ısıl işlemlerin tezin amacına uygun bir şekilde 54SiCr6 malzemesinin daha mukavemetli ve rijit bir hal aldığıın, fiziksel özelliklerinin iyileştiğinin bir göstergesidir.



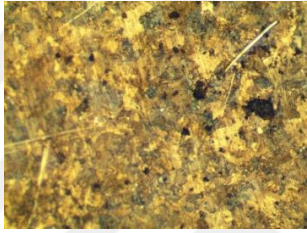
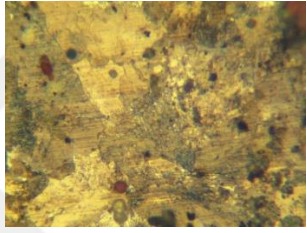
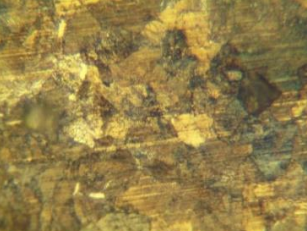
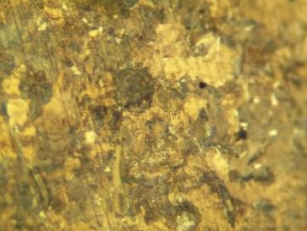
Şekil 4.1. Morfoloji görüntüsünün alındığı yüzey geometrisi

Morfoloji için alınan görüntüler her seferinde aynı noktadan alınmıştır. Şekil 4.1’de gösterildiği üzere bu nokta pulluk okunun büküm dairesinin merkezine denk gelen ve pulluk ok malzemesinin en dış kısmındaki büküm noktasıdır.

Buradan alınmasının nedeni ise malzemenin sıcak şekillendirme esnasında en fazla gerilmelere ve yüklere maruz kaldığı nokta burasıdır.

Malzemenin en fazla deformasyona uğrayan bölgesi de burası olacağı için görüntüler her seferinde buradaki aynı noktadan ve farklı numunelerden alınmıştır.

**Çizelge 4.1.** Mikroskop ile elde edilmiş profilometri görüntüleri

	Yüzey Morfolojisi	
	1	2
Isıl İşlem Görmemiş Ham Malzeme		
Isıl İşlem Sonrası İyileştirilmiş Malzeme		

#### 4.2. Sertlik Deneylerinin Sonucu

Şekil 3.7 DİĞİROCK-RB profesyonel sertlik ölçüm makinesinde sertlik deneyleri yapılmıştır. Bu ölçüm cihazında “Rockwell ve Brinell” sertlik ölçüm metotları ile işlem yapılabilmektedir. Rockwell sertlik ölçüm metotları “EN 6508-1, ASTM E18” standartlarına uygun bir şekilde yapılırken Brinell sertlik ölçüm metotları ise “EN 6506-1, ASTM E10” standartlarında uyularak yapılmaktadır. 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi Rockwell (HRC) cinsinden sertlik değerlerine sahip olduğu için Rockwell sertlik ölçüm esasları göz önünde bulundurulacaktır. Burada makine kullanma talimatları göz önünde bulundurularak malzemeye ait öngörülen sertliğe göre uçlar belirlenir, bu yüzden HRC sertlik değeri ile sonuç alınacağı için malzemenin ona uygun uç ile sertliğinin ölçülmesi gerekmektedir.

Ölçüm yapılabilmesi için 120° elmas konik ucun numuneye yaptığı dalma derinliğinin sertliğe çevrilmesi metodu kullanılmıştır. Bu ölçümler yapılırken işlemler sırasıyla şu şekildedir;

1. Sertlik ölçüm cihazı üzerinde belirtilen değerlere göre HRC (Rockwell) seviyesinde sertlik ölçümü yapılacağı için toplam yüklenecek olan yük değeri seçilir. Bu yük değeri 150 kgf'tir.
2. Ölçüm yapılacak olan numune sertlik ölçüm cihazı tablası üzerine düz bir zemine tabla ile arasında boşluk olmayacak şekilde yerleştirilir.
3. Konik uç sıkıştırma düzeneği ile numune yüzeyine değirilir.
4. Numune yüzeyine değirildikten sonra ön yük değeri olan 10 kgf yük değeri ile numuneye bası uygulanır.
5. Ardından sertlik ölçümüne, makine üzerinde bulunan deneyin başlatılması için konuşlandırılmış kol kaldırılır ve 150 kgf değerindeki tüm yük numuneye uygulanır.
6. İşlem tamamlandıktan sonra ekran üzerinde sertlik ölçüm değeri gözükür ve bu deney aynı yüzey üzerinde fakat farklı noktalardan en az 3 defa olmak üzere tekrarlanır ve aritmetik ortalamaları alınarak genel bir değer ortaya konulmuş olur. Bu değer malzemenin sertlik değeri olarak referans alınabilir demektir.

Sertlik değerleri ölçülmek üzere her birinden 3 adet olmak üzere toplamda 9 adet numune hazırlanmıştır, bunlar;

- Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi
- Su verme işleminden geçirilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi
- Yağ verme işleminden geçirilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesidir.

#### **4.2.1. Ham 54SiCr6 Alaşımlı Çelik Malzemesinin Sertlik Deneyleri Sonucu**

Yapılan ölçümler sonucu herhangi bir ısıl işlem görmemiş ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 3 periyotta ölçülmüş sertlik değerleri aşağıdaki gibidir;

- 1. ölçüm sonucu: 28,1 HRC
- 2. ölçüm sonucu: 27,7 HRC
- 3. ölçüm sonucu: 28,2 HRC

Yapılan deneyler sonucunda ortalaması 28 HRC olarak elde edilmiştir. Bu değerler ısıl işlem proseslerinden geçmemiş ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesine aittir.

#### 4.2.2. Yağ Verilmiş 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Sertlik Deneyleri Sonucu

Yapılan ölçümler sonucu su verme işleminden geçirilen özellikleri iyileştirilen 54SiCr6 alaşımli çelik malzemesinin ölçülen sertlik değerleri aşağıdaki gibidir;

- 1. ölçüm sonucu: 32,1 HRC
- 2. ölçüm sonucu: 30,6 HRC
- 3. ölçüm sonucu: 31,5 HRC

Bu deneylerin sonucunda ortalaması 31,4 HRC olarak ölçülen malzemenin yağ verme işlemi sonucunda 3,4 HRC daha yüksek sertliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4.2.3. Su Verilmiş 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Sertlik Deneyleri Sonucu

54SiCr6 malzemesinin yağ verme işlemleri ardından ölçülmüş sertlik değerleri aşağıdaki gibidir;

- 1. ölçüm sonucu: 31 HRC
- 2. ölçüm sonucu: 31,3 HRC
- 3. ölçüm sonucu: 32,5 HRC

54SiCr6 alaşımli çelik malzemesine su verme işlemi sonrası ortalama olarak 31,6 HRC sertliğe ulaşılmıştır. Malzeme ham haline göre 3,6 HRC daha yüksek bir sertliğe sahip olmuştur.

**Çizelge 4.2.** Sertlik derecelerinin kıyaslanması

	Ham Sertlik	Su Verilmiş Sertlik	Yağ Verilmiş Sertlik
1. Ölçüm Sonucu	28,1 HRC	31 HRC	32,1 HRC
2. Ölçüm Sonucu	27,7 HRC	31,3 HRC	30,6 HRC
3. Ölçüm Sonucu	28,2 HRC	32,5 HRC	31,5 HRC
Ortalama Sonuçlar	28 HRC	31,6 HRC	31,4 HRC

Çizelge 4.2’de kıyaslaması yapılan sertlik değerlerine bakıldığında ham malzeme üzerinde ısıl işlemler ile iyileştirilerek su ile soğutma tercih edildiğinde yağ ile soğutmaya göre daha sert bir malzeme yapısı elde edilmektedir.

Ani soğutma yöntemlerinin seçilmesinin nedeni ise malzeme yüzeyinde ani soğutmanın etkisiyle malzeme molekül yapısında gerçekleşen değişikliklerin malzemenin sertliğine, sünekliğine ve dayanımına pozitif yönde etkilerinin olmasıdır.

850 °C’ye kadar ısıtılan malzeme su ve yağ kazanlarına daldırılarak soğutulmuş, ardından özel ısıl işlem fırınında 270 °C’de bekletilerek artık gerilmeler de denilen ısıl işlemler sonrası meydana gelen yüzey gerilmeleri giderilmiştir.

Yapılan çalışmada 700 °C'de yapılan ısıl işlemler ile optimum dayanıma ulaşılrken sıcaklık arttıkça dayanım ve sünekliğin azaldığı ancak sertliğin arttığı gözlemlenmiştir (Güler ve Özcan, 2014).

### 4.3. Çekme Deneylerinin Sonucu

Çekme deneyleri için yapılacak olan işlemler sırasıyla aşağıdaki gibi takip edilerek sonuçlar elde edilmiştir;

