

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖZÜ PLASTİK DOLGULU (EPIWRC) ÇELİK TEL
HALATLARIN EĞİLME YORULMASI DAVRANIŞININ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

MURAT POLAT

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖZÜ PLASTİK DOLGULU (EPIWRC) ÇELİK TEL
HALATLARIN EĞİLME YORULMASI DAVRANIŞININ VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

MURAT POLAT

Dr. Öğr. Üyesi İlbeyi KILAVUZ

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Ersin Asım GÜVEN

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Cevat Erdem İMRAK

Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih : 12.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/altyapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. tarafından 3191466 no'lu proje kapsamında maddi/altyapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza

Murat Polat

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarda kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimi tamamının veya bir kısmının gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayımlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

İmza

Murat Polat

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tezde özü plastik dolgulu halatların eğilme yorulma davranışı ve mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiş ve elde edilecek çıktılarının birikimli sektörel çalışmalara yol göstermesi amaçlanmıştır.

Çalışmam süresince destek veren danışmanım Dr. İlbeyi Kılavuz'a;

Çalışmam boyunca süreci yürüttüğüm Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ar-Ge ekibine;

Üretim ve deney süreçlerinde ekipmanların kullanımı ve bilginin paylaşılmasına destek veren Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş.'ye;

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca akademik gelişimime destek olan Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma ve sevgili arkadaşlarıma;

Her anımda yanımda olan ve beni koşulsuz destekleyen değerli annem Aliye Polat, değerli babam Şükrü Polat, minik kardeşim Ecrin Polat ve canım ablam Pelin Karacan ve eşimin değerli ailesine;

Tanıştığımız günden bu yana hayatıma dokunan, her anımı paylaştığım ve başarılarımda pay sahibi olan, kıymetli eşim Ece Gün Polat'a

katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ocak - 2022

Murat POLAT

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLOLAR DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Çelik Halatların Yapısı.....	4
2.2. Çelik Halat Çeşitleri.....	6
2.2.1 Lif Özlü Çelik Halatlar	6
2.2.2 Damar Özlü Çelik Halatlar	6
2.2.3 Bağımsız Çelik Özlü Halatlar	7
2.2.4. Özel Halatlar	7
2.2.4.2. Paralel Yapılı Çelik Halatlar.....	8
2.2.4.3. Özü Plastik Dolgulu Çelik Halatlar	8
2.3. Çelik Halatların Kullanım Alanları.....	9
2.4. Çelik Halatların Üretimi.....	10
2.4.1 Filmaşın Üretimi	10
2.4.2 Kimyasal Yüzey Temizleme İşlemi.....	11
2.4.3 Tel Çekme İşlemi.....	12
2.4.4 Isıl İşlem ve Galvaniz Kaplama.....	14
2.4.5 Demet Üretimi	15
2.4.6 Çelik Öz ve Halat Üretimi	15
2.5. Çelik Halatların Servis Ömrüne Etki Eden Parametreler.....	16
2.5.1 Çekme Yüğü ve Emniyet Katsayısı	16
2.5.2 Çap Oranı (D/d) ve Eğilme	17
2.5.3 Tel Mukavemeti	18
2.5.4 Makara Malzemesi ve Yiv Geometrisi	19
2.5.5 Halat Çapı	19
2.5.6 Halat Kompozisyonu	20
2.5.7 Yağlama	20
2.6. Çelik Halatların Servis Dışı Bırakma Kriterleri.....	21
2.6.1. Tel Kırık Sayıları	21
2.6.2. Halat Çapının Azalması	23
2.6.3. Korozyon	23
2.6.4. Tipik Hasarlanmalar	24
2.7. Çelik Halatlara Uygulanan Testler.....	25
2.7.1. Halat Kopartma Testi.....	25
2.7.2. Halat Yorulma (Ömür) Testi.....	25
2.7.3. Korozyon Testi	26

