

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK HALATLARIN
MİKROYAPISAL VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU**

BURAK HOCAOĞLU

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK HALATLARIN MİKROYAPISAL
VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU

BURAK HOCAOĞLU

Doç. Dr. Ş. Hakan ATAPEK
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Enbiya TÜREDİ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UYSAL
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 07.02.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmama yön veren, bu yolda desteğini esirgemeyen ve her sorunda çözümleriyle şahsımı aydınlatan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ş. Hakan Atapek'e içten ve sonsuz teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tezi, Çelik Halat ve Tel San. A.Ş bünyesinde yürütülen Teydeb 3190515 projesinin belirli iş paketlerinin çıktılarını içermektedir. Bundan dolayı, tez sürecinde, gerek hammaddenin (filmaşın) tedarik edilmesinde ve gerekse de deneysel çalışmaların yürütülmesinde büyük katkısı olan Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. firmasına desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarda katkısı olan Kalite Müh. Anıl Tıgıcı'ya, Kalite Kıdemli Müh. Haluk Karakaş'a, Arge Şefi Gökçe Esen'e, Kalite Formeni Mehmet Aysel'e, Metalurji ve Malzeme Müh. C. Koray Gençay'a ve Tolga Özyön'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Mayıs – 2020

Burak HOCAOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLOLAR DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ.....	1
1. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK TELLERİN ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİMİ	2
1.1. Yüksek Mukavemetli Çelik Teller	2
1.1.1. Yüksek mukavemetli çelik tellerin genel özellikleri	2
1.1.2. Yüksek mukavemetli çelik tellerin kullanım alanları.....	3
1.1.3. Yüksek mukavemetli çelik tellerin sınıflandırılması	4
1.2. Yüksek Mukavemetli Çelik Tel Halatlar.....	6
1.2.1. Yüksek mukavemetli çelik tel halatların yapısı	6
1.2.2. Yüksek mukavemetli çelik tel halatların çeşitleri.....	7
1.2.3. Yüksek mukavemetli çelik tel halatların kullanım alanları	11
2. ÇELİK HALAT TELLERİN ÜRETİM PROSESİ VE METALURJİSİ	14
2.1. Filmaşın Üretimi.....	14
2.2. Öncül Tel Çekme İşlemi Öncesi Yüzey Hazırlama İşlemleri	15
2.3. Isıl İşlem Prosesleri	17
2.4. Tel Çekme Prosesleri	19
2.5. Yüksek Mukavemetli Çelik Tellerin Fiziksel Metalurjisi.....	26
3. MALZEME VE YÖNTEM	33
3.1. Tedarik Edilen Yüksek Karbonlu Filmaşın ve Özellikleri.....	33
3.2. Yarı Mamul, Patentleme ve Nihai Tel Çekme İşlemleri	34
3.3. Metalografik İşlemler ve Mikroskobik İncelemeler	35
3.4. Mekanik Testler	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Filmaşının Yüzey ve Metalurjik Kontrolü	37
4.2. Proseslenmiş Tellerin Mikroyapısal Karakterizasyonu	40
4.3. Mekanik Verilerin Değerlendirilmesi.....	47
4.4. Fraktografik İncelemeler	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	66
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tel halat bileşenlerini gösteren şematik bir çizim	6
Şekil 1.2.	Çeşitli halat sarımlarını gösteren şematik çizimler.....	7
Şekil 1.3.	Lif özlü halatın en ve boy kesitini gösteren şematik çizimler.....	8
Şekil 1.4.	Çelik özlü halatın en ve boy kesitini gösteren şematik çizimler.....	8
Şekil 1.5.	Standart demete ait bir model	9
Şekil 1.6.	Seale demetine ait kesit ve sarım modelleri	9
Şekil 1.7.	Warrington demetine ait kesit ve sarım modelleri	9
Şekil 1.8.	Warrington-Seale demetine ait kesit ve sarım modelleri	10
Şekil 1.9.	Filler demetine ait kesit ve sarım modelleri	10
Şekil 1.10.	Seale-Filler demetine ait kesit ve sarım modelleri	11
Şekil 2.1.	Filmaşın üretiminde de kullanılan sürekli döküm işlem adımlarını gösteren şematik bir görsel	14
Şekil 2.2.	Tel çekme işleminin şematik gösterimi.....	20
Şekil 2.3.	Tel çekme işleminde kullanılan hammaddeleri gösteren bir makro görsel.....	21
Şekil 2.4.	Tel çekme üretim sürecini gösteren bir görsel.....	22
Şekil 2.5.	Tel üretimine yönelik soğuk çekme işlemlerinin şematik gösterimi; (a) çelik tellerin kalıp içerisinde soğuk geçişi, (b) çok pasolu soğuk çekme, (c) tüm imalat zinciri	22
Şekil 2.6.	Ardışık kalıplarla tel çapının azaltılmasını gösteren şematik bir çizim	23
Şekil 2.7.	Telin haddeden geçişi sırasında iki yüzey arasındaki ilişki	23
Şekil 2.8.	Ferit ve sementit lamellar yapısını içeren tipik bir perlit.....	27
Şekil 2.9.	Soğuk işlem görmüş perlitik bir yapıyı gösteren SEM mikrografı	29
Şekil 2.10.	833K sıcaklıkta 30 saniye patentlenmiş ve soğuk işlem görmüş perlitik bir telin tranmisyon elektron mikroskobu ile aydınlık alan kontrastlanmış mikroyapısı	29
Şekil 2.11.	İndirgenme oranı %86 olan soğuk çekilmiş 0.82C (ağ.-%) içeren perlitik bir telin matriksine ait atomik kuvvet mikroskop görüntüsü	31
Şekil 2.12.	(a) Dağlanmış perlitik yapıda ölçüm yapılan mesafe ve (b) mesafeye bağlı lamellararası mesafeye işaret eden pürüzlülük değişim grafiği	32
Şekil 3.1.	Tez çalışmasında hedeflenen 6x26 WS kompozisyonlu çelik halat kontrüksiyonunu gösteren şematik bir görsel.....	33
Şekil 4.1.	Tedarik edilen filmaşının yüzey kalitesini gösteren IM görüntüsü	37
Şekil 4.2.	Filmaşında dekarbürizasyon kalınlığını ve matriks yapısını gösteren IM görüntüsü.....	38
Şekil 4.3.	Filmaşının perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b)	38
Şekil 4.4.	Filmaşının perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü	38
Şekil 4.5.	Filmaşında perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b).....	39

Şekil 4.6.	Filmaşının farklı kesitlerini gösteren IM görüntüleri; (a) en ve (b) boy kesit	39
Şekil 4.7.	Filmaşının parlatılmış konumuna ait IM görüntüsü	40
Şekil 4.8.	Yarı mamül (provizyon) ürünlere ait IM görüntüleri; (a) 4,50 mm ve (b) 4,00 mm	40
Şekil 4.9.	Yarı mamül (provizyon) ürünlerin patentleme işlemi sonrası mikroyapılarını gösteren IM görüntüleri; (a) 4,50 mm ve (b) 4,00 mm	41
Şekil 4.10.	Patentleme sonrası 4,00 çaplı yarı mamulün perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü	41
Şekil 4.11.	Kesit çapı 4,00 mm olan yarı mamulde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b).....	42
Şekil 4.12.	Kesit çapı 1,93 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b).....	42
Şekil 4.13.	Kesit çapı 1,93 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü	43
Şekil 4.14.	Kesit çapı 1,93 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b).....	43
Şekil 4.15.	Kesit çapı 1,66 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b).....	44
Şekil 4.16.	Kesit çapı 1,66 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü	44
Şekil 4.17.	Kesit çapı 1,66 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)	44
Şekil 4.18.	Kesit çapı 1,48 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b).....	45
Şekil 4.19.	Kesit çapı 1,48 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü	45
Şekil 4.20.	Kesit çapı 1,48 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)	46
Şekil 4.21.	Kesit çapı 1,30 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b).....	46
Şekil 4.22.	Kesit çapı 1,30 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü	47
Şekil 4.23.	Kesit çapı 1,30 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)	47
Şekil 4.24.	Filmaşın ve yarı mamül ürünlerde çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti	48
Şekil 4.25.	Yarı mamül ürünlerde patentleme öncesi ve sonrası çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti	50
Şekil 4.26.	Filmaşından 4,50 mm çapa provizyon sonrası 1,48 mm nihai çapa indirgenmiş tellere ait çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti	51

Şekil 4.27.	Filmaşından 4,00 mm çapa provizyon sonrası 1,30 mm nihai çapa indirgenmiş tellere ait çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti	52
Şekil 4.28.	Filmaşından doğrudan tel çekme sonrası çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti	53
Şekil 4.29.	Tel çaplarına bağlı olarak perlitin lamellararası mesafesinde değişim	54
Şekil 4.30.	Üretilen tellerde perlitin lamellararası mesafesinin bir fonksiyonu olarak sertlik değişimi	54
Şekil 4.31.	Üretilen tellerde perlitin lamellararası mesafesinin bir fonksiyonu olarak kopma mukavemeti değişimi	55
Şekil 4.32.	Filmaşının kırılma genel yüzeyini gösteren SEM fraktografı	56
Şekil 4.33.	Filmaşının merkez kırılma yüzeyini gösteren SEM görüntüleri; (a) yoğun mikroboşluk oluşum bölgeleri ve (b) mikroboşlukların birleşmesi ile ilerlemiş kavitasyon	56
Şekil 4.34.	Filmaşında mikroboşluk birleşmesi ile ilerlemiş kavitasyon bölgesinden hızlı hasarlanmaya geçiş bölgesi (a), kırık yüzeyde kayma nedenli oluşmuş düz dudak bölgesi	57
Şekil 4.35.	Filmaşının kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a ve b) parlatılmış, (c ve d) dağlanmış konum	58
Şekil 4.36.	Farklı çaplara sahip tellerin kırık yüzey genel görüntüleri; (a) 1,93 mm, (b) 1,66 mm ve (c) 1,48 mm	59
Şekil 4.37.	Farklı çaplara sahip tellerin kırık yüzey merkezlerine ait fraktografılar; (a) 1,93 mm, (b) 1,66 mm ve (c) 1,48 mm	59
Şekil 4.38.	Farklı çaplara sahip tellerin kayma nedenli hızlı hasarlanmış bölgelerine ait fraktografılar; (a) 1,93 mm, (b) 1,66 mm ve (c) 1,48 mm	59
Şekil 4.39.	Çap değeri 1,93 mm olan telin kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a) parlatılmış ve (b) dağlanmış konum	60
Şekil 4.40.	Çap değeri 1,66 mm olan telin kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a) parlatılmış ve (b) dağlanmış konum	60
Şekil 4.41.	Çap değeri 1,48 mm olan telin kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a) parlatılmış ve (b) dağlanmış konum	60

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Ticari yüksek mukavemetli çelik tellerin kullanım alanları.....	4
Tablo 1.2.	Halat gruplarının ve genel özelliklerinin tanıtımı	13
Tablo 2.1.	Soğuk işlem ile üretilecek olan perlitik çelik tel kompozisyonları (ağ.-%) ve ulaşılan gerinme değerleri	28
Tablo 3.1.	Filmaşine ait kimyasal kompozisyon (ağ.-%).....	34



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

D_0	: Başlangıç tel çapı
D_ε	: Deformasyon sonrası ulaşılan çap
k	: Altyapısal bariyerin dayanım katsayısı
S_0	: Perlitin başlangıç lamellararası mesafesi
S_ε	: Tel çekme ile elde edilen lamellararası mesafe
ε	: Gerçek gerinme
σ_f	: Ferrit içerisinde sürtünme gerilmesi

Kısaltmalar

WS	: Warrington Seale Halat Dizilimi
LÖ	: Lif Öz
ÇÖ	: Çelik Öz
S	: Seale Halat Dizilimi
W	: Warrington Halat Dizilimi
F	: Filler Halat Dizilimi
SF	: Seale Filler Halat Dizilimi
IM	: Işık Mikroskobu
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
AFM	: Atomic Force Microscope (Atomik Kuvvet Mikroskobu)
HV	: Vickers Hardness (Vickers Sertliği)

YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK HALATLARIN MİKROYAPISAL VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek karbonlu (ağ.-% 0,9 C) kalın çelik halatların üretimi tanıtılmış olup, çekilmiş malzemelerin mikroyapısal bileşenleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişki fiziksel metalurjik yaklaşımlar ile irdelenmiştir. 6x26WS kompozisyonuna sahip kalın çelik halatların üretimi için 5,50 mm çapa sahip filmaşınlar kullanılmış olup, hammaddenin matris fazı, dekarbürizasyon tabakası, kalıntı ve segregasyonu gibi bazı mikroyapısal bileşenleri analiz edilmiştir. Metalurjik analizler, filmaşınların kaba ve ince perlitik bir yapıya sahip olduğunu, 30 µm'den daha düşük bir dekarbürizasyon tabakası ve kalıntı olarak uzamış MnS içerdiğini göstermiştir. Tel çekme prosesi öncesinde provizyon koşullarını sağlamak için filmaşın 5,50 mm'den 4,50 ve 4,00 mm değerlerine getirilmiş ve bu redüksiyon işlemi neticesinde şekil değişimi sertleşmesinin bir sonucu olarak hammaddeye göre çelikler daha yüksek sertlik kazanmıştır. Daha sonrasında, patentleme olarak bilinen bir ısı işlem filmaşınlere uygulanmıştır. Östenitik bir matris elde etmek için fırın rejimi 960-1030 °C olarak ayarlanmış olup perlitik dönüşüm için 305-320 °C sıcaklık aralığına sahip bir kum banyosu tasarlanmıştır. Nihai kademede, farklı çaplara sahip (1,30-1,93 mm) halat telleri çekme prosesi boyunca çoklu geçişler sağlanarak üretilmiş olup, kopma mukavemetleri belirlenmiştir. Sonuçlar, oldukça ince perlitik yapı ve 220 kg/mm² kopma mukavemetine sahip bir ticari 6x26WS kompozisyonun elde edilebildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Halat, Karakterizasyon, Mukavemet, Patentleme, Perlit.

MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF HIGH STRENGTH STEEL ROPES

ABSTRACT

In this study, the production of high carbon (0,9 wt.%) thick steel ropes was introduced and the relationship between microstructural features and mechanical properties of the drawn materials was discussed according to the physical metallurgical approaches. In order to produce thick steel ropes having 6x26WS composition, wire rod having a diameter of 5,50 mm was used and some microstructural features like matrix phase, decarburization layer, inclusion and segregation of raw materials were analyzed. The metallurgical analyzes showed that wire rods had fine and coarse pearlitic structure, a decarburization layer less than 30 μm , elongated MnS as inclusions. In order to prepare provision conditions before wire drawing process, the diameter of the rod was reduced from 5,50 mm to 4,50 and 4,00 mm. These reductions made the steels harder compared to raw materials due to strain hardening. Then, wire rods were subjected to a heat-treatment known as patenting before drawing. In order to obtain an austenitic matrix, the furnace regime was adjusted as a range of 960-1030 °C and then a sand bath having a temperature range of 305-320 °C was designed for pearlitic transformation. In the final stage, several rope wires having different diameters (1,30-1,93 mm) by multi-passes during drawing process were produced and their fracture strengths were measured. The results showed that a conventional 6x26WS composition having very fine pearlitic structure and fracture strength of 220 kg/mm² could be achieved.

Keywords: Steel Rope, Characterization, Strength, Patenting, Pearlite.

GİRİŞ

Geçmişten günümüze, çelik esaslı malzemeler endüstriyel birçok uygulamada en çok tercih edilen ve kullanılan bir demir-karbon alaşımıdır. Özellikle karbona ve kimyasal kompozisyonunda yer alan diğer elementlerin yanı sıra uygulanan termo-mekanik ve ısı işlemlere bağlı olarak çeliklerin özellikleri uygulama alanına göre geliştirilmektedir [1].

Endüstriyel birçok uygulama ve kullanım alanlarında çeliklerden yeterli süneklik ve yüksek mukavemet sergilemesi beklenmektedir. Çeliklerde yüksek mukavemet özelliği çoğu kez martenzitik yapı içermesi ile ilgilidir. Ancak bilinen en yüksek mukavemetli metal, çekilmiş perlitik teldir ve bu malzemenin mikroyapısında bir denge dışı dönüşüm ürünü olan martenzit yer almamaktadır. Bu çelik teller oldukça yüksek mukavemet ve sünekliğe sahiptir. Bu çelik malzemedeki var olan en önemli kısıtlama ise malzemenin % 90 oranında kesit deformasyonu ile üretilmesidir. Perlitik tellerin kesitlerinin azalmasına karşın akma ve çekme mukavemetleri oldukça yüksektir. Perlitik teller ve bu tellerden üretilen ürünlerin kullanım alanları arasında enstrüman telleri, otomotiv, beyaz eşya, tarımcılık ve çelik halatlar örnek verilebilir [1-3].

Yüksek mukavemetli perlitik çelik tellerden üretilen çelik halatlar günümüzde; asansör sistemleri, balıkçı tekneleri, liman vinçleri, teleferik ve telesiyaj sistemleri ve maden işletmelerinde yük kaldırma ve iletme elamanı olarak kullanılırlar. Çelik halatların kullanım şartları ve alanlarına göre belirli bir ömre sahip olması, çelik halat kullanılan işletmelerde halatların güvenli bir şekilde yük taşınımı görevini ne kadar süre ile yerine getirebileceğinin tespit edilebilmesi büyük önem taşımaktadır [3].

Bu tez çalışması kapsamında, yüksek karbonlu (ağ.-% 0,9 C) ve yüksek mukavemetli çelik halatların üretimi üzerinde durulmuş ve üretilmiş tellerin mikroyapısal ve mekanik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma, Çelik Halat ve Tel San. A.Ş tarafından desteklenmiş olup, başlangıçta 5,50 mm çaplı filmaşından soğuk deformasyon ile yarı mamul üretimi yapılmıştır. Patentleme işlemini takiben nihai tel çekme işlemleri ile değişik çaplara (1,30 – 1,93 mm) indirgenmiş tellerde perlitik matrikslerin lamellararası mesafelerinde meydana gelen incelmeye bağlı olarak sertlik ve kopma mukavemet değerlerinde meydana gelen değişimler fiziksel metalurjik esaslar doğrultusunda irdelenmiştir.

1. YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK TELLERİN ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİMİ

Tel çekme yöntemi ile üretilen perlitik yapıdaki oldukça ince kesitli teller, sahip oldukları yüksek mukavemet ve yüksek süneklik özellikleri ile birçok uygulamada tercih edilmektedirler.

Yüksek mukavemetli çelik halatların üretiminin ilk kademesi, hammadde olarak tedarik edilen filmaşınların ekstrüde edilmesi ve böylece tel çekme prosesinin gerçekleştirilmesidir. Filmaşınlerde lokal deformasyon oluşumunun engellenmesi için deformasyon belirli bir orana kadar devam ettirilir ve prosesin devamında patentleme ısı işlemi uygulanır. Patentleme işleminde her ne kadar kurşun banyoları kullanılsa da, çevre ve sağlık politikaları gereği günümüzde akışkan kum yataklarının kullanımı tercih edilmektedir. Öncül tel çekme işlemleri (provizyon), patentleme ısı işlemi ve nihai tel çekme prosesi ile istenilen çapa çekilen teller ile çelik halatları oluşturan demetler ve sonrasında demetlerin destekleyici bir öz etrafına bir büküm kuvveti ile sarılmasıyla da çelik halat üretimi gerçekleştirilir.

Bu bölümde, çoğunlukla tel ve halatların özellikleri, kullanım alanları ve sınıflandırılması üzerinde durulacak olup, tez çalışmasına konu olan halat konstrüksiyonuna yönelik öncül bilgiler aktarılacaktır.

1.1. Yüksek Mukavemetli Çelik Teller

1.1.1. Yüksek mukavemetli çelik tellerin genel özellikleri

Yüksek mukavemetli perlitik çelik teller, oldukça yüksek çekme mukavemetine ve yüksek süneklik değerlerine sahip malzemelerdir. Bilindiği üzere, martenzitik çelikler de oldukça yüksek mukavemetler sergileyebilen malzemelerdir. Perlitik çekilmiş tellerin martenzit içeren çeliklere göre nispeten tercih edilmelerinin temelinde, bu çeliklerin patentleme ısı işlemi ile homojen perlitik bir yapıya kavuşturulup, sonrasında yüksek deformasyon ile perlitin lamellararası mesafesinin daha da inceltmesi ile yüksek sertlik (mukavemet) değerleri göstermesidir [2].

Perlit mikroyapısı, birbirine göre farklı açılarda bulunabilen kolonileri ve koloniler içerisinde birbirine paralel uzanan ferrit ve sementit lamellerinden oluşmaktadır. Ferrit ve sementit mekanik olarak değerlendirildiğinde, ferritin yumuşak bir yapı olduğu ve

bu faz içerisinde dislokasyon hareketlerinin mümkün olduğu söylenebilir. Sementit ise nispeten daha sert bir yapı olup, plastik deformasyon kabiliyeti oldukça düşüktür ve kırılma eğilimi göstermektedir. Her ne kadar sementit faz hacmi, perlitin toplam hacminin 1/8'ini temsil etse de, sementitin varlığı soğuk çekilmiş tellerin mukavemeti ve sünekliği için kritik öneme sahiptir. Perlitik tel çekme işlemi sırasında nihai mukavemetin belirlenmesine katkı sunan lamellerarası mesafe değişebilmektedir. Perlitteki sementitin mevcudiyeti, perlit içindeki mikroyapı ölçeğini yani lamellararası mesafeyi ve çekme sırasındaki tel çapını azaltmaktadır. Sementit kristallerinin genellikle kırılma yapıda olduğu kabul edilse de, ince perlitin soğuk işlenmesi sırasında sementitin sünek davranış gösterdiği, sementit kristallerinde bazı olası kayma sistemleriyle doğrudan ilgili olduğu deneyler sonucundan kanıtlanmıştır [3, 4].

1.1.2. Yüksek mukavemetli çelik tellerin kullanım alanları

Çelik tellerde ana sınırlama, malzemenin % 90'lık bir kesit deformasyonu ile tel halinde çekilerek üretilmesi ve piyasada kord malzemesi olarak bulunmasıdır. Ticari olarak kullanılan yüksek mukavemetli çelik tellere; piyano teli, mandolin teli, metalik saat kordon teli, hortum takviye teli, halat telleri, galvanizlenmiş süspansiyon kablosu teli, mekanik yay telleri, endüstriyel yaylık ve yataklık teller örnek verilebilir ve bu uygulama örnekleri çekme mukavemet değer aralıkları ile birlikte Tablo 1.1'de gösterilmiştir [3, 4].

Çekilmiş tel malzemelerde artan mukavemetle birlikte süneklikte önemli bir kayıp gözlenmemektedir. Malzemenin yüksek süneklikte olması, çelik halatlar gibi yüksek oranda emniyet ve güvenlik gerektiren uygulamalar için kullanımının asıl nedenidir. Tel halatlar, çalışma alanına göre kolay bükülebilmeleri, yüksek aşınma dayanımı göstermeleri ve rahat kullanılmaları nedeni ile birçok uygulamada tercih edilmektedir. Yük kaldırma, taşıma ve kuvvet iletimini sağlama kapasiteleri göz önüne alındığında, bu malzemeler madencilik sektöründe, petrol kuyularında, vinçlerde, ağır yüklerin taşınmasında, asansörlerde, tramvaylarda, teleferiklerde, denizcilikte, balıkçılıkta, gemi ve yatlarda, ormancılıkta ve genel mühendislik uygulamalarında çekici olarak oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Yüksek aşınma dayanımına, yorulma dayanımına, kopma yüküne, eğilme yüküne, çarpma dayanımına ve yük taşıma kapasitesine sahip tel halatların teknik emniyet şartlarına uyumu, korozyona karşı direnci de önemli tercih sebepleri arasında yer almaktadır [2].

Tablo 1.1. Ticari yüksek mukavemetli çelik tellerin kullanım alanları [2]

Açıklama	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Kullanım Alanı
Piyano teli	1790-2410	Piyano telleri ve yayları
Mandolin teli	2000-2760	Küçük yaylı enstrümanlar
Metalik saat kordon teli	1170-1590	Metalik saat kordonu üretimi
Hortum takviye teli	2140-2480	Yüksek basınç hortumları
Halat telleri	2160'a kadar	Tel kablolar
Süspansiyon kablosu teli	1380-1590	Süspansiyon bağlantıları
Mekanik yay telleri	2960'a kadar	Yaylar

1.1.3. Yüksek mukavemetli çelik tellerin sınıflandırılması

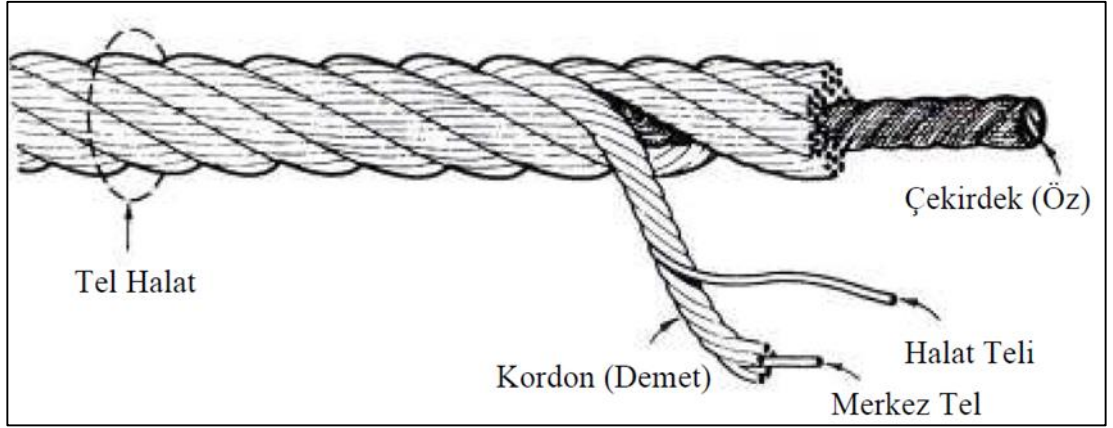
İmalat sanayisinde kullanılan malzemelerin çoğuna plastik şekil verme işlemleri uygulanır. Talaşsız şekillendirme yöntemlerinden biri olan tel çekme işlemi de, bu plastik şekil verme işlemleri arasında bulunmaktadır. Teller silindirik kesitte bir mamul olarak düşünülse de, birden fazla kesit şekline sahip olabilmektedirler. Tel kesitlerinin olabileceği en yaygın şekiller arasında kare, altıgen, sekizgen, oval, yarı oval, üçgen ve düz gibi formlar gelmektedir. Tellerin belirli bir iletkenlik ve direnç sergilemesi halinde uygulama alanları genişletilebilmektedir. Müzik aletlerine yönelik tellerin kullanımı da söz konusudur. Tüm bunların dışında bu teller yay, perçin, çivi, elektrot, zincir, iğne, halat vb. imalatlarda da yarı mamul olarak değerlendirilmektedir [5].

Sıcak haddeleme ile yuvarlak veya yarı yuvarlak, kare, dikdörtgen ve altıgen kesitlerine sahip ve kangala sarılmış metal formlar (özellikle çelikler) soğuk çekme ile yarı mamul veya nihai ürüne dönüştürebilmektedir. Kompozisyonunda ağırlıkça % 1,8'den az karbon içeren demir ve karbon alaşımlarına mekanik ve ısı işlemlerle çok çeşitli özellikler kazandırılabilir. Makina-imalat sanayisinde çelik ile dökme demir arasında bir kompozisyona sahip birçok kalitede demir esaslı malzemeler sıklıkla kullanılabilir. Bu çeliklerin kompozisyonunda, çoğu kez arttırılmış karbon miktarına ek olarak birçok alaşım elementi de yer alabilmektedir. Belirli oranda silisyum (ağırlıkça % 1.30-2.00) ve mangan içeren (ağırlıkça % 0.75) silisyumlu-manganlı çelikler de bahsi geçen endüstride kullanım yeri bulabilmektedir. Tüm bunların dışında yüksek rijitlikte ve sertlikte olabilen çelikler de aşınmaya ve yorulmaya karşı direnç istenen uygulamalarda tercih edilmektedir [4, 5].

Plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan haddeleme ile çap kesitleri 4-5 mm olan teller üretmek mümkündür. Ancak daha ince çap kesitlerine sahip tellerin üretiminde haddeleme işlemi ile istenen hassasiyete ulaşılmayabilir. Bu durumun nedeni, tellerin kesiti azaldığında soğumanın hızlı olması ile birlikte sıcaklıktan dolayı tel yüzeylerinde istenmeyen oksit tabakaların oluşmasıdır. Bu nedenlere ek olarak, sıcak şekillendirmeye malzemenin mukavemeti büyük ölçüde azalacağından ince kesitli tel kolayca kopma ile hasarlanmaktadır. Tüm bu olumsuz etmenlerden dolayı hassas ölçü, iyi yüzey kalitesi ve belirli mukavemet özelliklerine ancak soğuk bir şekillendirme yöntemi olan tel çekme işlemi uygulanarak ulaşılabilmektedir [3, 6].

Yaylanma özelliğine sahip teller, otomotiv, beyaz eşya, tarım ve madencilik olmak üzere birçok sektörde geniş uygulama alanı bulabilen basma, çekme ve burma yayları olarak kullanılmaktadır. Galvanizli tel, sıcak daldırma yöntemi uygulanarak üretilen tel türüdür. Galvanizli teller, üretilmiş olan çelik telin ergiyik çinko banyosuna daldırılması ile üretilir. Bu daldırma işlemi ile çelik telin yüzeyi, kendisine göre daha anodik davranış sergileyen çinkonun varlığı ile korunmuş olacaktır. Çinko tabakasının, çelik telin iklim koşulları nedeni ile paslanmasına, kırılmasına veya hasarlanmasına karşı önleyici bir rolü olacaktır. Malzemenin kullanım ömrü, yüzeydeki çinko tabakasının kaplanma miktarına ve malzemenin kullanıldığı ortama bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çinko kaplama miktarı arttırıldıkça, malzemenin kullanım ömrü de artmış olur. Sıcak daldırma yöntemi ile üretilen galvanizli teller, çit teli, yay teli, dikenli tel, kova sapı, askı ve diğer faaliyet kollarında kullanım alanı bulmaktadır. Yatak yayı teli, özellikle mobilya ve yatak endüstrisinde faaliyet göstermek ve neme, korozyona karşı büyük direnç sağlayan kimyasallar kullanılarak üretilmektedirler [2-6].

Halat tellerinin örülmesi ile demetler, demetlerin destekleyici bir öz etrafına sarılması ile de değişik kompozisyonlarda halatlar imal edilir. Çelik tellerden yapılan halatların emniyetli olması açısından malzemenin iç yapısında ince perlit yapısının oluşturulması, yapıya sertlik ve süneklik açısından yüksek performans kazandırılması esastır. Çünkü tel halatlar yüksek çalışma gücüne sahiptir ve bu yüzden çalışma esnasında ortaya çıkabilecek aşınma ve korozyon olaylarının dışında dinamik ve statik yüklerden dolayı gerçekleşecek yorulma ve nemin de etkisi ile mukavemetlerinden kayıp olmaması gerekmektedir. Halatlardaki yükün, halatı oluşturan tellere dağılmasından dolayı emniyetlidir ve önemli bir elastik uzama miktarına sahiptirler. Tel halatların taşıma kapasitesi ve çalışma özellikleri, düşük sıcaklıklar altında değişmemektedir, ancak lif özlü halatların 100 °C, çelik özlü halatların ise 250 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışmaları istenmez. Şekil 1.1'de tel halatı oluşturan bileşenler gösterilmiştir [3-10].



Şekil 1.1. Tel halat bileşenlerini gösteren şematik bir çizim [10]

Tel halatlar, Şekil 1.1'den de görüleceği üzere birbirlerini saran teller, demetler ve özlerden oluşmaktadırlar. Tel halatların kullanım alanına göre optimum dayanımda, abrasif aşınma, ezilme, eğilme, yorulma ve korozyon direncine sahip olması istenmektedir. Bu tür çoklu gereksinimin sağlanması için kompozisyonlarda kullanılacak çelik sınıflarının özelliklerine ek olarak, kullanım alanının yansıttığı özelliklerin de çok iyi bilinmesi ve nihai tasarımın bu etmenlerin bir fonksiyonu olarak ortaya konulması gerekmektedir [4].