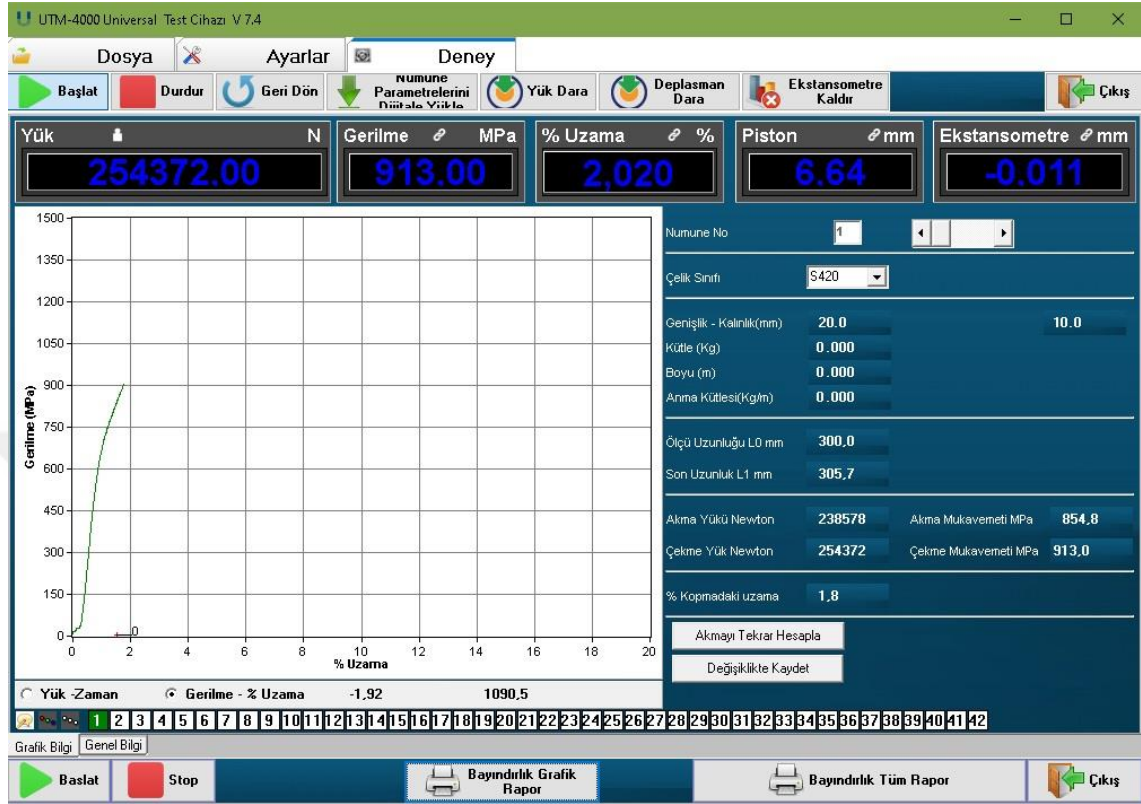
- Öncelikli olarak elde edilecek analiz sonuçlarının verilerini elde edebilmek amacıyla makinenin kontrol ünitesine bilgisayar bağlanılır ve eş zamanlanır.
- Standartlara uygun boyutlarda şekillendirilmiş numuneler çekme deneyi makinesinin alt ve üst çenelerine sıkıştırılır. Bu sıkıştırma işlemi esnasında çeneler de çekme işleminde olduğu gibi hidrolik olarak çalışmaktadır. Çenelere hidrolik ön yük verilerek numuneler sıkıştırılır. Verilmiş olan ön yük 300 bar hidrolik basınca sahiptir.
- Deney düzeneği yerini almasıyla birlikte kontrol ünitesine numune numarası, genişlik, uzunluk, kalınlık, çelik sınıfı gibi numune boyutlandırılmaları tanıtılır.
- Kontrol ünitesi üzerinden deney için start tuşuna basılır.
- Yükler karşısında numunedeki uzama, toplam yük, gerilme ve pistonlar arasındaki mesafeler anlık olarak periyotlar halinde aktarılarak numuneye ait bir grafik oluşturulur. Bu grafik bilgisayar ortamına çekilerek analiz sonucu elde edilmiş olur.

#### 4.3.1. Ham 54SiCr6 Alaşımlı Çelik Malzemesinin Çekme Deneyleri Sonucu

##### 4.3.1.1. Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 1. çekme deneyi sonucu

Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi 3.3.3 başlığı altında belirtilmiş boyutlarda işlenerek çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.2'de gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır. Yapılan deney sonucunda malzemeye maksimum 254372.00 N çekme yükü uygulanırken 913.00 MPa gerilmeye maruz kalmıştır. Akma yükü 238578 N, akma mukavemeti 854.8 MPa'dır. Malzemenin çekme mukavemeti olarak bulunan bu sonuç malzemenin çekme gerilmelerine karşı dayanımını, akma mukavemeti olarak bulunan sonuç ise akma gerilmelerine karşı dayanımını belirtmektedir. Deney pistonlarındaki değişim ise 6.64 mm'dir. Uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır. Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %2.020'dir.

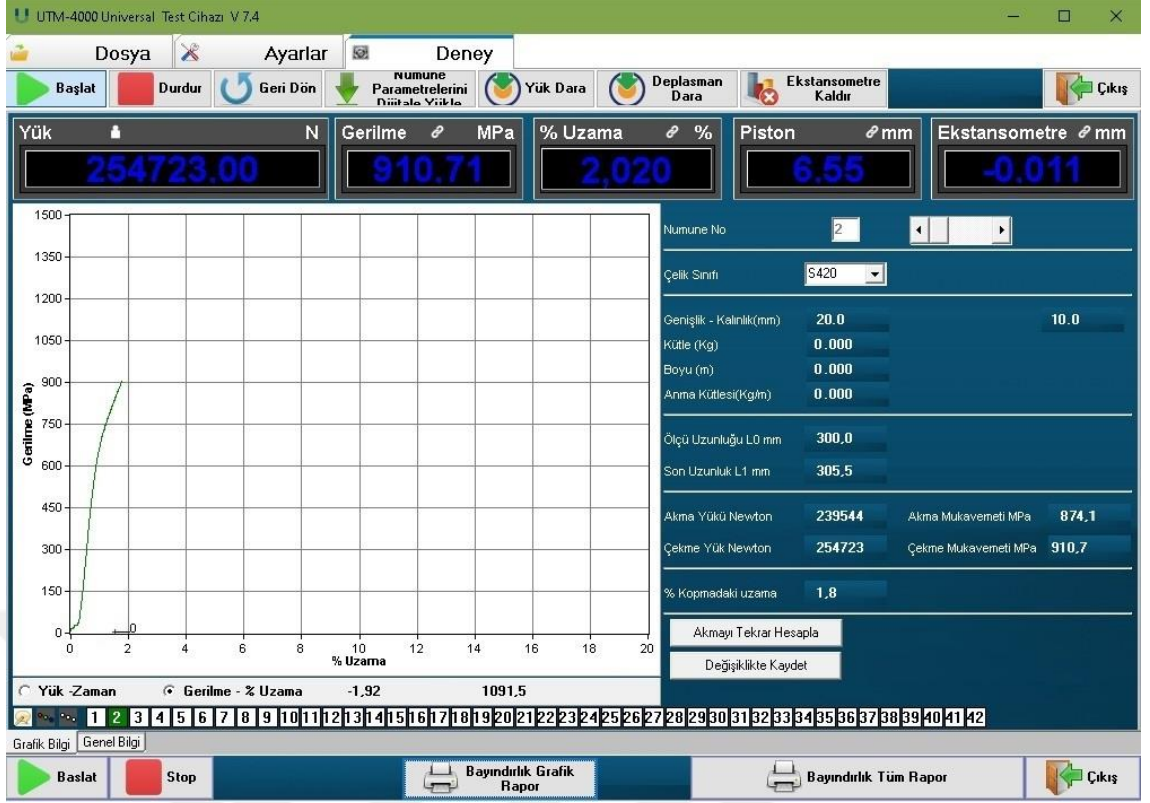
Uzama değerinin %1.8'i kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir. Malzeme 300 mm'den 305.7 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 5.7 mm'dir.



Şekil 4.2. Ham 54SiCr6 malzemesinin 1. çekme deneyi sonuçları

#### 4.3.1.2. Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 2. çekme deneyi sonucu

Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi 3.3.3 başlığı altında belirtilmiş boyutlarda işlenerek çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.3'te gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır. Bu deney sonucunda malzeme üzerine maksimum 254723.00 N çekme yükü uygulanırken 910.71 MPa kuvvetinde çekme gerilmesine maruz kalmıştır. Malzemeye uygulanan akma yükü 239544 N olurken, malzemenin bu yük karşısında göstermiş olduğu akma mukavemeti ise 874.1 MPa'dır. Malzemenin çekme mukavemeti olarak bulunan bu sonuç malzemenin çekme gerilmelerine karşı dayanımını, akma mukavemeti olarak bulunan sonuç ise akma gerilmelerine karşı dayanımını belirtmektedir. Deney pistonlarındaki değişim ise 6.55 mm'dir. Uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır. Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %2.020'dir. Uzama değerinin %1.8'i kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir. Malzeme 300 mm'den 305.5 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 5.5 mm'dir.



Şekil 4.3. Ham 54SiCr6 malzemesinin 2. çekme deneyi sonuçları

#### 4.3.1.3. Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 3. çekme deneyi sonucu

Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi 3.3.3 başlığı altında belirtilmiş boyutlarda işlenerek çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.4'te gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır.

Yapılan deney sonucunda malzemeye maksimum 254372.00 N çekme yükü uygulanırken 913.00 MPa gerilmeye maruz kalmıştır. Akma yükü 238578 N, akma mukavemeti 854.8 MPa'dır.

Malzemenin çekme mukavemeti olarak bulunan bu sonuç malzemenin çekme gerilmelerine karşı dayanımını, akma mukavemeti olarak bulunan sonuç ise akma gerilmelerine karşı dayanımını belirtmektedir.

Deney pistonlarındaki değişim ise 6.64 mm'dir. Uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır. Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %2.020'dir.

Uzama değerinin %1.8'i kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir. Malzeme 300 mm'den 305.7 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 5.7 mm'dir.





**Şekil 4.5.** Su verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 1. çekme deney sonuçları

#### 4.3.2.2. Su verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 2. çekme deneyi sonucu

Su verilerek ısıtılmalardan geçirilmiş olan 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi standartlara uygun bir şekilde başlık 3.3.3'te gösterilen boyutlarda işlenerek ve çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.6'da gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır.

Bu deney sonucunda malzemeye maksimum 312822.60 N çekme yükü uygulanırken 1138.39 MPa gerilmeye maruz kalmıştır. Bu da demek oluyor ki malzeme maksimum 312822.60 N çekme gücüne dayanabiliyor, yani çekme yükü yaklaşık olarak 312.8 kN'dur. Çekme mukavemeti ise 1138.39 MPa'dır. Akma yükü ise 239522 N ölçülürken akma mukavemeti 839.9 MPa'dır.

Deney pistonlarındaki değişim ise 21.73 mm'dir. Toplamda 21.73 mm uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır. Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %5.080'dir. Bu uzama değerinin %4.8'i kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir. Malzeme 300 mm'den 315.5 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 15.5 mm'dir.



**Şekil 4.6.** Su verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 2. çekme deney sonuçları

#### 4.3.2.3. Su verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 3. çekme deneyi sonucu

Su verilerek ısıtılmalardan geçirilmiş olan 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi standartlara uygun bir şekilde başlık 3.3.3'te gösterilen boyutlarda işlenerek ve çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.7'da gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır.

Bu deney sonucunda malzemeye maksimum 310817.63 N çekme yükü uygulanırken 1113.35 MPa gerilmeye maruz kalmıştır. Bu da demek oluyor ki malzeme maksimum 310817.63 N çekme gücüne dayanabiliyor, yani çekme yükü yaklaşık olarak 310.8 kN'dur. Çekme mukavemeti ise 1113.35 MPa'dır. Akma yükü ise 238824 N ölçülürken akma mukavemeti 834.4 MPa'dır.

Deney pistonlarındaki değişim ise 21.03 mm'dir. Toplamda 21.03 mm uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır. Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %5.000'dir. Bu uzama değerinin %4.7'si kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir. Malzeme 300 mm'den 314.8 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 14.8 mm'dir.