2.7.4. Tork Dönme Testi	27
2.8. Çelik Halatlar ile Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar	27
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	30
3.1. Çalışmada Kullanılan Halatların Tasarım Çalışmaları	30
3.1.1. Ürün Tasarımının Gerçekleştirilmesi.....	30
3.1.2 Ürün Tasarımının 2D ve 3D Doğrulama Çalışmaları	31
3.2. Çalışmada Kullanılan Halatların Üretim Çalışmaları	31
3.2.1. Kimyasal Yüzey Temizleme İşlemi.....	32
3.2.2. Birinci Kademe Tel Çekme İşlemi	33
3.2.3. Isıl İşlem ve Galvanizleme İşlemi	33
3.2.4. İkinci Kademe Tel Çekme İşlemi	33
3.2.5. Çelik Öz Demet ve Dış Demet Üretimi	33
3.2.6. Çelik Öz Üretimi.....	34
3.2.7. Ekstrüzyon ile Polimer Kaplama	34
3.2.8. Halat Üretimi	35
3.3. Çalışmada Kullanılan Halatların Test ve Deney Çalışmaları	35
3.3.1 Halat Kopartma Testleri.....	35
3.3.2 Halat Yorulma (Ömür) Testleri	37
3.3.3 Halat Korozyon Testleri.....	38
4. BULGULAR	40
4.1. Üretim Faaliyetlerinde Elde Edilen Bulgular.....	40
4.2. Test ve Deney Faaliyetlerinde Elde Edilen Bulgular.....	41
4.2.1. Halat Kopartma Testlerinde Elde Edilen Bulgular	41
4.2.2. Halat Ömür Testlerinde Elde Edilen Bulgular.....	42
4.2.3. Halat Korozyon Testlerinde Elde Edilen Bulgular	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	49
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	52
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Çelik halatların karakteristik yapısı	4
Şekil 2.2.	Çelik halat öz tipleri.....	5
Şekil 2.3.	Halatlarda kullanılan demet konstrüksiyonları	5
Şekil 2.4.	Halat sarım tipleri	6
Şekil 2.5.	Katman yapılarına göre çelik halatlar	7
Şekil 2.6.	Örüm yapısına göre temas şekilleri.....	8
Şekil 2.7.	Çelik halatlarda aşınma bölgeleri.....	9
Şekil 2.8.	Çelik halat üretim akış şeması	10
Şekil 2.9.	Filmaşın üretim akış şeması.....	11
Şekil 2.11.	Filmaşının kimyasal yüzey temizleme işlemi	12
Şekil 2.12.	Şematik tel çekme işlemi	13
Şekil 2.13.	Çekme matrisinin kısımları.....	13
Şekil 2.14.	Kuru tel çekme makinesi	14
Şekil 2.15.	Sulu tel çekme makinesi	14
Şekil 2.16.	Demet örüm makinesi	15
Şekil 2.17.	Çekme yükünün servis ömrüne etkisi	17
Şekil 2.18.	Makara çapının servis ömrüne etkisi	17
Şekil 2.19.	Aynı operasyonun farklı çaplardaki makaralarla gerçekleştirilmesi	18
Şekil 2.20.	Halatların makara üzerinde büküm tipleri	18
Şekil 2.21.	Çelik halatların makara yivi ile temas karakteristiği	19
Şekil 2.22.	Halat çapına bağlı olarak servis ömrünün değişimi.....	20
Şekil 2.23.	Tek katmanlı ve paralel yapılı halatlarda müsaade edilen tel kırık sayıları	22
Şekil 2.24.	Dönme dirençli halatlarda müsaade edilen tel kırık sayıları.....	22
Şekil 2.25.	Halat çapına bağlı olarak sistemden çıkarma kriterleri.....	23
Şekil 2.26.	Korozyona bağlı olarak sistemden çıkarma kriterleri.....	23
Şekil 2.27.	Çelik halatlarda tipik hasarlanma mekanizmaları.....	24
Şekil 2.28.	Çelik halatların makara üzerinde oluşan gerilme bölgeleri	26
Şekil 2.29.	Tork – Dönme Test Cihazı.....	27
Şekil 2.30.	Zhihui ve Jiquan (2012)'in çalışması sonucunda gerçekleşen tipik yorulma kırılmaları	28
Şekil 3.1.	Çalışmada kullanılan halatların 2D ve 3D tasarım görselleri	31
Şekil 3.2.	Çalışmada kullanılan halatların üretim akış şemaları	32
Şekil 3.3.	Plastik kaplama sonrası çelik özün 2D görseli	34
Şekil 3.4.	Çelik özün kaplama sonrası görseli	34
Şekil 3.5.	EPIWRC halatın üretim görseli	35
Şekil 3.6.	Kopma testi yapılacak halatların sonlandırma işlemine ait görsel.....	36
Şekil 3.7.	Üniversal tip dikey halat kopartma test cihazı.....	37
Şekil 3.9.	Korozyon testinin ardından halatların dış yüzey görünümleri.....	39
Şekil 3.10.	Korozyon testinin ardından çelik özlerin yüzey görünümleri.....	39
Şekil 4.1.	Isıl işlem öncesinde ve sonrasında tane yapısının görünümü	40
Şekil 4.2.	Halat kopartma test diyagramları.....	42
Şekil 4.3.	Ömür testlerinde meydana gelen tipik yorulma kırılmaları.....	43

Şekil 4.4.	Ömür testleri sonrasında çelik özlerin durumu.....	44
Şekil 4.5.	Korozyon testi sonunda korozyon durumu.....	45



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1.	Çalışmada kullanılan çelik halatlara ait bilgiler	30
Tablo 3.2.	Çalışmada kullanılan çelik halatların proses parametreleri	31
Tablo 3.3.	Ömür testi yapılan halatların test parametreleri.....	37
Tablo 4.1.	Üretimleri gerçekleştirilen numunelerin üretim parametrelerinin ölçüm sonuçları.....	41
Tablo 4.2.	Halat kopartma test sonuçları	42
Tablo 4.3.	Halat ömür test sonuçları	43
Tablo 4.4.	Halat korozyon test sonuçları	44



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

D	: Kasnak Çapı
d	: Halat Çapı
kN	: KiloNewton
lt	: Litre
mm	: Milimetre
N/mm ²	: Newton bölü milimetrekare
s	: Saniye
%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece

Kisaltmalar

EPIWRC	: Impregnated Plastic Independent Wire Rope Core (Plastik Emdirilmiş Bağımsız Çelik Öz)
F	: Filler
FC	: Fibre Core (Lif Öz)
IWRC	: Independent Wire Rope Core (Bağımsız Çelik Öz)
PWRC	: Parallel Wire Rope Core (Paralel Çelik Öz)
WSC	: Wire Strand Core (Demet Öz)
WS	: Warrington-Seale
t.y.	: Tarih yok

ÖZÜ PLASTİK DOLGULU (EPIWRC) ÇELİK TEL HALATLARIN EĞİLME YORULMASI DAVRANIŞININ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Çelik tel halatlar çeşitli alanlarda kullanılabilen yük kaldırma elemanıdır. Özellikle balıkçılık, madencilik, petrol, inşaat, ormancılık ve denizcilik endüstrilerinde yaygın olarak yük taşıma vinçlerinde kullanılan çelik tel halatlar, kullanıma bağlı olarak farklı özelliklerde ve konstrüksiyonlarda üretilebilirler. Çalışma ortamına ve ihtiyaçlarına bağlı olarak halatlarda yük taşıma kabiliyeti, korozyon direnci, yorulma dayanımı ve dönme direnci gibi özellikler istenmektedir. Yaygın bir kullanım alanına sahip özü plastik dolgulu bağımsız çelik özlü (EPIWRC) çelik tel halatlar özellikle korozyon dayanımı ve ek kullanım güvenliği sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir. Bu çalışmada özü plastik dolgulu halatların üretimi gerçekleştirilerek kopartma testleri, yorulma testleri ve korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler bağımsız çelik özlü (IWRC) çelik tel halatlar ile karşılaştırılarak ürünün sektöre sunduğu faydalar belirlenmiştir. Performans testleri sonucunda özü plastik dolgulu bağımsız çelik özlü halatların standart bağımsız çelik özlü halatlara nazaran %10 ekstra mukavemet, %40 ekstra servis ömrü ve %50 ekstra çelik öz korozyon direnci sağladığı görülmüştür. Özellikle zorlu ortam koşullarında kullanılan özü plastik dolgulu çelik tel halatların bir çok gereksinimi karşıladığı görülmektedir. Bu çalışma çelik tel halatlar hakkında deneysel sonuçlar içermektedir. Sektörel kullanımda ürünün performansı test sonuçlarından daha farklı olabilir. Bunun temel sebebi ürünün laboratuvar koşullarında test edilmiş olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Çelik Tel Halat, Korozyon, Servis Ömrü, Sürtünme.