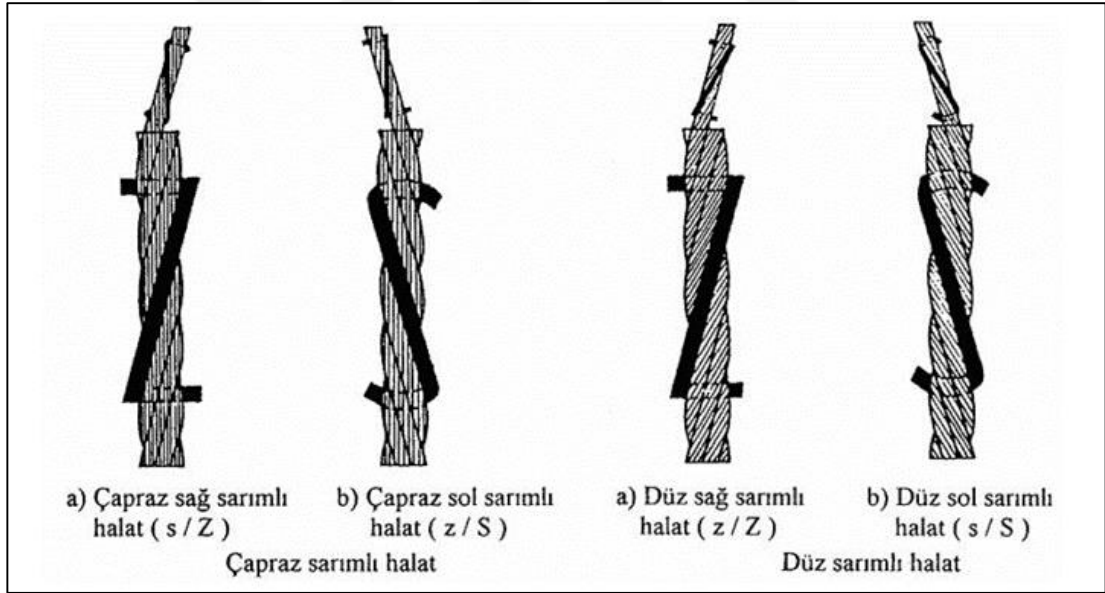
Çelik tel halatlarda özellikle bulunması gereken üç karakteristik özellik vardır. Bu karakteristik özelliklerden birincisi mukavemettir. Mukavemeti arttırmanın birçok yolu olabilir. Tel halat çapını veya halat haline getirilmemiş tellerin çekme mukavemetini arttırmak, çeliğin içeriğini yoğunlaştırmak bir başka ifade ile hava boşluklarını azaltmak veya çelik öz kullanmak bilinen en iyi yöntemlerdir. İkinci özellik, eğilip bükülebilme karakteristiğini (sünekliği) arttırmaktır. Bunun için daha fazla ve daha küçük çaplı teller kullanılarak halat haline getirilmemiş tellerin çekme mukavemetlerinin azaltılması veya lif öz kullanılması gerekmektedir. Üçüncü özellik ise, dayanım olup, daha az ve daha büyük çaplı teller kullanılarak fiziksel hasara direnç sağlanmalıdır. Bunun dışında bu özelliğin geliştirilmesi için çelik öz kullanımı ile dış hasara maruz kalan tellerin alanları arttırılmalıdır. Dış ortamlara maruz kalan teller kaplamalar sayesinde korozyona karşı dayanıklı hale getirilebilirler [2, 4].

1.2. Yüksek Mukavemetli Çelik Tel Halatlar

1.2.1. Yüksek mukavemetli çelik tel halatların yapısı

Tel halatların üretiminde öncelik, halat oluşturacak çelik telleri istenen boyutlarda (kesitlerde) soğuk çekme ve haddeleme işlemleriyle üretmektir. Sonrasında, farklı

çapta teller, istenen halat kompozisyonuna uygun olarak demet oluşturmak için demet örme makinelerinde üretilir. Bu demetlerde yine halat örme makinelerinde bir çelik tel halatı meydana getirmek üzere bitkisel veya çelik bir öz etrafına sarılmaktadırlar. Kullanılacak olan öz bir demet de olabilir. Halatı meydana getiren teller ve demetler değişik kompozisyonlarda örülerek kullanım alanına göre değişik halat çeşitleri meydana getirilebilir. Halat demetleri sarılış yönlerine ve demetleri oluşturan tellerin düzenlenme şekline göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu demetleri oluşturan teller ile halatı meydana getiren demetlerin sarım yönleri özel olarak tanımlanmış harflerle temsil edilmektedir. Demeti meydana getiren teller sağa sarılmış ise “z” ve teller sola sarılmış ise “s” harfleri ile ifade edilmektedir. Demetlerin sarılış yönü sağa doğru ise “Z” ve demet sarılışı sola doğru ise “S” harfleri ile ifade edilmektedir. Eğer halatları meydana getiren demetlerin sarılışı ile demeti meydana getiren tellerin sarılışı aynı yönde ise bu tür bir sarım düz bir sarımdır. Ancak farklı yönde ise bu sarıma sahip halat çapraz sarımlı halat olarak isimlendirilmektedir. Şekil 1.2’de çapraz sağ sarılı, çapraz sol sarılı, düz sağ sarılı ve düz sol sarılı halat örnekleri gösterilmiştir [2, 3, 10].

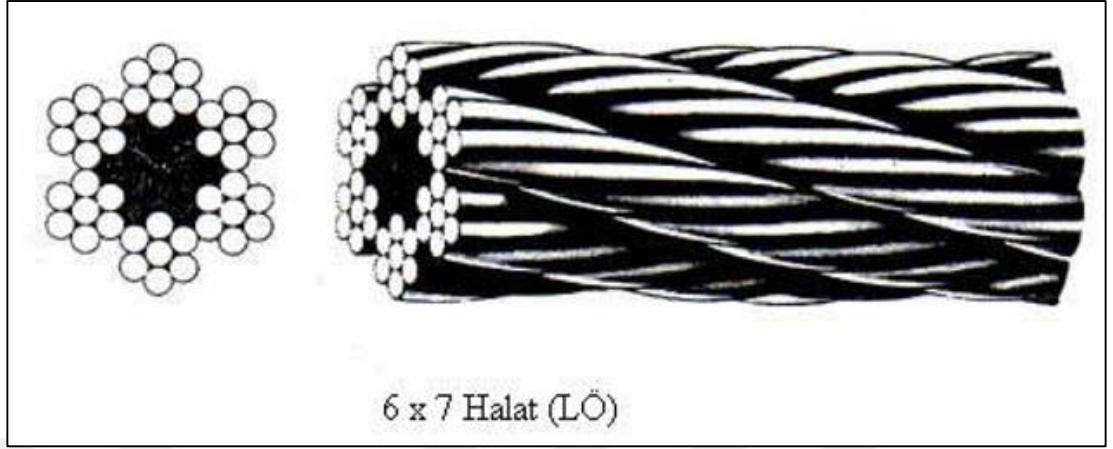


Şekil 1.2. Çeşitli halat sarımlarını gösteren şematik çizimler [10]

1.2.2. Yüksek mukavemetli çelik tel halatların çeşitleri

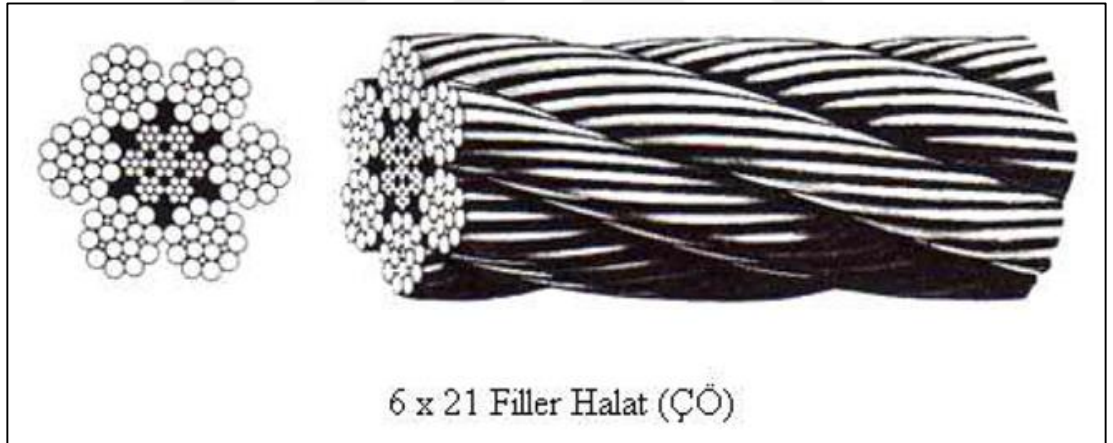
Halat özleri, demetleri ve ardından halatları oluşturmak için orta kısımda öz olarak isimlendirilen bir çekirdek olarak yer alır. İnce çelik tellerin öz etrafında bir veya daha fazla sıra halinde sarılmasıyla elde edilen halat elemanına da demet adı verilir. Halatlarda öz olarak ya bitkisel lifler ya da çelik teller kullanılır. Lif öz (LÖ) olarak kenevirler veya sentetik lifler (polyamid, polyeten, polypropilen vb.) kullanılır.

Sentetik lif öz kullanımı halinde halatın çalışma sıcaklığı 100 °C üzeri bir sıcaklıkta olmamalıdır. Lif özlü halatın şematik gösterimi Şekil 1.3'te verilmiştir [11].



Şekil 1.3. Lif özlü halatın en ve boy kesitini gösteren şematik çizimler [11]

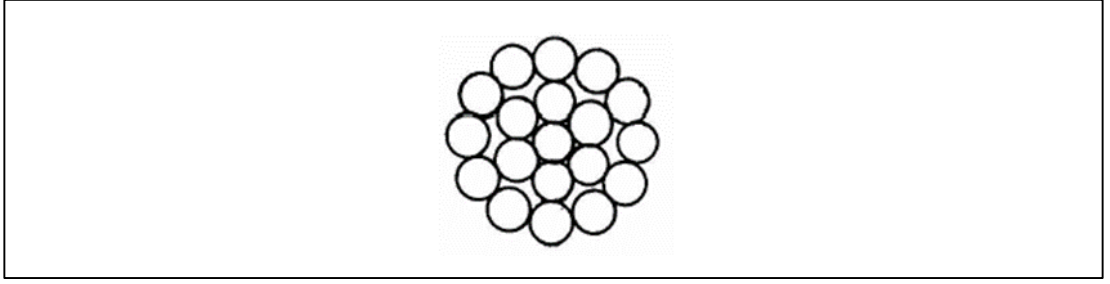
Halatın özü çelik esaslı da olabilir ve çelik öz (ÇÖ) içeren sarıma ait en ve boy kesit örnekleme Şekil 1.4'de verilmiştir [11].



Şekil 1.4. Çelik özlü halatın en ve boy kesitini gösteren şematik çizimler [11]

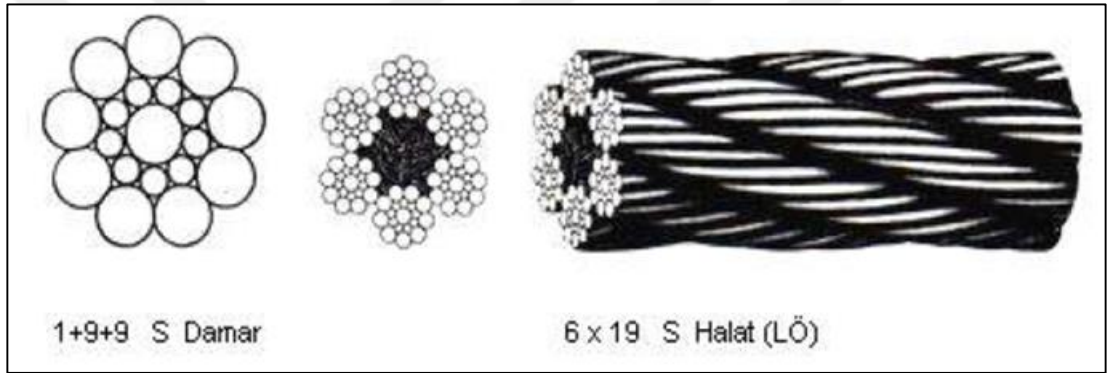
Halat demeti, bir öz etrafına birkaç kat halinde helisel olarak sarılmış, kesiti yuvarlak, üçgen veya oval biçimdeki çelik tellere verilmiş isimdir. Tellerin sarımı, sarılan telin adımı ve açısı demet telinin anlaşılması önemli birer etkidir [12].

Demetler örülüş şekillerine göre Standart, Seale, Filler, Warrington, Warrington-Seale, Seale-Filler olarak sınıflandırılabilir. Standart demeti oluşturan bütün tellerin çapları eşittir ve bütün kademelerdeki teller demet eksenine göre aynı sarım açısındadır. Şekil 1.5'te standart bir demet kesiti gösterilmiştir [12].



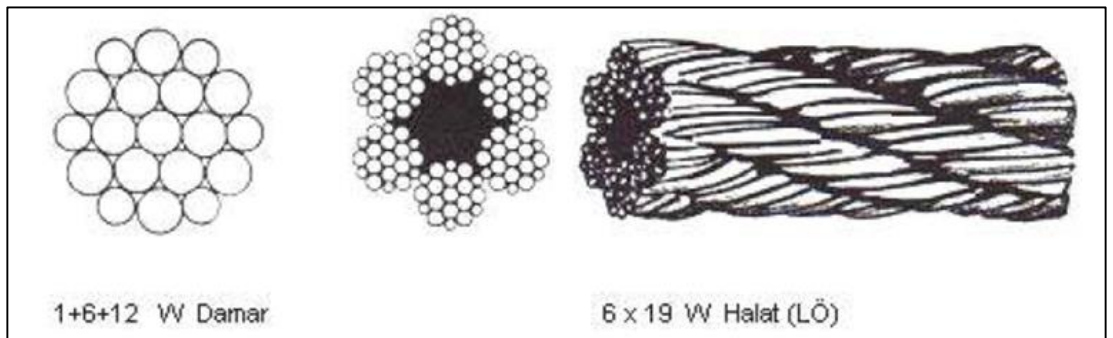
Şekil 1.5. Standart demete ait bir model [12]

Seale (S) demetler, birbirine birleşik iki dış katta eşit sayıda teli olan ve en dıştaki katın telleri ile altındaki katta bulunan tellerin arasına yerleştirilen, sarma adımı ile sarma yönü aynı olan demetler olarak tanımlenebilir. Şekil 1.6'da bir Seale demet kesitine ve lif özlü çelik tel içeren bir adet 6 x 19 S halat örneği verilmiştir [11].



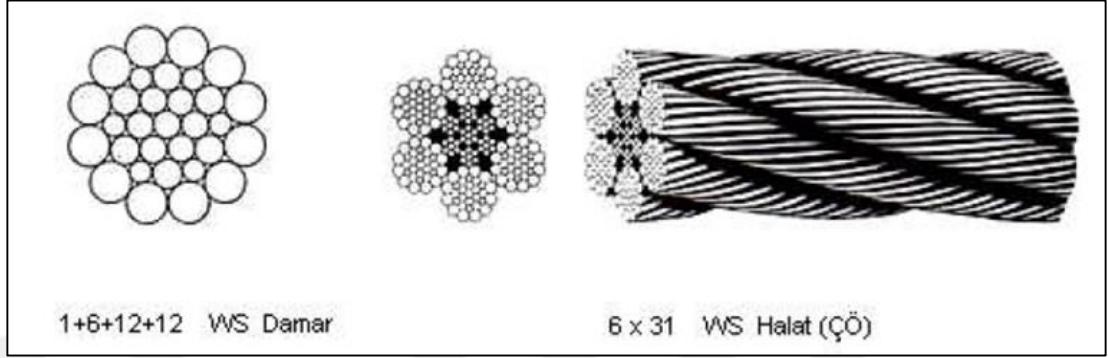
Şekil 1.6. Seale demetine ait kesit ve sarım modelleri [11]

Warrington (W) demetler dışta iki ayrı çapta ve bir tane atlayarak dizilmiş ve altındaki tel sayısının iki katı tel olan demetlerdir. Bu demetin dış kat telleri birbirine eşit sayıda iki farklı çaptaki telle örülmüştür. Şekil 1.7'de bir Warrington demet kesitine ve lif özlü çelik telli, yuvarlak demetli bir adet 6 x 19 W halat örneği şematik çizimler eşliğinde tanıtılmıştır [11].



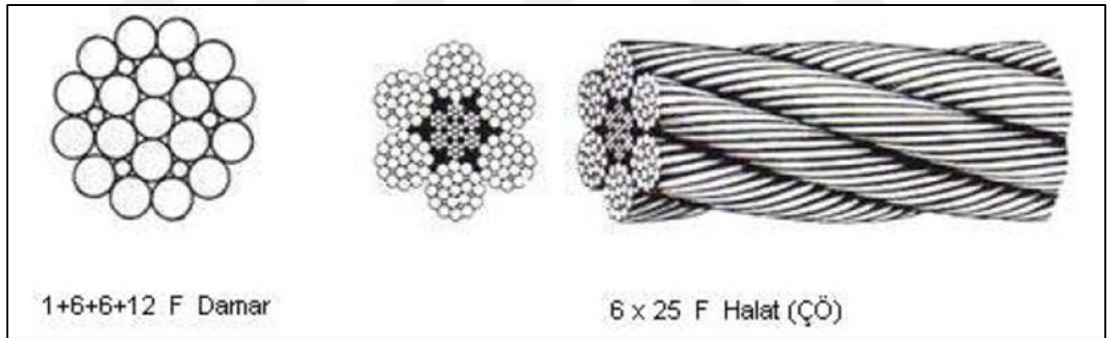
Şekil 1.7. Warrington demetine ait kesit ve sarım modelleri [11]

Warrington-Seale (WS) demeti ise birleşik bir demet yapısı olup, bu demet yapısını oluşturan dış kat telleri Seale, alt kat telleri ise Warrington dizilişine sahiptir. Tipik bir Warrington-Seale demetine ait kesit ve çelik özlü, çelik telli, yuvarlak demetli bir 6 x 31 WS halat örneği Şekil 1.8'de gösterilmiştir [11].



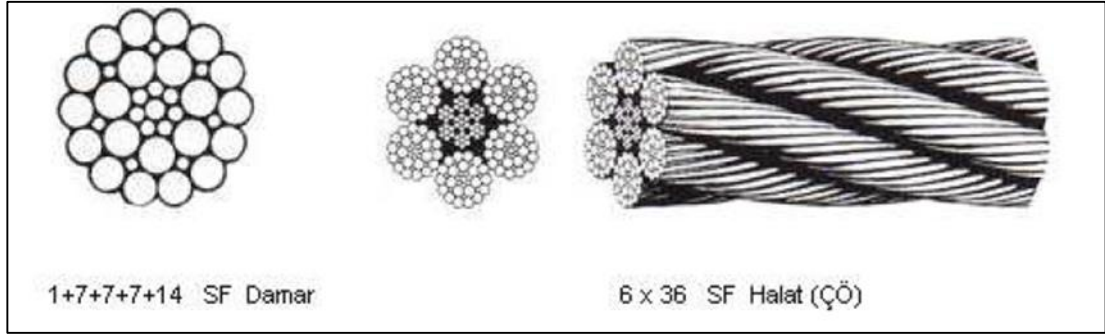
Şekil 1.8. Warrington-Seale demetine ait kesit ve sarım modelleri [11]

Filler (F) demetleri oluşturan dış kattaki tellerinin alt katında, dış kattaki tellerin yarısı sayıda tel bulunur. Şekil 1.9'da bir Filler demet kesiti ve çelik özlü, çelik telli, yuvarlak demetli bir 6 x 25 F halat örneği gösterilmiştir [11].



Şekil 1.9. Filler demetine ait kesit ve sarım modelleri [11]

Seale-Filler (SF) demetini oluşturan dış katmandaki teller Seale yani bir alt kat telleriyle aynı sayıda ve alt kat tellerinde ise dolgu telleri bulunan demetlerdir. Bir SF demet kesitini gösteren ve çelik özlü, çelik telli, yuvarlak demetli tipik bir 6 x 36 SF halat örneği Şekil 1.10'da verilmiştir [11].



Şekil 1.10. Seale-Filler demetine ait kesit ve sarım modelleri [11]

1.2.3. Yüksek mukavemetli çelik tel halatların kullanım alanları

Tel halatlar, kolay bükülebilmeleri ve yüksek dirençli olmalarından dolayı yük kaldırma ve taşıma, kuvvet iletimini sağlama bakımından birçok uygulamada avantaj sunan konstrüksiyonlardır. Bu halatlar, çekici ve taşıyıcı elemanı olarak madencilikte, petrol kuyularında, vinçlerde, ağır yüklerin taşınmasında, asansörlerde, tramvaylarda, denizcilikte, balıkçılıkta, ormancılıkta, gemi ve yatlarda, telesiyelerde ve genel mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir [2, 8].

Vinç sistemlerinde yaygın kullanımı olan halatların, yük için gerekli halat taşıma kapasitesine, yüksek aşınma, yorulma, korozyon ve dönmeye karşı gibi dirençlere sahip olması, kullanımda ana tercih sebeplerini oluşturmaktadır. Vinçlerin kullanım alanlarına göre ihtiyaç duyulan halat modeli de değişkenlik gösterebilmektedir. Serbest yükü kaldırma ve indirme işlemlerinin beklenildiği genel vinçlerde, 18 x 7 kompozisyonlu lif özlü dönmeyen halatlar tercih edilmektedir. Gemi veya kum vinçlerinde ise çoğunlukla kullanılan halat modeli ise lif özlü 6 x 36 WS'dir [3, 7, 8].

Telesiyelerde kullanılan halatlar söz konusu iken, halatlardan yüksek aşınma, yorulma ve korozyon dirençlerinin yanı sıra teknik emniyet katsayısı da beklenmektedir. Telesiyej halatlarında çoğunlukla 6 x 7, 6 x 19 Seale veya 6 x 36 WS kompozisyonları seçilmekte olup, bu kompozisyonlar esasen kendir veya polipropilen öz içeren ve tel ile halattaki demetlerin yönlerinin aynı olduğu düz halatlardır. Kullanım yerine ve özellikle müşteri isteklerine göre bu halatlar lif özlü, galvanizli veya siyah telli olarak da imal edilebilir. Halatların galvanizli olmaması halinde mutlaka bir yağlamaya gereksinim duyulur. Genel halat bakımları dışında telesiyej halatlarında yük dağılım hesaplamaları çok önemli olduğundan, yapılacak günlük kontroller de oldukça önemlidir. Kontrollerde çoğunlukla tel yüzeylerinde herhangi bir korozyonunun var olup olmadığı dikkate alınır. Telesiyelerde halatların geçtiği kısımların, kolaylıkla erişilebilen yerler olmamasından dolayı, yeni halat kullanım

öncesinde bu kısımların bakım ve kontrollerinin çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir [5, 6, 8].

Denizcilik ve balıkçılık halatları kullanım ortamları gereği korozyon koşullarında çalışmaktadır. Tuz atmosferinde çalışacak olan bu halatlarda, başta korozyon direnci olmak üzere yorulma direnci, yüksek yük taşıma kapasitesi ve kullanım kolaylığı gibi özellikler de istenmektedir. Denizcilik halatlarında çoğunlukla çelik veya polipropilen özlü 8 x 26 WS kompozisyonlu halatlar tercih edilirken, balıkçılık halatlarında 8 x 36 WS ile 6 x 7 ve 6 x 19 Seale kompozisyonlu halatlar tercih edilmektedir. Denizcilik ve balıkçılık halatları genellikle çapraz örümlü olup, galvanizli ve yağsız olarak üretilmektedir. Halat yağlamasında kullanılacak yağın korozyon ortamına uygun olması da gerekmektedir. Genelde halatlar, galvaniz kaplamaları yüksek, polipropilen özlü ve preformeli olup, minimum tel mukavemetleri 180 veya 200 kg/mm² olacak şekilde imal edilmektedirler [2, 5].

Madencilik halatları ağır hizmet amaçlı çalıştığından dolayı, kopma yükü, aşınma direnci, eğilme direnci, korozyon direnci gibi özellikler oldukça önemlidir. Genellikle demetteki tellerin aynı adımda olduğu paralel sarımlı ve çelik özlü kompozisyonlar tercih edilir. Tercih edilen kompozisyonlar, 6 x 19 Seale, 6 x 36 Warrington-Seale, 6 x 25 Filler ve 6 x 41 Warrington-Seale kompozisyonlu halatlardır. Halat tellerinin seçiminde halatı oluşturan tellerin sahip olduğu kopma mukavemet değerleri önemlidir. Yüksek mukavemetin istenmesi halinde bu değer, en az 180 kg/mm² seviyesinde olması istenir. Konstrüksiyonda bir miktar süneklik istenirse, mukavemet değeri en az 160 kg/mm² olarak belirlenir. Halatlar yağlı-kaplamasız veya galvanizli olarak imal edilebilir [2, 5, 8].

İnsan taşımak için kullanılan asansör halatlarında, yüksek aşınma ve yorulma dirençlerine ek olarak yüksek çarpma direnci de istenir. Bu tür bir kullanıma yönelik genelde Seale veya Filler kompozisyonlu aynı adımlı paralel sarımlı ve lif özlü halatlar tercih edilir. Bahsi geçen bu halatlar arasında 6 x 19 Seale, 6 x 25 Filler, 8 x 19 Seale veya 8 x 25 Filler kompozisyonlu halatlar sayılabilir. Bu halatlar yeteri esnekliğe sahip olup, dış tellerinin kalın olmasından dolayı da aşınma dirençleri oldukça yüksektir. İnsan taşımalarında kullanılan asansör halatlarında emniyet katsayısı en az 12 olacak şekilde halat seçilmesi tavsiye edilmektedir. Kullanılan teller için istenen kopma mukavemet değerleri en az 140 - 180 kg/mm² değer aralığında olmalıdır. Özel asansör halatlarında ise farklı mukavemet özelliklerinde teller kullanılabilir. Halatların

yağlanması, kullanım esnasında sık sık kontrol edilmesi ve kontrollerin kayıt altına alınması gerekmektedir [2, 5, 7, 8].

Görülebileceği üzere, birçok uygulama alanında kullanım yeri bulan farklı kompozisyonlu halatlar mevcut olabilmektedir. Tablo 1.2'de birçok halat grubu ve genel özellikleri bu bölümün bir özeti olarak listelenmiştir [1].

Tablo 1.2. Halat gruplarının ve genel özelliklerinin tanıtımı [1]

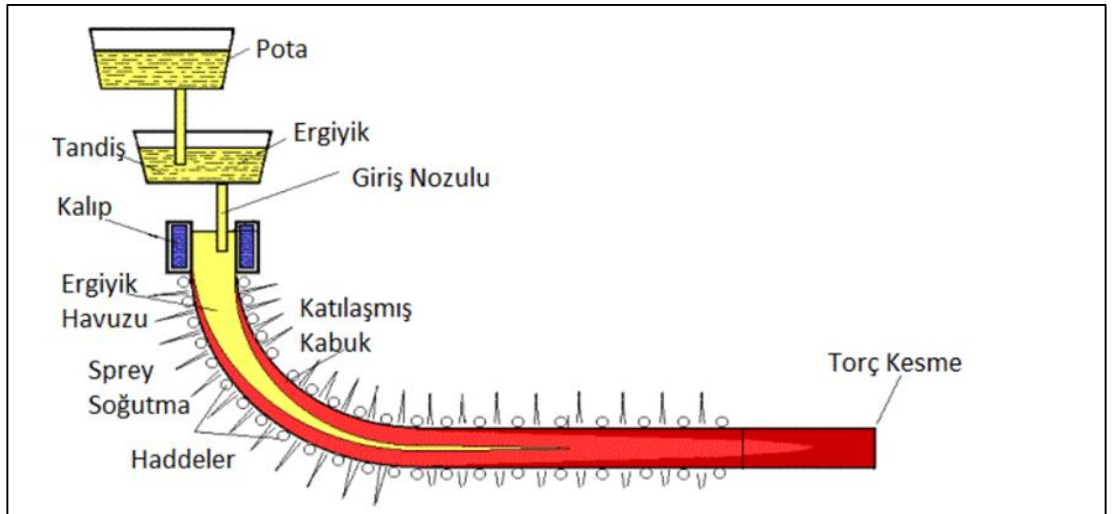
Halat grubu	Genel Özellikler
6 x 7	- Yüksek aşınma dirençli - Sert halat grubu üyesi - Büyük çaplı makaralarda tercihen kullanım
6 x 19	- Yüksek esneklik - Yüksek aşınma dirençli - Birçok uygulamada tercihen kullanım - 6 x 19 kompozisyonlu halatların alt grubundandır
6 x 25 F	- Dolgu telleri içerir - Dolgu telleri destek ve denge sağlar - Yüksek esneklikte ve aşınma dirençli - 6 x 19 kompozisyonlu halatların alt grubundandır
6 x 19 W	- 6 x 25 F kompozisyonuna göre düşük esneklikte - 6 x 21 F kompozisyonuna göre yüksek esneklikte - 6 x 19 kompozisyonlu halatların alt grubundandır
6 x 21 F	- W grubuna göre yüksek esneklikte ve yüksek aşınma dirençli - 6 x 19 S grubuna göre yüksek esneklikte ve düşük aşınma dirençli
6 x 26	- 6 x 19 kompozisyonuna benzer aşınma dirençli - 6 x 19 ile 6 x 37 grupları arasında bir esneklikte
6 x 19 S	- En çok bilinen S grubu - 6 x 21 S grubuna göre daha yüksek aşınma dirençli
6 x 21 S	- Yüksek esneklikte ve aşınma dirençli - Yüksek kopma mukavemetli ve ezilme dayanımlı
6 x 37	- Yüksek esneklikte - 6 x 19 grubuna göre daha düşük aşınma dirençli - Dönme eğilimleri düşük
19 x 7, 34 x 7	- 6 x 19 ve 6 x 37 kompozisyonlarına göre daha düşük yükleme kapasiteli

2. ÇELİK HALAT TELLERİN ÜRETİM PROSESİ VE METALURJİSİ

2.1. Filmaşın Üretimi

Ham madde olarak kullanılan filmaşının üretimi konvansiyonel ergitme işlemleri ile başlamaktadır. Filmaşın malzemesi olarak kullanılacak çelikte istenilen kimyasal bileşim ve kalite sağlandıktan sonra, ergiyik sürekli döküm prosesinin bir gereği olarak tandişe aktarılır. Tandiş içerisinde ergiyik halde bulunan çeliğe kompozisyonunu değiştirecek herhangi bir işlem uygulanmaz. Bilindiği üzere, sürekli döküm işleminin amacı ergiyik çeliğe soğutma işlemi uygulanarak eş zamanlı şekillendirmek ve kütük halini alması için yeniden haddelemeye gerek duyulmamasını sağlamaktır. Bu sayede maksimum iş ve enerji verimi sağlanır [11, 13].

Sürekli dökümde ergiyik, önce potadan tandişe aktarılır ve sonrasında su soğutmalı bakır kalıplara giren çelik katılaşmaya başlar. Soğuma ve çeliğin kalıplar içinden geçişi sırasında kalıplarda osilasyon (sallanma) hareketi uygulanmaktadır ve böylece homojen soğuma sağlanarak ani soğumadan kaynaklanabilecek çatlak oluşumları engellenir. Yolluklardan aşağıya doğru hareket halinde olan sıvı çelik katılaşmaya başlar ve hadde blokları sayesinde sürekli dökümdeki son boyutlarını alır. Ancak proses bu adımda bitmemektedir ve çelikler kesme torçları ile istenen uzunlukta kesilerek soğuması için role yoluna bırakılır. Bahsi geçen tüm bu proses adımları Şekil 2.1’de verilen şematik bir görsel ile de gösterilmiştir [12, 13].