Şekil 4.7. Su verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 3. çekme deney sonuçları

### 4.3.3. Yağ Verilmiş 54SiCr6 Alaşımli Çelik Malzemesinin Çekme Deneyleri Sonucu

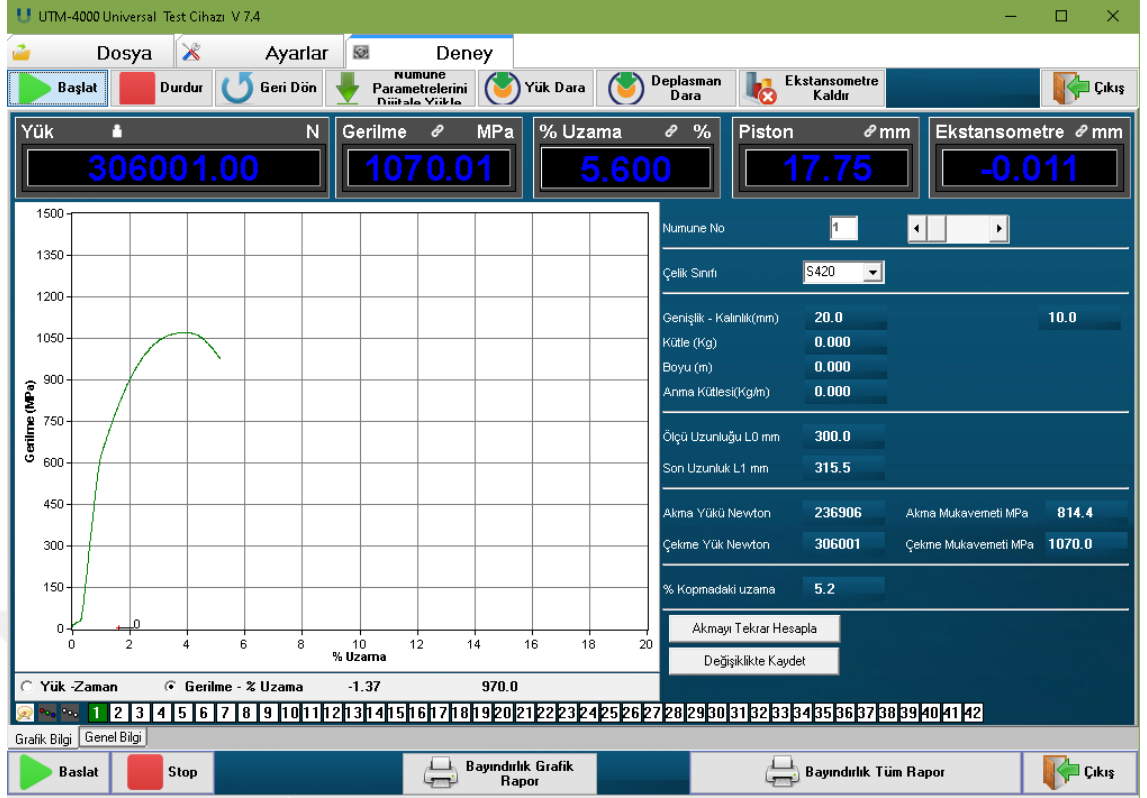
#### 4.3.3.1. Yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımli çelik malzemesinin 1. çekme deneyi sonucu

Yağa daldırma ile ısıl işlemlerden geçirilmiş olan 54SiCr6 alaşımli çelik malzemesi standartlara uygun bir şekilde başlık 3.3.3'te gösterilen boyutlarda işlenerek çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.8'de gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır.

Bu deney sonucunda malzemeye maksimum 306001.00 N çekme yükü uygulanırken 1070.01 MPa gerilmeye maruz kalmıştır. Bu da demek oluyor ki malzeme maksimum 306001.00 N çekme gücüne dayanabiliyor, yani çekme yükü yaklaşık olarak 306.0 kN'dur. Çekme mukavemeti ise 1070.01 MPa'dır. Akma yükü ise 236906 N ölçülürken akma mukavemeti 814.4 MPa'dır.

Deney pistonlarındaki değişim ise 17.75 mm'dir. Toplamda 17.75 mm uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır. Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %5.600'dür. Bu uzama değerinin %5.2'si kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir.

Malzeme 300 mm'den 315.5 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 15.5 mm'dir.



Şekil 4.8. Yağ verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 1. çekme deney sonuçları

#### 4.3.3.2. Yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 2. çekme deneyi sonucu

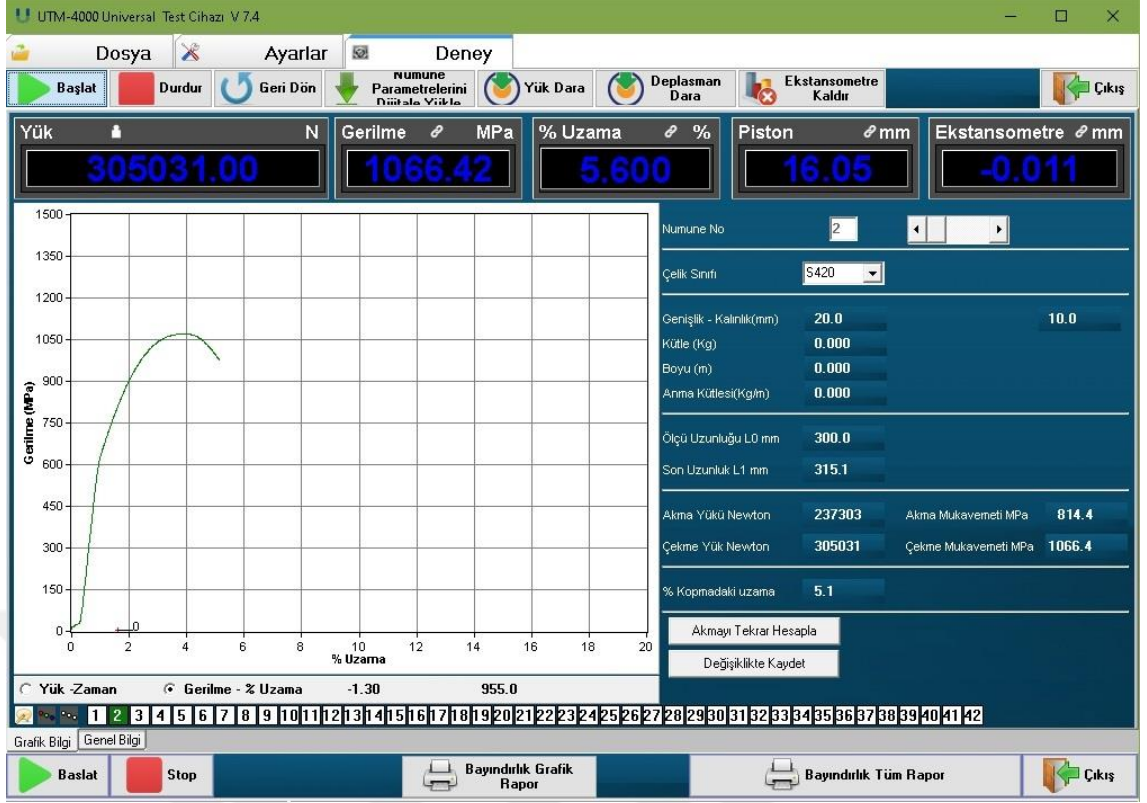
Yağa daldırma ile ısıl işlemlerden geçirilmiş olan 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi standartlara uygun bir şekilde başlık 3.3.3'te gösterilen boyutlarda işlenerek çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.9'da gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır.

Bu deney sonucunda malzemeye maksimum 305031.00 N çekme yükü uygulanırken 1066.42 MPa gerilmeye maruz kalmıştır. Bu da demek oluyor ki malzeme maksimum 305031.00 N çekme gücüne dayanabiliyor, yani çekme yükü yaklaşık olarak 306.0 kN'dur. Çekme mukavemeti ise 1066.42 MPa'dır. Akma yükü ise 237303 N ölçülürken akma mukavemeti 814.4 MPa'dır.

Deney pistonlarındaki değişim ise 16.05 mm'dir. Toplamda 16.05 mm uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır.

Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %5.600'dür. Bu uzama değerinin %5.1'i kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir.

Malzeme 300 mm'den 315.1 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 15.1 mm'dir.



Şekil 4.9. Yağ verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 2. çekme deney sonuçları

#### 4.3.3.3. Yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin 3. çekme deneyi sonucu

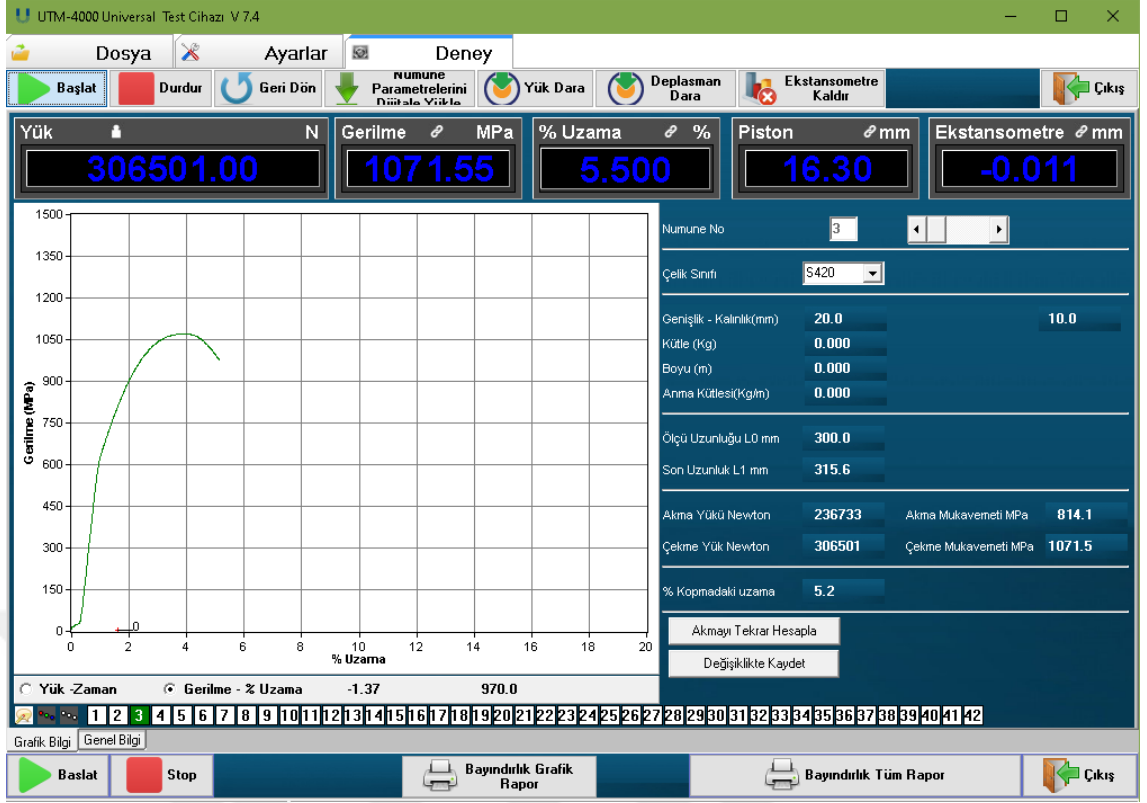
Yağa daldırma ile ısıl işlemlerden geçirilmiş olan 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi standartlara uygun bir şekilde başlık 3.3.3'te gösterilen boyutlarda işlenerek çekme deney cihazına bağlanarak deney sonuçları Şekil 4.10'da gösterildiği üzere bilgisayar ortamına aktarılarak alınmıştır.