INVESTIGATION OF BENDING FATIGUE BEHAVIOR AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL WIRE ROPES WITH IMPREGNATED PLASTIC CORE (EPIWRC)

ABSTRACT

Steel wire ropes are lifting equipments that can be used in various fields. Steel wire ropes, which are widely used in cranes, especially in the fishing, mining, oil&gas, construction, forestry and maritime industries, can be produced in different properties and constructions depending on the use. Depending on the working environment and needs, properties such as load carrying ability, corrosion resistance, fatigue strength and rotation resistance are required for ropes. Steel wire ropes with impregnated plastic independent wire rope core (EPIWRC), which have a wide usage area, are preferred especially because of their corrosion resistance and additional usage safety. In this study, tensile tests, fatigue tests and corrosion tests were carried out by ropes with EPIWRC. By comparing the obtained data with steel wire ropes with independent wire rope core (IWRC) , the benefits of the product to the industry were determined. As a result of the performance tests, it has been seen that the ropes with EPIWRC provide 10% extra breaking strength, 40% extra service life and 50% extra steel core corrosion resistance compared to ropes with IWRC. It is seen that especially steel wire ropes with EPIWRC used in harsh environmental conditions meet many requirements. This study includes experimental results about steel wire ropes. In industrial use, the performance of the product may differ from the test results. The main reason for this is that the product has been tested under laboratory conditions.

Keywords: Wear, Steel Wire Rope, Corrosion, Service Lifetime, Friction.

1. GİRİŞ

Çelik halatlar yüksek karbonlu perlitik çelik filmaşınlar kullanılarak üretilen kaldırma ekipmanlarıdır. Günümüzde pek çok alanda kullanılan çelik halatlar özellikle asansör sistemleri, balıkçı tekneleri, liman vinçleri ve maden işletmelerinde tercih edilmektedir (Güzey, 2009).

Çelik halatlar çok sayıda telin örülmesi sonucu elde edilen helisel yapıli elemanlardır. Çelik halatı oluşturan bileşenler Şekil 1’de verilmiştir. Çelik tellerin örülmesi sonucu oluşan çelik öz üzerine yine tellerin örülmesiyle elde edilen demetler sarılır ve çelik halatlar meydana gelir (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020).

Kullanım alanına göre çelik halatlar lif özlü(FC), çelik özlü(IWRC) ve damar özlü(WSC) olarak üretilebilirler. Lif özlü halatlar esneklik ve uzama serbestliği istenen alanlarda tercih edilirken çelik özlü ve damar özlü halatlar yüksek mukavemet gereksinimi olan uygulamalarda tercih edilirler (Bridon Ropes, 1992).

Modern endüstride ihtiyaç duyulan ekstra ömür ve mukavemet talepleri sonucunda özel halat tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlardan bir tanesi de özü plastik dolgulu halatlardır. Standart bağımsız çelik özlü (IWRC) halatların çelik özü ile dış demetleri arasına ekstrüzyon yöntemi ile plastik katman yerleştirilmesi sonucunda halatın mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Plastik kaplı bağımsız çelik özlü (EPIWRC) halat olarak adlandırılan bu halatlar liman endüstrisi başta olmak üzere zorlu ortam koşulları olan alanlarda kullanılırlar.

Çelik halatların performansının değerlendirilebilmesi için yaygın olarak kullanılan performans testleri mevcuttur. Bunlar; kopma testi, servis ömrü tayini, çevrimsel korozyon testi ve dönme testidir.

EPIWRC halatlarda en önemli parametre servis ömrüdür. Sisteme takılan halatlar kullanıma bağlı olarak belirli bir süre sonra sistem dışı kalırlar. Halatın servis durumunun belirlenmesi için “ISO 4309-Vinçler-Tel halatlar-Muayene ve hizmet dışı bırakmak için uygulama kuralları” standardı kullanılır. Çelik tel halatlarda çalışma

esnasında makaralarla temas sonucunda yorulma kırılmaları meydana gelir. Bu yorulma kırılmaları sonucunda telde hasarlanmalar meydana gelir ve halat servis ömrünü tamamlar. Ömür testleri özel olarak tasarlanan cihazlarda çevrimsel olarak gerçekleştirilir. Çevrim hareketi halat için seçilen aynı strok uzunluğundaki tersinir yönlü tekrarlanan hareket olarak tanımlanabilir. Belirli periyotlarda çap, tel kırık sayısı, yağlayıcı durumu gibi özellikleri kontrol edilen çelik halatların teorik servis ömrü bu cihazlar sayesinde belirlenir.

Bu tez çalışması özü plastik dolgulu bağımsız çelik özlü halatların standart bağımsız çelik özlü halatlara göre performans karşılaştırması yapıldı. Üretim faaliyetleri, test ve deney çalışmaları ve sonuçların yorumlanması Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. firmasında gerçekleştirildi.