Şekil 2.1. Filmaşın üretiminde de kullanılan sürekli döküm işlem adımlarını gösteren şematik bir görsel [13]

Sürekli döküm işleminde dikkat edilmesi gereken önemli bir unsur da tandişlerin değiştirilme sıklığıdır. Tandış değiştirilme sayısı azaldıkça, tandış duvarlarında bulunan refrakterler daha sık aşınabilmekte ve aşınma nedeni kopan parçacıklar çelik kompozisyonunda dış kaynaklı inklüzyonlar (kalıntılar) olarak yer alabilmektedir. Bilindiği üzere, çelik kompozisyonunda bu tür inklüzyonlar istenmeyen bileşenler olup, çeliğin mekanik özelliklerinin azalmasına neden olabilmektedir [11].

Sürekli döküm ile üretilen kütüklerin haddelenmesi ile filmaşın istenen kesite getirilmektedir. Sürekli döküm ile yarı mamul olarak üretilmiş olan kütükler, haddelene işlemleri ile 5,50 mm çapa indirgenmektedir. İstenen çapa getirme faaliyetleri de kendi içerisinde birçok işlem kademesi içerebilmektedir. Öncelikle çelik malzeme homojen östenit sıcaklığına (1200-1250 °C) ısıtılır. Daha sonrasında ısıtılan malzeme hadde tezgâhlarından geçirilir. Hadde tezgâhlarında farklı hadde kuvvetleri uygulanabilmekte ve çap azaldığından artan tel ilerleme hızına uygun olarak hadde merdaneleri farklı hızlarda dönmektedir. Tüm bunların dışında, son hadde merdanelerine doğru tele belirli aralıklarla şeklini bozmayacak şekilde hafif bir eğim verilmekte ve böylece tel kopmalarının önüne geçilmektedir. Monoblok hadde sistemine ulaşan ve istenen nihai çapa getirilen tellere basınçlı su kaplarından geçerken su verme işlemi uygulanır. Yaklaşık 100 m/s'lik bir hıza ulaşan tel halkalar şeklinde konveyöre boşaltılır ve fanlar yardımı ile soğutularak 5,50 mm'lik filmaşınlar elde edilir [10, 11, 14].

2.2. Öncül Tel Çekme İşlemi Öncesi Yüzey Hazırlama İşlemleri

Sıcak haddelenmiş filmaşınlarla soğuk çekmeden önce yüzey hazırlama işlemleri uygulanır. Yüzey hazırlamada ilk adım, sıcak haddeleme nedeni ile yüzeyde oluşabilen oksit tabakalarının giderimidir. Yüzeyde var olan bu oksit tabakası/tabakaları aşırı matris aşınmasına ve çekilen mamulde yüzey aşınmasına neden olabilmektedir. Bundan dolayı, tel çekme prosesleri öncesinde filmaşın yüzeyinin iyice temizlenmesi gerekmektedir. Bu yüzey temizleme işlemi, kimyasal veya mekanik işlemlerin uygulanması ile gerçekleştirilebilmektedir [10, 15].

Kimyasal temizleme yönteminde, esasen bir cüruf giderme işlemi olarak bilinen dekapaj işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde, filmaşınlar kimyasal banyolara daldırılmaktadır. Kimyasal banyoların bileşiminde belli oranlarda H₂SO₄, HCl ve su yer almaktadır. Banyolamada soğuk çekilecek filmaşınların yüzeyinde var olan oksit tabakasının/tabakalarının kırılarak dökülmesi sağlanmaktadır. Filmaşını banyoya

daldırma sırasında sülfürik asidin (H_2SO_4) malzemeye homojen olarak etki etmesi için çözeltide sürekli olarak belirli bir sirkülasyon sağlanmalıdır. Yüzeydeki oksit esaslı bileşenler eşdeğer kalınlıkta olmayabilir ve asitle homojen bir etkileşim olmamasından kaynaklı olarak bazı kısımlarda öncelikle oksitlerin uzaklaştırılması ve sonrasında dekapaj kırılması gerçekleşebilir. Bu durumda oksit tabakasının hemen altında ana malzeme ile de etkileşim olabilir ve asitin demir ile olan bu etkileşimi sonucu $FeSO_4$ esaslı nötr tuz yapısına ek olarak hidrojen gazı çıkışı da olabilir. Tüm bunların dışında, kimyasal temizleme sırasında malzeme yüzeyinde çukurcukların (oyukların) oluşumunu engellemek için azotlu hidrokarbon bileşiminde çeşitli inhibitörler de kullanılmaktadır. Siyah oksit tabakasından farklı olan ve kırmızı pas [$FeO_3 \cdot yH_2O$ veya $Fe_2O_3 \cdot 2Fe \cdot (OH)_3$] olarak da bilinen bu yapı asit ile olan etkileşim sürecinde ergiyerek $FeSO_4$ oluşturmaktadır ve bu yapının oluşumu ile ortamı nötrleştirilir. Bu durumda, asit konsantrasyonunda önemli bir azalma ve etkin bir asitleme işleminin gerçekleşmemesi söz konusu olur. Banyoda denge konsantrasyonunun sürekliliği için asit ilavesi kaçınılmaz olacaktır [15-17].

Kimyasal temizleme işlemlerinde asit konsantrasyonu, banyo sıcaklığı ve temizleme süresi takip edilmesi gereken parametrelerdir. Kullanılan asitin konsantrasyonu, çeliğin bileşimine göre seçilmelidir. Düşük karbonlu çeliklerde oksit tabakası daha yoğun bir yapıda olabilmekte ve bundan dolayı kimyasal temizleme daha yüksek bir asit konsantrasyonu içeren bir banyoda yapılmalıdır. Yüksek karbonlu çeliklerde ise düşük asit konsantrasyonunun kullanımı fayda sağlayacaktır. Banyo sıcaklığı, reaksiyonu etkilemekte olup, yüksek sıcaklıklar asidin malzemeyi aşındırmasına neden olur. Pratikte, temizleme süresi çeliğin bileşimine, yüzeydeki oksit tabakasının kalınlığına ve banyo sıcaklığına bağlı olarak seçilmelidir. Yüksek karbonlu patentlenmiş çeliklerde, oksit tabakası yoğun yapıda olmadığından dolayı temizleme süresi pratikte yaklaşık 10 dakikadır. Düşük karbonlu çeliklerde ise bu süre 30-35 dakika civarındadır [12, 18].

Asit banyosundan alınan filmaşınların yüzeyinde asit birikimi olabilmektedir. Biriken asitlerin yüzeyden giderimi için filmaşın kangalları basınçlı soğuk su jetleriyle yıkanmaktadır. Filmaşın kangallar, yüzeylerinde koyu bir oksit tabakası meydana gelene kadar havada bekletilir. Yüzeyde kalan asit artıklarının nötralize edilmesi ve yüzey paslanmalarına engel olmak için kangallar nihai olarak sıcak boraks veya fosfat banyosuna daldırılır. Fosfat banyosu, korozyona karşı koruyucu tabaka oluşturur ve bu banyonun sıcaklığı yaklaşık $80\text{ }^\circ\text{C}$ olmalıdır. Boraks banyosu maliyetli olmasına rağmen dayanıklı ve tutucu bir tabaka meydana getirmesi nedeniyle çoğu kez tercih

edilmektedir. Tüm bu işlemlerden sonra, filmaşinler tekrar su ile durulanmakta ve 100 °C gibi sıcaklığa sahip fırınlarda kurutulur. Kurutma ile asit banyosunda çeliğin yüzeyinde yayılmış olan hidrojen giderilmekte ve böylece hidrojen gevrekleşmesi olarak da bilinen hasarlanma süreci de önlenmiş olur [10, 14].

Günümüz dünyasında güçlendirilmiş çevre politikalarının bir sonucu olarak kimyasal temizleme süreçlerinden ziyade mekanik temizleme işlemlerinin uygulanmasına yönelik bir eğilim gelişmiştir. Mekanik temizlemede sıklıkla kullanılan iki esas yöntem vardır. Birinci yöntemde, tel fırça kullanılmakta ve mekanik olarak birbirine dik/paralel iki makara üzerinde kıvrılan telin yüzeyindeki oksit çatlatılmaktadır. Sonrasında metal fırçalar arasından telin geçirilmesi ile istenen temizleme işlemi gerçekleştirilir. İkinci yöntemde ise, yüzeye metal bilyaların püskürtülmesi ile tipik bir kumlama işleminden faydalanılır. Bu yöntem, en popüler yüzey temizleme yöntemidir ve kimyasal yöntemle kıyasla daha çevreci bir yöntemdir. Bu yöntemde, metal bilyalar malzeme yüzeyine çok yüksek hızlarda püskürtülür, yüksek hızlarla malzeme yüzeyine çarpan bilyalar oksit tabakasının kırılarak dökülmesine neden olur. Çarpmadan dolayı malzeme yüzeyinde oluşan pürüzlülükler, çekme yağının malzeme yüzeyine tutunmasını sağlayarak soğuk çekme işlemini daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı verebilmektedir [5, 10].

2.3. Isıl İşlem Prosesleri

Bilindiği üzere, soğuk tel çekme işlemi çoğunlukla oda sıcaklığında yapılan bir soğuk deformasyon işlemidir. Uygulanan soğuk çekme işlemi sonrasında malzemenin çekme ve akma mukavemetlerinde önemli bir artış ve beklenildiği üzere sünekliliğinde bir miktar azalma meydana gelir. Yapılan soğuk işlem ile esasen çekme eksenine paralel yönde kristalografik ve mekanik yönelme meydana gelerek malzeme anizotropik bir davranış göstermesine neden olacaktır. Malzemenin türüne ve deformasyon oranına bağlı olarak soğuk çekme işlemi öncesinde prosesi kolaylaştırmak amacı ile öncül ısıl işlemler yapılabilmektedir. Düşük ve orta karbonlu çelikler için uygulanan bu ısıl işlemler arasında normalizasyon ve yumuşatma tavlamaları iyi bilinen işlemlerdendir. Ağırlıkça % 0,4 karbon miktarından daha yüksek karbon içeren yüksek karbonlu çeliklerde ise yapılan işlem patentleme ısıl işlemi olarak bilinmektedir. Patentleme işleminde, çelik teller öncelikle 950-1050 °C arası bir sıcaklığa ısıtılmakta ve böylece östenitleştirme gerçekleştirilerek çelik yapısında homojen östenit yapısına ulaşılır. Östenitleştirmenin yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmesi halinde kaba tane boyutuna sahip östenitler oluşturulmakta ve

sonrasında çelik teller ergimiş kum veya kurşun banyosuna daldırılarak hızlı bir şekilde soğutulmaktadır. Böylece, önöktoid ferrit oluşumu bastırılarak östenitten ince perlitik dönüşüm gerçekleştirilir [19-22].

Patentleme ısısal işlemi, yalnızca tel endüstrisinde kullanılan ve özellikle çok kademeli soğuk tel çekme proseslerini gerektiren bir işlemdir. Yüksek karbonlu çelik filmaşinler fırınlama ile A_3 sıcaklığının üstüne (yaklaşık 920 °C) bir sıcaklığa tavlanylabilir, sonrasında 490–510 °C sıcaklıktaki kum banyosuna daldırılması ile dönüşüme uğrattırılır. Böylelikle perlitik bir yapı elde edilerek malzemenin yüksek sünekliğe ve mukavemete sahip olması sağlanır. Çok kademeli tel çekme işlemlerinde malzemenin pekleşmesinden dolayı ara tavlama yapmak gerekebilir. Ara tavlama, atmosfer kontrollü bir ortamda ve yeniden kristallenme sıcaklığının üzerinde yapılır. Patentlenmiş çeliklerde, %75-80' e kadar kesit indirgenmesine ulaşılabilir. Bu orandan daha yüksek miktarlarda istenen kesit indirgenmesine ancak ikinci patentleme ısısal işlemi ile ulaşılabilir [22].

Patentleme ısısal işlemi ötektoid üstü kompozisyona sahip çeliklerde istenen faz dönüşümlerini sağlamak için kullanılan en etkili yöntemdir. Bu yöntemde, östenitleştirme sıcaklığı kadar kurşun veya kum banyosunun sıcaklık değerlerinin yanı sıra işlem süreleri de proses verimliliğini doğrudan belirlemektedir. Malzemenin boyutu (kesiti) ve kalitesi de göz önüne alınması gerekli önemli bileşenlerdir. Patentleme ısısal işlemi ile yüksek aşınma dirençli, yüksek mukavemetli ve yeterli süneklikte tok ötektoid üstü kompozisyonlu çelik teller üretilir [17, 23].

Ötektoid üstü çelik tellerin bahsi geçen işlemler sonrası mukavemet değerleri 5 GPa'nın üzerinde olabilmektedir. Bu işlemler ile köprülerde kullanılacak 1250-1800 MPa arasında bir dayanım değerinde istenen teller üretilebilmektedir. Lastik kordlarında için kullanılan teller de yine bu yöntemler ile 2750-4500 MPa arasında dayanıma sahip malzemeler olarak üretilebilir [9].

Östenitleştirilmiş ve sıcak formda bulunan filmaşinlerin suya daldırılması halinde kum yatağında sıcaklık artışının önüne geçebilmek için çoğunlukla banyoda bulunan kum kütlesi yüksek tutulur. Sıcak haddelenmiş çelik tel çubuklar, tozlar, yüzey kusurları ve dekarbürize tabakayı gidermek için merkezsiz değirmen üzerinde taşlanır. Bobin daha sonra öğütme esnasında oluşan gerilmeleri gidermek için tavlanylabilir ve ortam sıcaklığına kadar havada soğumaya bırakılır. Bobin daha sonra yerleştirilir. Fırın, yüksek sıcaklığa dayanıklı olup içerisinden filmaşinin geçirildiği dikişsiz boru formundadır. Fırın esasen altı ısıtma bölgesinden oluşur. Kum banyosu, oksidasyonu

azaltmak ve duman oluşumunu kısıtlamak ve ayrıca ısı kaybını sınırlandırmak için kömür külü ile kaplanmıştır [24, 25].

Östenitleştirme sıcaklığına ısıtılan tel, kum banyosuna daldırılarak istenilen dönüşüm sıcaklığına soğutulur. Bu izotermal soğutma ve dönüşüm sonrası tel oda sıcaklığına soğutulur ve arzu edilen çapa çekilir. Isıl işlemin amacı, en düşük lamellararası mesafeye sahip ince perlitin eldesini sağlamaktır. Östenitleştirme sıcaklığının yüksek olması kaba taneli östenitleri meydana getirebilir. Tanenin daha büyük olması durumunda, patentlenmiş filmaşın daha düşük çekme dayanımına neden olabilmektedir. Diğer taraftan, kaba tane yapısı nedeni ile matriks içerisinde daha az tane sınırına ulaşılabilecektir. Bu sınırlarda oluşabilecek ağsı sementit yapısı da malzemenin mekanik özelliklerine etki edecektir. Tane sınırındaki sementit ağının varlığı nedeniyle burulma testinde de başarısızlık meydana gelecektir. Bu durumu gidermek için düşük sıcaklıkta östenitleştirme veya daha kısa sürede östenitleştirme bir alternatif olabilir. Ancak homojen östenit yapısının elde edilmemesi de önemli bir problemdir. Bundan dolayı, çoğu filmaşın kompozisyonu için 950 °C gibi bir sıcaklık optimum sonuçlar verebilmektedir [24].

Östenitten perlite dönüşüm kum banyosunda gerçekleştirilir. Dönüşüm sıcaklığı, patentlenmiş tellerin mekanik özellikleri üzerinde en çok etkiye sahip olan unsurdur. Kum banyosunun sıcaklığı patentli filmaşınların çekme dayanımını doğrudan etkiler. Düşük dönüşüm sıcaklığında, karbonun difüzyonu azalır, ancak soğuma altında dönüşüm için gerekli çekirdekleşme koşulları ivmelendirilir. Yüksek sıcaklıkta dönüşüm koşullarında, karbonun hızlı difüzyonuna da bağlı olarak kaba perlitin oluşumu kaçınılmazdır. Bu yüzden, optimum banyo sıcaklığını belirlerken östenitin ince perlite dönüşmesini sağlayan en yüksek sıcaklık değeri seçilmelidir [16].

2.4. Tel Çekme Prosesleri

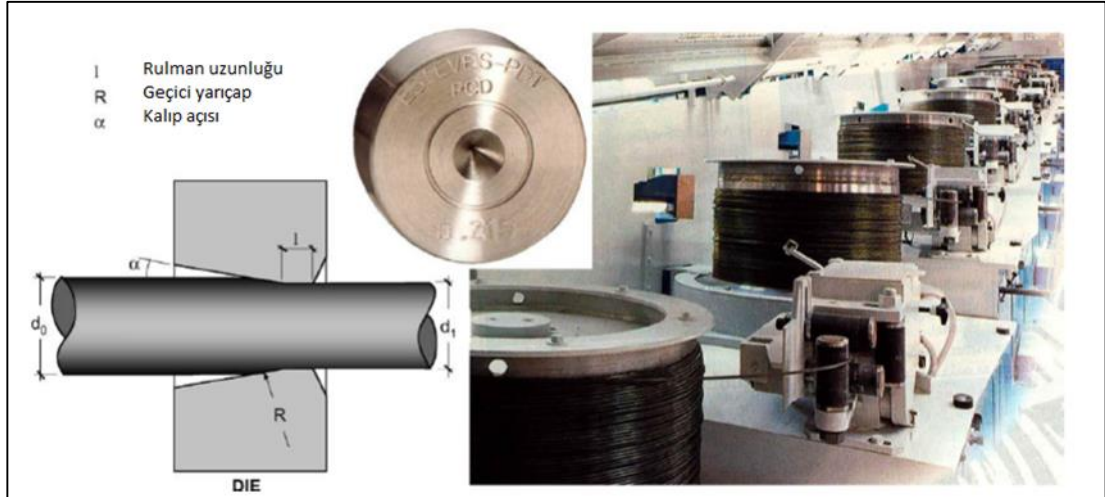
Tel çekme işlemi, bir telin kesit alanını tekli/çoklu kademedeki belirli kesit çaplarına sahip çekme kalıplarından geçirerek istenilen boyuta indirgemeye yönelik bir işlemdir (Şekil 2.2). Tel çekme işlemi genellikle oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinden bir soğuk işlem olarak da değerlendirilir. Kalın kesitli tellerde işlem kolaylığı açısından oda sıcaklığına kıyasla yükseltilmiş sıcaklıklar seçilebilir. Soğuk tel çekme yönteminde, malzemeler matris olarak adlandırılan kalıplar içerisinden geçirilerek kesitleri daraltılarak biçimlendirilir. Bu plastik şekil değişimini gerçekleştirmek için parçaya doğrusal bir çekme kuvveti uygulanır. Ancak bu

olması ve bunun yanında sıcaklıktan dolayı tel yüzeylerinde istenmeyen tufal tabakalarının oluşmasıdır. Ayrıca sıcak şekillendirme ile malzemenin mukavemeti büyük ölçüde düşeceğinden ince kesitli tel kolayca koparak hasarlanabilir. Tüm bu nedenlerden dolayı hassas ölçü, iyi yüzey, iyi mukavemet özelliklerine ancak soğuk şekillendirme olan tel çekme ile ulaşılabilmektedir. Tel çekme işlemi, Şekil 2.3'te verilen çapları 5,50 – 24,00 mm arasında değişebilen sıcak haddelenmiş filmaşın tellerden başlatılmaktadır. Filmaşın kangallarının yüzeylerinin matrise zarar vermemesi ve yüksek yüzey pürüzlüklerinin oluşmaması için kimyasal (asitleme) veya mekanik işlemlerle soyularak curuftan arındırılmış olması gerekmektedir [8].



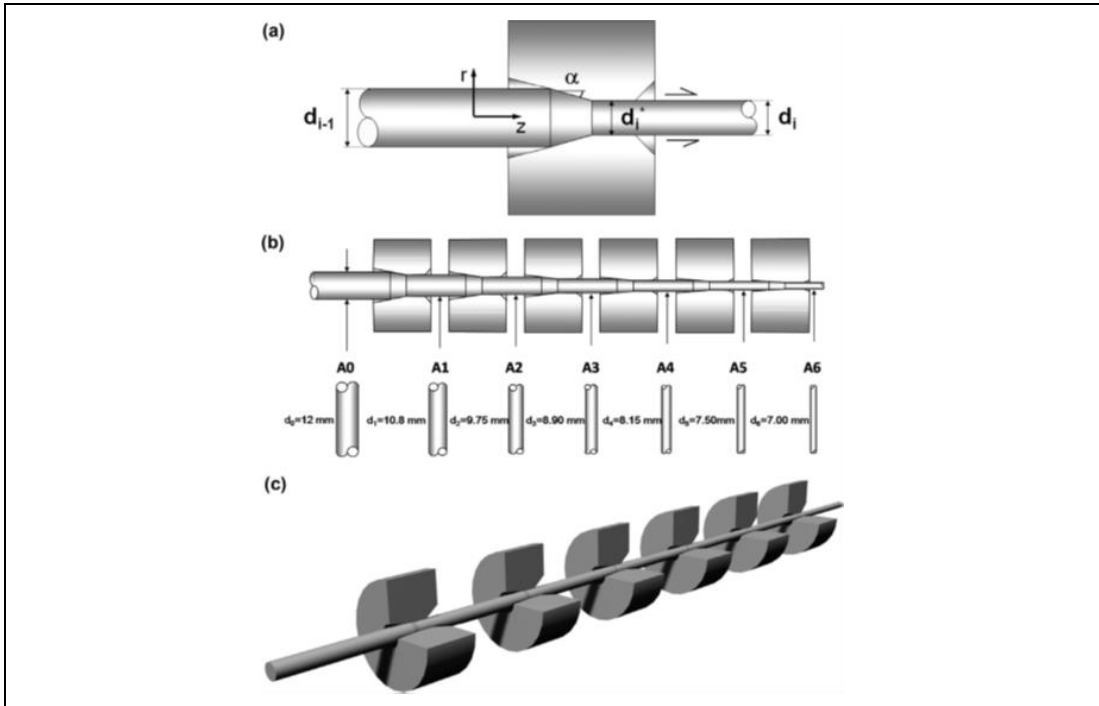
Şekil 2.3. Tel çekme işleminde kullanılan hammaddeleri gösteren bir makro görsel [8]

Tel çekme işlemi için, çekme makinesi, tel, yağlayıcı ve matris gereklidir (Şekil 2.4). Kullanılan yağlayıcının tipine göre; su veya sıvı yağ kullanılırsa ıslak (sulu tel çekme), kuru tip yağlayıcılar kullanılırsa kuru tel çekme olarak adlandırılır [8].

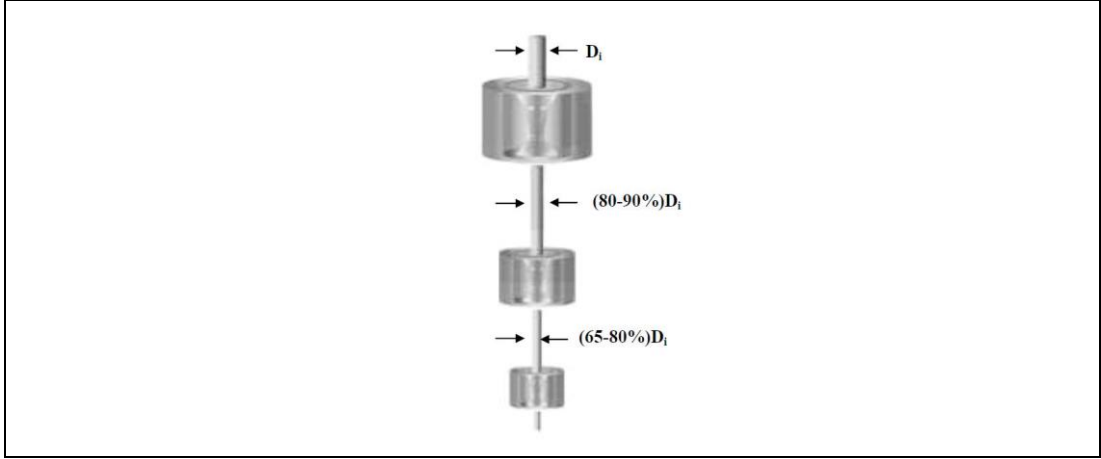


Şekil 2.4. Tel çekme üretim sürecini gösteren bir görsel [8].

Tellerin istenilen çapa getirilmesi için sürekli olarak ardışık matrislerden geçirilmesi gerekmektedir (Şekil 2.5). Her bir matrisin ve ardışık matrislerin çapları malzemenin giriş çapından küçük olmalı ve telin kesiti her bir matristen geçtikçe küçülmelidir (Şekil 2.6). Tel çekme işlemi, atıksız bir işlemdir ve bu yüzden telin kesiti azalırken telin boyu uzamaktadır. Çekilmiş malzemeye ve yağlama koşullarına bağlı olarak mekanik özelliklerde farklılıklara rastlanmaktadır. Metale uygulanan indirgenmeye bağlı olarak ara tavlamalara ihtiyaç duyulmaktadır [8, 19].



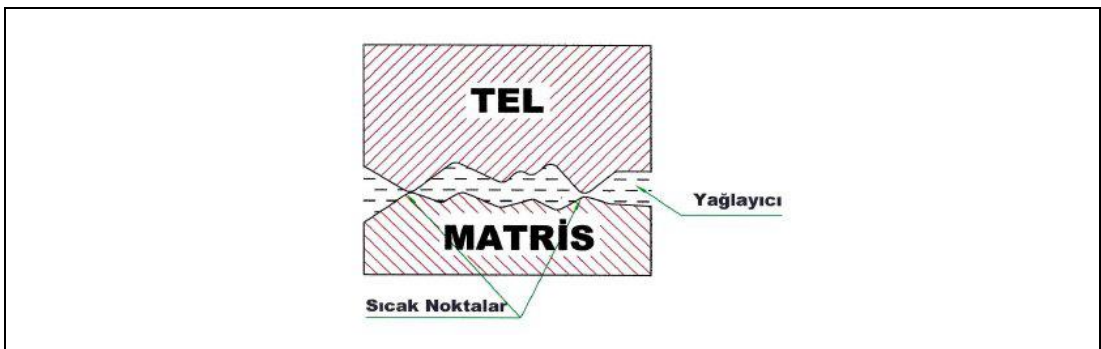
Şekil 2.5. Tel üretimine yönelik soğuk çekme işlemlerinin şematik gösterimi; (a) çelik tellerin kalıp içerisinden soğuk geçişi, (b) çok pasolu soğuk çekme, (c) tüm imalat zinciri [19].



Şekil 2.6. Ardışık kalıplarla tel çapının azaltılmasını gösteren şematik bir çizim [8].

Tel çekme işleminin başarılı şekilde gerçekleşmesi için tel yüzeyinin belirli bir seviyede kaygan olması istenir. Geçmişten günümüze yağlayıcı olarak hayvan yağları, demir oksitler, grafit, zift vb. karbon içerikli malzemeler kullanılmıştır. Fakat günümüzde bu yağlayıcıların kullanımı olmamakla birlikte özel olarak üretilen toz sabun veya sabun bileşikleri kullanılmaktadır [7].

Yağlayıcı olarak kullanılan sabun ve bileşikleri, hadde ile tel arasında ki sürtünmeyi azaltmakta ve aynı zamanda teli korozyona karşı korumaktadır. Çekme işlemi sürecinde sabun yüzeye nüfuz ederek matrise tel aracılığıyla taşınmaktadır. Çekme işlemi sırasında meydana gelen ısı ve basıncın etkisiyle sabun, telin dış yüzeyine sıvanarak ince plastik bir film tabakası oluşturmaktadır. Bu tabaka, metalin matrisle temas etmesini engellediği gibi sürtünmeyi azaltmakta ve çekilebilirlik verimini artırmaktadır. Şekil 2.7’de telin haddeden geçirildiği sürece ait şematik bir görüntü verilmiş olup, bu görselden de görüleceği üzere iki yüzey arasındaki bütün yükü temas noktaları taşımakta ve bu noktalar zaman zaman tel yüzeyinde çizmeler meydana getirebilmektedir. Sabun ve bileşiklerinin kullanımı ile her iki yüzey birbirinden ayrılabilen ve sürtünmeye neden olacak temas seviyesi azaltılmaktadır [8].



Şekil 2.7. Telin haddeden geçişi sırasında iki yüzey arasındaki ilişki [8]

Tel çekme işlemlerinde kullanılan sabunların temel karakteristik özelliklerinden biri de çalışma koşullarında oluşan ısı nedeni ile yüksek viskozitede sıvılaşmasıdır. Tel çekme ile oluşan ısının önemli bir kısmı (~ % 95) sürtünme ve oldukça küçük bir kısmı (~ % 5) deformasyon nedenlidir. Matris üzerinde oluşan ısı, hem malzeme özelliğine hem de matris geometrisine bağlı olarak değişkenlik de gösterebilmektedir. Bahsi geçen ısı oluşumu ile ulaşılan sıcaklık değerine malzemenin cinsi, redüksiyon oranı (%), yüzey hazırlama, matris açısı, sürtünme ve tel çekme hızı gibi faktörler de etkendir.

Kimyasal olarak değerlendirecek olursak, sabun bir yağ asidinin alkali ile reaksiyona girmesi sonucu elde edilir. Sıvı halinde yağlar ve sabunlar sıcaklık ile inceltilmekte ve uygulanan basınç ile kalınlaştırılabilmektedir. Yağlara ve özellikle mineral yağlara kıyasla sabunlar, basınç altında daha az kalınlaşmaktadır. Uzun zincir molekülleri içeren sabunlarda, moleküllerin kendiliğinden metal yüzeyine yönelip metal atomlarına bağlandıkları tespit edilmiştir. Endüstriyel pratiklikte kullanılan sabunlar, tel çekme sırasında haddede meydana gelen yüksek basınca, sıcaklığa ve kayma gerilimine dayanabilecek özellikte olmalıdır. Polar veya oldukça etkin yağlayıcıların kullanılması halinde, tel çekme işleminde olduğu gibi birçok metalin yüzey kesit indirilmesi uniform olabilmektedir. Ancak, yağlayıcıların tel yüzeyine iyi yapışmaması halinde tel yüzeyi deforme olabilmektedir. Tel çekme işleminde kullanılan yağlayıcıların polaritesi ve kimyasal reaktivitesi, yağ üreticileri tarafından yağ bileşimleri ve sabun tipi veya katkı maddeleri katılarak kontrol edilebilir. Geçmişten günümüze kükürt, bu tür bir yaklaşım için sıklıkla kullanılır. Reaktif kimyasallar, spesifik tel bitirme işlemleri veya ara ısıl işlem şartlarını engelleyebileceği için uygulamalarda kontrollü olarak kullanılmalıdır [8, 9].

Sabunun bileşimi, hem yumuşaklık seviyesini hem de ergime noktasını belirlemektedir. Sıvılaştırma için ergime noktasının referans alınması her zaman doğru bir yaklaşım değildir. Çünkü birçok sabun bileşimi için katı halden sıvı hale keskin bir geçişi gösteren değer olmayabilir. Sabun oranının yüksek ve kireç oranının düşük olduğu bir bileşimde yumuşamanın oluşması düşük sıcaklıklarda olabilir. Tel çekme işleminde, sabun tozunun çok kuru veya yağsız olması işlemi başarısız kılabilir. Yüzeyin tam olarak kaplanamaması ve yağlamanın tam anlamıyla gerçekleşmemesi bu tür bir problemin ana kaynaklarıdır. Tel çekme işleminde sabunun işlevselliğini etkileyen birçok faktör vardır. Bu işlevselliği belirleyen kavram sabunun yağ içeriğidir ve yağ içeriği ne kadar fonksiyonel ise kullanılan sabunda çekme işlemi o kadar katkı sağlayacaktır. Yüksek ergime noktasına sahip

kimyasalların kullanımı sıcaklık aralığını arttırabilmekte ve böylece istenen yumuşama sağlanabilmektedir. Yağların cinsine göre kuru çekme sabunlarının yumuşama sıcaklığı 40-60 °C arasında değişmektedir. Yağlayıcılık karakteristiğinin baskın olması sabunu yumuşatacaktır ve sabun kutusu içinde topaklanma gerçekleşecektir. Bu durum, telin yüzey parlaklığında bir azalmaya ve tel yüzeyinde tamamen kaplamamanın da olmamasının bir sonucu olarak telde kopmaya neden olur. Ayrıca sabundaki yağ miktarı arttıkça, çekme işlemi sonrasında sabun üzerinde daha ince bir sabun tabakası kalır. Genel olarak tel çekme sırasında meydana gelen ısının etkilerini telafi edebilmek için yağ miktarı artırılır. Dolayısıyla, yüksek karbonlu çeliğin çekilmesinde düşük karbonlu çeliklere kıyasla yağ miktarı daha fazla olan sabunlar kullanılır [8, 9].