Bu deney sonucunda malzemeye maksimum 306501.00 N çekme yükü uygulanırken 1071.55 MPa gerilmeye maruz kalmıştır. Bu da demek oluyor ki malzeme maksimum 306501.00 N çekme gücüne dayanabiliyor, yani çekme yükü yaklaşık olarak 306.5 kN'dur. Çekme mukavemeti ise 1071.55 MPa'dır. Akma yükü ise 236733 N ölçülürken akma mukavemeti 814.1 MPa'dır.

Deney pistonlarındaki değişim ise 16.30 mm'dir. Toplamda 16.30 mm uzamadaki sebep ise akma ile kopma arasında malzemenin uzamaya devam etmiş olmasıdır.

Malzeme üzerindeki uzama değeri ise %5.500'dür. Bu uzama değerinin %5.2'si kopma uzaması yani kalıcı şekil değiştirme yüzdesidir.

Malzeme 300 mm'den 315.6 mm boyuna kadar uzama göstermiştir, toplam uzama 15.6 mm'dir.

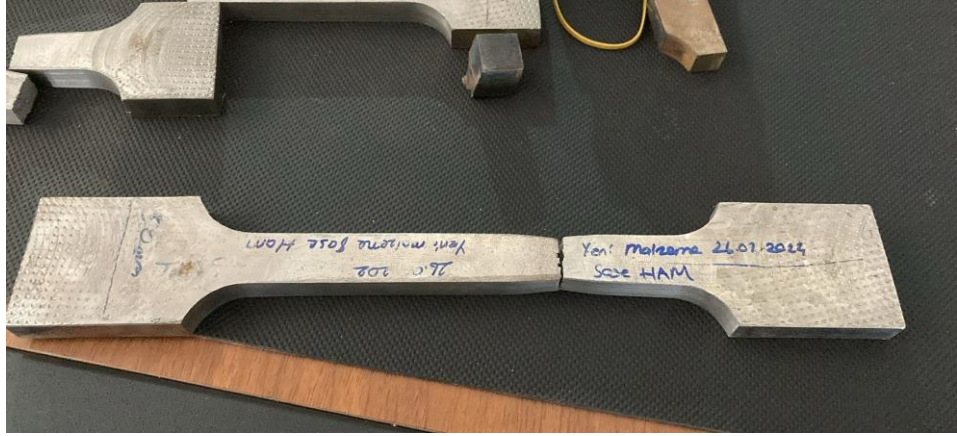


Şekil 4.10. Yağ verilmiş 54SiCr6 malzemesinin 3. çekme deney sonuçları

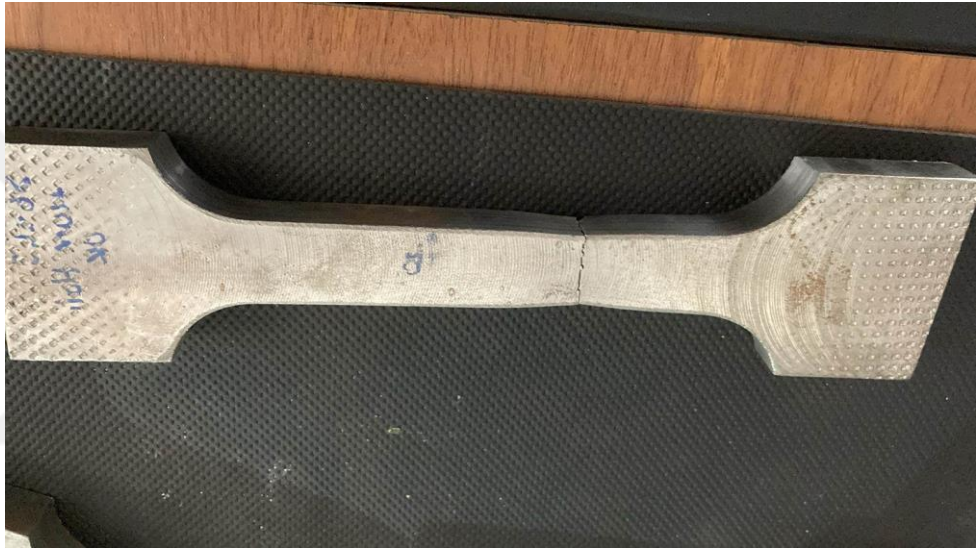
#### 4.3.4. 54SiCr6 Malzemesinin Çekme Deneyleri İçin Hazırlanan Numuneler



Şekil 4.11. Ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin çekme deney numunesi



Şekil 4.12. Su verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin çekme deney numunesi



Şekil 4.13. Yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin çekme deney numunesi

#### 4.4. Çekme Deneylerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 4.3. Çekme yüklerinin karşılaştırılması

	1. Çekme Deneyi (kN)	2. Çekme Deneyi (kN)	3. Çekme Deneyi (kN)
Ham Ürün	254,372	254,723	254,611
Su Verilmiş	308,825	312,822	310,817
Yağ Verilmiş	306,001	305,031	306,501

Çizelge 4.3'te gösterildiği üzere ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla 254,372 kN, 254,723 kN, 254,611 kN çekme yüklerine maruz bırakıldığında kopmuştur. Herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmamış ham ürünün ortalama çekme dayanımı maksimum 254,569 kN bulunmuştur.

Çizelge 4.3'te gösterildiği üzere su verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla 308,825 kN, 312,822 kN, 310,817 kN çekme yüklerine maruz bırakıldığında kopmuştur. Su verilerek ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş ürünün ortalama çekme dayanımı maksimum 310,821 kN bulunmuştur.

Çizelge 4.3'te gösterildiği üzere yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla 306,001 kN, 305,031 kN, 306,501 kN çekme yüklerine maruz bırakıldığında kopmuştur. Yağ verilerek ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş ürünün ortalama çekme dayanımı maksimum 305,844 kN bulunmuştur.

Bu durumda herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmamış olan ham ürünün mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gerektiği kanısına varıldıktan sonra malzemenin belirli ısıtma işlem adımlarından geçirilmesiyle, malzemeye yağ ve su verilerek sertliğinin arttığı gözlemlenirken aynı zamanda çekme yükleri gibi zorlanmalar karşısında da özellikleri iyileştirilmiştir.

Çizelge 4.3'e bakıldığında su verilmiş malzemenin yağ verilmiş malzemeye göre daha fazla çekme yüküne dayanabildiği sonucuna varılmıştır. Bu su verilmiş malzemenin dayanımının yağ verilmiş malzemeye göre daha fazla olduğunu gösterirken aynı zamanda da su verilmiş malzeme yağ verilmiş malzemeye göre daha fazla sertleşmektedir.

**Çizelge 4.4.** Akma yüklerinin karşılaştırılması

	1. Çekme Deneyi (kN)	2. Çekme Deneyi (kN)	3. Çekme Deneyi (kN)
Ham Ürün	238,578	239,544	239,070
Su Verilmiş	231,519	239,522	238,824
Yağ Verilmiş	236,906	237,303	236,733

Çizelge 4.4'te gösterildiği üzere ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla 238,578 kN, 239,544 kN, 239,070 kN çekme yüklerine maruz bırakıldığında kopmuştur. Herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmamış ham ürünün ortalama çekme dayanımı maksimum 239,064 kN bulunmuştur.

Çizelge 4.4'te gösterildiği üzere su verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla 231,519 kN, 239,522 kN, 238,824 kN çekme yüklerine maruz bırakıldığında kopmuştur. Su verilerek ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş ürünün ortalama çekme dayanımı maksimum 236,622 kN bulunmuştur.

Çizelge 4.4'te gösterildiği üzere yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla 236,906 kN, 237,303 kN, 236,733 kN çekme yüklerine maruz bırakıldığında kopmuştur. Yağ verilerek ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş ürünün ortalama çekme dayanımı maksimum 236,981 kN bulunmuştur.

Bu durumda herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmamış olan ham ürünün belirli ısıtma işlem adımlarından geçirilmesiyle, malzemeye yağ ve su verilerek sertliğinin arttığı gözlemlenirken aynı zamanda akma dayanımı azalmıştır.

Çizelge 4.4'e bakıldığında yağ verilmiş malzemenin su verilmiş malzemeye göre daha fazla akma dayanımına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yağ verilmiş malzemenin akma dayanımının su verilmiş malzemeye göre daha fazla olduğunu gösterir, nedeni ise su verilmiş malzemenin yağ verilmiş malzemeye göre daha fazla sertleşmesidir. Buradan varılan sonuç ile malzemeye sertlik kazandırmak malzemenin sünekliğinin yani esnekliğinin kaybolmasına neden olmuştur.

**Çizelge 4.5.** Malzemelerin uzamalarının karşılaştırılması

	1. Çekme Deneyi (kN)	2. Çekme Deneyi (kN)	3. Çekme Deneyi (kN)
Ham Ürün	2,020	2,020	2,020
Su Verilmiş	4,770	5,080	5,000
Yağ Verilmiş	5,600	5,600	5,500

Çizelge 4.5'te gösterildiği üzere ham 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi yani herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmamış ham ürünün ortalama uzama değeri %2,020 bulunmuştur.

Çizelge 4.5'te gösterildiği üzere su verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla %4,770, %5,080, %5,000 uzamıştır ve ortalama olarak %4,950 uzama değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5'te gösterildiği üzere yağ verilmiş 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi sırasıyla %5,600, %5,600, %5,500 uzamıştır ve ortalama olarak %5,567 uzama değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5'e bakıldığında yağ verilmiş malzemenin su verilmiş malzemeye göre daha fazla % uzamaya sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlar yağ verilmiş malzemenin su verilmiş malzemeye göre daha fazla uzadığını yani daha fazla sünek olduğunu göstermiştir, nedeni ise su verilmiş malzemenin yağ verilmiş malzemeye göre daha fazla sertleşmesidir.