2. GENEL BİLGİLER

Halatların ilk örnekleri milattan önce (MÖ) 12.000-9.000 yılları arasında Mısır Medeniyeti'nde görülmüştür. MÖ 9.000-3.000 yıllarında ise Finlandiya'da görülen çelik halat örnekleri mevcuttur. İlk dönemlerde deve tüyünden imal edilen halatlar orta çağ mimarisinde bir çok bina, heykel ve tarihi unsurların yapımında kullanılmıştır (Hardin, 1998).

Modern uygulamalara uyarlanan çelik tel halatların ilk örneği madencilik endüstrisindeki gereksinim üzerine August Julius Albert tarafından tasarlanmıştır. Tasarlanan halat cevherlerin taşınması için kullanılmıştır (Verreet, 2002).

Çelik tel halatlar yüksek mukavemet özelliğinde üretilmiş farklı çaplardaki çelik tellerin demet haline getirilmesi ve ardından örülmesi sonucunda oluşur. Çok sayıda tele sahip olması sebebiyle halatlar homojen bir yük taşıma kabiliyetine sahiptir. Çelik halatlar tek katmana sahip olabileceği gibi birden fazla demet katmanının da birbirine helisel olarak örülmesi sonucunda çok katmanlı olarak üretilebilir (Kandemir, 2014).

Çelik halatlar çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları balıkçılık, madencilik, ormancılık, asansör, liman endüstrisi, endüstriyel vinçler ve denizcilik olarak bilinmektedir. Kullanım alanına göre çelik halatlar farklı özelliklere sahip olmalıdır. Korozyonun ön planda olduğu halatlarda halat seçimi korozyon önleyici parametrelere göre yapılır iken mukavemet, ömür ve esneklik gibi parametrelerde de uygun seçimler yapılmalıdır (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 1999).

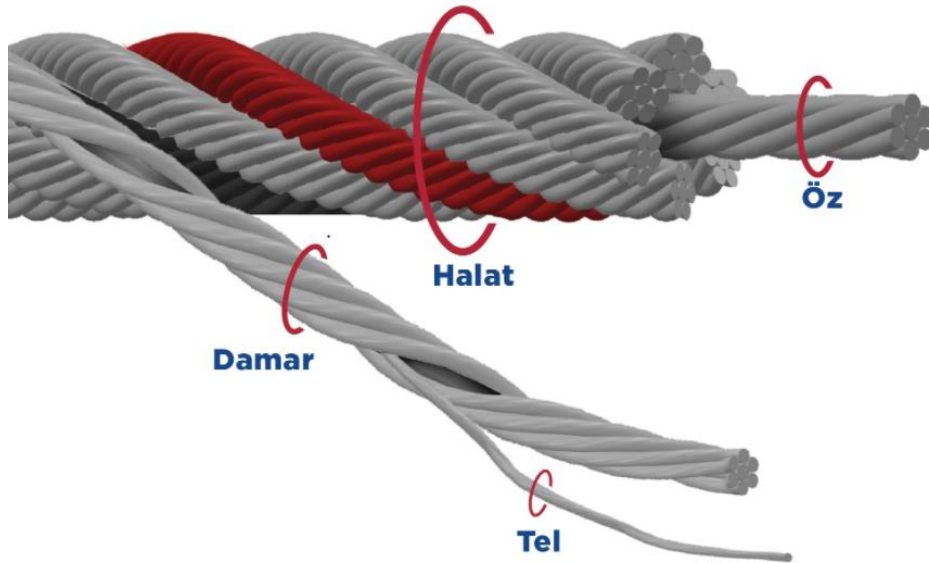
Çelik halatlarda beklenen özelliklerin doğrulanması adına bir takım testler yapılmaktadır. Bunlardan bazıları halat kopartma testi, korozyon testi, tork – dönme testi ve ömür testidir. Geliştirilen ürünlerin performans kıyaslamalarının yapılması ve sektörel uygunluğunun değerlendirilebilmesi için bu testlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir.

2.1. Çelik Halatların Yapısı

Çelik tel halatlar kullanımı esnasında ciddi zorlanmalara maruz kalmaktadır. Kullanım alanına göre oldukça farklı tasarımlara sahip çelik halatların emniyetli ve doğru olarak kullanılabilmesi için üretici kadar kullanıcının da bilgi sahip olması gerekmektedir. Bununla birlikte literatürde çelik halatların uygulamadaki davranışları ile ilgili kısıtlı çalışmalar bulunmaktadır (Demirsoy, 1991).

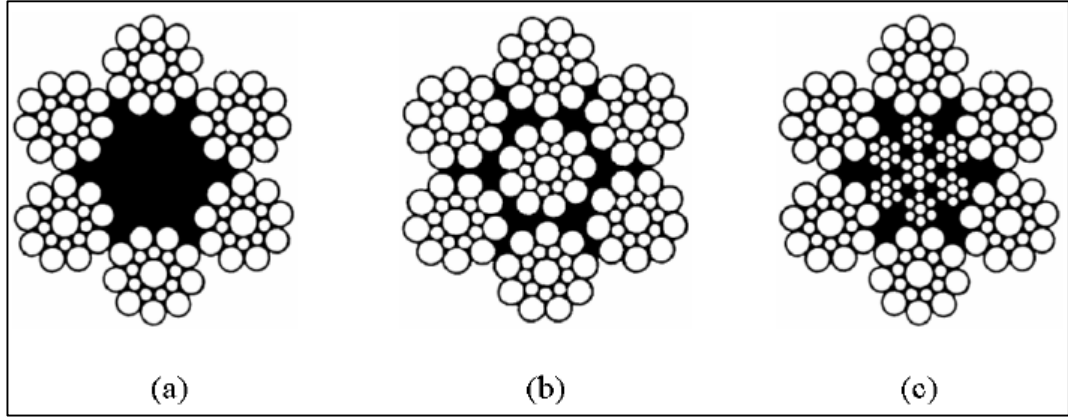
Çelik halatlar sektörde birçok alanda zincirlerin yerini almıştır. Direkt olarak kırılan zincirlere nazaran çelik halatlarda zamana bağlı olarak tel kırılmaları gerçekleşir, kopma direkt gerçekleşmez ve bu sayede çelik halatlar çok daha güvenli bir kullanım sunarlar. Bunun yanı sıra çelik halatlar daha yüksek mukavemet, aşınma direnci, korozyon ve yorulma dayanımı sağlarlar. Çok sayıda tele sahip olması sebebiyle yüksek emniyet katsayısı sağlayabilirler (Demirsoy, 1991).