Tel çekme işlemlerinde kullanılan sabunlar kuru ve yağ olarak ayrılmaktadır. Yüksek çaplı tellerin çekilmesinde kuru sabun çoğunlukla tercih edilir. Küçük çaplı teller (yaklaşık 1,5 mm altı) ise sulu çekme çözeltileri içerisinde çekilmektedirler ve içeriğindeki kostik miktarı normal sabunlara göre biraz daha fazla olabilmektedir [23].

Kuru tel çekme sabunlarının bileşimlerinde yağ asitleri, alkali metaller (Na, Ca, Al, Zn), dolgu ve katkı maddeleri bulunmaktadır. Kuru tel çekme yağlayıcılarının karakteristikleri belirleyen unsurların başında su içinde ergiyebilirliği, ergime noktası, yağ film tabakası kalınlığı ve tane dağılım büyüklüğü gelmektedir. Suda çözünürlük temiz tel üretmek için çok önemlidir. Sodyum sitearatlar genellikle % 100 suda çözünürler. Tek ve kalsiyumla birlikte kombine edilerek temiz ürün eldesi için kullanılırlar. Diğer sitearatlar çözünmezler ve yağ giderici madde ile tel yüzeyinden alınabilirler. Sodyum sitearatlar kalsiyum sitearatlarla birlikte kullanıldığında yağ filminin çözünürlük derecesini kontrol etmek mümkündür. Matris ömrünü uzatmak ve çiziklerden korumak için yağ asitleri ve kuru tip yağlayıcıların ergime noktası (110-250 °C) önemlidir. Son teknolojik makineler çok hızlı olması sebebiyle ergime noktası kuru tip yağlayıcılar için kritik rol oynamaktadır [26].

Yağlayıcı film kalınlığı üzerine yağlayıcı karışımının, yağ sıcaklığının, yağlayıcı tipinin ve matris basıncının önemli etkileri olup, bu kalınlık çelik tellerde 0,5-10 µm arasındadır. Yağın inceliği teldeki son işlem basamağında bir avantaj sağlamaktadır. Kalın film tabakası, uniform yüzeyin istendiği ve kaplama yapılmayacak yüksek hızlı mekanik tel çekmelerinde önemlidir. İnce film tabakası, çoğunlukla çekme işlemi takiben bir kaplama ve bir kaynak işlemine gerek duyulacaksa tercih edilir. Yağlayıcılarda parçacık boyutları değişken olabilmektedir. Yağlayıcıdan beklenen

performans seviyesini etkileyecek olan bu parçacıkların boyutu ve dağılımı tel ölçüsüne göre belirlenmektedir.

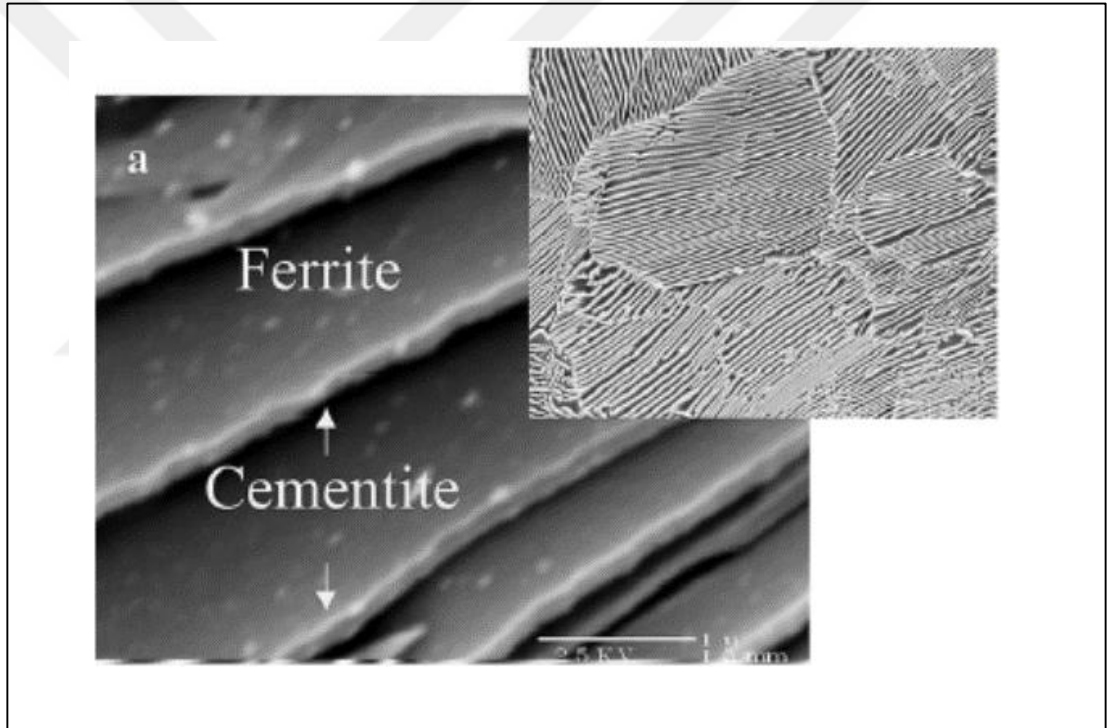
Yağlayıcı içerisinde yer alan parçacıkların boyutlarını basit bir şekilde ince, orta, büyük olarak gruplamak mümkündür. Boyut seçiminde tel özelliği, yapısı ve çekme hızı dikkate alınmalıdır. Yağlayıcı seçiminde çekilecek telin bileşimi dikkate alınacak ilk unsurdur. Benzer koşullarda işlemlenen yüksek karbonlu teller orta karbonlu tellere göre daha çok çekme yüksek ısı meydana getirir. Eğer bu dikkate alınan tek unsur ise yüksek karbonlu tellerinin çekilmesinde daha yüksek ergime noktalı yağlayıcılar tercih edilmelidir. Belirli bir indirgenme oranı için belli bir hızdaki toplam deformasyon ısı tel çapının karesiyle doğru orantılıdır. Çevresel yüzey tel çapına doğrusal orantılı olarak artar. Bu şartlar altında belli bir hız için daha kaba tellerin sıcaklığı daha yüksek olacaktır. Bu tipteki kaba tellerin çekilmesinde daha az yağlı yağlayıcılar kullanılmalıdır.

Sulu tel çekme amaçlı kullanılan yağlayıcılar genellikle solüsyon haldedir. Yaş çekme yağlayıcıları ise matris içinden geçerken yağlamaya imkan sağlamaktadır. Bu yağlayıcıları üç ana başlıkta değerlendirme mümkündür. Bunlardan birincisi suda çözünebilen yağlar, ikincisi çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlar ve üçüncüsü saf yağlardır. Suda çözünebilen yağlayıcılar sıvı haldedir ve su içinde çok iyi çözünürler. Bu ürünler su içinde çok iyi parçacık halinde yayınır ve genellikle çekilen tel yüzeyinde yüksek yüzey kalitesi elde edilmektedir. Çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlayıcılar karmaşık bileşiklerdir ve su formunda bileşenleri sabit dağılım (emülsiyon) gösterir. Bu form, su yüzeyindeki küçük damlacıklar halinde bulunabilen yağ formundadır. Bu emülsiyon genellikle yüksek derecede yağlama imkanı sağlamaktadır. Saf yağlar, konsantre yağlardır ve suya karışmazlar. Saf yağlayıcılar genellikle yüksek oranda katkı içerirler. Bunlar yüksek derecede yağlamaya katkı sağlar ve su içindeki yağın yeterli olmadığı ürünlerde kullanılmaktadır [8, 9].

2.5. Yüksek Mukavemetli Çelik Tellerin Fiziksel Metalurjisi

Sahip oldukları yüksek mukavemet ve yeterli süneklilikleri nedeni ile soğuk çekilmiş perlitik çelik teller birçok uygulamada tercih edilen bir malzemelerdir. Bilindiği üzere, perlit yapısı ferrit (α) ve sementit (Fe_3C) gibi farklı iki karakteristiğe sahip bileşeni içermektedir (Şekil 2.8). Yapıda bulunan ferrit yumuşak bir yapıdır ve dislokasyon hareketi ile birlikte plastik olarak yüksek oranda deforme olabilir. Sementit ise oldukça sert ve kırılğan bir bileşendir. Sementit fazı her ne kadar perlit fazının toplam hacminin

yaklaşık dokuzda birini temsil etse de, yapıda bulunması soğuk çekilmiş tellerin mekaniksel olarak dayanımı ve sünekliliği için kritik öneme sahiptir. Soğuk çekilmiş perlitte sementitin varlığının sünekliliğe olan etkisi bir takım belirsizlikleri de taşımaktadır. Perlitik yapıda bulunan sementitin bu elastik olmayan deformasyonu için iki farklı mekanizmaya öne sürülmüştür. Bunlardan birincisi, dislokasyon mekanizmaları ile açıklanmakta olup, düşük gerilmeli perlitteki deformasyon oranı dislokasyon hareketini belirleyecektir. Deformasyon ile birlikte sementit farklı yönelimli parçacıklarına bölünebilir ve süneklilik gelişimine böylece katkı verir. İkinci mekanizma ise matriks içerisine gömülü bir partikül olarak değerlendirilen sementitin bir partikül gibi dönme eğilimine dayandırılır. Bu durumda yeniden plastik deformasyon mekanizması devreye girer ve süneklilik artışı sağlanır [23-31].



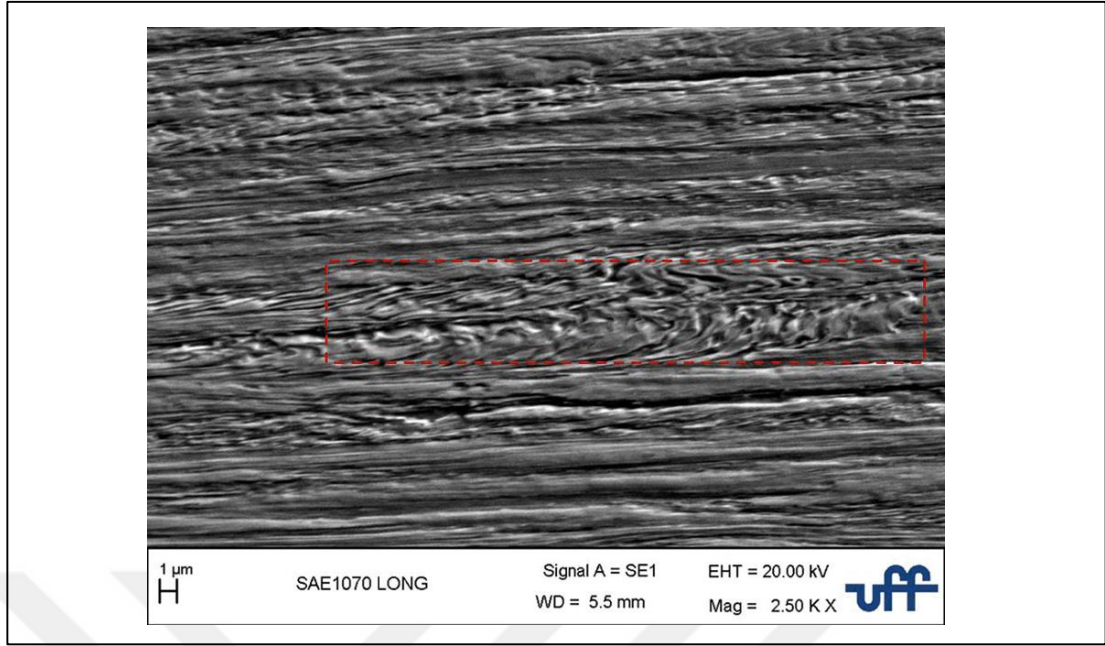
Şekil 2.8. Ferrit ve sementit lamellar yapısını içeren tipik bir perlit [31]

Konvansiyonel ısıt işlemler ile perlit yapısı barındıran çelikler her ne kadar yüksek mukavemet çelik sınıfının bir üyesi olarak talep görmese de, soğuk işlem görmesi bu malzemeyi yüksek mukavemetli sınıfın bir parçası olmasına katkı sağlayacaktır. Soğuk işlem öncesinde östenitten düşük bir sıcaklıkta yapılacak bir patentleme ısıt işlemi ile ince perlitik bir yapının eldesi mukavemet kazanımına önemli bir başka katkıyı da sunacaktır. Isıt işlem kadar çeliğin bileşimi de yüksek mukavemet kazanımını belirleyecektir. Tablo 2.1’de soğuk işlem ile üretilecek olan perlitik çelik tel kompozisyonları ve ulaşılan gerinme (ϵ) değerleri listelenmiştir [27, 30].

Tablo 2.1. Soğuk işlem ile üretilecek olan perlitik çelik tel kompozisyonları (ağ.-%) ve ulaşılan gerinme değerleri [27, 30]

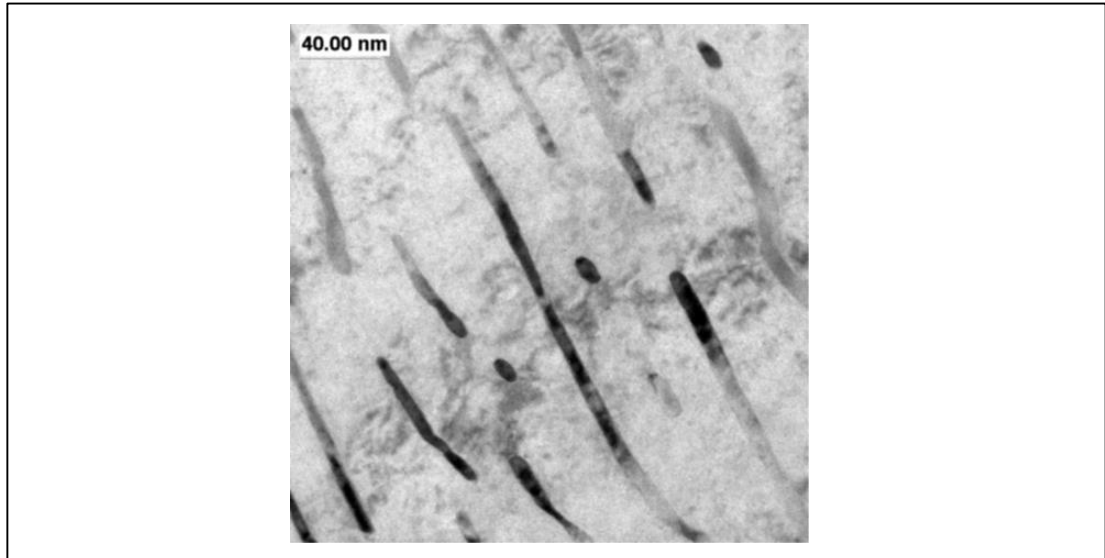
C	Si	Mn	Ni	Cr	ϵ
0.82	0.20	0.50	-	-	-
0.82	0.20	0.50	-	-	5.00
0.90	0.40	0.57	-	-	1.62
0.85	-	-	-	-	1.80
0.77	0.30	0.62	0.1	-	2.89
0.86	0.84	0.75	-	-	1.57
0.92	1.30	0.50	-	0.3	1.61
0.92	0.22	0.48	-	-	4.61
0.81	0.20	0.48	-	-	-
0.98	0.20	0.30	-	0.21	-

Çekilmiş perlitik tel imalatında kullanılan ana malzeme filmaşın olarak da adlandırılan ve belirli bir çapa sahip teldir. Telin orijinal mikroyapısı perlitik bir yapıdadır ve üreticinin isteği doğrultusunda belirli bir tane boyutunda olmalıdır. Burada bahsi geçen tane boyutu östenit tane boyutu olup, dönüşen yapı olan perlitte lamellararası mesafe kavramı önem arz etmektedir. Filmaşın olarak tedarik edilen malzemeye patentleme ısıl işlemi uygulanarak yüksek mukavemete kazanımına yönelik ilk kademe işlem başlatılır. Patentleme işlemi, telin yaklaşık 970 °C sıcaklıkta bir fırın rejiminden geçirilmesi ile gerçekleşir. Sonrasında ise uygulanacak bir soğutma ile perlitik dönüşüm gerçekleştirilir. Soğutma kum ve kurşun banyolarında yapılmaktadır. Soğutmayı takiben değişken oranlarda yapılacak olan haddeleme (tel çekme) ile deformasyon doğrultusunda yönlenmiş oldukça ince perlitik bir yapı elde edilir. Şekil 2.9'da bu tür bir yapıyı gösteren örnek bir görüntü verilmiştir [32].



Şekil 2.9. Soğuk işlem görmüş perlitik bir yapıyı gösteren SEM mikrografı [32]

Şekil 2.10'da patentleme sonrası çelik telin mikroyapısı verilmiş olup, ilgili görsel transmisyon elektron mikroskobu ile aydınlık alan kontrastlama ile elde edilmiştir. Yapı hem ferrit hem de sementit lamellerini içeren perlit nodülünü işaret etmektedir. Sementit lamellerin boyu 10–100 nm, genişliği 5-10 nm arasındadır. Lamellararası mesafe ise yaklaşık 40–50 nm'dir. Her bir nodül içerisinde lameller birbirine göre paralel iken, bir başka nodüldeki dizilim bir oryantasyon farklılığı içerebilir [29].



Şekil 2.10. 833K sıcaklıkta 30 saniye patentlenmiş ve soğuk işlem görmüş perlitik bir telin transmisyon elektron mikroskobu ile aydınlık alan kontrastlanmış mikroyapısı [29]

Birçok metal ve alaşımı göz önüne alındığında, soğuk çekilmiş ötektoid ve ötektoid üstü çeliklerinde yüksek mukavemet ve bir o kadar da sünek davranış yapı-özellik arasındaki ilişkinin açıklanması açısından ilgi çekicidir. Lamellararası mesafesi 50-200 nm arasında değişen ince perlit yapısı östenitin yaklaşık 550 °C sıcaklıkta eşsıl dönüşüme uğratılması ile elde edilebilmektedir. Bu tür yapının soğuk çekme ile % 97 seviyesinde kesite indirgenmesi, çeliğin çekme mukavemetini yaklaşık 4000 MPa seviyesine ulaşmasına katkı verecektir [33].

Perlitin deformasyonu boyunca, ferrit içerisinde yoğun dislokasyon içeren hücrel altyapılar oluşmaktadır. Dislokasyon yoğunluğunun artışına ise dislokasyon hareketine karşı bloklayıcı rol üstlenen lamellar sınırlar neden olmaktadır. Soğuk işlem sürecinde uygulanan indirgenme seviyesine bağlı olarak lamellararası mesafe değişebilmektedir. İndirgenme arttıkça lamellararası mesafenin azalması matriks içerisinde dislokasyon yoğunluğu yüksek altyapıların oluşumuna neden olacaktır. Soğuk çekme işlemi ile birlikte gerinme oluşacaktır ve gerilme seviyesi Embury-Fisher denklemine (Eşitlik 2.1) göre hesaplanabilecektir. Bu eşitlikte; σ_f : ferrit içerisinde sürtünme gerilmesi, k : altyapısal bariyerin dayanım değerini ifade eden bir katsayı, S_0 : perlitin başlangıç lamellararası mesafesi, ϵ : gerçek gerinmedir. Bu hesaplamada kullanılacak olan gerçek gerinme (ϵ) Eşitlik 2.2 ile tanımlanmış olup, eşitlikte verilen D_0 : başlangıç tel çapını ve D_ϵ ise deformasyon sonrası ulaşılan çap değerini işaret etmektedir [33].

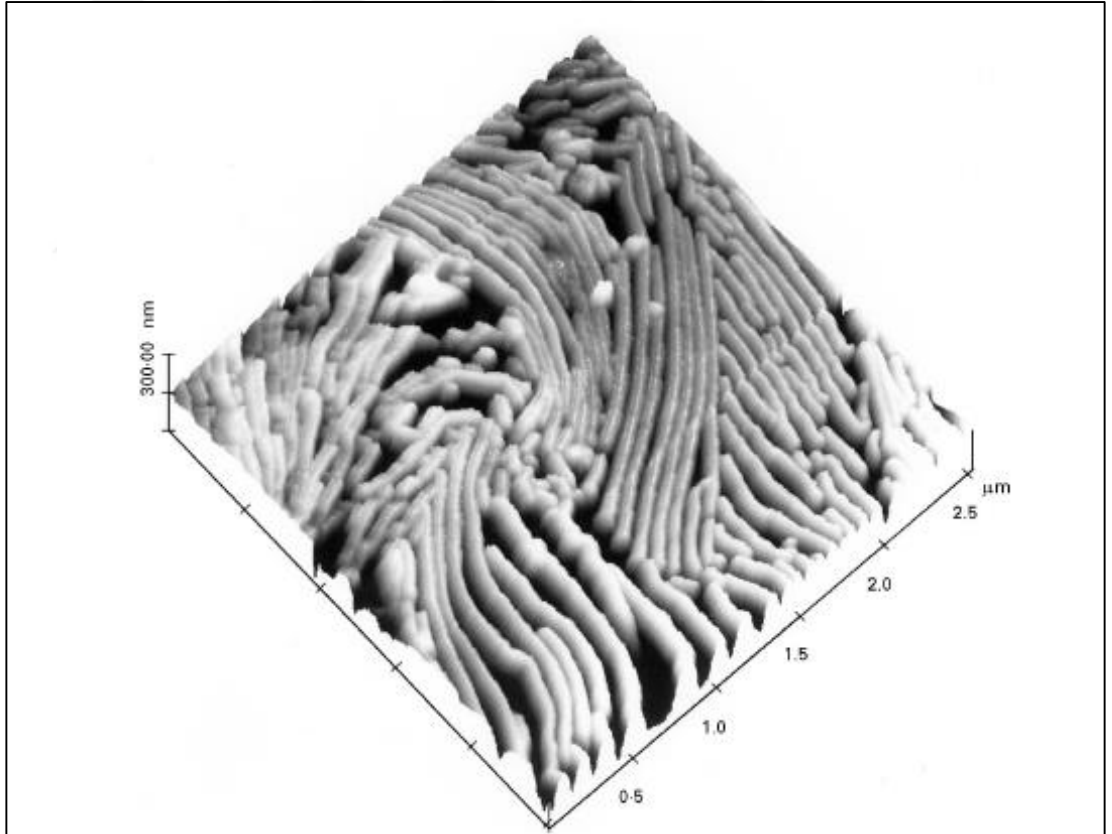
$$\sigma = \sigma_f \frac{k}{(2S_0)^{1/2}} \exp \frac{\epsilon}{4} \quad (2.1)$$

$$\epsilon = \ln(D_0/D_\epsilon)^2 \quad (2.2)$$

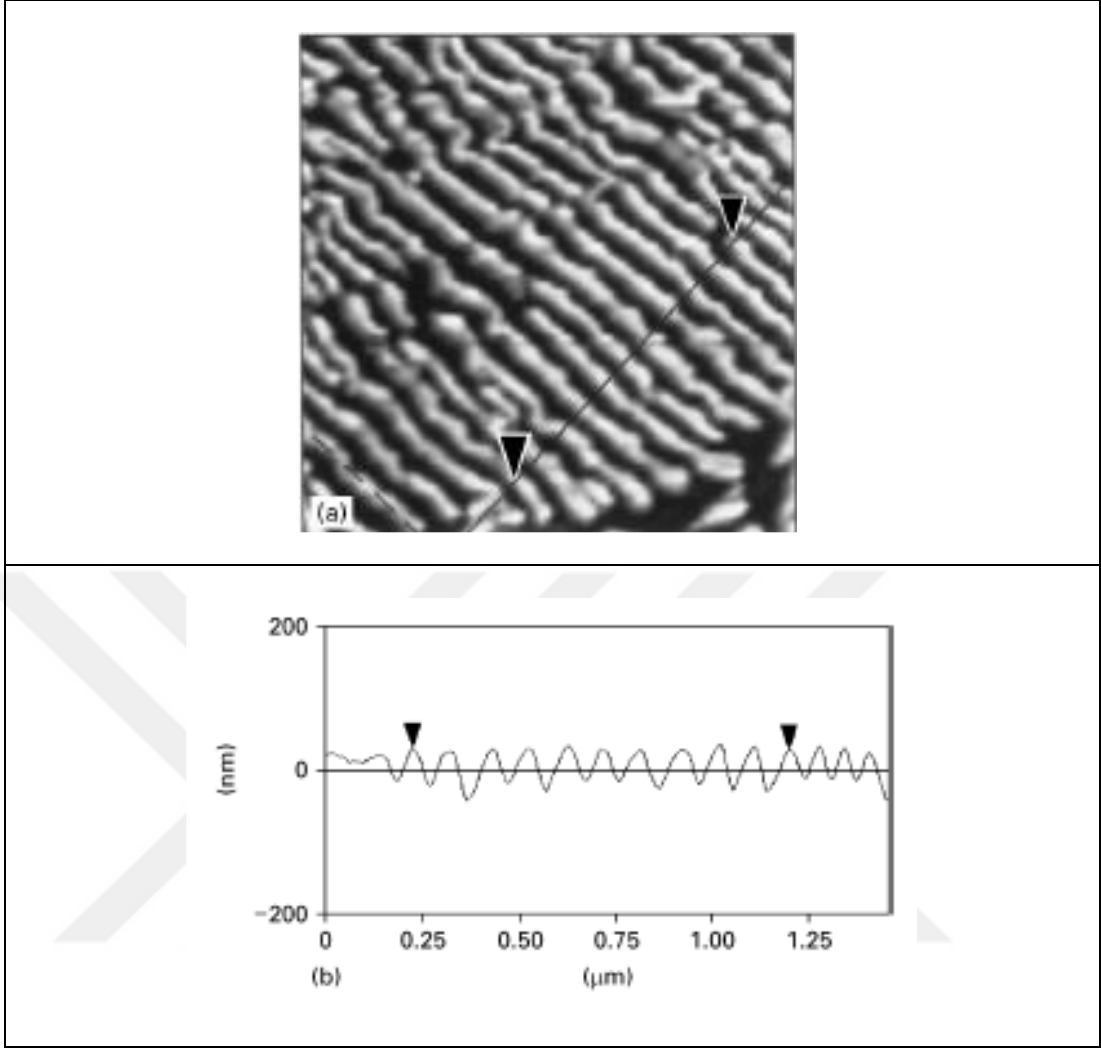
Telin D_ϵ gibi bir çap değerine indirgenmesi sürecinde yeni bariyerlerin oluşturulmadığı veya var olan bariyerlerin ortadan kaldırılmadığı kabul edilsin ve bu durumda ortalama bariyer mesafesi (lamellararası mesafe) çaptaki indirgenmeye orantısal olarak azalacaktır. Bu ise perlitin ortalama lamellararası mesafesinin uygulanan deformasyonla elde edilebileceğini ifade eder ve Eşitlik 2.3'te verildiği üzere hesaplanabilir kılabilir. Bu eşitlikte, S_ϵ : tel çekme ile elde edilen lamellararası mesafeyi tanımlar [33].

$$S_\epsilon = S_0 \exp(-\epsilon/2) \quad (2.3)$$

Geçmişten günümüze perlitin lamellararası mesafesinin ölçümünde çoğunlukla metalografik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerde daha çok dağlanmış yüzeylerde yapılan mikroskobik incelemeler ile çoklu ölçümler yapılmakta olup, ortalama bir lamellararası mesafe değeri hesaplanmıştır. Dağlanmış perlitik yapının atomik kuvvet mikroskobu yardımı ile önce görüntülenmesi ve sonrasında bir hat boyunca pürüzlülük ölçümünün gerçekleştirilmesi de bilinen iyi bir tekniktir. Şekil 2.11’de, ağırlıkça % 0.82 karbon içeren ve % 86 indirgenme oranı ile soğuk çekilmiş tele ait atomik kuvvet mikroskobu ile görüntülenmiş perlit yapısı örneklenmiştir. Bu perlit yapısına ait dağlanmış yüzeyde yapılan tarama sonrası bir hat boyunca pürüzlülük ölçülmüş (Şekil 2.12a ve b) ve ortalama lamellararası mesafe hesaplanabilmektedir. Başlangıçta lamellararası mesafesi 79 nm olan perlitin soğuk işlem sonrası 33 nm değerinde bir lamellararası mesafe ölçüldüğü rapor edilmiştir [33].



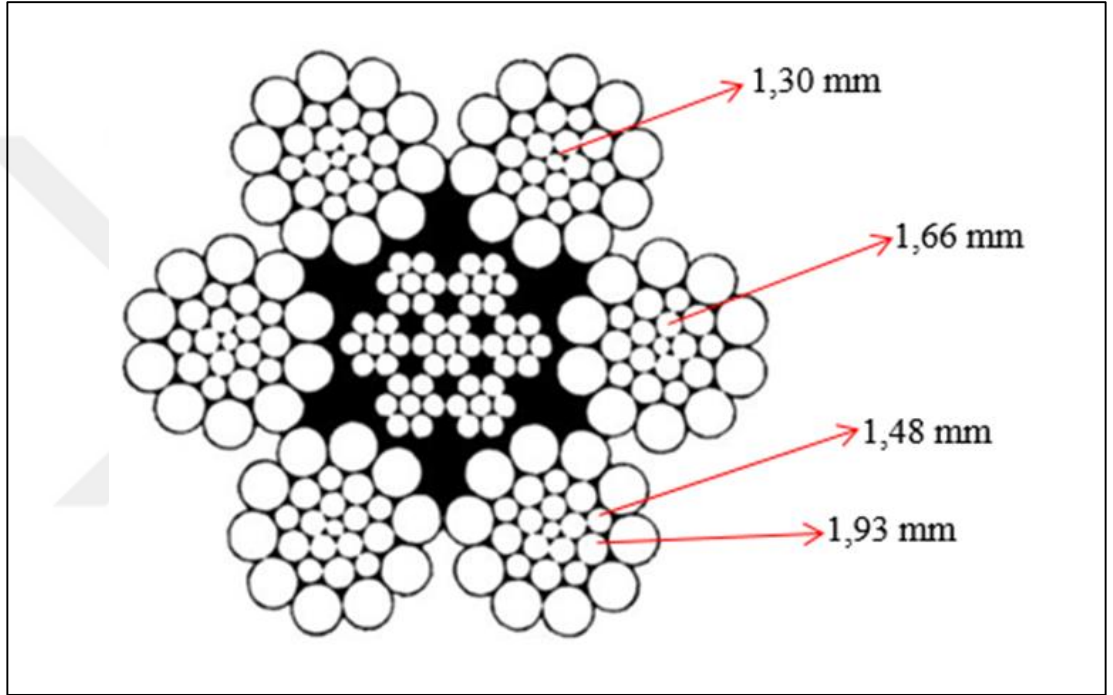
Şekil 2.11. İndirgenme oranı %86 olan soğuk çekilmiş 0.82C (ağ.-%) içeren perlitik bir telin matriksine ait atomik kuvvet mikroskop görüntüsü [33]



Şekil 2.12. (a) Dağlanmış perlitik yapıda ölçüm yapılan mesafe ve (b) mesafeye bağlı lamellararası mesafeye işaret eden pürüzlülük değişim grafiği [33]

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında, kalın çaplı (38,10 mm) ve en yüksek mukavemet sınıfında (220 kg/mm²) Şekil 3.1’de kompozisyonu 6x26 WS olarak verilen halat için farklı çaplarda (1,30-1,93 mm) halat tellerinin üretimi ve karakterizasyonu hedeflenmiştir.