## **4.5. Statik Analiz ve Topoloji Optimizasyonu**

### **4.4.1. Ok Malzemesinin Statik Analizi**

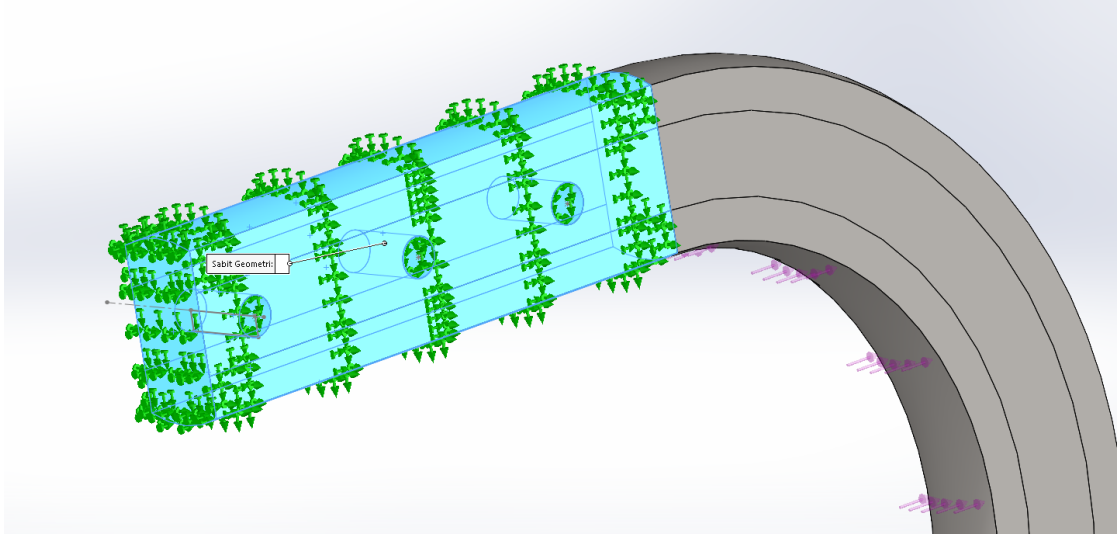
Topoloji optimizasyonu için öncelikle 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin kullanıldığı Pulluk oku 70x35 mm ölçülerde SolidWorks programında çizildi. Bu çizimin ardından SolidWorks Simulation eklentisi ile Topoloji Optimizasyonunun yapılabilmesi için malzemenin öncelikle yüklemeler karşısında ne kadar zorlandığını, en zayıf yerlerinin neresi olduğunu ve en fazla yüke malzemenin hangi bölgesinin maruz kaldığını görebilmek için statik analiz yapıldı.

Statik analizin ilk aşaması parça çizimine 54SiCr6 malzemesinin elastisite modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti yani gerilme mukavemeti, yoğunluk, poisson oranlarının malzeme olarak atanmasıdır. Malzemeye Şekil 4.14'te gösterildiği üzere referans olarak başlık 2.1.2'de verilmiş olan bilgiler ışığında elastisite modülü olarak 205 GPa (190-210 GPa), Poisson oranı 0.28 (0.27-0.30), akma mukavemeti 820 MPa, Çekme mukavemeti yani gerilme mukavemeti ise 990 MPa, yoğunluk ise 7850 N/mm<sup>2</sup> (7700-8030 N/mm<sup>2</sup>) olarak atanmıştır.

Özellik	Değer	Birimler
Elastikiyet Modülü	205000	N/mm <sup>2</sup>
Poisson Oranı	0.28	Yok
Yırtılma Modülü	79000	N/mm <sup>2</sup>
Kütle Yoğunluğu	7850	kg/m <sup>3</sup>
Gerilme Mukavemeti	990	N/mm <sup>2</sup>
Sıkıştırma Mukavemeti		N/mm <sup>2</sup>
Akma mukavemeti	820	N/mm <sup>2</sup>
Termal Genişleme Katsayısı	1.1e-05	/K
Termal İletkenlik	14	W/(m·K)

**Şekil 4.14.** Katı modele atanan malzemenin mekanik özellikleri

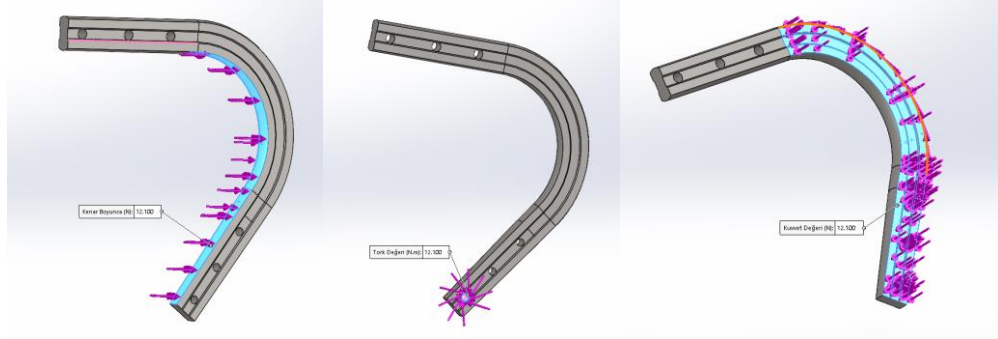
54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin mekanik özellikleri tanımlandıktan sonra statik analize geçilmiştir. Statik analize başlarken malzemenin mesnet noktalarını ve mesnet çeşitlerini belirtmek gerekir. Pulluk Ok malzemesi ana şasiye cıvatalı bağlantı ile bağlanıyor olmasından dolayı bu cıvata deliklerinden ve şasiye bağlandığı iki lama demir arasında sıkıştırılacağı yerlerden Şekil 4.15'te gösterildiği gibi sabit mesnet yapılmıştır.



**Şekil 4.15.** Malzemenin bağlantı deliklerinden sabitletmesinin gösterimi

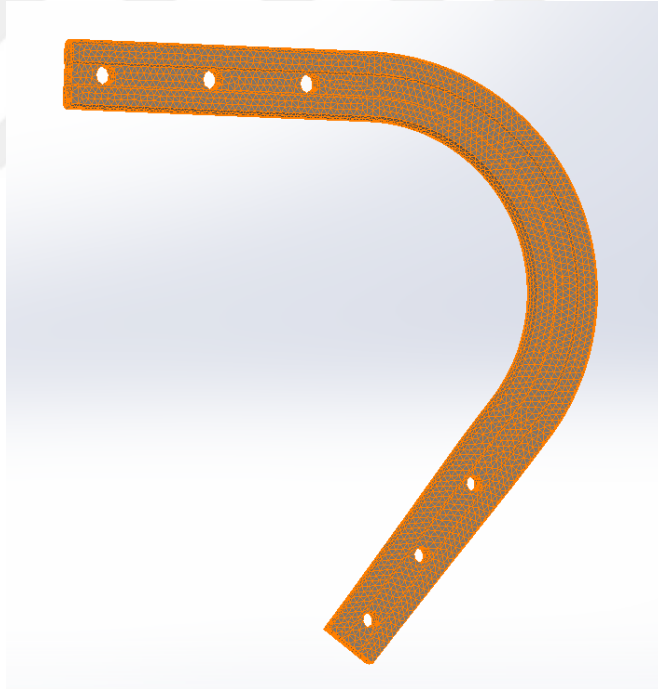
Sabitlemelerin ardından malzemeye gelecek olan yükler Başlık 2.3.3'te hesaplandığı gibi  $F_x = 12,1$  kN olacak şekilde malzemenin toprağın işlenmesinde ana görev olarak yer alan bölgelerine atanması gerekmektedir. Bunlar malzemenin toprağa sürtünen kısımları, cıvatalı bağlantı ile planya dediğimiz toprağı ters çeviren ve alt üsteden kısımları ve gövde kısımlarıdır.

Yük çeşitleri ise malzemeye dikey olarak, pulluk makinesinin çeki yönünün tersi ve deliklere planya yani ayna tarafından etkileyen tork kuvvetleridir. Bu yük çeşitleri Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.16.** Toprağın uyguladığı kuvvetlerin malzemeye atanması

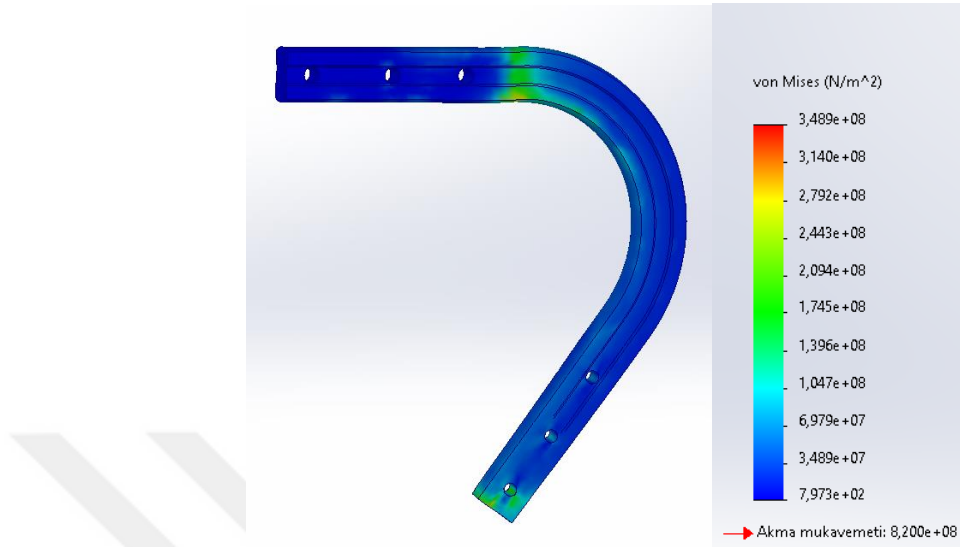
Bütün bu sabitlemeler ve yüklerin tanıtılması ile birlikte statik analizin yapılabilmesi için malzemeye mesh ataması yapılacaktır. Yapılan mesh çalışması Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.17.** Analiz için malzemeye atanmış mesh görüntüsü

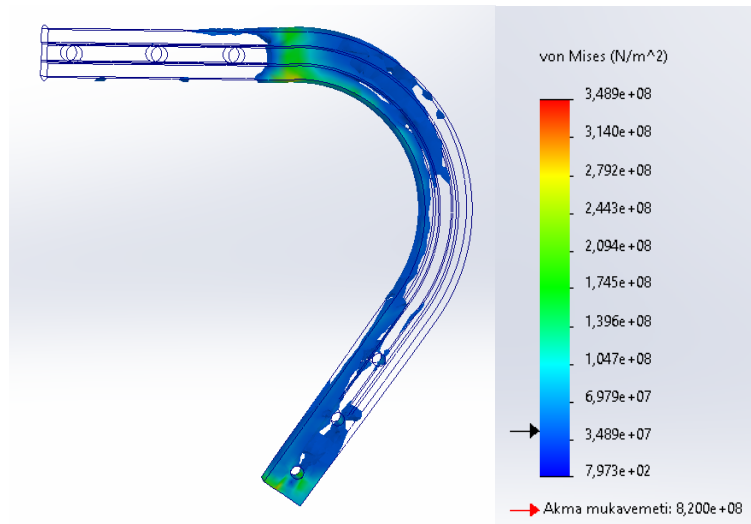
Mesh atamasının ardından statik analiz çalışması program tarafından yürütülüp sonuçlar alınmıştır. Şekil 4.18’de gösterilen sonuçlara göre maksimum gerilmelere baktığımızda malzemenin akma mukavemeti olan 820 MPa’ın altında kalmış olup sonuç yaklaşık olarak 350 MPa olarak bulunmuştur.