Çelik tel halatların yapısal karakteristiği incelendiğinde tel, damar, çelik öz ve çelik halat tanımları görülmektedir. Çelik tellerin üretilmesinin ardından birbiri üzerine örülmesi ile demetler (damar) meydana gelir. Daha sonra bu demetlerin örülmesi ile çelik öz elde edilir. Çelik özün üzerine dış demetlerin örülmesi sonucunda çelik halat yapısı meydana gelir (Ernst, 1973). Çelik halatların yapısı Şekil 2.1’de verilmiştir (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020).



Şekil 2.1. Çelik halatların karakteristik yapısı (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020)

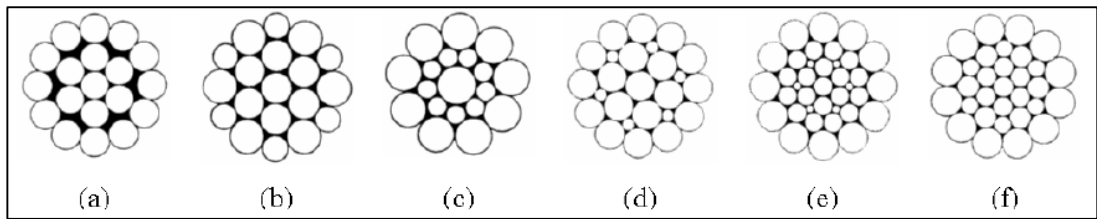
Çelik halatlar lif özlü (FC), damar özlü (WSC) ve çelik özlü (IWRC) olmak üzere 3 farklı tipte üretilirler. Bu öz tipleri Şekil 2.2’de verilmiştir (Bridon Ropes, 1992).



Şekil 2.2. Çelik halat öz tipleri: a)Lif öz(FC), b)Damar öz(WSC), c)Çelik öz(IWRC) (Bridon Ropes, 1992)

Özel halat kategorilerinde Şekil 2.2’de verilen temel öz tiplerine ek olarak paralel çelik öz (PWRC) ve plastik kaplamalı çelik öz (EPIWRC) yer almaktadır. Bu öz tipleri kattığı ek faydalar ile halatları özel halat kategorisine taşımaktadır.

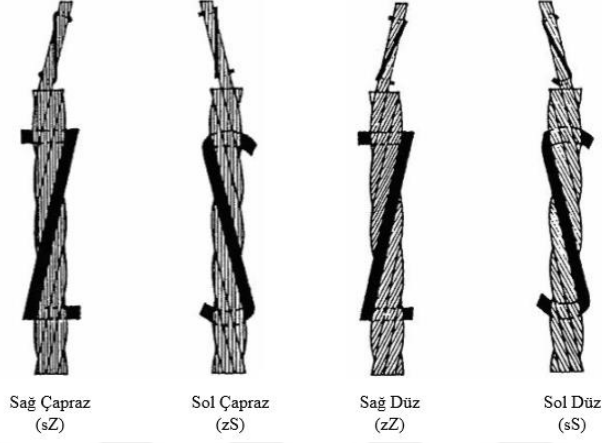
Çelik halatlarda demet dizilişleri halatın kullanım alanına göre değişir. Temel olarak 6 farklı konstrüksiyonda üretilen demetler standart, Warrington, Seale, Filler, Seale-Filler ve Warrington Seale olarak adlandırılırlar (Usha Martin, 2012). Çelik halatlarda yaygın olarak kullanılan demet dizilişleri Şekil 2.3’te verilmiştir (Selbstverlag, 1950).



Şekil 2.3. Halatlarda kullanılan demet konstrüksiyonları: a)Standart demet, b)Warrington demet, c)Seale demet, d)Filler demet, e)Filler-Seale demet, f)Warrington-Seale demet (Selbstverlag, 1950)

Çelik halatlar farklı sarım yönlerinde üretilmektedir. Bu sarım yönlerinden en yaygın olanları sağ çapraz (sZ), sol çapraz (zS), sağ düz (zZ) ve sol düz (sS) sarım tipleridir. İki harfli tanımlamada küçük harf olarak yazılan harf demetin tellerinin yönünü, büyük harf ile yazılan harf ise halatın demet yönünü göstermektedir. Sağ çapraz halatlarda halatı sarım yönü sağ iken demet sarım yönü soldur. Sol çapraz

halatlarda bu durum tam tersidir. Sağ düz ve sol düz halatlarda ise halat ve demet yönleri birbirinin aynısıdır. Sarım şekillerinin görseli Şekil 2.4’te verilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.4. Halat sarım tipleri (Onur, 2010)

2.2. Çelik Halat Çeşitleri

Çelik halatlar kullanım alanına bağlı olarak farklı etkilere maruz kalırlar. Kullanım yerindeki etkilere uygun performans göstermek üzere optimum şartlarda tasarlanan farklı halat tipleri mevcuttur.

2.2.1 Lif Özlü Çelik Halatlar

Çelik halatların özünde çelik yerine lif materyal kullanılması ile elde edilen halatlar lif özlü (FC) çelik halat olarak tanımlanmaktadır. Lif materyali olarak organik veya sentetik materyalleri kullanılabilir. En yaygın kullanılan öz materyalleri polipropilen ve kendir olarak bilinmektedir. Lif özlü halatlar yüksek çalışma esnekliği ve yağ çekme kabiliyeti sayesinde korozyon dayanımı istenen alanlarda kullanılmaktadır (Yılmaz, 2007).