Şekil 3.1. Tez çalışmasında hedeflenen 6x26 WS kompozisyonlu çelik halat kontrüksiyonunu gösteren şematik bir görsel

3.1. Tedarik Edilen Yüksek Karbonlu Filmaşın ve Özellikleri

Tez çalışması kapsamında, yüksek karbonlu (~ ağırlık-% 0,9 C) çelik filmaşınlar tedarik edilmiş olup, çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de verilmiştir. Tedarik edilen filmaşınlar 5,50 mm çapında olup, filmaşınların yüzeylerinde var olabilen demir oksitlerin ve çeşitli kontaminasyonların giderilmesi için asitleme işlemi yapılmıştır. Yüzeydeki aktif asitin giderilmesi için bir yıkama işlemi de yapılmıştır. Temizlenmiş yüzeyde yeniden herhangi bir oksitlenme ve kontaminasyonun oluşmaması için filmaşınlar fosfat banyosuna dahil edilmiştir. Fosfatlama sonrası yapılan bir borakslama işlemi ile filmaşınların yüzeyleri daha da iyileştirilmiştir ve böylece daha kolay tel çekme sağlanmıştır. Filmaşının en ve boy kesitleri metalografik olarak

hazırlanmış ve malzemede dekarbürizasyon, kılcal çatlak, kalıntı, segregasyon vb. yapı bileşenleri incelenmiştir. Yüzey incelemeleri ISO 16120-1 standardına, dekarbürizasyon kontrolü ISO 3887 standardına, segregasyon kontrolü ISO 16120-1 standardına ve kalıntı kontrolü ISO 4967 standardına göre yapılmıştır.

Tablo 3.1. Filmaşine ait kimyasal kompozisyon (ağ.-%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Al	N	Sn
0,912	0,219	0,663	0,007	0,009	0,049	0,039	0,029	0,008	0,001	0,0048	0,008

3.2. Yarı Mamul, Patentleme ve Nihai Tel Çekme İşlemleri

Bu bölümde, tedarik edilen filmaşinin öncelikle yarı mamul olarak üretimi (provizyon üretimi), daha sonrasında yapılacak olan patentleme ve nihai tel çekme süreçleri tanıtılmıştır. Tüm bu süreçler, Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan tel çekme ve patentleme hatları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yarı mamul üretiminde 5,50 mm çaplı filmaşinler, 50 m/dk'lık bir hız ile daha ince kesitlere (4,50 mm ve 4,00 mm) getirilmiştir. Bu aşamada, kesit indirgenmeleri değişken haddeleme sayısında gerçekleştirilmiştir. Filmaşin çapının 5,50 mm'den 4,50 mm'e getirilmesi iki aşamalı haddeleme ile yapılmış olup, kesit indirgenmesi sırası ile 5,50 → 4,96 → 4,50 mm şeklindedir. Filmaşin çapının 4,00 mm çapına getirilmesi aşamasında ise üç aşamalı haddeleme yapılmıştır. Böylece kesit indirgenmesi sırası ile 5,50 → 4,90 → 4,41 → 4,00 mm olacak şekilde tamamlanmıştır.

Üretimi gerçekleştirilen yarı mamuller, patentleme olarak bilinen bir ısıtma işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlemde, çelik yarı mamuller farklı sıcaklık rejimlerine (960-1030 °C) sahip bir fırından 18-20 m/dk'lık bir geçiş hızı ile ısıtılmıştır. Fırından çıkan teller özel bir kum banyosuna girmekte olup, bu kum banyosunda 305-320 °C sıcaklığa maruz kalmaktadır. Tellerde sıcaklık stabilizasyonu sağlamak için tampon bir sıcaklık rejimine ihtiyaç duyulmakta olup, bu sıcaklık rejimi 400-430 °C sıcaklık aralığındadır. Filmaşinden provizyon ile üretilmiş olan yarı mamuller tüm bu işlemler sonrasında nihai çapları 1.30 ve 1.48 mm olan tellere indirgenmiş olup filmaşinden doğrudan tel çekme işlemi ile de 1.66 ve 1.93 mm çaplara ulaşılmıştır. Nihai tel çekme çoklu kademeleri içermekte olup, destek olan kurumun ticari saklı pratikliğinden dolayı çalışılan koşulların tamamı bu bölümde işlenmeyecektir.

3.3. Metalografik İşlemler ve Mikroskopik İncelemeler

Bu bölümde, filmaşınların yüzey kalitesinin belirlenmesi, filmaşında kalıntı tayini ve segregasyon kontrolü için yapılmış olan numune hazırlama prosedürü açıklanmıştır. Tariflenecek olan bu prosedür, aynı zamanda yarı mamul üretimi, patentleme ve nihai tel çekme sonrası elde edilen teller ve kopma testleri sonrası kopma yüzeyleri içinde gerçekleştirilmiştir. Tüm malzemelerin en ve boy kesitlerinden örnekler alınmış ve bu örnekler inceleme amaçlı parlatılmıştır. Bu parlatma işleminde, kaba ve ince zımparalama işlemleri yapılmıştır. Öncelikle soğuk kalıplanmış malzemeler 320, 600, 1000 mesh'lik SiC esaslı aşındırıcı kağıtlar kullanılarak otomatik parlatılmıştır. Nihai parlatma aşamasında ise 3 µm'luk elmas solüsyon kullanılmıştır. Mikroyapısal bileşenlerin belirlenmesi aşamasında ise metalografik olarak hazırlanan numuneler %3'lük nital çözeltisi ile dağlanmıştır.

Mikroskopik karakterizasyon çalışmaları, çoğunlukla hem Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ar-Ge Laboratuvar altyapısı hem de Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Görüntüleme Laboratuvar altyapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parlatılmış ve dağlanmış konumda numuneler Nikon Eclipse LV150N ve Olympus BX41M-LED model ışık mikroskopları (IM) kullanılarak incelenmiştir. Mikroyapı bileşenleri yüksek çözünürlükte ve yüksek büyütmede karakterizasyonu ise Jeol JSM 6060 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Bu aşamada, Assan Alüminyum A.Ş. Ar-Ge laboratuvar altyapısında bulunan Zeiss Evo 5 taramalı elektron mikroskobundan da faydalanılmıştır. Özellikle lamellararası mesafelerin belirlenmesine yönelik Nanomagnetics Instruments firmasından hizmet alımı ile atomik kuvvet mikroskopik (AFM) çalışmaları da yürütülmüştür. AFM çalışmalarında hpAFM kullanılmış olup, tüm görüntülemeler dynamic modda ve 1,2 VRMS titreşim genliğinde gerçekleştirilmiştir. Kopma testleri sonrası kırılma yüzeyleri üzerine SEM incelemeleri yapılarak, fraktografik analizler gerçekleştirilmiştir.

3.4. Mekanik Testler

Tez çalışması kapsamında, tedarik edilen filmaşının, filmaşından üretilen yarı mamulün ve nihai tel çekme sonrası elde edilen farklı çaptaki tellerin mekanik özellikleri sertlik ölçümleri ve kopma testleri ile belirlenmiştir. Sertlik ölçümlerinde, Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan Emcotest DuraScan70 model

mikro Vickers sertlik ölçeri kullanılmıştır. Tüm ölçümlerde 1 kgf yük kullanılmış olup, çoklu ölçümler sonrası aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri belirlenmiştir.

Kopma testlerinde Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. bünyesinde bulunan Zwick Roell Z250 çekme test düzeneği kullanılmıştır. Testler ISO 6892-1'e göre ve 0,0067 1/sn'lik bir çekme hızı ile üç kez yapılmış olup, çoklu ölçümler sonrası aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri belirlenmiştir.

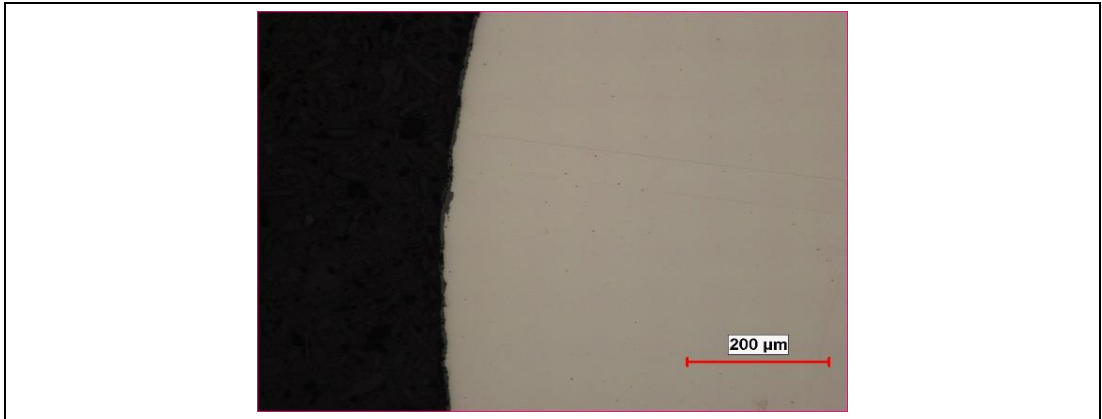


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

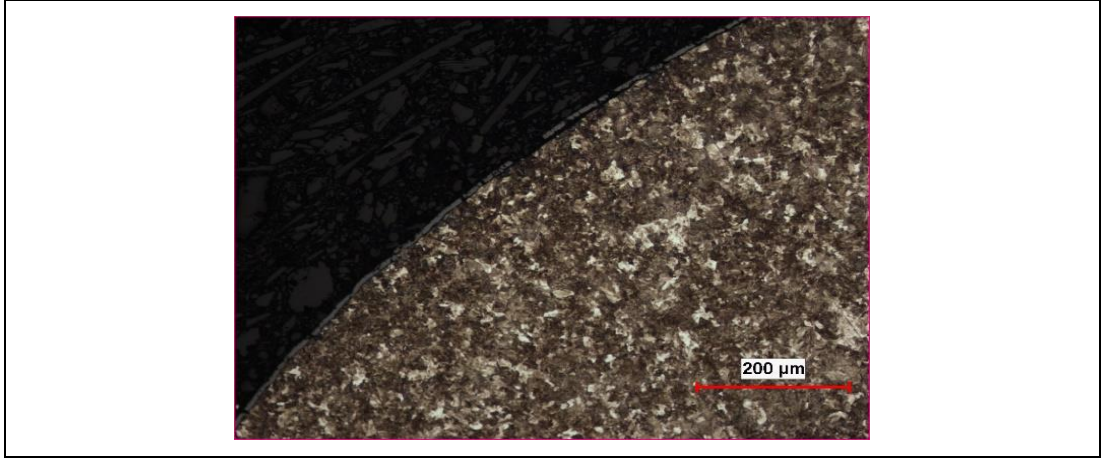
4.1. Filmaşinin Yüzey ve Metalurjik Kontrolü

Şekil 4.1'de, ISO 16120-1 standardına göre tedarik edilen filmaşinin yüzey kalitesini gösteren bir IM görüntüsü verilmiştir. Filmaşinin en kesiti istenen geometrik yapıya sahip olup, özellikle yüzeyinde herhangi bir süreksizlik gözlemlenmemiştir. Filmaşinde ISO 3887 standardına göre yapılan dekarbürizasyon kalınlığı kontrol çalışmaları Şekil 4.2'den de görüleceği üzere 30 μm 'den daha düşük bir dekarbürizasyon tabakasının var olduğunu ve dağlanmış konumda çeliğin perlitik bir matrikse sahip olduğunu göstermiştir. Perlitik matrikse ait daha detaylı bir SEM görüntüsü Şekil 4.3a'da verilmiş olup, yüksek büyütmelerde yapılan görüntüleme ile lamellararası mesafe ölçümü yapılabilmektedir (Şekil 4.3b). SEM görüntüleri kullanılarak yapılan ölçümler, filmaşinde perlitin lamellararası mesafesinin $262,7 \pm 39,2$ nm olduğunu göstermiştir.

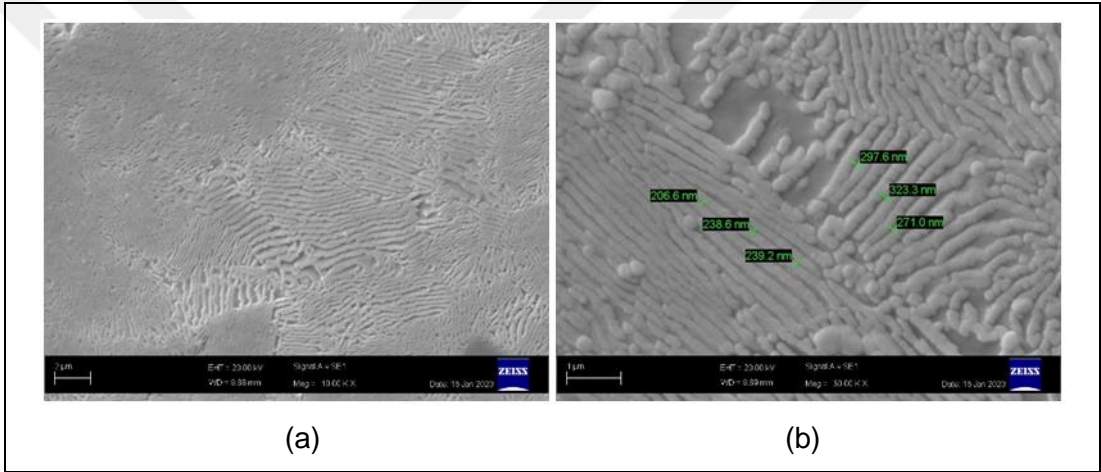
Daha öncesinde de belirtildiği üzere perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik AFM çalışmaları da yapılmış olup, Şekil 4.4'de filmaşinin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir görsel verilmiştir. Şekil 4.5a'da perlitik matriks içerisinde gösterilen ölçüm doğrultusunda lamellararası mesafe ölçümü yapılmış olup, Şekil 4.5b'de elde edilen profil verilmiştir. Bu profile göre, filmaşinin perlit lamellararası mesafesi $255,6 \pm 29,4$ nm olarak belirlenmiştir. Bu değer, SEM ile ölçülen değere oldukça yakın bir değer olarak kabul edilmiştir.



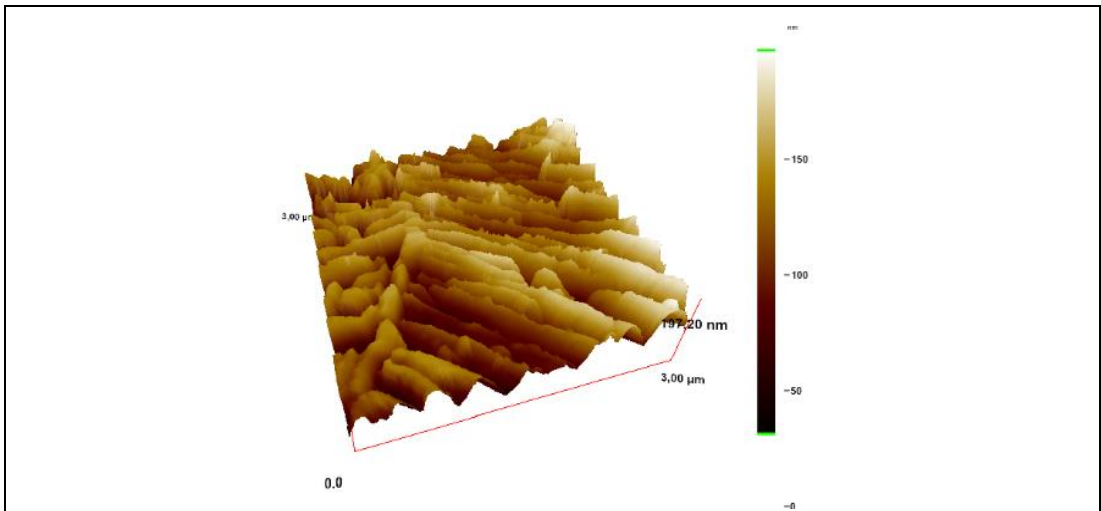
Şekil 4.1. Tedarik edilen filmaşinin yüzey kalitesini gösteren IM görüntüsü



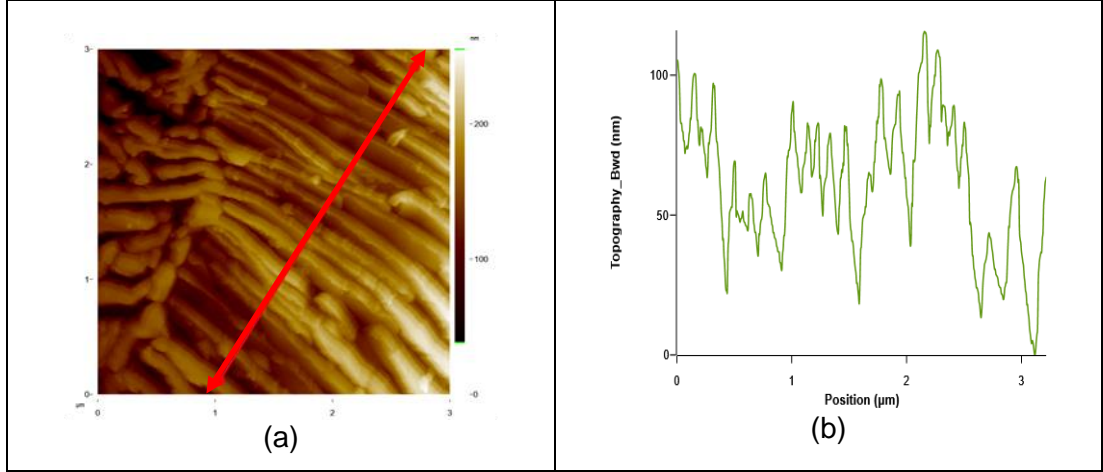
Şekil 4.2. Filmaşinde dekarbürizasyon kalınlığını ve matris yapısını gösteren IM görüntüsü



Şekil 4.3. Filmaşinin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b)

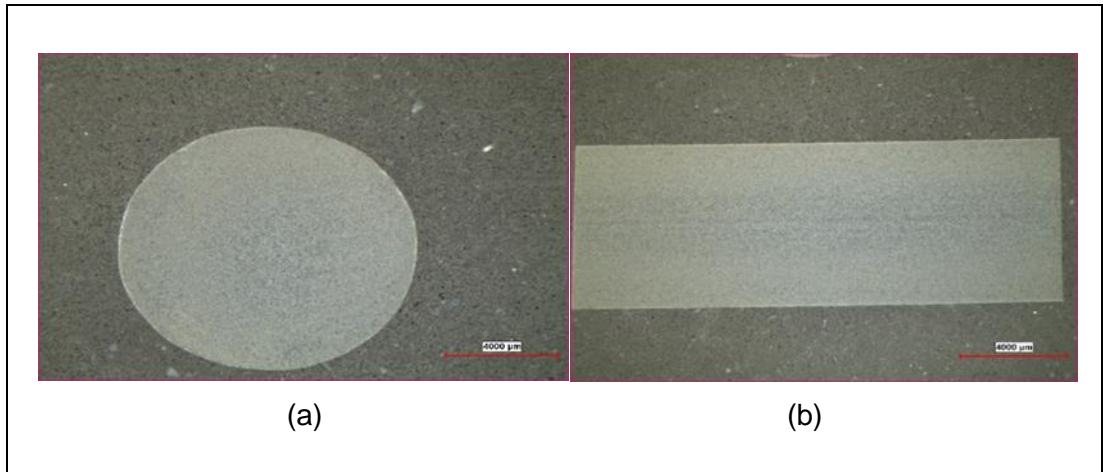


Şekil 4.4. Filmaşinin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü

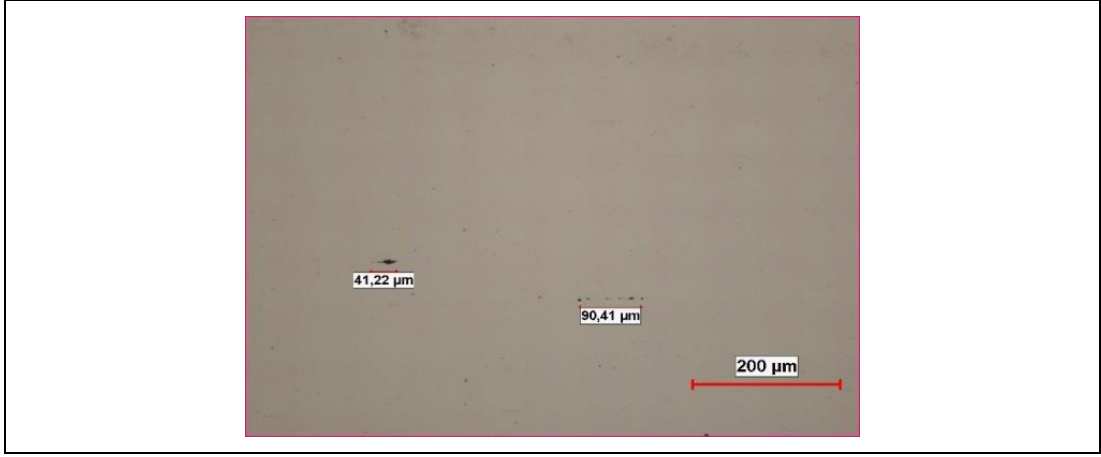


Şekil 4.5. Filmaşinde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)

Filmaşinin Şekil 4.6'da gösterildiği üzere en ve boy kesitlerinde ISO 16120-1 standardına göre yapılan incelemeler, yapıda segregasyonun yer almadığını göstermiştir. Çelik içerisindeki kalıntıların tayini ise ISO 4967 standardına göre yapılmış olup, Şekil 4.7'de gösterildiği üzere, filmaşinin parlatılmış konumunda matrisine göre daha koyu kontrastlı kalıntılar belirlenmiştir. Bu kalıntılar matris içinde sıklıkla gözlemlenmemiş olup, satırlanmış kalıntıların genişlikleri 100 μm seviyesinin altındadır. Filmaşin malzemesinde kalite standartlarına göre yapılan tüm kontroller filmaşinin tel çekme prosesine uygun olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.6. Filmaşinin farklı kesitlerini gösteren IM görüntüleri; (a) en ve (b) boy kesit

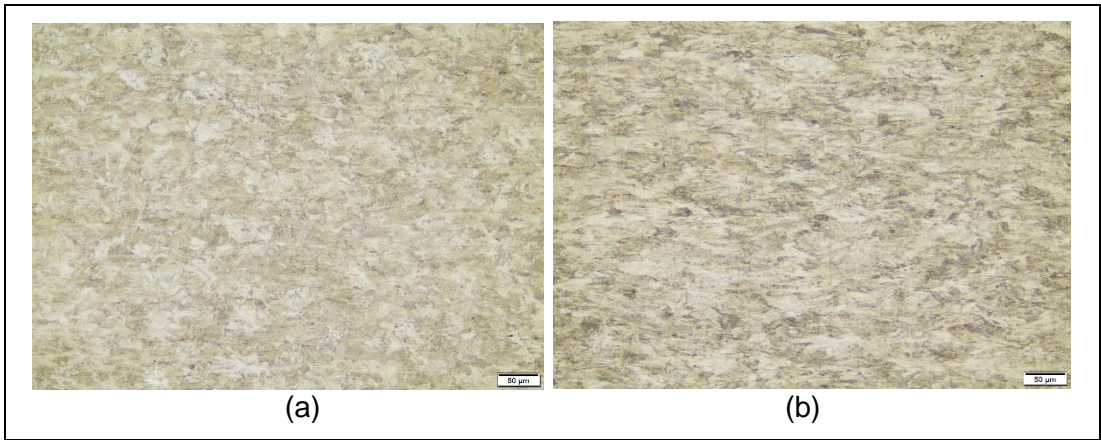


Şekil 4.7. Filmaşinin parlatılmış konumuna ait IM görüntüsü

4.2. Proseslenmiş Tellerin Mikroyapısal Karakterizasyonu

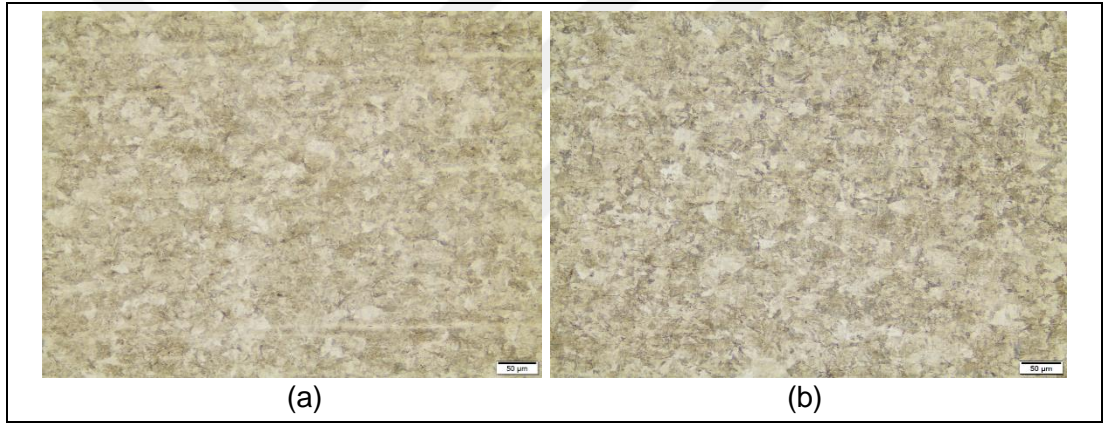
Bu bölümde, filmaşinden öncül tel çekme prosesi ile yarı mamul olarak üretilmiş provizyon ürünlerinin yanı sıra patentlenmiş ve sonrasına nihai tel çekme işlemlerine maruz kalmış tellerin metalurjik yapıları incelenmiştir.

Şekil 4.8'de farklı haddeleme süreçleri sonrası 5,50 mm çapından 4,50 mm ve 4,00 mm çapına getirilmiş provizyon ürünlerinin mikroyapılarını gösteren IM görüntüleri verilmiştir. IM görüntüleri lamelli yapının orijinal filmaşinde bulunan lamel yapısına göre daha ince bir formda olduğunu ve deformasyon doğrultusunda yönlendiğini göstermiştir. Yüzeye yakın konumda yönelmiş ve özellikle aydınlık kontrastlarda gözlenen önötektoid ferrit yapıları da gözlenmiştir. Bu tür yapılar, çoğunlukla dekarbürizasyonun bir sonucu olarak filmaşinde yer alabilen mikroyapısal bileşenlerdir.

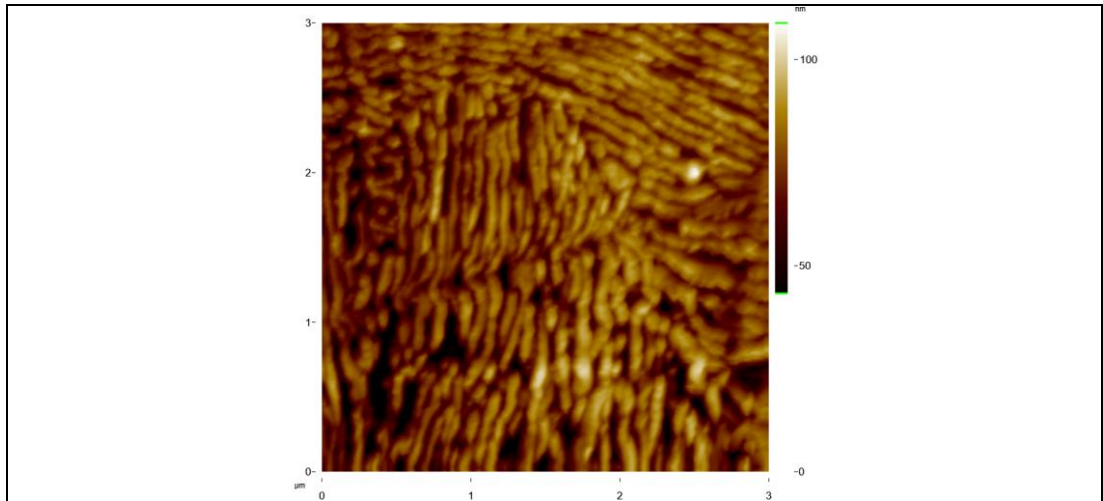


Şekil 4.8. Yarı mamul (provizyon) ürünlere ait IM görüntüleri; (a) 4,50 mm ve (b) 4,00 mm

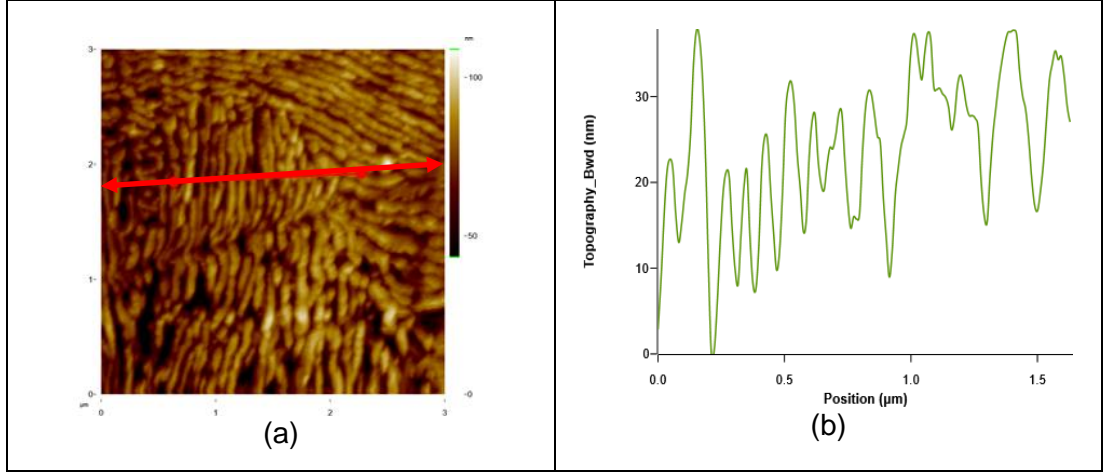
Bilindiği üzere patentleme işlemi başlangıçta bir ısıtma kademesini içermekte olup, bu kademedede tipik bir östenitleştirme işlemi yapılır. Daha sonrasında yapılacak olan bir soğutma işlemi ile de östenitik matriksin perlitik bir matrikse dönüşümü sağlanır. Şekil 4.9'da yarı mamullerin patentleme işlemi sonrası içyapılarını gösteren IM görüntüleri verilmiştir. Verilen IM görüntülerinden de görüleceği üzere, yarı mamul ürünlerde patentleme sonrası yeniden perlitik bir matriks oluşturulmuş olup, bu yapı orijinal filmaşın yapısına göre nispeten daha incedir. Şekil 4.10'da verilen AFM 3D topografi görüntüsü filmaşına göre perlitin nispeten daha ince bir form aldığına işaret etmektedir. Kesit çapı 4,00 mm olan yarı mamulde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü Şekil 4.11a'da verilmiş olup, elde edilen profil ise Şekil 4.11b'de gösterilmiştir. Ölçümler perlitin lamellararası mesafesinin bu kondisyonda $204,4 \pm 25,3$ nm seviyesinde olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.9. Yarı mamul (provizyon) ürünlerin patentleme işlemi sonrası mikroyapılarını gösteren IM görüntüleri; (a) 4,50 mm ve (b) 4,00 mm

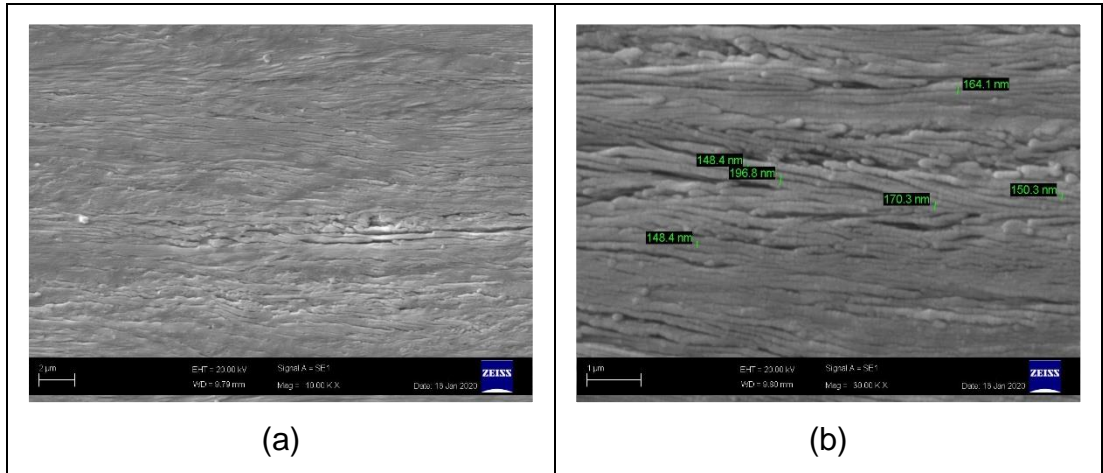


Şekil 4.10. Patentleme sonrası 4,00 mm çaplı yarı mamulün perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü

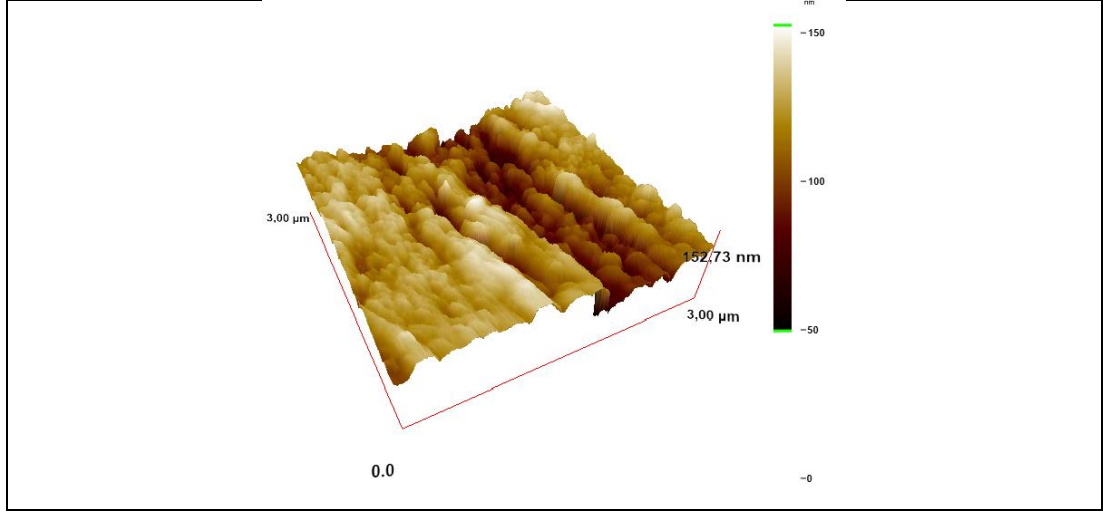


Şekil 4.11. Kesit çapı 4,00 mm olan yarı mamulde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)

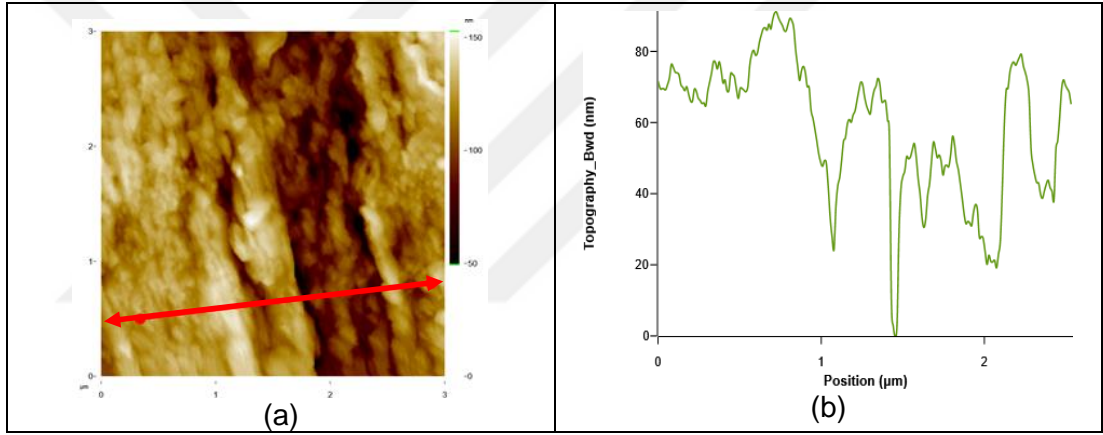
Şekil 4.12a'da, kesit çapı 1,93 mm olan nihai telin mikroyapısını gösteren bir SEM görüntüsü verilmiş olup, mikroyapı perlitin hem filmaşın hem de yarı mamul ürünlere kıyasla daha ince bir form kazandığını işaret etmektedir. Şekil 4.12b'de verilen SEM görüntüsünden de görüleceği üzere, yapılan ölçümler perlitin lamellararası mesafesinin $163,05 \pm 17,3$ nm değerinde olduğunu göstermiştir. Bu çapta telin mikroyapısına ait bir 3D topografik AFM görüntüsü de Şekil 4.13'de verilmiştir. AFM görüntüsü üzerinden yapılan ölçümler perlitin lamellararası mesafesinin $159,73 \pm 14,2$ nm olduğunu göstermiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.12. Kesit çapı 1,93 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b)

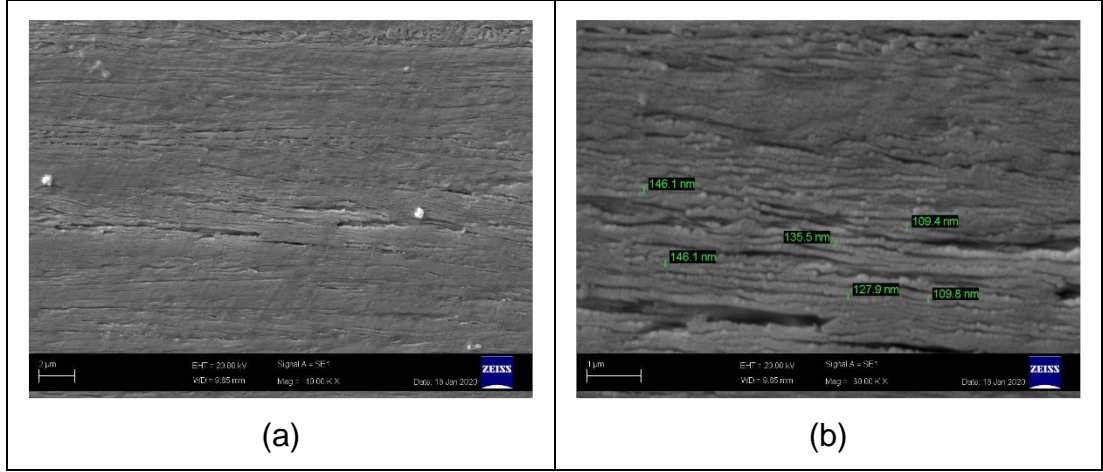


Şekil 4.13. Kesit çapı 1,93 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü

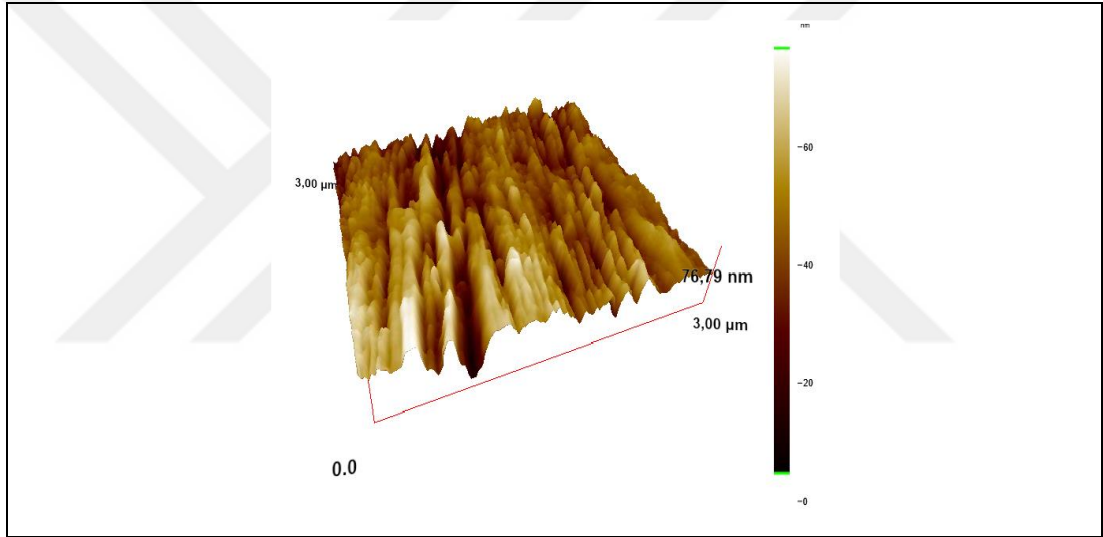


Şekil 4.14. Kesit çapı 1,93 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)

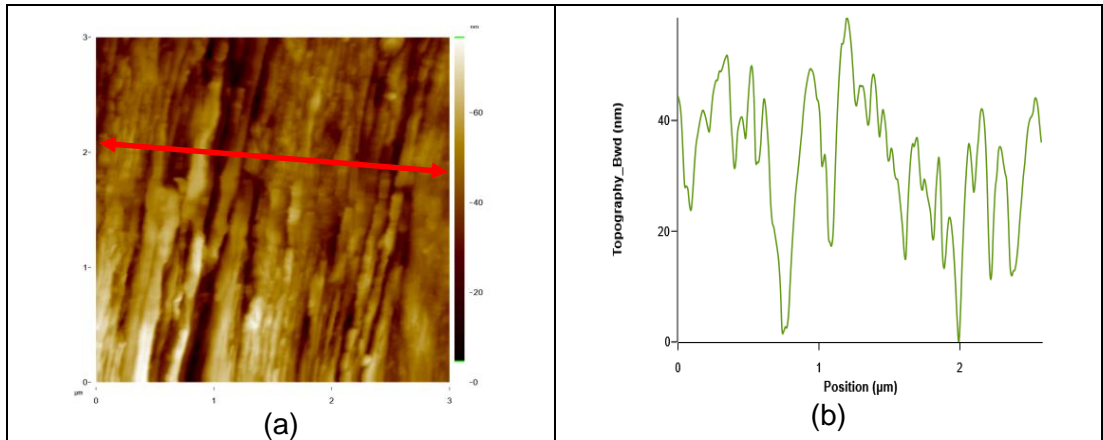
Kesit çapı 1,66 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren SEM görüntüleri Şekil 4.15'de verilmiş olup, SEM görüntüleri kullanılarak yapılan çoklu ölçümler çalışılan kesitte perlitin lamellararası mesafesinin $129,13 \pm 15,2$ nm olduğunu göstermiştir. Bu çapa ait matriks üzerine yapılan AFM inceleme örneği ise Şekil 4.16'da verilmiş olup, daha öncesinde verilen AFM görüntülerine kıyasla yapıda oldukça ince bir perlitik yapının var olduğuna işaret etmektedir. AFM görüntüleri kullanılarak yapılan ölçümler 1,66 mm çaplı nihai telin perlitik matriksinde lamellararası mesafesinin $127,50 \pm 11,7$ nm seviyesinde olduğunu göstermiş olup (Şekil 4.17), elde edilen bu değer SEM ile elde edilen değere eşdeğer olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.15. Kesit çapı 1,66 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b)

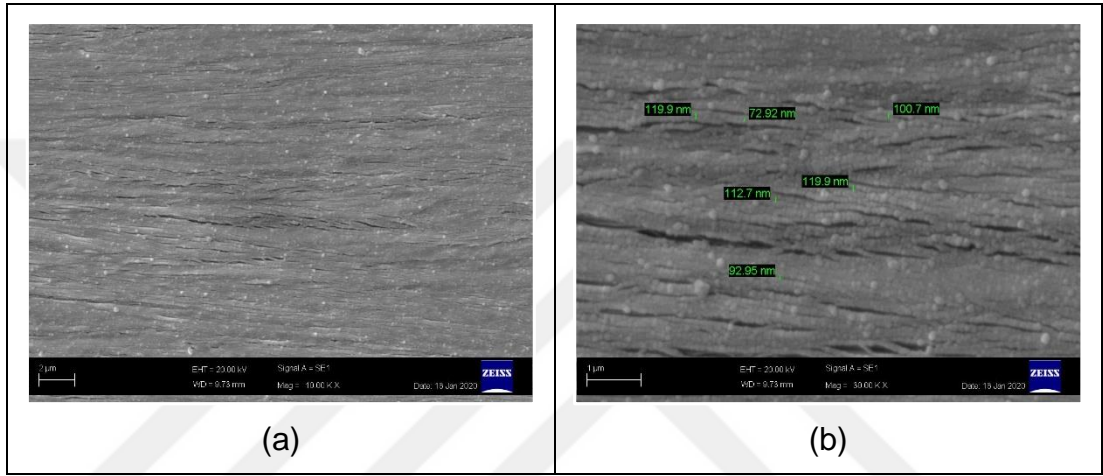


Şekil 4.16. Kesit çapı 1,66 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü

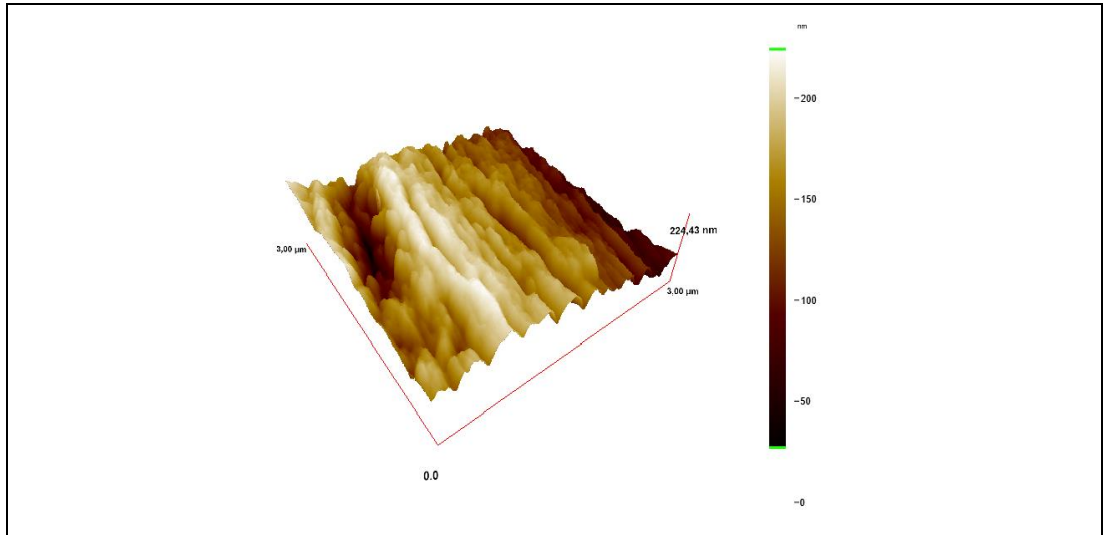


Şekil 4.17. Kesit çapı 1,66 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)

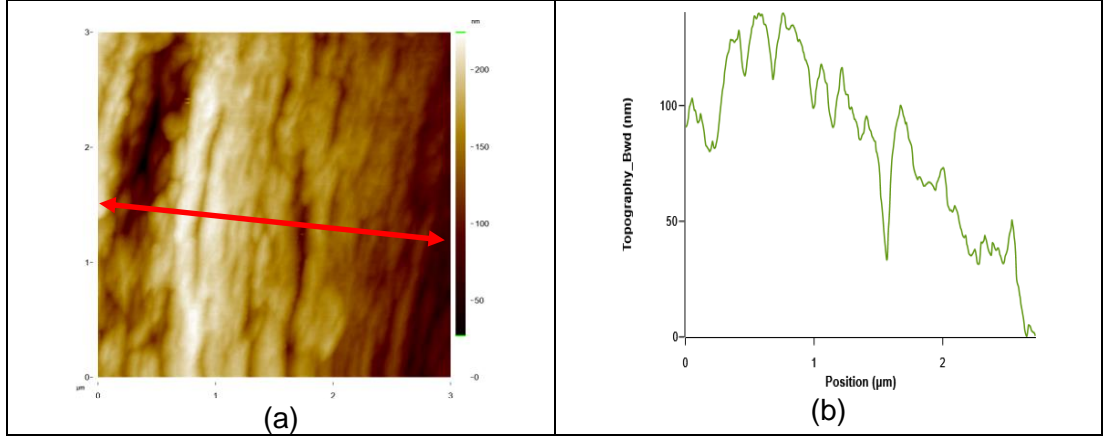
Nihai tel çapı 1,48 mm olan telin mikroyapılarını gösteren SEM görüntüleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.18a'dan da görüleceği üzere inceltilmiş tel kesitinde perlitin lamelli yapısı oldukça incelmış olup, SEM görüntüsü üzerinden yapılan ölçümler lamellararası mesafenin $103,48 \pm 16,7$ nm seviyesinde olduğunu göstermiştir (Şekil 4.18b). Şekil 4.19'da bu çapa ait matriks üzerine yapılan bir AFM çalışma örneği göstermektedir. AFM görüntüleri kullanılarak yapılan ölçümler 1,48 mm çaplı nihai telin perlitik matriksinde lamellararası mesafesinin $100,47 \pm 13,2$ nm seviyesinde olduğuna işaret etmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.18. Kesit çapı 1,48 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b)

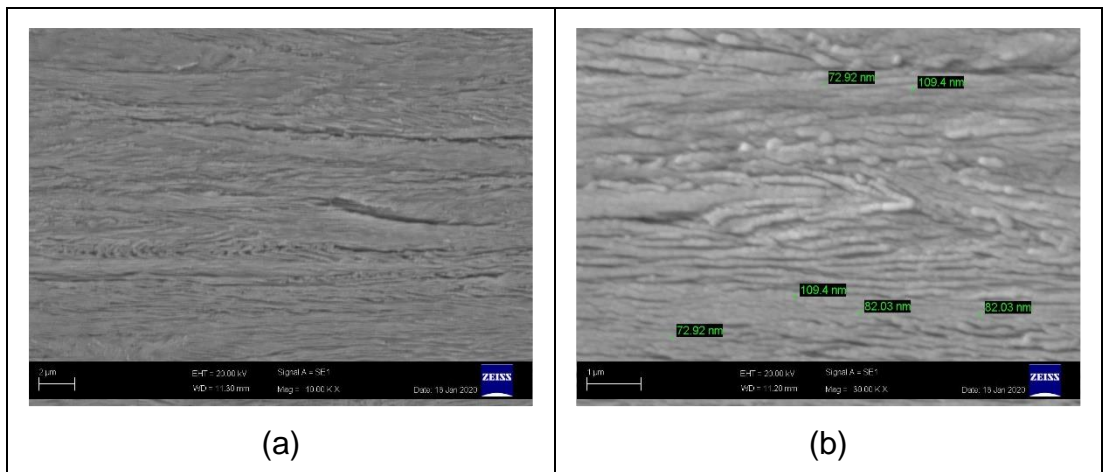


Şekil 4.19. Kesit çapı 1,48 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü

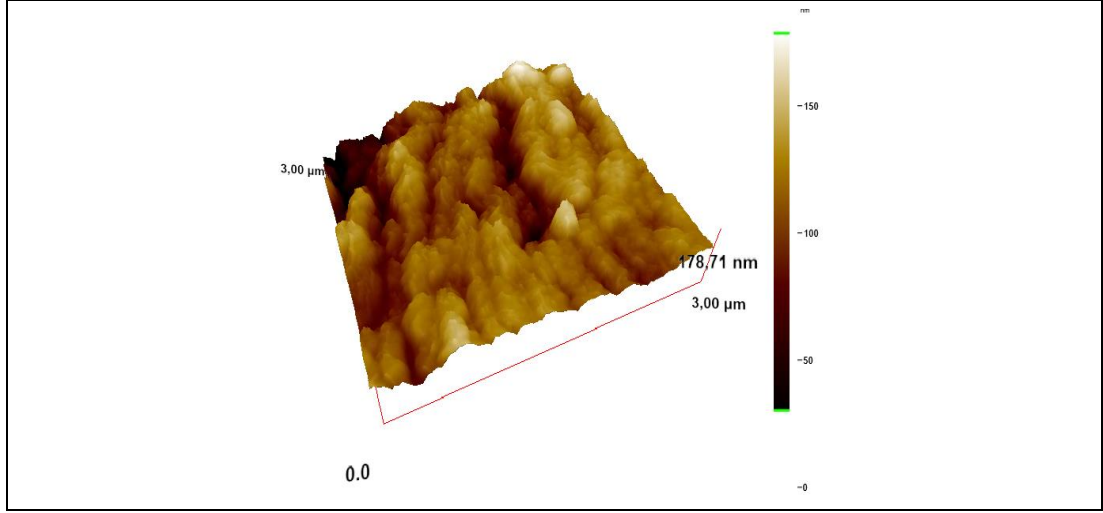


Şekil 4.20. Kesit çapı 1,48 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)

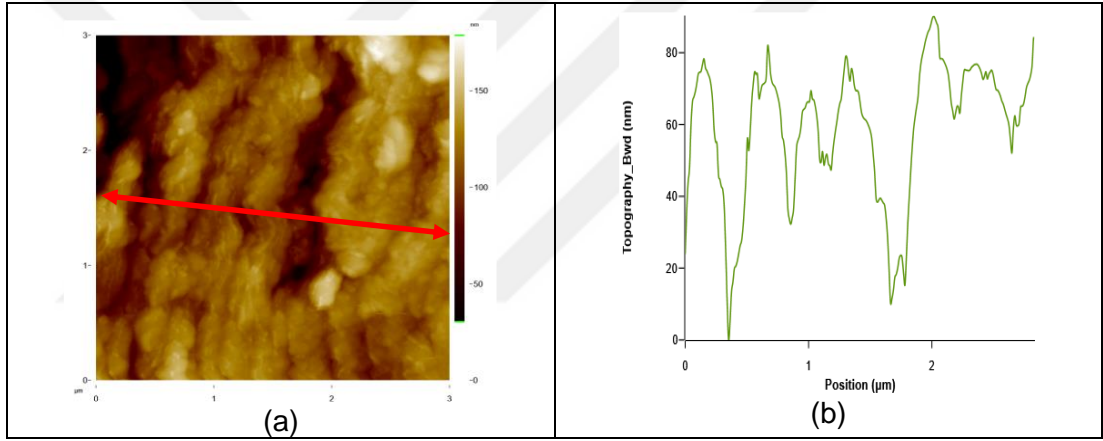
Üretilen nihai tellerden biri de 1.30 mm çaplı olup, bu telin mikroyapılarını gösteren SEM görüntüleri Şekil 4.21'de verilmiştir. Tüm çalışma kapsamında en ince perlitik yapıya bu çapta ulaşılmıştır (Şekil 4.21a). Şekil 4.21b'de verilen SEM görüntüsü perlitin lamellararası mesafesinde beklenen en düşük (ince) değeri yansıtmakta olup, ölçüm değeri $88,12 \pm 15,5$ nm olarak belirlenmiştir. Perlitik yapıdaki inceleme AFM çalışmaları ile de gözlenmiştir ve Şekil 4.22'de verilen 3D topografi lamellararası mesafenin diğer nihai tel çaplarına kıyasla nispeten daha düşük olduğuna işaret etmektedir. Şekil 4.23a'da verilen AFM görüntüsü kullanılarak yapılan ölçümler 1,30 mm çaplı nihai telin perlitik matriksinde lamellararası mesafesinin $86,43 \pm 11,3$ nm seviyesinde olduğuna işaret etmiştir (Şekil 4.23b).



Şekil 4.21. Kesit çapı 1,30 mm olan nihai telin perlitik yapısını gösteren bir SEM görüntüsü (a) ve lamellararası mesafenin ölçümünü örnekleyen bir görüntü (b)



Şekil 4.22. Kesit çapı 1,30 mm olan nihai telin perlitik yapısının 3D topografisini yansıtan bir AFM görüntüsü

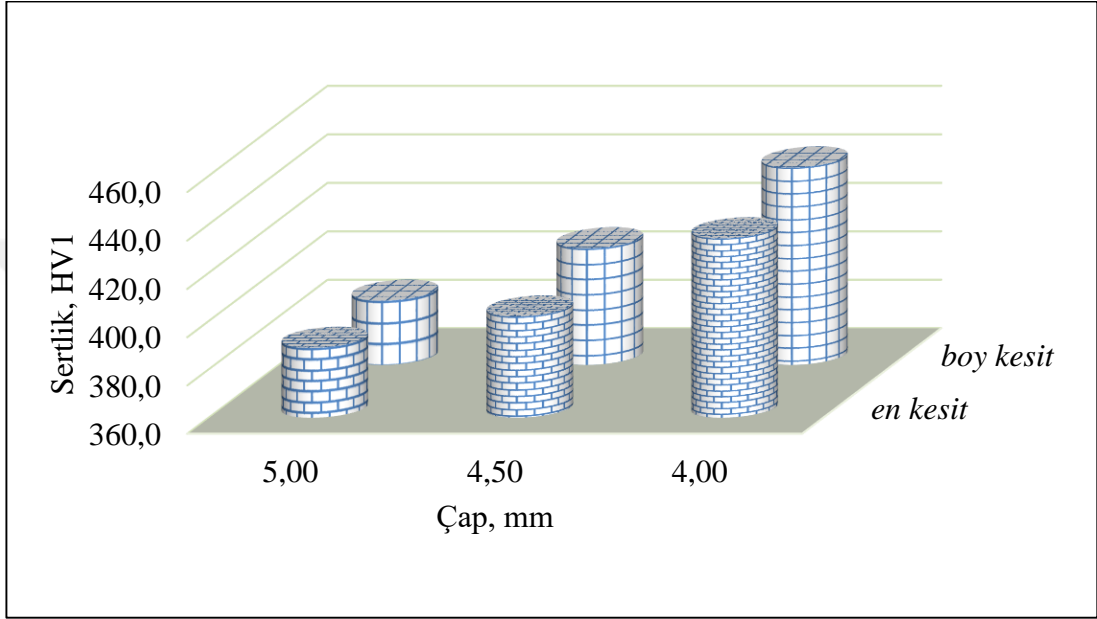


Şekil 4.23. Kesit çapı 1,30 mm olan nihai telde perlitin lamellararası mesafesinin belirlenmesine yönelik ölçüm doğrultusunu gösteren bir AFM görüntüsü (a) ve elde edilen profil (b)

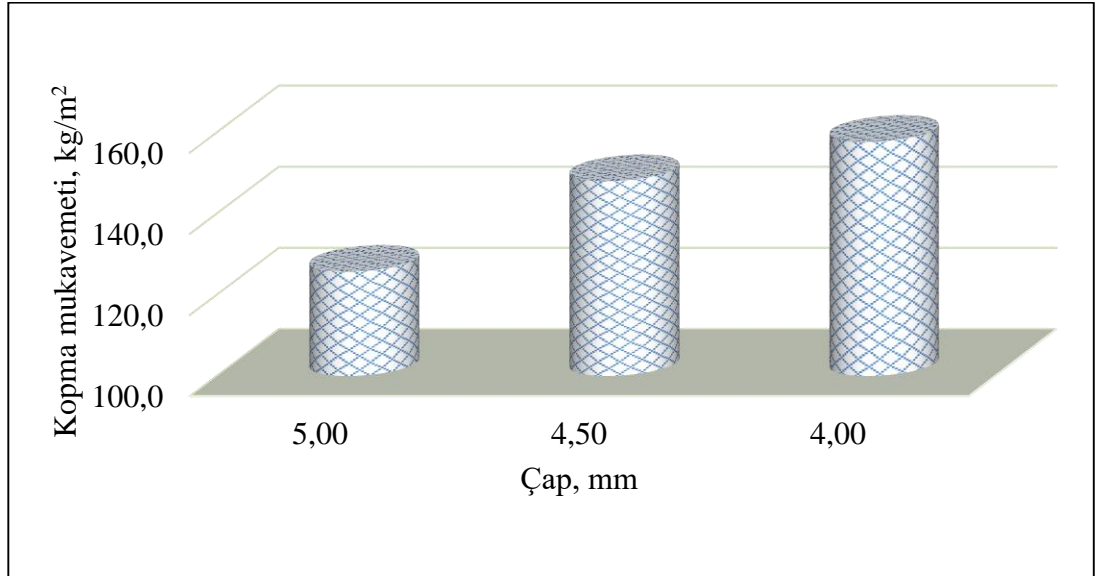
4.3. Mekanik Verilerin Değerlendirilmesi

Şekil 4.24a'da, hammadde olarak kullanılan 5,50 mm çaplı filmaşinin ve farklı çaplara (4,50 ve 4,00 mm) sahip yarı mamullerin en ve boy kesitlerine ait sertlik değerleri verilmiştir. Filmaşinin en kesit sertlik değeri $389,0 \pm 2,8$ HV1 iken, boy kesit sertlik değeri $386,7 \pm 4,1$ HV1 olarak belirlenmiştir. Kesitin 4,50 mm çapa indirgenmesi ile birlikte en kesit değeri $402,0 \pm 1,41$ HV1 ve boy kesit değeri $408,3 \pm 1,52$ HV1 değerine artmıştır. Filmaşin çapının 4,00 mm çapına getirilmesi ile en ve boy kesit değerleri sırası ile $434,3 \pm 3,21$ HV1 ve $441,7 \pm 1,52$ HV1 değerlerine ulaşmıştır. Yapılan soğuk deformasyon işlemi ile matriks yapısı olan perlitin lamellararası mesafesi azaltılmakta ve böylece kesitte sertlikler artmıştır. Bilindiği üzere, azalan lamellararası mesafe ile özellikle ferritik bölgelerde dislokasyon yoğunluğu artırılarak

malzemede sertliğin artışı sağlanmıştır. Bu sertlik artışı malzemelerin kopma mukavemet değerlerine de yansımıştır. Şekil 4.24b'de malzeme çapına bağlı kopma mukavemet değişim diyagramı verilmiştir. Verilen diyagrama göre azalan çapla birlikte kopma mukavemet değerleri de artmış olup filmaşın, 4,50 mm ve 4,00 mm çaplı yarı mamuller için elde edilen değerler sırası ile $125,7 \pm 0,58$, $148,0 \pm 1,0$ ve $157,7 \pm 0,58$ kg/mm²'dir.