Malzeme her ne kadar güvenli olsa da toprak işleme esnasında toprağa sıkı sıkıya tutunmuş ağaç kökleri, büyük kayalar ve sert malzemelerin çakışması ile akma mukavemetinin üstüne çıkılması ihtimali göz önünde bulundurulması gerekir.



**Şekil 4.18.** Ok malzemesinin maksimum gerilme sonuçları

Statik analizde görüldüğü üzere maksimum gerilmeler malzemenin uç bağlantı noktalarında, toprağı işleyen kısımda ve şasiye sabitlenmiş civata deliklerinden hemen sonra en çok zorlanan bölümde Şekil 4.19’da gösterildiği üzere meydana gelmiştir.

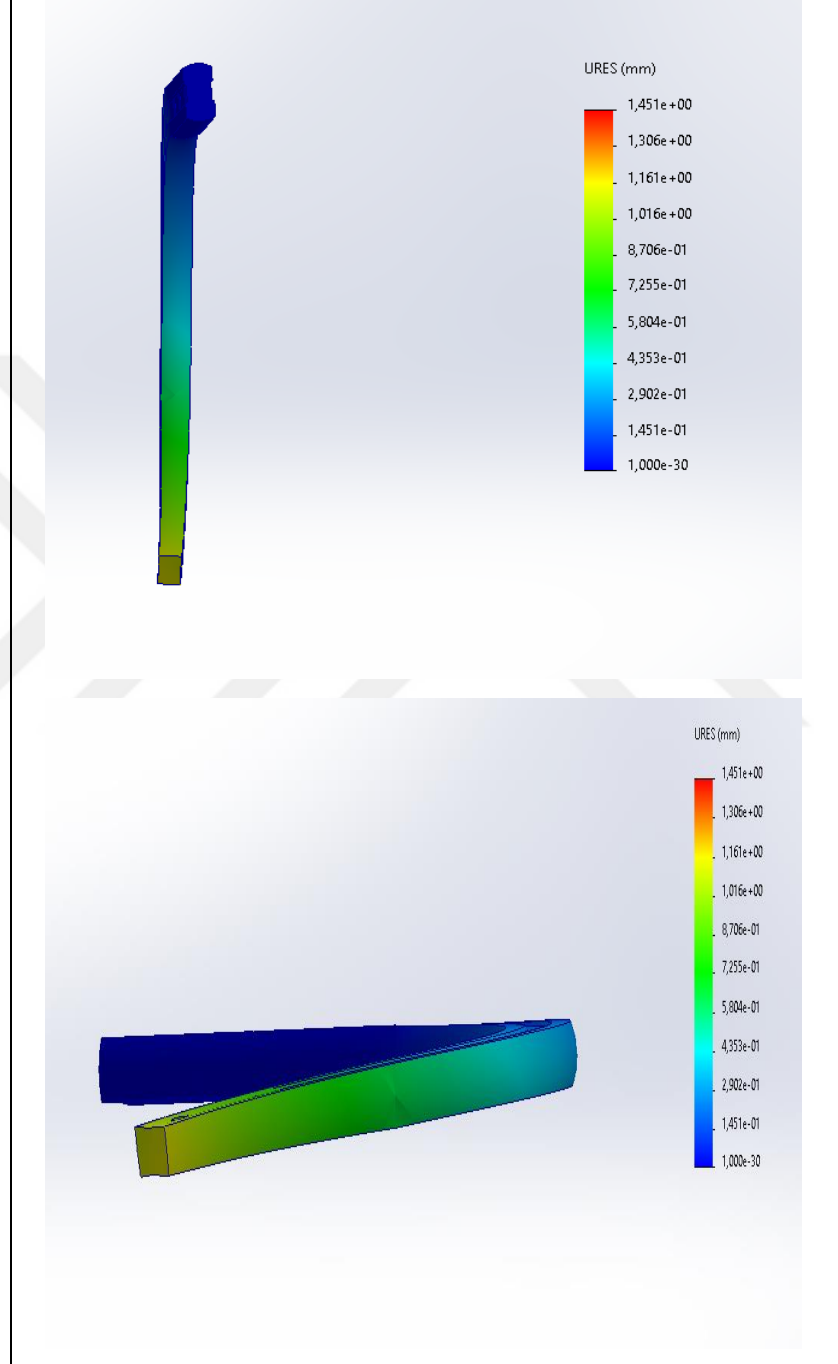


**Şekil 4.19.** Maksimum gerilmelerin en belirgin noktaları

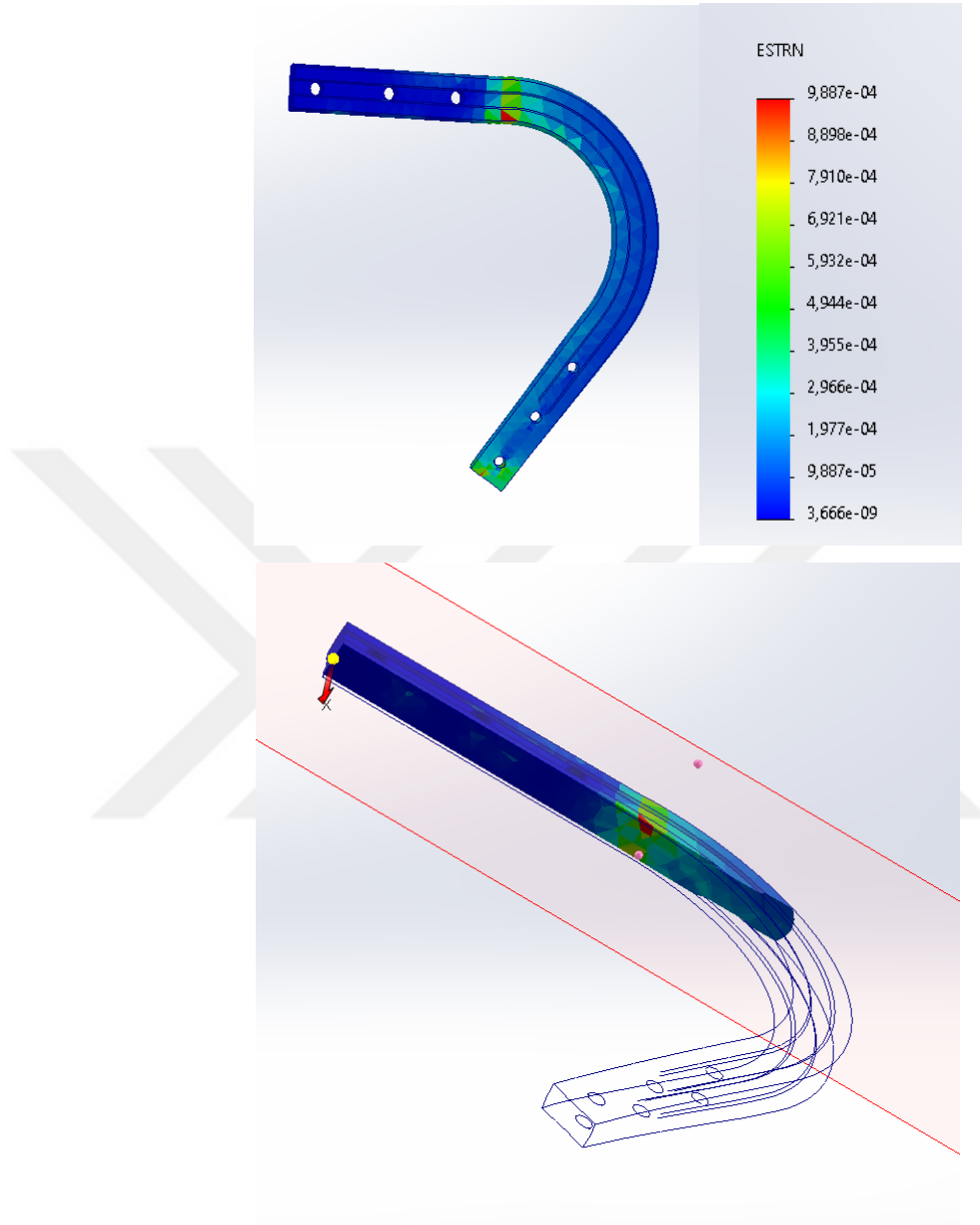
Maruz kalınan yükler altında malzemeler belirli oranda yer değiştirmeye maruz kalırlar. Malzeme içerdiği Silisyum elementinden dolayı yay özelliğine sahiptir, akma mukavemetinin aşılmadığı süreçte elastik şekil değiştirmeler karşısında çok esnek davranırlar ve yüksek derecede yer değiştirmeye karşı ilk şekillerini kolaylıkla alabilirler.

Çizelge 4.6’da gösterildiği üzere 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinden yapılmış olan ok malzemesi maksimum 14,51 mm yer değiştirmiştir. Bu yer değiştirmelere rağmen hala esnekliğini koruyabilmekte ve plastik şekil değiştirmemektedir.

**Çizelge 4.6.** Statik analiz sonucu malzemedeki yer değiştirme sonuçları



Şekil 4.20’de gösterildiği üzere statik analiz sonuçlarında malzeme için iki bölgede kritik noktalar oluşmaktadır, malzemenin en fazla gerilmeye maruz kaldığı noktalar bu noktalardır.