2.2.2 Damar Özlü Çelik Halatlar

Çelik halatın merkezinde dış demetler ile aynı konstrüktif yapının kullanılması ile elde edilen halatlar damar özlü (WSC) halat olarak tanımlanmaktadır. Bu tip halatlar düşük eğilme maruziyeti bulunan ancak daha yüksek mukavemeti talep edilen alanlarda kullanılmaktadır.

2.2.3 Bağımsız Çelik Özlü Halatlar

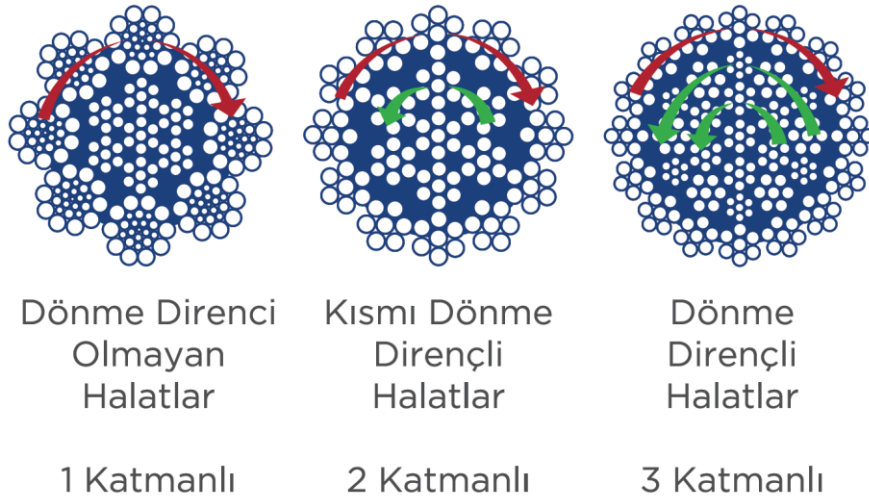
Çelik halatın merkezine yine çelikten imal edilmiş bir öz yerleştirilmesi ile elde edilen halat türüne bağımsız çelik özlü (IWRC) halat adı verilmektedir. Bu halatlarda çelik öz kullanımı sonucunda daha yüksek yük taşıma kabiliyeti elde edilmektedir. Hem eğilme hem de mukavemet istenen alanlarda tercih edilmektedir (Yılmaz, 2007).

2.2.4. Özel Halatlar

Yaygın kullanım alanının dışında çelik halatlar özel amaçlar sonucunda geliştirilmiştir. Bu doğrultuda performansı artırılmış özel ürünler ortaya çıkarılmıştır.

2.2.4.1. Dönme Dirençli Çelik Halatlar

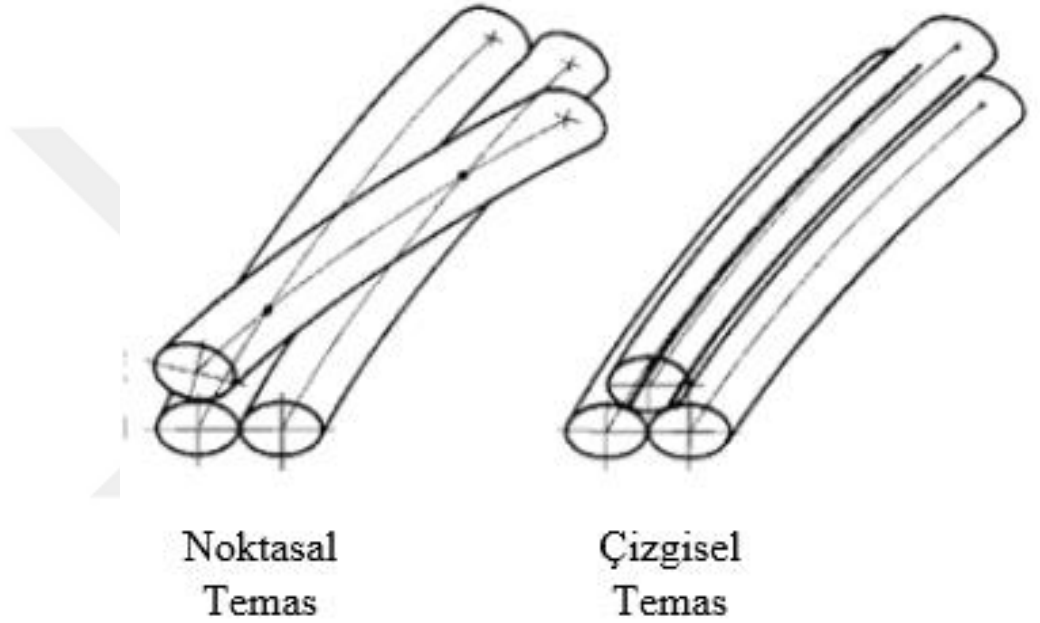
Çelik halatlar yüke maruz kaldığında sarım şekline göre iki tür kuvvet meydana gelir. Bu kuvvetler, çekme kuvvetleri ve tork kuvvetleridir. Çekme kuvvetleri, demet eksenine paralel etki eder ve çelik halatların artan yüklerle uzamasına neden olur. Tork kuvvetleri ise, halat eksenine dik yöndedir ve bu kuvvetler, halatın kendi eksenini etrafında dönmesine neden olan döndürme momenti oluşturur. Artan yük ve yüksek kaldırma uygulamalarında, halat kendi eksenini etrafında dönmeye başlar ve tork momentini ortadan kaldırmak için kendisini açmaya başlar. Dönme sebebiyle oluşan moment kuvvetlerinin ortadan kaldırılması amacıyla çok katmanlı dönme dirençli halatlar geliştirilmiştir (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020). Katman yapısına bağlı olarak dönme davranışları Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Katman yapılarına göre çelik halatlar (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020)