(a)

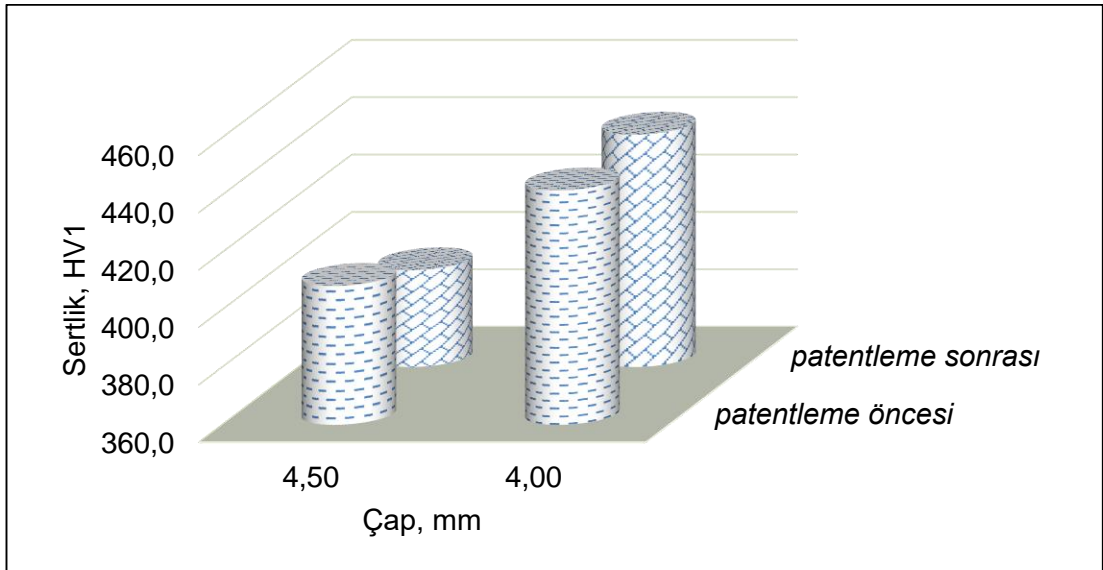


(b)

Şekil 4.24. Filmaşın ve yarı mamul ürünlerde çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti

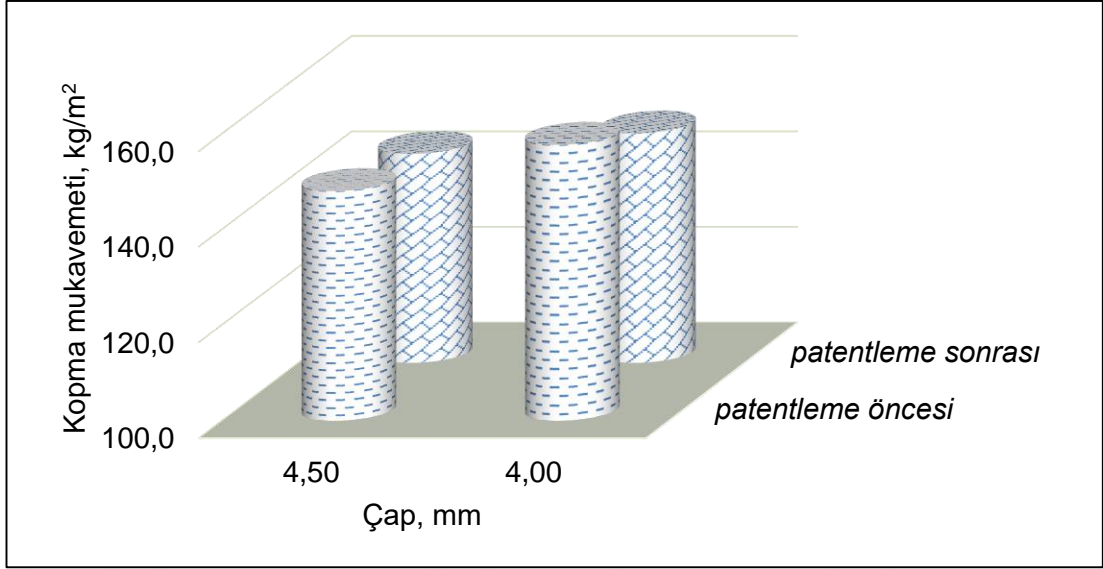
Provizyon işlemi sonrası yapılan patentleme işlemi ile tedarik edilen filmaşinin matriksi indirgenmiş kesitinde de yeniden perlitik bir yapıya kavuşturulmuştur. Ancak bir taraftan indirgenen kesit etkisi diğer taraftan da kontrollü ısıl işlemler ile perlitin orijinal yapısına göre nispeten homojen lamellararası mesafeye sahip daha ince bir formda olmasına katkı sağlamıştır. Şekil 4.25'de kesit indirgenmesi sağlanmış ve patentlenmiş ürünlere ait mekanik özellik değişimleri diyagramize edilmiştir. Şekil 4.25a'da patentleme öncesi ve sonrası yarı mamuller için boy kesitte sertlik değişimleri verilmiştir. Patentleme öncesi 4,50 mm çaplı yarı mamul için sertlik değeri $408,3 \pm 1,52$ HV1 iken, patentleme sonrası elde edilen sertlik değeri $393,7 \pm 5,50$ HV1'dir. Kesiti 4,00 mm çapa indirgenmiş yarı mamulde ise patentleme öncesi ve sonrası sertlik değerleri sırası ile $441,7 \pm 1,52$ HV1 ve $441,0 \pm 2,64$ HV1 olarak belirlenmiştir. Hem patentleme öncesi hem de patentleme sonrası elde edilen sertlik değerleri tedarik edilen filmaşinin boy kesit değerinden ($389,0 \pm 2,8$ HV1) yüksek değerdedir.

Şekil 4.25b'de ise patentleme öncesi ve sonrası yarı mamullerin kopma mukavemet değerleri kıyaslanmıştır. Filmaşinden 4,50 mm çapa indirgenmesi ile çelik esaslı malzemenin kopma mukavemet değeri $125,7 \pm 0,58$ kg/mm² değerinden $148,0 \pm 1,0$ kg/mm² değerine ulaşmış ve patentleme sonrası bu değer $143,7 \pm 1,52$ kg/mm² olarak belirlenmiştir. Daha fazla indirgenen kesitte (4,00 mm) patentleme öncesi ve sonrası kopma mukavemet değerleri sırası ile $157,7 \pm 0,58$ ve $148 \pm 0,20$ kg/mm² olarak ölçülmüştür.



(a)

Şekil 4.25. Yarı mamul ürünlerde patentleme öncesi ve sonrası çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti

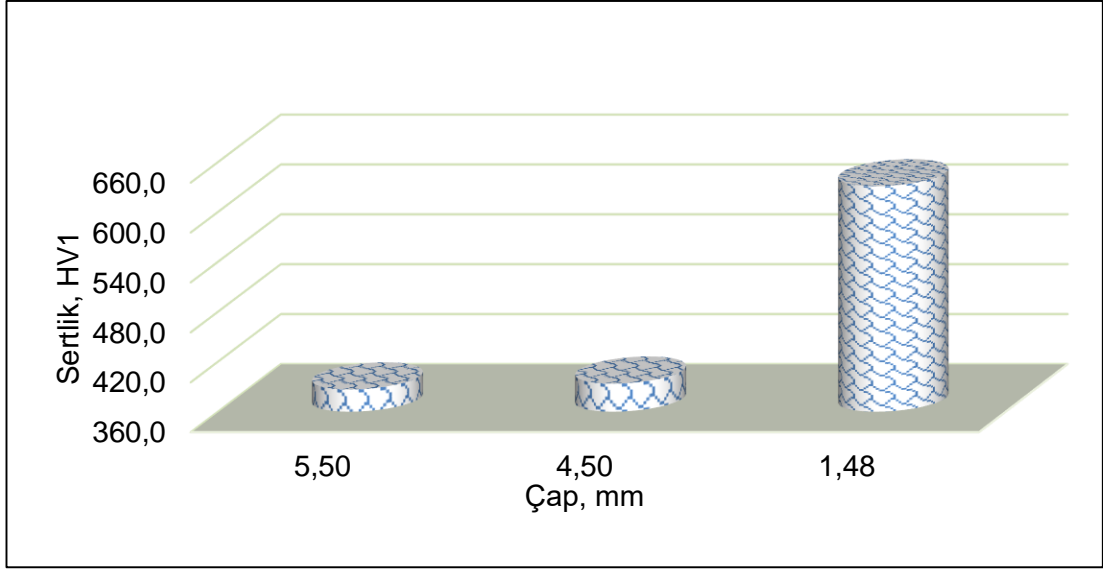


(b)

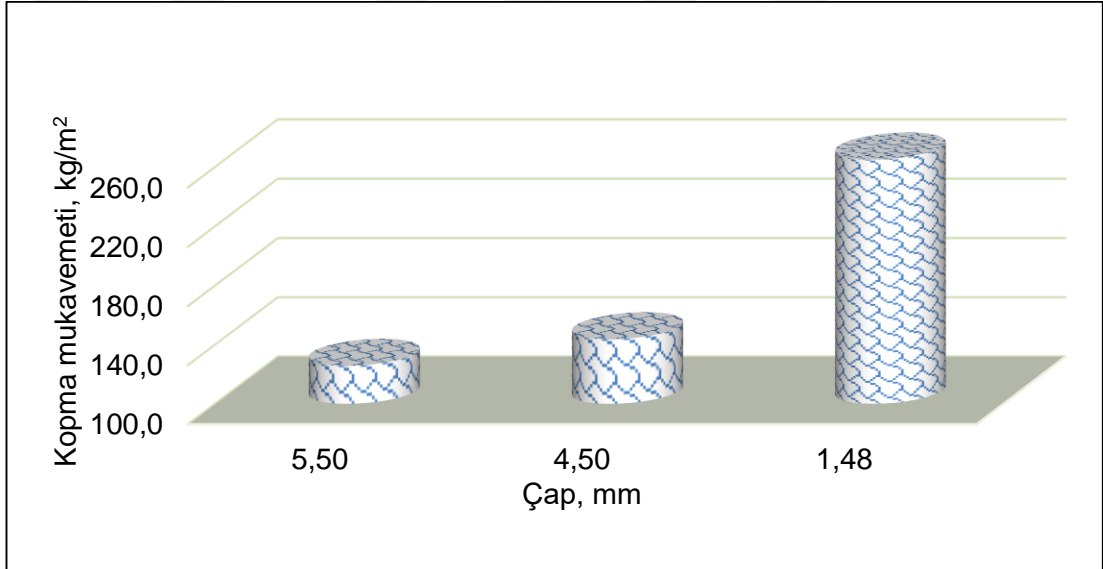
Şekil 4.25 (Devam). Yarı mamul ürünlerde patentleme öncesi ve sonrası çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti

Daha önceden de belirtildiği üzere, tez çalışması kapsamında 5,50 mm çaplı filmaşinden önce provizyon ile 4,50 ve 4,00 mm çaplı yarı mamuller ve hemen sonrasında da patentleme sonrası yapılan nihai tel çekme işlemleri ile çapları 1,30 mm ile 1,93 mm arasında değişen teller üretilmiştir. Şekil 4.26-4.28'de işlem sırasına göre kesiti indirgenmiş malzemelere ait mekanik özellik değişimleri verilmiştir.

Şekil 4.26a'da, 5,50 mm çaptan önce provizyon ile 4,50 mm çapa ve daha sonrasında da nihai tel çekme ile 1,48 mm nihai çapa indirgenmiş tellerin sertlik değerleri verilmiştir. Şekil 4.26b'de ise bahsi geçen indirgeme işlemleri sonrası elde edilen kopma mukavemet değerleri verilmiştir. Nihai çapa (1,48 mm) karşılık gelen sertlik değeri $631,0 \pm 1,73$ HV1 ve kopma mukavemeti değeri de $265,0 \pm 2,0$ kg/mm² olarak belirlenmiştir.



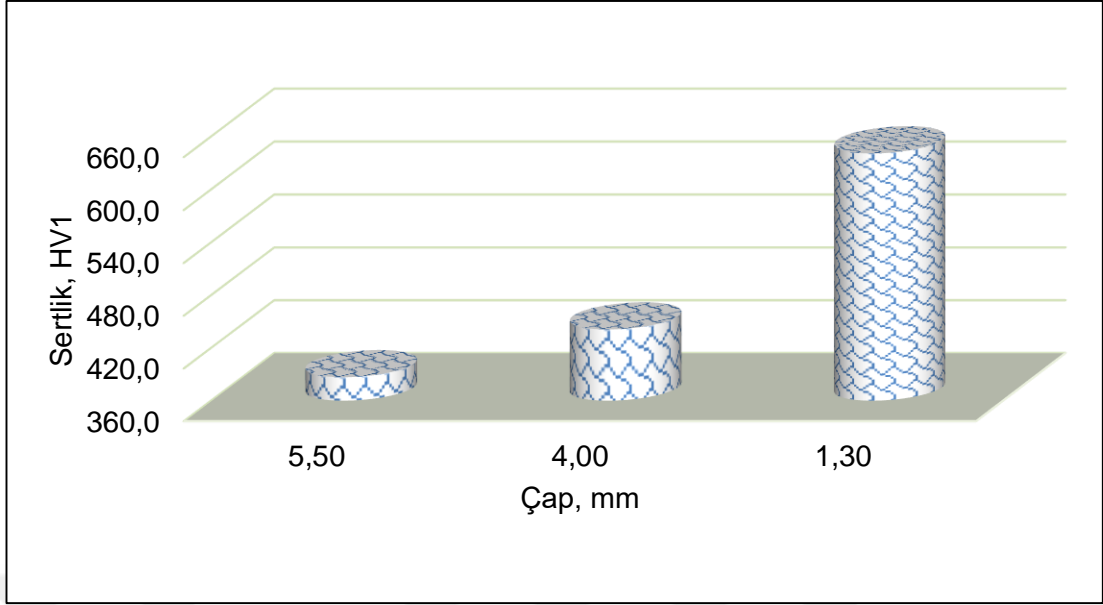
(a)



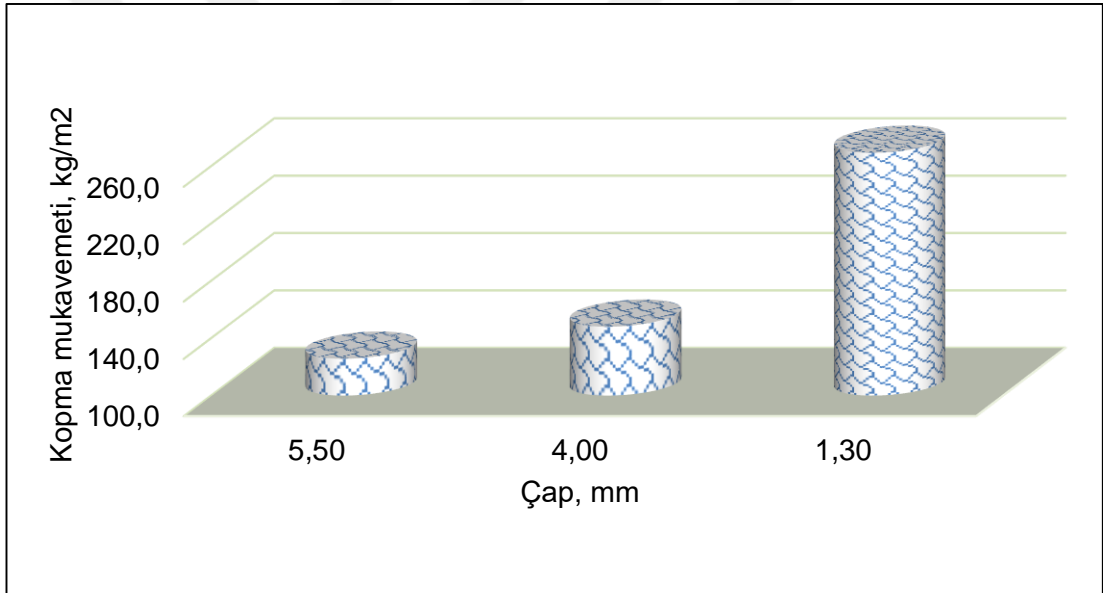
(b)

Şekil 4.26. Filmaşından 4,50 mm çapa provizyon sonrası 1,48 mm nihai çapa indirgenmiş tellere ait çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti

Şekil 4.27’de, 5,50 mm çaptan önce provizyon ile 4,00 mm çapa ve daha sonrasında da nihai tel çekme ile 1,30 mm nihai çapa indirgenmiş tellerin çaplarına bağlı mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler verilmiştir. Nihai çapa (1,30 mm) karşılık gelen sertlik değeri $640,8 \pm 4,27$ HV1 ve kopma mukavemeti değeri de $269,3 \pm 0,57$ kg/mm² olarak belirlenmiştir.



(a)

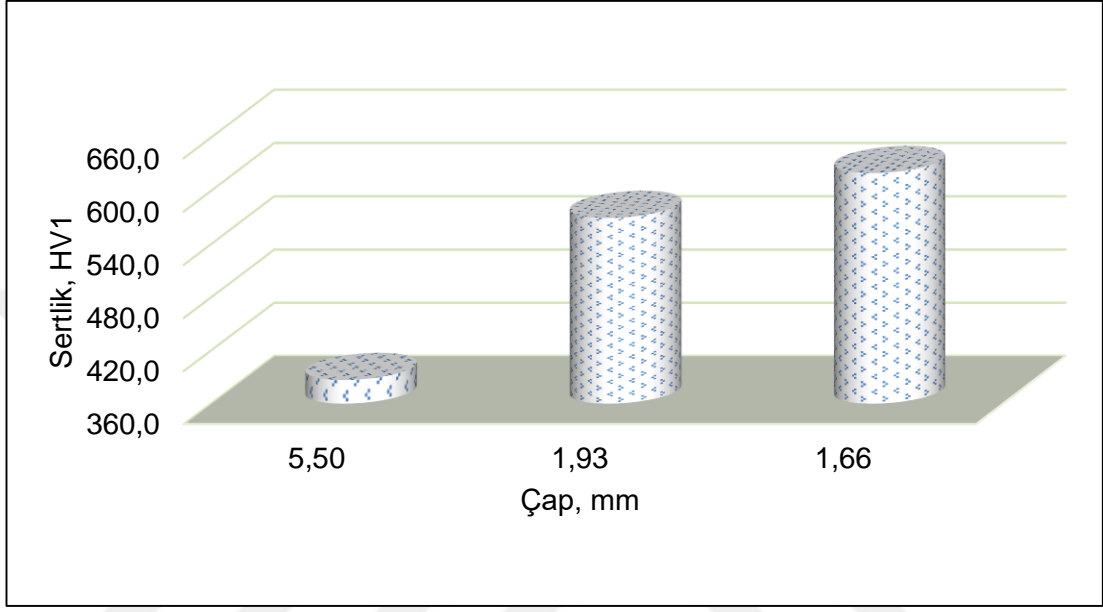


(b)

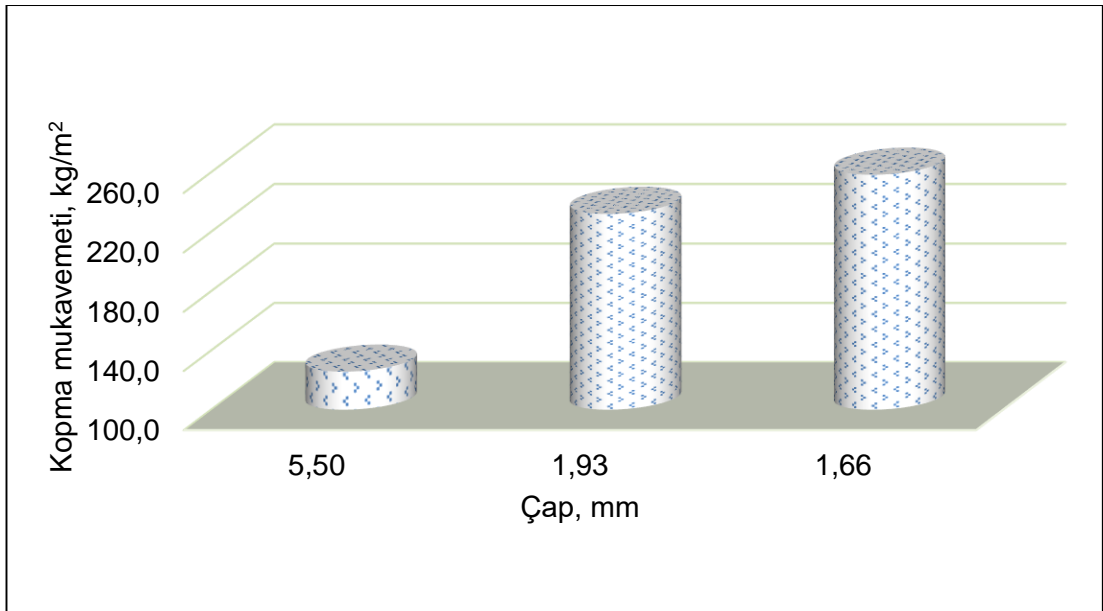
Şekil 4.27. Filmaşından 4,00 mm çapa provizyon sonrası 1,30 mm nihai çapa indirgenmiş tellere ait çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti

Şekil 4.28'de 5,50 mm çaptan herhangi bir provizyon çalışması yapılmaksızın nihai tel boyutuna indirgenme aşamalarında elde edilen mekanik özellik değişimleri verilmiştir. Bu aşamada filmaşinin çapı (5,50 mm) çoklu haddeme ile 1,93 mm ve 1,66 mm çaplara indirgenmiştir. Şekil 4.28a'da bahsi geçen çap indirgenmesi sonrası sertlik değişimi verilmiştir. Nihai tel çekme sonrası 1,93 mm çapa sahip telde sertlik değeri boy kesitinde $569,5 \pm 3,69$ HV1 olarak ve 1,66 mm çapa sahip telde sertlik değeri eşdeğer kesitte $620,0 \pm 2,30$ HV1 olarak belirlenmiştir. Azalan kesit çapı ile

birlikte tel malzemelerde sertlik değeri artmıştır. Benzer bir eğilim, Şekil 4.28b'de verilen çapa bağlı kopma mukavemet değişim diyagramında da tespit edilmiştir. Tel çapının 1,93 mm seviyesine indirgenmesi ile kopma mukavemet değeri $232,0 \pm 1,73$ kg/mm^2 değerine ve tel çapının 1,66 mm olması ise bu değer $258,3 \pm 2,88$ kg/mm^2 değerine artmıştır.



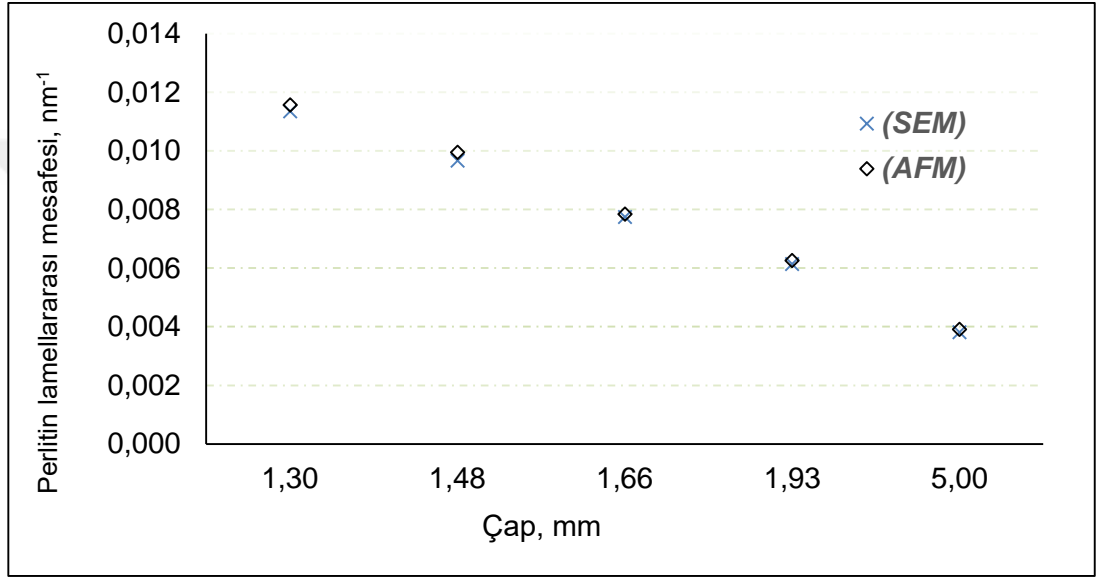
(a)



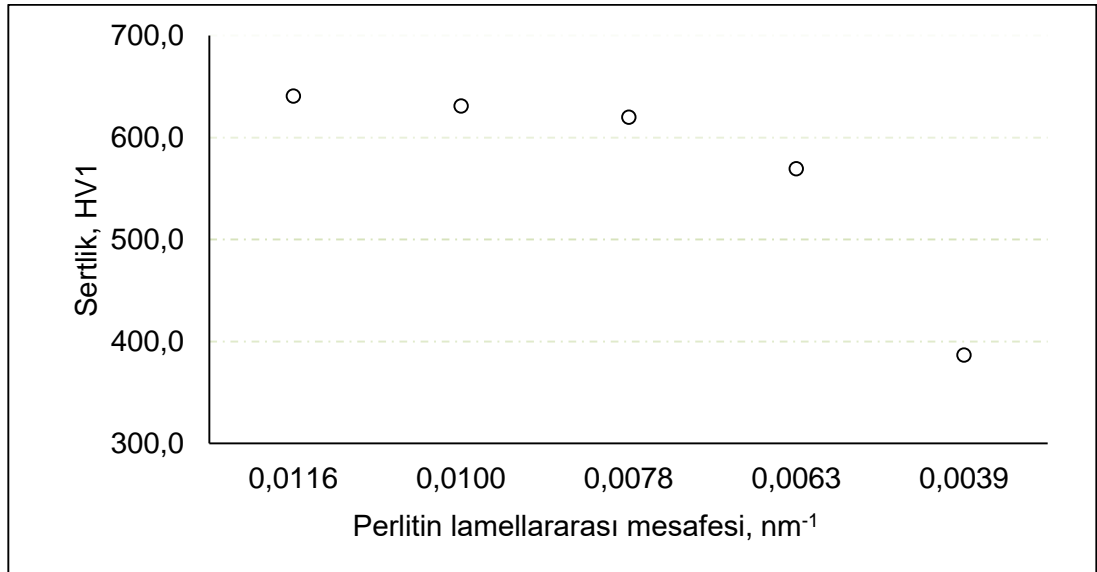
(b)

Şekil 4.28. Filmaşinden doğrudan tel çekme sonrası çapa bağlı mekanik özelliklerdeki değişim; (a) sertlik ve (b) kopma mukavemeti

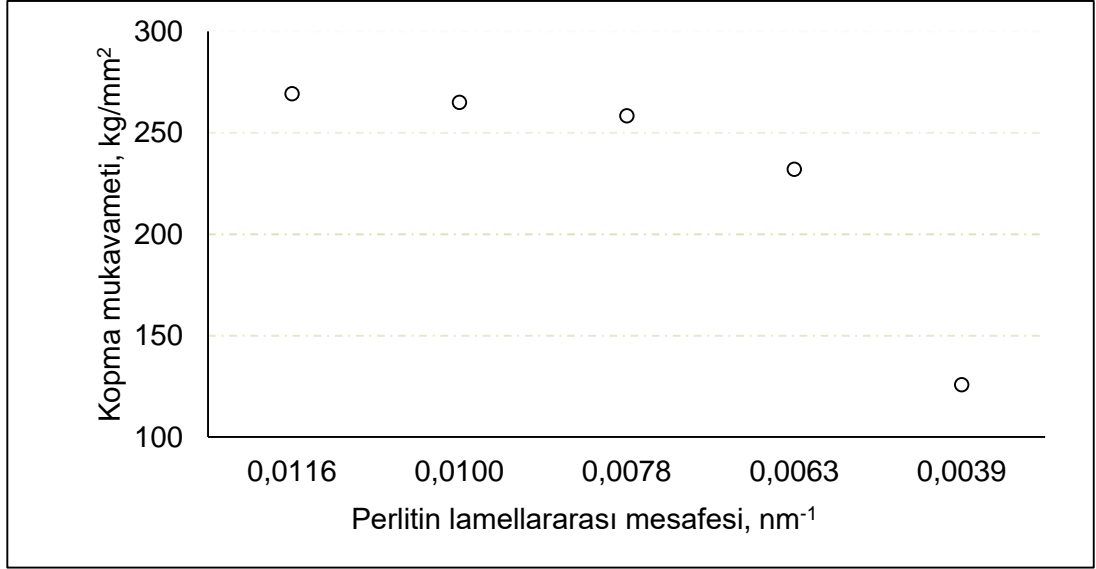
Şekil 4.29, hem filmaşın çapına hem de nihai tel çaplarına bağlı olarak SEM ve AFM ile belirlenen perlitin lamellararası mesafe değişimini göstermektedir. Verilen bu diyagramdan da görüleceği üzere, azalan çapın bir fonksiyonu olarak çekilmiş perlitin lamellararası mesafesi ($S\epsilon$) azalmaktadır. Lamellararası mesafenin azalmasına bağlı olarak farklı çaplarda üretilen tellerin sertliğinde ve kopma mukavemetinde meydana gelen değişimler Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Azalan boyutta dislokasyon yoğunluğunun artışı, mekanik özelliklerde (sertlik, mukavemet vb.) beklenen artışa neden olmuştur.



Şekil 4.29. Tel çaplarına bağlı olarak perlitin lamellararası mesafesinde değişim



Şekil 4.30. Üretilen tellerde perlitin lamellararası mesafesinin bir fonksiyonu olarak sertlik değişimi

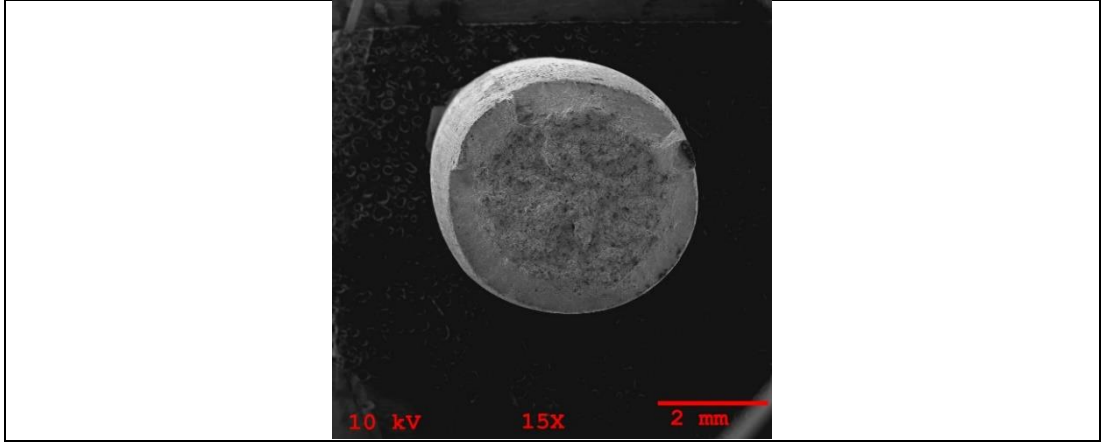


Şekil 4.31. Üretilen tellerde perlitin lamellararası mesafesinin bir fonksiyonu olarak kopma mukavemeti değişimi

4.4. Fraktografik İncelemeler

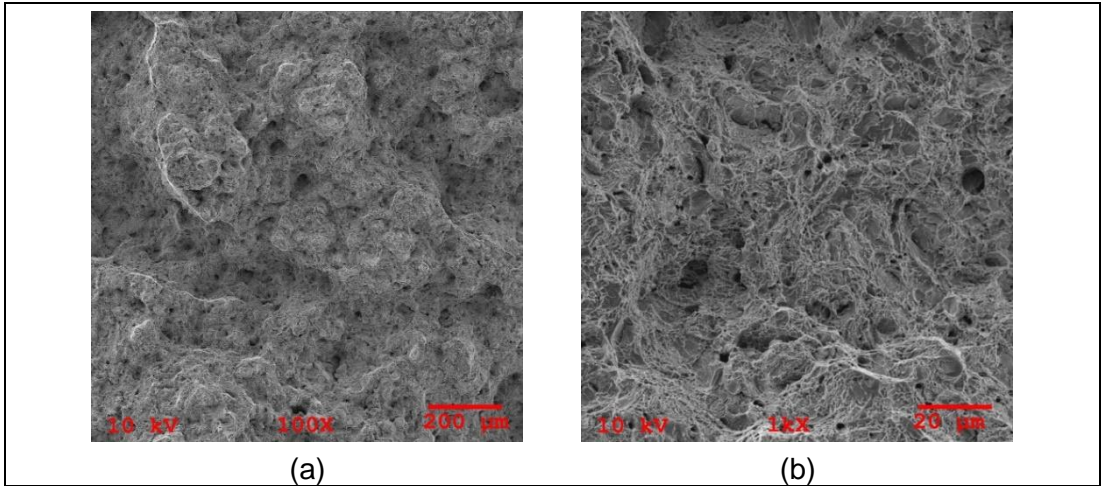
Bu bölümde, kopma testleri sonrası farklı çaplara ait yüksek karbonlu çelik tellerin kırık yüzeyleri SEM ile ve kırık yüzey kesitleri IM ile incelenmiş olup, elde edilen fraktograflar ve mikrograflar irdelenmiştir.

Şekil 4.32'de, başlangıç hammaddesi olan 5,50 mm çaplı filmaşinin kırılma genel yüzeyini gösteren bir SEM fraktografı verilmiştir. Filmaşin çekme yüklenmesi altında çanak-koni (cup and cone) türü bir kırılma sergilemiştir. Bu tür bir kırılma oluşumunda, malzeme yüklenme altında plastik deformasyona maruz kalarak kesitinde kısmen bir boyun verme gerçekleşecektir. Gerilme altında malzeme bir taraftan plastik deformasyona maruz kalmakta ve diğer taraftan da boyun verme bölgesinin merkezinde oldukça küçük boyutlu açılmalar başlayacaktır. Küçük boyutlu bu açılmalar esasen mikro boşluklar olarak tanımlanır. Yük altında bu mikro boşluklar büyüyerek ve birleşerek merkezde sürekli bir kavitasyona neden olacaktır. Bu kavitasyonun belirli bir boyuta ulaşması halinde malzemenin hızlı kırılma süreci devreye girecektir. Hızlı kırılma nominal yüke göre 45°'lik bir açıda ve bu açıda maksimum değere ulaşmış kayma yükleri altında gerçekleşecektir. Bu durumda kırılma yüzeyinde dudak benzeri bir patern oluşacaktır. Başlangıçta mikro boşluk birleşmesi ile kırık yüzeyde düz ve kaba bir kırık hattı gözlemlenirken, kayma nedenli hasarlanan bölgeler çoğunlukla pürüzsüz bölgeler olarak gözlenecektir.