Şekil 4.20. Uygulanan yükler karşısında meydana gelen kritik noktalar

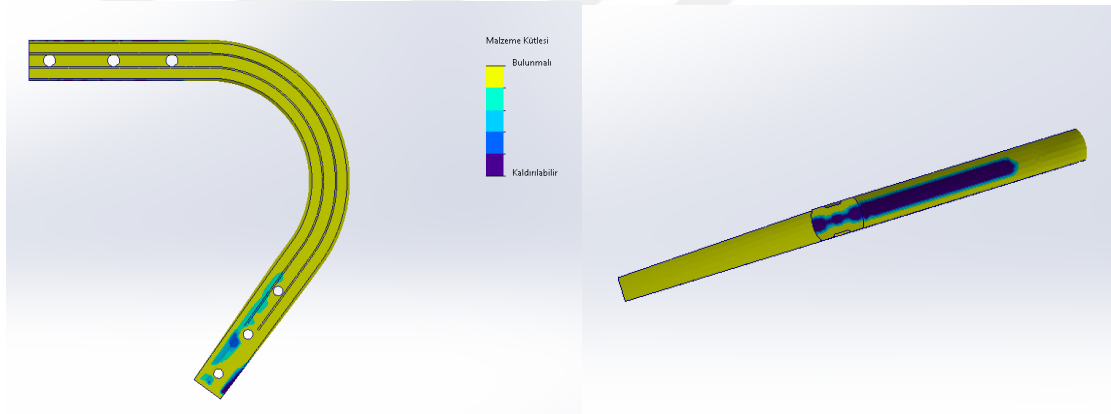
#### 4.4.2. Pulluk Ok’unun Topoloji Optimizasyonu Sonuçları

54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi Pulluk Ok’u olarak kullanılmadan önce geometrisinin optimizasyonu için ok parçası çizimleri bilgisayar ortamında SolidWorks programında üç boyutlu olarak katı modellendi. Katı modelin topoloji optimizasyonu için aynı programda makine parçası üzerine gelecek yükler tanıtarak topoloji optimizasyonu yapıldı. Bu tez çalışmasının ana amaçlarından birini temsil eden topoloji optimizasyonu

bütünüyle bu çalışmaya özel olarak yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar özgün değerlerle elde edilmiştir. Topoloji optimizasyonu yapılabilmesi için öncesinde statik analizi yapılan ve bu analizin kritik noktalar, yer değiştiren bölgeler, en fazla gerilmeye maruz kalan bölgeler ile ilgili ana fikir ve oluşturulacak yeni model için altyapı oluşturulmuş olundu. Topoloji optimizasyonunu yapılabilmesi için aynı adımlar statik analizdeki gibi burada da uygulandı.

Öncelikle malzeme bilgisi atanması ile başlandı, mesnet noktaları belirtildi, maruz kalınacak kuvvetler tanıtıldı ve malzemeye mesh ataması yapıldı. Simülasyondan çıkartılan sonuca göre Şekil 4.21’de gösterildiği üzere pulluk ok malzemesinin şasiye bağlandığı yerlerde çıkartılabilecek bölgeler olduğu malzemenin orta kısımlarında boşaltmalar yapılabilecek olduğu gözlemlendi.

Topoloji optimizasyonunda da gösterildiği üzere malzeme kalınlığında da iyileştirmelere gidilebileceği gözlemlendi.



**Şekil 4.21.** Topoloji optimizasyonunun sonucuna ait görsel

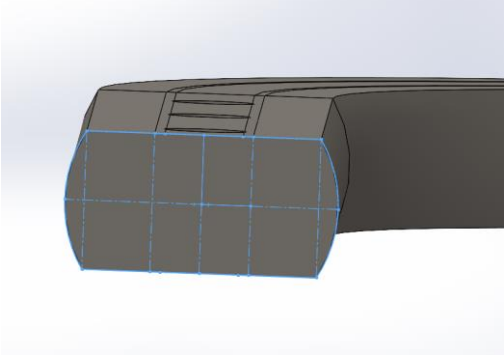
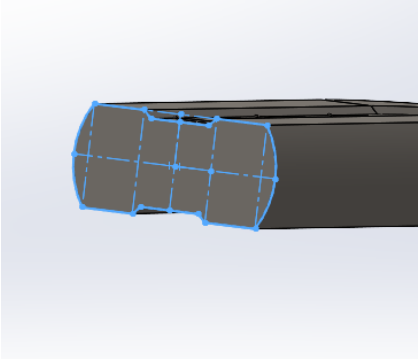
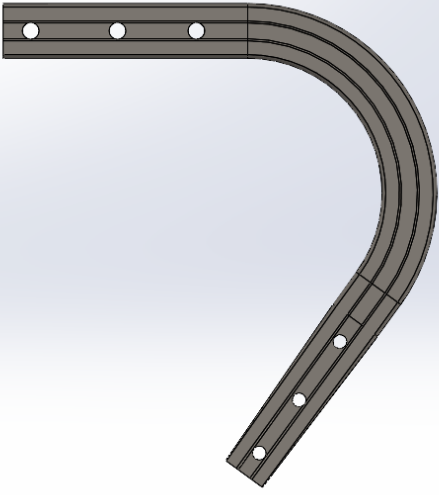

Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen verilerden yola çıkılarak üç boyutlu model üzerinde yeniden düzenlemeler ve revizeler yapılarak 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinden yapılan Pulluk Ok malzemesi eski halinden yaklaşık olarak 1 kg daha hafifletilerek daha ergonomik ve faydalı bir model oluşturuldu.

Hacimsel olarak ise 1027,61cm<sup>3</sup> küçülme meydana getirilmiştir.

Tasarım olarak yenilenen Pulluk Ok malzemesi 35 mm kalınlıktan 30 mm'ye düşürülerek parçanın orta kısımlarında da malzeme eksiltmeye gidilerek bu kısımlardaki kalınlık 20 mm boyutundan 25 mm'ye daraltılmıştır.

Topoloji optimizasyonu sonucunda yenilenmiş ve hafifletilmiş tasarım Çizelge 4.7’de optimizasyon görmemiş ilk hali ile birlikte gösterilmiştir.

**Çizelge 4.7.** Topoloji optimizasyonu sonrası yenilenmiş katı modele ait görsel

Ham Katı Model	Revize Edilmiş Katı Model
	
<p>70_35_kisa_ok_rev2 (1) ögesinin kütle özellikleri Konfigürasyon: Varsayılan Koordinat sistemi: -- varsayılan --</p> <p>*Bir veya fazla gizli bileşen/gövdelerin kütle özelliklerini içerir.</p> <p>Yoğunluk = 7.85 gram / santimetre küp</p> <p>Kütle = 26911.412 gram</p> <p>Hacim = 34282.05 santimetre küp</p> <p>Yüzey alanı = 13653.61 santimetrekare</p>	<p>70_35_kisa_ok_rev2 (1) ögesinin kütle özellikleri Konfigürasyon: Varsayılan Koordinat sistemi: -- varsayılan --</p> <p>*Bir veya fazla gizli bileşen/gövdelerin kütle özelliklerini içerir.</p> <p>Yoğunluk = 7.85 gram / santimetre küp</p> <p>Kütle = 26104.737 gram</p> <p>Hacim = 33254.44 santimetre küp</p> <p>Yüzey alanı = 13422.32 santimetrekare</p>
	

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ana malzeme olarak ele alınan 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesi, mekanik ve fiziksel özellikleriyle birçok uygulama alanında kullanılan bir materyaldir. Bu mekanik ve fiziksel özellikleri malzeme içeriğinde Si (Silisyum) elementinden dolayı yay çeliği gibi davranmasından ve Cr (Krom) elementinden dolayı barındırdığı sertlikten almaktadır.

54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin ham hali elementlerin karışımından elde edilerek döküm yöntemiyle elde edilmektedir. Bu tez çalışmasında ısıl işlem ve bilgisayar destekli analiz yöntemleriyle malzeme ve bu malzemenin kullanıldığı mekanik parça iyileştirilmiş ve deneysel araştırması yapılmıştır. Tez içeriğinde 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin bileşen özellikleri, kimyasal özellikleri, mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri araştırılmış ve açıklanmıştır.

Tez çalışmasında pulluk makinesinin ana gövde parçalarından biri olan ok malzemesinin önemi vurgulanarak malzeme üzerindeki olumsuz şartlar araştırılmış ve giderilmeye çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında ilk olarak malzeme belirli sıcaklıklarda indüksiyon bobinleri yardımıyla ısıtılarak östenit, sertleştirme sıcaklığına ulaştırıldı. Yeterli sıcaklığı elde eden malzeme ısıl işlemlere uygun prosedürlerle hazırlanmış su ve özel ısıl işlem yağına 1 atm basınçta ve kuru havada daldırılarak ani soğutma işlemi gerçekleştirildi. Yapılan bu ani soğutma işlemleri ile malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri sertlik açısından artırılmış oldu. Yüzey sertliği kazanan malzemede ani soğumalardan dolayı artık gerilmeler ortaya çıkmaması için malzeme orta sıcaklıkta ısıl işlem fırınında bekletildi.

Isıl işlem ile iyileştirme sürecini tamamlamış olan 54SiCr6 alaşımlı çelik malzemesinin sertliklerini ölçmek için uygun boyutlarda çekme numuneleri hazırlandı. Hazırlanan numuneler sırasıyla profesyonel çekme deney cihazında gerilme testine tabi tutuldu. Deney sonuçları bilgisayar ortamına aktarıldı. Alınan veriler analiz edilerek su verilmiş ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş olan malzemenin 3 deney sonunda ortalama sertliği 31,6 HRC, ısıl işlem yağına daldırılarak mekanik özellikleri iyileştirilmiş olan malzemenin sertliği ise 31,4 HRC olarak ölçüldü. Hiçbir işlem görmemiş ham malzeme sertliği ise 28 HRC olan malzemenin ortalama olarak 3,5 HRC sertliği artırılmış olduğu gözlemlendi.

Bu tez çalışmasında her birinden 3 adet olmak üzere su verilmiş, ısıl işlem yağına daldırılmış ve hiçbir ısıl işleme tabi tutulmamış ham malzeme üzerinde çekme deneyleri

gerçekleştirildi. Bu çekme deneyleri sonucunda hiçbir ısıtma işlemi görmemiş olan ham malzeme ortalama olarak 254,569 kN çekme yüküne dayanabilirken su verilerek mekanik özellikleri iyileştirilen malzeme ortalama olarak 310,817 kN çekme yüküne dayanabildi. Isıtma işlemi yağna daldırılarak mekanik özellikleri iyileştirilen malzeme ise 305,844 kN çekme yüküne dayanabildi.