2.2.4.2. Paralel Yapılı Çelik Halatlar

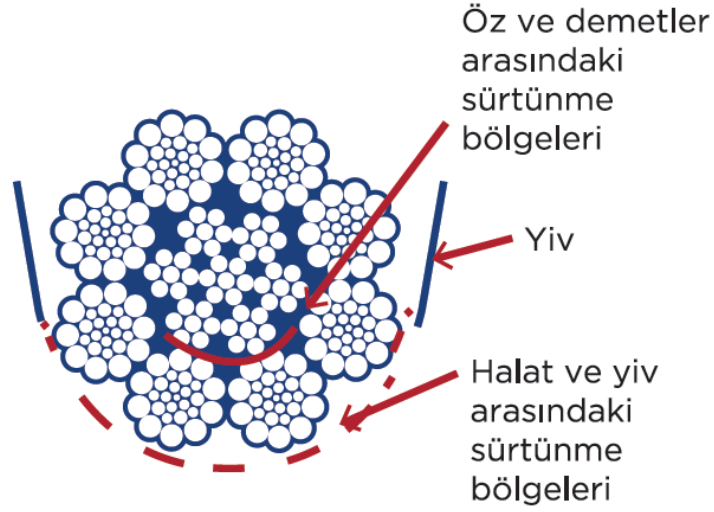
Çelik halatlarda örüm yönüne ve adımına göre temas bölgeleri değişmektedir. Standart halatlarda noktasal temaslar bulunurken paralel halatlarda tüm örümler eşit adımda yapıldığından çizgisel temaslar oluşur. Bu durum daha homojen bir basınç dağılımı sağlar (Çiçek, 2016). Yüksek mukavemet istenen yerlerde kullanılan paralel yapılı halatlar ciddi bir dönme hassasiyetine sahiptir. Örüm adımı sonucunda oluşan temas noktaları Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Örüm yapısına göre temas şekilleri (Çiçek, 2016)

2.2.4.3. Özü Plastik Dolgulu Çelik Halatlar

Çelik halatlar tellerin birbirine teması sonucunda ve halatın dış etkenlerle teması sonucunda aşınmaya maruz kalırlar. Bu durum zamanla halatın ömrünü yitirmesine sebep olur. Ek olarak halatın korozyif ortamlarda paslanmaya karşı hassasiyeti mevcuttur. Çelik halatlarda aşınmaların azaltılması ve korozyona karşı direnç kazandırılması için özü plastik dolgulu halatlar geliştirilmiştir. Özü plastik dolgulu halatlar korozyonun ön planda olduğu kritik yük kaldırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakta olup sektörde ciddi bir performans beklentisine sahiptir. Bir halatın tipik aşınma bölgeleri Şekil 2.7’de verilmiştir (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020).



Şekil 2.7. Çelik halatlarda aşınma bölgeleri (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020)

2.3. Çelik Halatların Kullanım Alanları

Çelik halatlar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu alanlar başlıca; vinç endüstrisi, telesiyej, denizcilik, madencilik, asansör ve balıkçılık sektörleridir. Her sektörde farklı sıcaklık, nem, aşınma, kir vb. koşulları bulunduğu ve üründen farklı beklentiler olduğundan farklı halat kullanımları bulunmaktadır.

Vinç halatları yüksek yük kapasitesi, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, dönme dayanımı ve korozyon dayanımı sağlayacak özelliklerde olmalıdır. Vinç sektöründe 6, 8 ve çok demetli halatlar tercih edilmektedir (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 1999).

Telesiyej halatları çok yüksek metrajlarda üretilmekte olup aşınma, yorulma ve korozyon dayanımına sahip olmalıdır. İnsan taşıma amacıyla kullanılan bu halatlar ilgili standartlarda yer alan özel emniyet koşullarını da sağlamalıdır (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 1999).

Denizcilik sektöründe en yaygın gereksinim korozyondan korumadır. Bunun yanı sıra yüksek yük taşıma kapasitesi ve yorulma dayanımı da istenmektedir. Bu alanda 3, 4, 6 ve 8 demetli halatlar tercih edilebilmektedir. Korozyon dayanımı istendiğinden özü plastik dolgu halatların kullanımı yaygındır (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 1999).

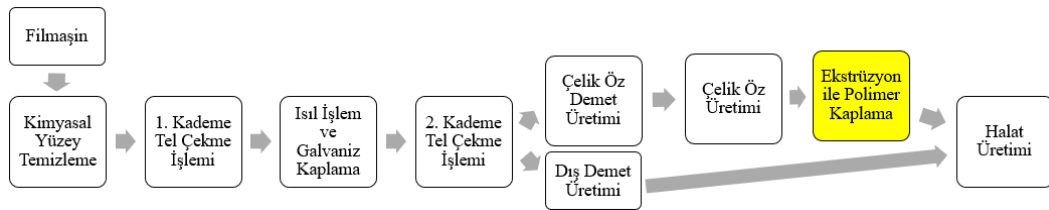
Madencilik sektörü çok kirli ve darbeli alanlar olduğundan halatlardan istenen başlıca özellikler aşınma ve darbe dayanımıdır. Bu doğrultuda 6 ve 8 demetli halatlar tercih edilmektedir (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 1999).

Asansör halatlarında yük esnekliği, emniyetli ve sessiz çalışma en temel gereksinimlerdir. Genellikle 8x19S kompozisyonunda FC veya IWRC halatlar tercih edilmektedir (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 1999).

Balıkçılık sektöründe en önemli talep korozyon direncidir. Halatlar yük altında kendini yağlayabilmeli ve zorlu korozif ortamlarda korozyondan korunabilmelidir. Bu doğrultuda FC halatlar yaygın olarak kullanılmaktadır (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 1999).