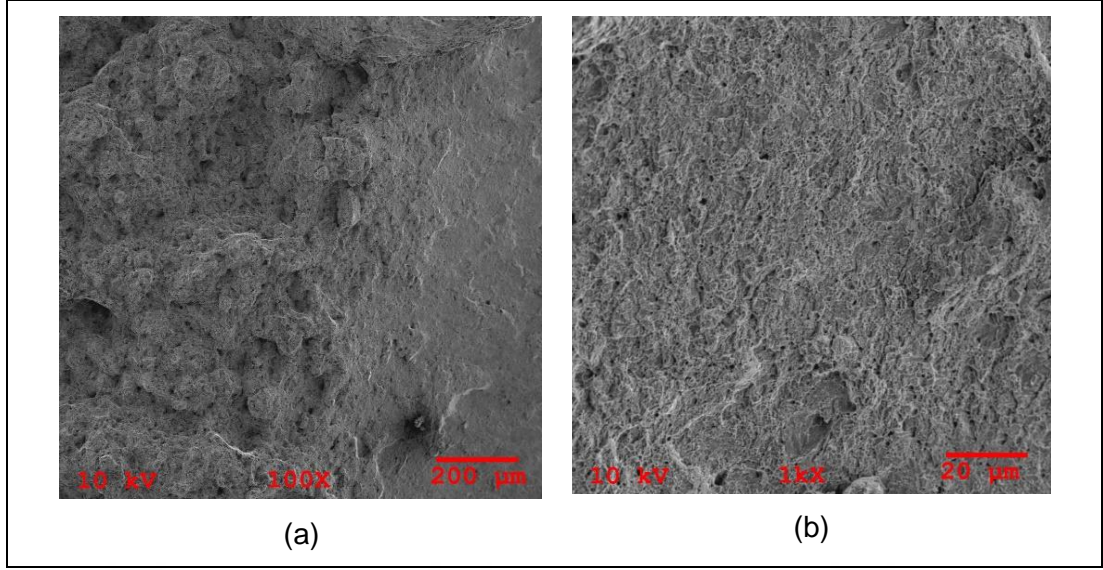


Şekil 4.32. Filmaşinin kırılma genel yüzeyini gösteren SEM fraktografı

Şekil 4.33a'da, filmaşinin çekme yüklenmesi altında kesit merkezinde oluşan kaba mikro boşluk oluşumu ve sonrasında bu mikro boşlukların birleşmesi ile ilerlemiş kavitasyon bölgesi verilmiştir. Bu bölgeye ait daha yüksek büyütme bir SEM görüntüsü Şekil 4.33b'de verilmiş olup, mikro boşluk birleşmesi daha net bir şekilde görülmektedir. Merkez hattında mikro boşluk birleşmesi evresinin son bulduğu ve hızlı hasarlanma sürecinin başladığı geçiş bölgesi Şekil 4.34a'da gösterilmiştir. Şekil 4.34b'de ise filmaşinin için kayma mekanizması ile hızlı hasarlanmanın gerçekleştiği nihai kopma bölgesini gösteren bir SEM görüntüsü verilmiştir. Nihai kopma bölgesinin pürüzlülük seviyesi ve nispeten var olan mikro boşlukların boyutları merkezine göre oldukça düşük seviyededir.

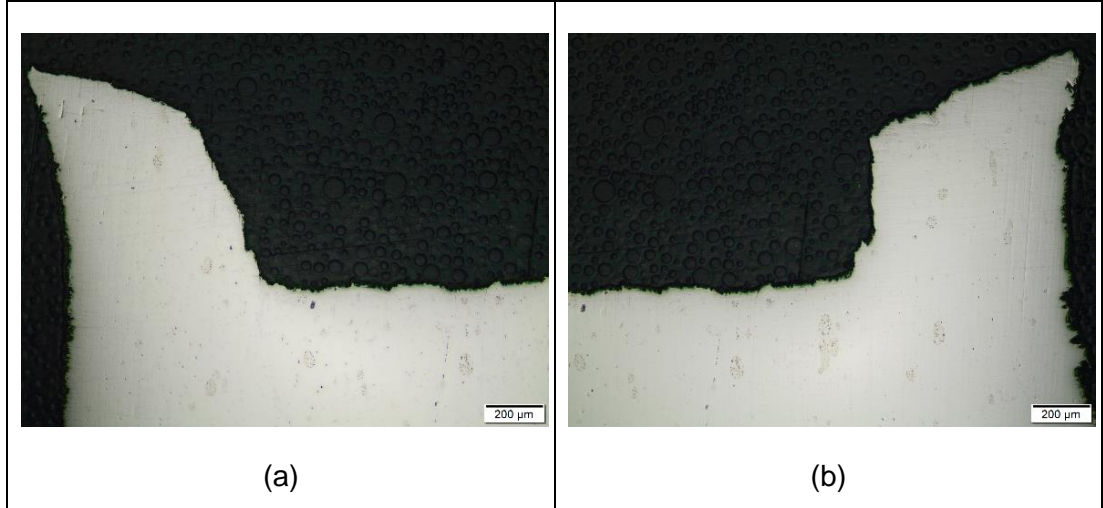


Şekil 4.33. Filmaşinin merkez kırılma yüzeyini gösteren SEM görüntüleri; (a) yoğun mikroboşluk oluşum bölgeleri ve (b) mikroboşlukların birleşmesi ile ilerlemiş kavitasyon

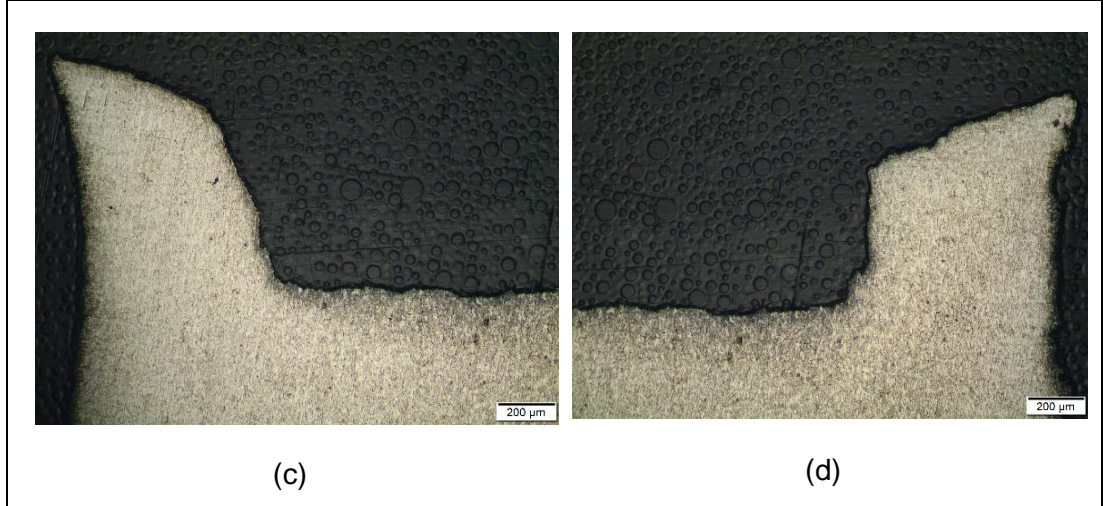


Şekil 4.34. Filmaşinde mikroboşluk birleşmesi ile ilerlemiş kaviteasyon bölgesinden hızlı hasarlanmaya geçiş bölgesi (a), kırık yüzeyde kayma nedeniyle oluşmuş düz dudak bölgesi (b)

Şekil 4.35’de verilen IM görüntüleri filmaşinin nihai kırık yüzeyinde gözlenen bölgeleri işaret etmektedir. Parlatılmış ve dağlanmış konumda alınan mikrograflar yüzeyde kayma nedeniyle hızlı hasarlanma bölgelerini (Şekil 4.35a ve b) ve merkezde mikro boşluk oluşumu + birleşmesi ile ilerlemiş çatlak ilerlemesini belirgin bir şekilde göstermektedir (Şekil 4.35c ve d).



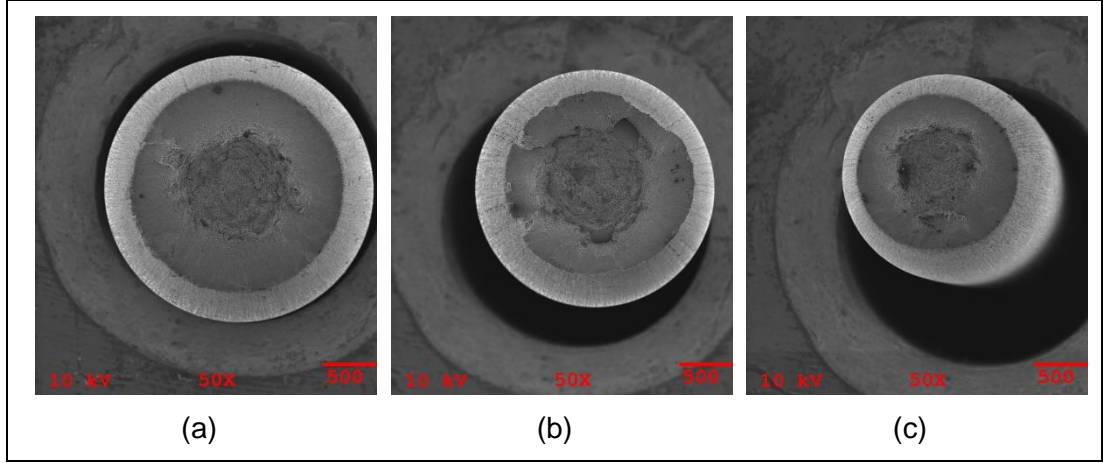
Şekil 4.35. Filmaşinin kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a ve b) parlatılmış, (c ve d) dağlanmış konum



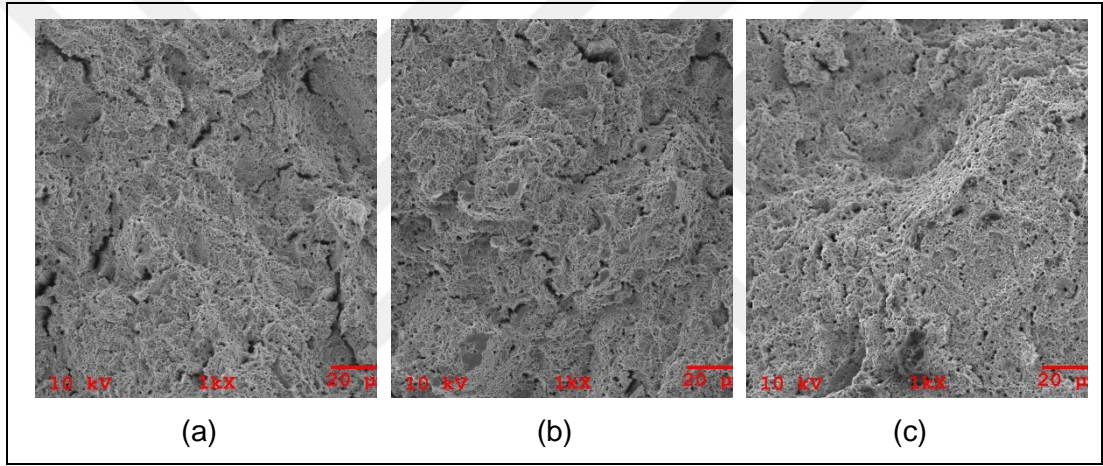
Şekil 4.35 (Devam). Filmaşının kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a ve b) parlatılmış, (c ve d) dağlanmış konum

Şekil 4.36'da nihai tel çekme sonrası farklı çaplara indirgenmiş tel malzemelere ait kırık yüzeylerin genel görüntüleri verilmiştir. İncelenen tüm malzemelerde nihai kopma çanak-koni tipi kırılma olarak gerçekleşmiş olup, bu tellerin kırık yüzey merkezlerine ait mikro boşluk birleşmesi ile oluşmuş ve yönlendirilmiş çatlaklar içeren hasarlanma bölgelerine ait fraktograflar Şekil 4.37'de verilmiştir. Daha önceden açıklandığı üzere, çanak-koni tipi kırılmada mikro boşluk mekanizmasını takiben gerçekleşen hızlı hasarlanma sürecinde kayma mekanizması oldukça etken olup, Şekil 4.38'de verilen fraktograflardan da görüleceği üzere pürüzsüz düz yüzeylerin oluşumuna neden olmaktadır.

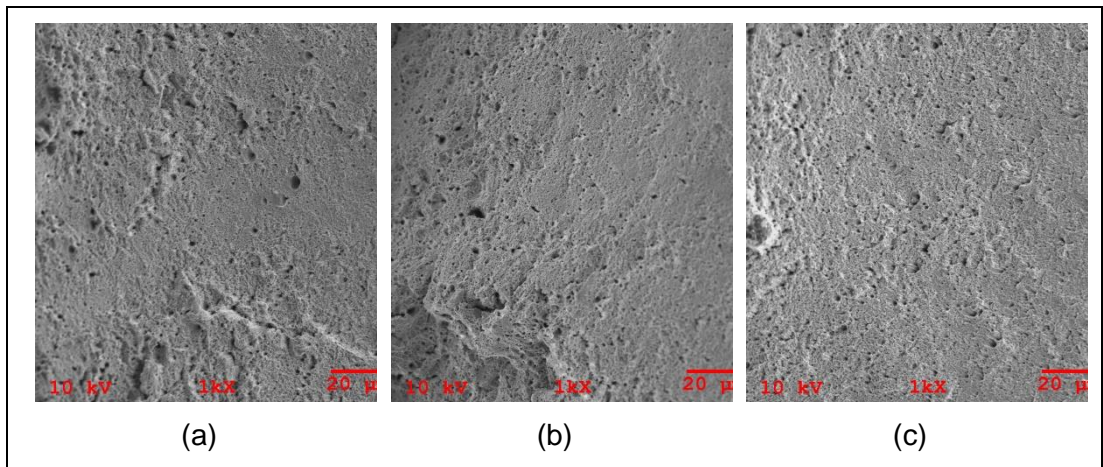
Nihai tel çekme ile farklı çaplara indirgenmiş tellerin kopma testleri sonrası kırık yüzey kesitleri de incelenmiş olup, Şekil 4.39-4.41'de ilgili kesitlere ait IM görüntüleri verilmiştir. Kesit çalışmaları çekme yüklenmesi altında hasarlanma oluşum süreçlerini yansıtmaktadır. Yüklenme altında; (i) plastik deformasyon ile birlikte boyun oluşumu, (ii) merkezde mikro boşluk oluşumu ve birleşmesi sonucu düz bir çatlak ilerleme hattının oluşumu ve (iii) nominal yüke 45°'lik açı ile kayma nedenli ayrışma gerçekleşmektedir.



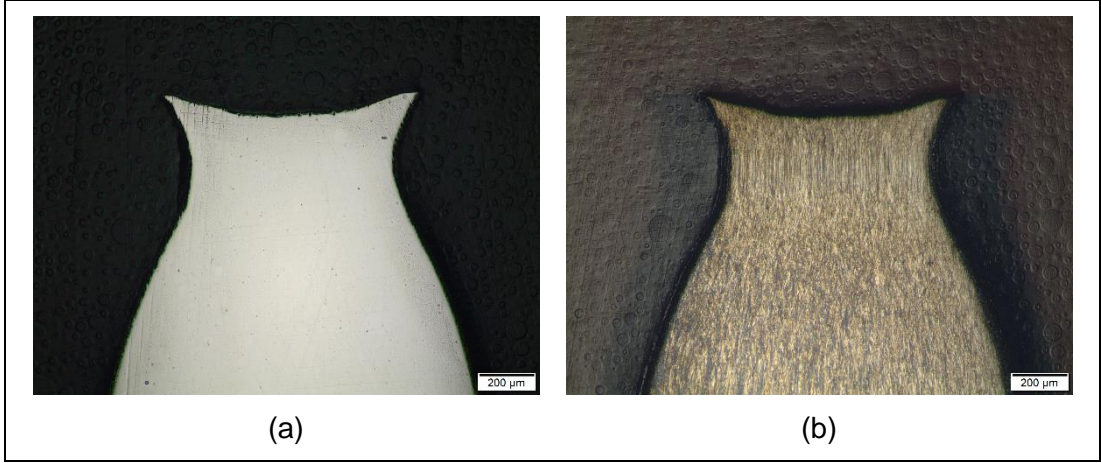
Şekil 4.36. Farklı çaplara sahip tellerin kırık yüzey genel görüntüleri; (a) 1,93 mm, (b) 1,66 mm ve (c) 1,48 mm



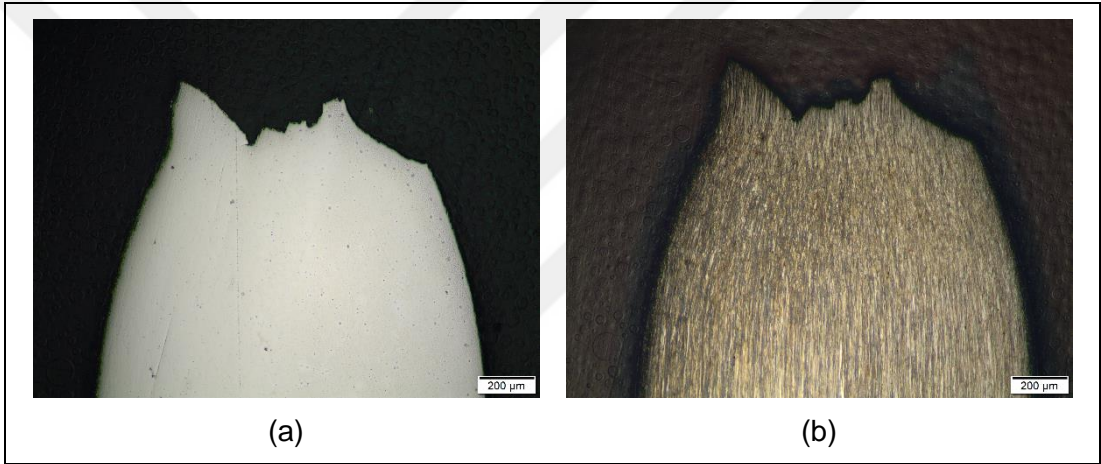
Şekil 4.37. Farklı çaplara sahip tellerin kırık yüzey merkezlerine ait fraktograflar; (a) 1,93 mm, (b) 1,66 mm ve (c) 1,48 mm



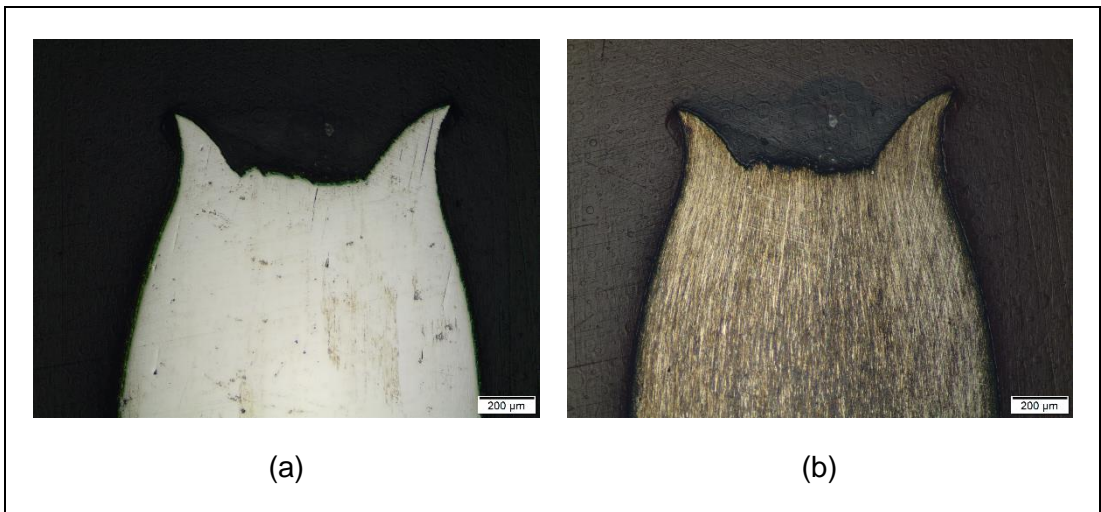
Şekil 4.38. Farklı çaplara sahip tellerin kayma nedenli hızlı hasarlanmış bölgelerine ait fraktograflar; (a) 1,93 mm, (b) 1,66 mm ve (c) 1,48 mm



Şekil 4.39. Çap değeri 1,93 mm olan telin kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a) parlatılmış ve (b) dağlanmış konum



Şekil 4.40. Çap değeri 1,66 mm olan telin kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a) parlatılmış ve (b) dağlanmış konum



Şekil 4.41. Çap değeri 1,48 mm olan telin kırık yüzey kesitine ait IM görüntüleri; (a) parlatılmış ve (b) dağlanmış konum

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ağırlıkça % 0,90 karbon içeren filmaşından 6x26 WS kompozisyonunda en az 220 kg/mm² mukavemet sınıfında 38,10 mm'lik bir çelik halat üretilmiş olup, çelik halatı oluşturan tellerin üretim sürecine bağlı olarak mikroyapısal ve mekanik karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir.

Mikroyapısal karakterizasyon çalışmaları, öncelikle filmaşın olarak seçilen çeliğin ISO 16120-1, ISO 3887 ve ISO 4967 standartlarına uygun yüzey ve metalurjik yapıda olduğunu göstermiştir. Filmaşın, ince ve kaba perlit yapıları içermekte olup, hem SEM hem de AFM ile yapılan ölçümler perlitin lamellararası mesafesinin ortalama 259,15 nm seviyesinde olduğunu göstermiştir. Yapılan provizyon çalışmaları ile perlitin lamellararası mesafesi daha da inceltilmiş olup, 4,00 mm çaplı telin matriks yapısı olan perlit için bu mesafe AFM ölçümleri ile $204,4 \pm 25,3$ nm olarak belirlenmiştir. Nihai tel çekme işlemleri ile 1,30 – 1,93 mm arasında değişen çaplarda teller başarılı bir şekilde üretilmiş olup, azalan kesitle birlikte lamellararası mesafe de indirgenmiştir. En düşük çaplı (1,30 mm) telin yapısında bulunan perlitin lamellararası mesafesi ortalama 87,28 nm seviyesindedir. Böylece 5,00 mm çaplı filmaşından 1,30 mm çaplı tele olan indirgeme ile perlitin lamellararası mesafesi % 33,68 seviyesinde azaltılabilmektedir.

Mekanik karakterizasyon çalışmaları iki kademe gerçekleştirilmiştir. Birinci kademe, filmaşından, provizyon ürünlerden ve nihai tellerden sertlik ölçümleri malzemelerin en ve boy kesitlerinde yapılmıştır. Boy kesitleri dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler, inceltmiş tellerin sertlik değerlerinin (~ 570-641 HV1) filmaşının sertlik değerinden (~ 387 HV1) oldukça yüksek bir değere ulaştığını göstermiştir. İkinci kademe yapılan mekanik testler çekme yüklenmesi altında gerçekleştirilmiş olup, malzemelerin kopma mukavemet değerleri belirlenmiştir. Yapılan ölçümler, nihai çapa getirilmiş ince tellerin kopma mukavemet değerlerinin (~ 230 – 270 kg/mm²) filmaşına göre (~ 126 kg/mm²) yaklaşık iki kat arttırıldığını ve ince kesitlerde tüm değerlerin hedeflenen 220 kg/mm² değerinin üzerinde olduğunu göstermiştir. Mekanik değerlerdeki bu artışın nedeni ise perlitik matriks içerisinde azaltılmış lamellararası mesafesi ile korele edilebilmiştir.

Kopma testleri sonrasında yapılan fraktografik çalışmalar ise tellerin tipik çanak-koni tipi benzeri hasarlandığını göstermiştir. Kırık yüzeylerin kesitinde yapılan mikroskobik çalışmalar da bahsi geçen kırılma türünü desteklemiş olup, kırık yüzeyin merkez hattı boyunca düz bir kırılmanın çukurcuk kopması içererek gerçekleştiğini ve sonrasında çatlakların kesitin yanal düzlemleri boyunca ilerlediğini ortaya koymuştur.



KAYNAKLAR

- [1] Onur Y. A., Halat Ömrüne Etki Eden Parametrelerin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 315356.
- [2] ASM Handbook Volume 1, *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, ASM International, 746-758, 1990.
- [3] Güzey A., Demirsel Tellerin Üretim Sürecinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2009, 245428.
- [4] Altun K., Soğuk Çekme Metoduyla Üretilen Kaynak Tellerinde Görülen Hataların Belirlenmesi ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 392974.
- [5] Bargujer S. S., Suri N. M., Belokar R. M., Thermo Mechanical Processing of Hypereutectoid Steel Wire Rod in Lead Patenting, *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, 2013, **3**(5), 36-39.
- [6] Çelik Halat ve Tel Sanayi A. Ş.. *Çelik Halat Ürün Kataloğu*, İzmit, 1999.
- [7] Fang F., Zhao Y., Liu P., Zhou L., Hu X. J., Zhou X., Xie Z. H. Deformation of Cementite in Cold Drawn Pearlitic Steel Wire, *Materials Science and Engineering: A*, 2014, 608, 11-15.
- [8] Ünseren M., Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2006, 185112.
- [9] Feyrer K., *Wire Ropes: Tension, Endurance, Reliability*, Springer Berlin Heidelberg, New York, 2007. <https://morawa.at/annotstream/2244000434863/PDF/Feyrer-Klaus/Wire-Ropes.pdf>, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [10] Kulkoni Inc., *Wire Rope Catalogue*, Houston, United States of America, 2014. <http://www.kulkoni.com/american-wire-rope/> (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [11] Usha Martin, *Wire Rope Handbook*, Kolkata, India, 2012. <http://www.ushamartin.com/wp-content/uploads/2014/04/Wire-Rope-Handbook.pdf>, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [12] Mazzella Companies, *Wire Rope Catalogue*, Cleveland, United States of America, 2009. <https://www.mazzellacompanies.com/Products-Services>, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [13] Verreet R., Steel Wire Ropes for Cranes- Problems and Solutions, *Casar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany, 2002. http://www.ropetechnology.com/bro_engl/Bro_Probleme_en.pdf, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).

- [14] Verreet, R., Calculating the Service Life of Running Steel Wire Ropes, *Casar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany, 1998. <http://fastlift.co.za/pdf/CASAR%20-%20Calculating%20the%20service%20life%20of%20running%20steel%20wire%20ropes.pdf>, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [15] TS EN 12385-3, elik Tel Halatlar-Güvenlik-Bölüm 3: Kullanım ve Bakım Bilgileri, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 2005.
- [16] TS ISO 4309, Vinçler-Tel Halatlar-Muayene ve Hizmet Dışı Bırakma İçin Uygulama Kuralları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1999.
- [17] Jun M. A., Ge S. R., Zhang D. K. Distribution of Wire Deformation within Strands of Wire Ropes, *Journal of China University of Mining and Technology*, 2008, **18**(3), 475-478.
- [18] Erdönmez C., İmrak C. E. Modeling and Numerical Analysis of the Wire Strand, *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 2009, **5**(1), 30-38.
- [19] Costello G. A., *Mechanics of Wire Rope*, Wire Association International, 2003. <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/286/1018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [20] A WireCo WorldGroup Brand, *Wire Rope User Guide*, Union, 2008. <https://www.unionrope.com/Portals/0/Documents/Technical/Wire-Rope-Basics/wire-rope-handbook.pdf>, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [21] Christodoulou I. A., Kermanidis A. T., Haidemenopoulos G. N. Fatigue and Fracture Behavior of Pearlitic Grade 900A Steel Used in Railway Applications, *Theor. Appl. Fract. Mech.* 2016, **83**, 51-59.
- [22] Lee S. K., Ko D. C., Kim B. M., Pass Schedule of Wire Drawing Process to Prevent Delamination for High Strength Steel Cord Wire, *Mater. Des.*, 2009, **30**, 2919-2927.
- [23] Zhang X., Godfrey A., Hansen N., Huang X. Hierarchical Structures in Cold-Drawn Pearlitic Steel Wire, *Acta Mater*, 2013, **61**, 4898-4909.
- [24] Meseguer-Valdenebro J. L., Miguel V., Caravaca M., Portolés A., Gimeno F., Teaching Mechanical Properties of Different Steels for Engineering Students, *J. Mater. Educ.* 2015, **37**, 103-118.
- [25] Toribio J., Matos J. C., González B., A Macro- and Micro-Approach to the Anisotropic Fatigue Behaviour of Hot-Rolled and Cold-Drawn Pearlitic Steel, *Eng. Fract. Mech.*, 2014, **123**, 70-76.
- [26] Zhang X., Godfrey A., Huang X., Hansen N., Liu Q., Microstructure and Strengthening Mechanisms in Cold-Drawn Pearlitic Steel Wire, *Acta Mater*, 2011, **59**, 3422-3430.
- [27] Guo N., Luan B., Wang B., Liu Q., Deformation Bands in Fully Pearlitic Steel During Wire Drawing, *Sci. China Technol. Sci*, 2014, **57**, 796-803.

- [28] Toribio J., Ovejero E., Effect of Cumulative Cold Drawing on the Pearlite Interlamellar Spacing in Eutectoid Steel, *Scr. Mater*, 1998, **39**, 323-328.
- [29] Kresak J., Peterka P., Kropuch S., Mechanical Tests of the Steel Wire Ropes and Steel Wires, *Metalurgija*, 2004, **43**(4), 345-347.
- [30] Costello G. A., Theory of Wire Rope, *Journal Mechanical*, Springer - Verlag, New York, 1999, **34** (1). https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=3J_SBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Costello+G.+A.,+Theory+of+Wire+Rope&ots=ZiC9iM1wN-&sig=0uGNFfmtMhF3xydmTGmzOu2ESHg&redir_esc=y#v=onepage&q=Costello%20G.%20A.%20C%20Theory%20of%20Wire%20Rope&f=false, (Erişim tarihi: 28 Mart 2020).
- [31] Zelin M., Microstructure Evolution in Pearlitic Steels During Wire Drawing, *Acta Materialia*, 2002, **50**(17), 4431-4447.
- [32] Duarte A. C. R., Mendes R. S., Fontana M., Silva F. R. F. D., Castro G. G. P. D., Lins J. F. C., Microstructural Evolution of a Pearlitic Steel Subjected to Thermomechanical Processing, *Materials Research*, 2018, **21**(2), 1-5.
- [33] Buono V. T. L., Gonzalez B. M., Lima T. M., Andrade M. S., Measurement of Fine Pearlite Interlamellar Spacing by Atomic Force Microscopy, *Journal of Materials Science*, 1997, **32**(4), 1005-1008.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Hocaoğlu B.**, Atapek Ő. H., Yüksek Karbonlu Kalın elik Halatların Üretimi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Bildiriler Kitabı, 1130-1135, 01-03 Kasım 2019.



ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında İstanbul'da doğmuştur. İlk ve orta eğitimini Orhaneli-Bursa'da, lise eğitimini Maltepe-İstanbul'da tamamlamıştır. 2011 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2016 yılında tamamlayıp, mezun olmuştur. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır. Mayıs 2017-Haziran 2018 tarihleri arasında Çelik Halat ve Tel San. A.Ş'de, Ar-Ge Mühendisi olarak çalıştıktan sonra aynı firma çatısı altında Haziran 2018-Ekim 2019 tarihleri arasında Yurtdışı Satış Uzmanı olarak çalışmıştır. Kasım 2019 tarihinden itibaren Çokyaşar Halat A.Ş'de Yurtdışı Satış Uzmanı olarak görevine devam etmektedir.