En fazla çekme yüküne dayanabilen malzemeler sırasıyla su verilmiş malzeme, yağ verilmiş malzeme ve ham malzemedir. Su verilerek ısıtma işlemi görmüş olan malzemelerin çekme yüküne karşı en fazla dayanımı gösterdiği, yağ verilmiş malzemenin ise su verme işlemi yapılan diğer malzemeye göre daha az çekme yüküne dayandığı ve sertliğinin de daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Su verilerek mekanik özellikleri iyileştirilen malzeme 236,622 kN akma yüküne karşı gelebilirken yağ verilen malzeme 236,981 kN ortalama akma yüküne karşı dayanabilmiştir. Bu da demek oluyor ki yağ verilmiş malzeme ise su verilen malzemeye göre daha yüksek değerlerde akma yüküne karşı geliyor. Bu yük bize yağ verilmiş malzemenin su verilmiş malzemeye göre elastik şekil değiştirmeden plastik şekil değiştirmeye daha geç geçtiği yani su verilmiş malzemeye göre daha geç kalıcı şekil değiştirmeye uğradığı, bir başka deyişle yağ verilerek mekanik özellikleri iyileştirilen malzemeler su verilen malzemelere göre daha yüksek yükler karşılığında ilk şeklini daha fazla koruyabiliyor demektir.

Hiçbir ısıtma işlemi maruz bırakılmayan ham malzeme numuneleri çekme deneylerine karşılık ortalama olarak %2,020 uzama gösterirken su verilerek mekanik özellikleri iyileştirilen malzeme numuneleri ortalama olarak %4,950 uzama gösterirken yağ verilerek mekanik özellikleri iyileştirilen malzeme numunelerinin ortalama olarak %5,567 uzama göstermiştir.

Uzamalar göz önüne alındığında anlaşıldığı üzere yağ verilerek mekanik özellikleri iyileştirilen malzemelerin su verilerek mekanik özellikleri iyileştirilen malzeme göre daha fazla uzamaya elverişli olduğu gözlemlenmiştir. Bu da demek oluyor ki su verilen malzeme daha sert olmakla birlikte aynı zamanda yağ verilmiş malzemeye göre daha tok bir özellik göstermektedir, yani yağ verilmiş malzeme daha esnektir.

Aynı numunelerin kimyasal yapısı incelenmek üzere metalografik kesme makinesi ile kesilerek yüzey geometrisi zımparalandı ve süspansiyonlar ile yıkandı. Kesme ve yıkama işlemlerinin ardından malzeme görüntüsünün alınabilmesi için kezzap ile malzeme yüzeyi dağlandı. Hazırlanan malzeme yüzeyinin metalografik mikroskop ile profilometri görüntüleri çıkarıldı ve yorumlandı. Elde edilen görüntülerde alışımlanan

çelik malzemesinin soğuk çekme yöntemi ile elde edilmesinden ve ısıl işleme tabi tutulmadan, malzeme özellikleri iyileştirilmeden sıcak şekillendirme prosesine sokulan malzemede yüzeysel, kılcal çatlaklar meydana geldiği, malzeme üzerinden şekillendirilmeden dolayı oluşmuş malzeme kopmaları mevcut olduğu görülmüştür. İyileştirilmiş malzemede ise bu görüntülere rastlanılmadı.

Profilometri görüntülerinin ortaya koyulmasıyla alınan sonuçlar tez çalışmasındaki ısıl işlemler ile malzemenin iyileştirilmesi konusunda yapılan proseslerin doğruluğu teyit edildi ve kanıtlandı.

Bu tezin amacı doğrultusunda ısıl işlem görmüş malzeme üzerinde fiziksel özellikleri sadece dayanım olarak değil aynı zamanda tasarım, işlevsellik, ağırlık ve kullanılabilirlik gibi durumlarda da iyileştirilmek istendi. Bunu sağlayacak olan doğru tasarımı elde etmemizdeki yöntem olarak ise topoloji optimizasyonu seçildi çünkü topoloji optimizasyonu makine parçası için en optimum tasarımı elde etmek amacıyla önemli bilgiler sağlamakta ve ağırlık konusunda da dayanım konusunda olduğu gibi ışık tutmaktadır.

Topoloji optimizasyonu yapılabilmesi için öncelikle optimizasyonun neye göre yapılması gerektiğine karar verildi, bu kararda etkili olan parametreler ve veriler için malzeme tasarımı üzerinde statik analize başvuruldu. Statik analiz malzemenin çalışma koşulları, yorulma dayanımları, yük karşısında nasıl hareket ettiği ve malzeme fazlası olup olmadığının anlaşılmasını sağladı. Malzemenin tasarım programına tanıtılarak özelliklerinin atanmasının ardından mesnetler tanıtıldı. Bu mesnetler makine parçasının bağlantılı olduğu ve belirli yönlerde hareketinin kısıtlandığı bölümleri göstermektedir.

Mesnet tanıtımı ardından yükler tez içeriğinde bulunduğu gibi matematiksel olarak hesaplandı ve malzemeye atandı. Hesaplanan bu yükler pulluk makinesinin çeki yönünün tersinde, toprağın işlenmesi esnasında kulak yapısından dolayı ok malzemesine gelen yatay yönde yükler, toprağı işleyen makine parçasının ok malzemesine bağlandığı civata deliklerine uyguladığı tork kuvveti de uygulandı.

Statik analiz çalışmasına başlandığında ise malzemenin yeteri kadar rijit aynı zamanda esnek davrandığı analiz edildi. İşlem sırası topoloji optimizasyonuna geldiğinde ise statik analiz sonuçları ile birleştirilerek malzeme tasarımında en-boy-kalınlık oranları değiştirilerek topoloji optimizasyonunun analizinden çıkan sonuç ile daha ergonomik bir tasarım çizildi. Bu tasarımdan eski tasarıma göre yaklaşık 1 kg ağırlık azaltıldı, 1027,61 cm<sup>3</sup> hacimde düşüş meydana geldi, 231,29 cm<sup>2</sup> yüzey alanında azalma oldu.

## KAYNAKLAR

- Albak, E. İ. (2019). Formula SAE Aracında Ağırlık Azaltılmasına Yönelik Fren Pedalının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Optimum Tasarımı. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(1), 328-334. <https://doi.org/10.29137/umagd.467057>
- Alkan, V., ve Bayhan, Y. (2016). Çekilir Tıp Tarım Alet ve Makinalarının Çeki Kuvvetinin Belirlenmesinde Bilgisayar Destekli Ölçme Sisteminin Kullanılması, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 195-202.
- Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., & UME, T. (2015). Çekme Deneyinde Farklı Uzama Ölçme Yöntemlerinin Etkilerinin İncelenmesi. *Metal Dünyası*, 266, 44-50.
- Aytaç, A., Işık, M. S., Çanakçı, B., Özdemir, T., Aztekin, K., ve Hüseyin İ. P. E. K. (2018). AISI 1008 1040 ve 4140 Çeliklerinde Isıl İşlem, Karbon Oranı ve Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 17(2), 139-165. <https://doi.org/10.17134/khosbd.477252>
- Bastaban, S. (2011). Toprak İşlemede Farklı İlerleme Hızlarının Pulluk Çeki Kuvvetine ve Yakıt Tüketimine Etkileri Üzerine Bir Araştırma, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 202-209.
- Değirmencioğlu, A., Çakır, E., ve Keçecioğlu, G. *Pulluk Çatılarında Sonlu Elemanlar Yöntemıyla*.
- Durmuş, H., Çakır, F. G., ve Canser, G. Ü. L. (2021). Toprak Makinaları İmalatında Kullanılan 60SiMn5 Çeliğine Uygulanan Sertleştirme ve Menevişleme Isıl İşlem Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 420-427. <https://doi.org/10.21597/jist.773297>
- Gokhman, A., Motyčka, P., Salvetr, P., Nový, Z., Kotous, J., Briukhanov, A., ve Džugan, J. (2023). Kinetics of Austenite Decomposition in 54SiCr6 Steel during Continuous Slow Cooling Conditions. *Materials*, 16(13), 4619. <https://doi.org/10.3390/ma16134619>
- Güler H., ve Özcan R. (2014). Yüksek Karbonlu Çeliklere Su Verme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(2), 77-83. <https://doi.org/10.17482/uujfe.92798>
- Gürsel, K.T., ve Köftelioğlu, E.Y. (2006). Structural Analysis of Elements of Two Bottom Mouldboard Plough, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma, 3.
- Hunan Fushun Metal Co., Ltd., (2023). 54SiCr6 Alaşımlı Çelik Malzemesinin Mekanik Özellikleri. Erişim Adresi <https://turkish.fushunsteel.com/sale-19065304-54sicr6-1-7102-flat-steel-wire-for-spring.html>

- Kahraman, F., ve Küçük, M. (2020). Otomotiv Endüstrisinde Topoloji Optimizasyonu ile Ağırlık Azaltma Uygulaması Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 623-631. <https://doi.org/10.31590/ejosat.789424>
- Keçecioğlu, G., ve Gülsoylu, E. (2002). *Toprak İşleme Makinaları*. Ege Üniversitesi.: Ziraat Fakültesi Yayınları No: 545.
- Kotous, J., Dlouhy, J., Nachazelova, D., ve Hradil, D. (2018). Accelerated Carbide Spheroidisation and Refinement in Spring Steel 54SiCr6. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 461, No. 1, p. 012044). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/461/1/012044>
- Mattetti, M., Varani, M., Molari, G., ve Morelli, F. (2017). Influence Of The Speed On Soil-pressure Over a Plough. *Biosystems engineering*, 156, 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.01.009>
- Nayak, S. S., Anumolu, R., Misra, R. D. K., Kim, K. H., ve Lee, D. L. (2008). Microstructure–hardness Relationship in Quenched and Partitioned Medium-carbon and High-carbon Steels Containing Silicon. *Materials Science and Engineering: A*, 498(1-2), 442-456. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.08.028>
- Salvetr, P., Jakub Kotous, J., Zmeko, J., Zbyšek Nový, Z., Motyčka, P., Dlouhý, J., ve Gokhman, O. R. (2020). Influence of Si and Cu Content on Tempering and Properties of 54SiCr6 Steel. *Manufacturing Technology*, 20(4), 516-520. <https://doi.org/10.21062/mft.2020.079>
- Serkan, Ö. Z. E. L., ve Özcan, A. (2021). Modellenen Bir Jet Türbin Pervanesine Uygulanan Kaplamaların Simülasyon Tabanlı Statik Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 105-112. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.666257>
- Talaş, Ş., Sarı, M. S., Sow, A., ve Aktaş, H. (2020). Heat Treatment and Microstructural Analysis of 54SiCr6 and 60SiMn5 Spring Steels, *Journal of Materials and Mechatronics: A*, 1(2), 76-84.
- Tüfekçi, T. (2019). *Cr ve Si Katkısı ile Modifiye Edilmiş Alüminyum Bronzlarının Tribolojisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Yangbo, C., Shuming L., Yongde L., Yang, Z., Li, S., Zhang, Z. (2009). Fatigue strengths of the 54SiCr6 steel under different cyclic loading conditions. *Acta Metallurgica Sinica* 45(4), 428-433.