2.4. Çelik Halatların Üretimi

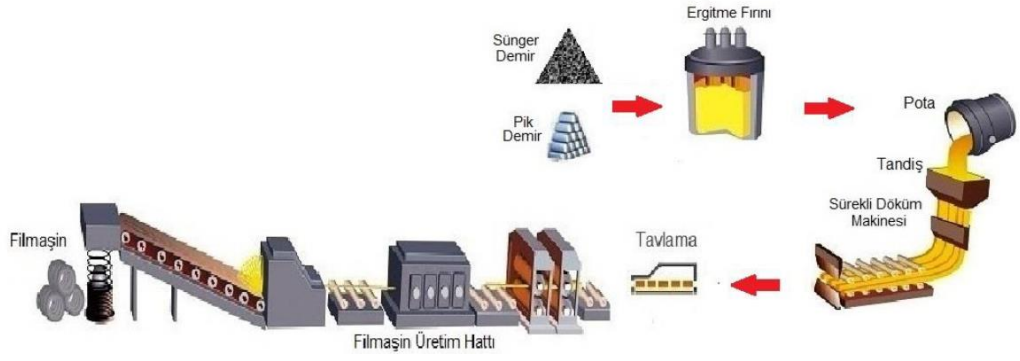
Çelik halatlar çok aşamalı bir üretim periyodunun sonunda elde edilirler. Çelik halat üretim akış şeması Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Çelik halat üretim akış şeması

2.4.1 Filmaşın Üretimi

% 0,6 – 0,8 karbon içeriğine sahip düşük alaşımlı çeliğin sıcak haddeleme yöntemi ile imal edilmesi sonucu filmaşın elde edilir. Filmaşınlar kullanıldığı sektörün gereksinimlerine bağlı olarak farklı karbon miktarlarında ve alaşım oranlarında üretilebilirler. Hammaddenin ergitilerek sürekli döküm işlemine tabii tutularak üretilen kütükler ısıl işlem ve ardından sıcak haddeleme işlemine tabii tutulurlar. Bu işlemin ardından soğutularak kangal haline getirilen filmaşınlar sektörel kullanıma hazır hale getirilmiş olur (Gobinath, 2018; Çiçek, 2019). Filmaşın üretim akış şeması ve üretim sonrası kangal formundaki filmaşınların görseli sırasıyla Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’da verilmiştir.



Şekil 2.9. Filmaşın üretim akış şeması (Steel Making Process, t.y.)



Şekil 2.10. Kangal haline getirilmiş filmaşın (Çelik, 2019)

2.4.2 Kimyasal Yüzey Temizleme İşlemi

Kimyasal yüzey temizleme işleminin amacı filmaşın yüzeyindeki tufal tabakasının kaldırılarak tel çekme işlemine hazır hale getirilmesidir. İşlemin başlangıcında filmaşın kangal halinde hidroklorik asit veya sülfirik asit banyosuna daldırılır. Tufal tabakasının kalınlığına bağlı olarak uygun konsantrasyondaki banyoda uygun sürede bekletilen filmaşınlar bir sonraki adımda durulama işlemine tabii tutulurlar. Sıcak su ile durulanan filmaşın yüzeyi belirli bir sıcaklığa sahiptir ve bu sıcaklık bir sonraki adım olan fosfat kaplama işleminin etkinliğini artırır. Filmaşın yüzeyine fosfat kaplamanın amacı çeliği korozyondan korumak ve tel çekme işleminde sürtünmeyi azalmaktır. Yüzey temizleme operasyonunun son aşaması ise boraks kaplamadır. Asit banyosunda filmaşın yüzeyine tutunan artık asitin nötralize edilmesi ve filmaşının tekrar korozyona uğramasının önlenmesinin yanı sıra fosfat kristallerinin arasını doldurarak sürtünme azaltma görevi için boraks çok önemlidir. Boraks kaplama

işleminin ardından filmaşınlar tel çekme işlemine hazır hale getirilmiş olur (Çiçek, 2019). Filmaşın yüzey temizleme işlemine ait örnek görsel Şekil 2.11’de verilmiştir.

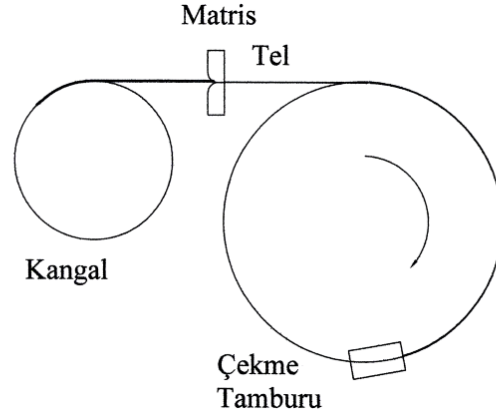


Şekil 2.11. Filmaşının kimyasal yüzey temizleme işlemi (Surface Treatment of Wire, t.y.)

2.4.3 Tel Çekme İşlemi

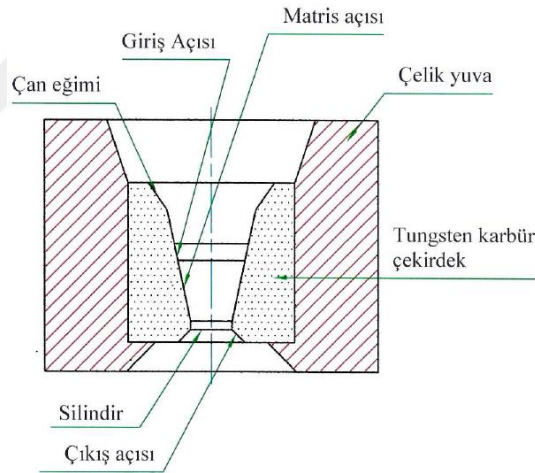
Tel çekme işlemi, çelik filmaşınların birden fazla kademedeki plastik deformasyona uğratılarak soğuk şekil verme işlemine tabii tutulması sonucunda istenilen kesite ulaştırılması işlemidir. İşlem sırasında plastik deformasyona bağlı olarak tane yapısı incelik ve bunun sonucunda malzemenin sertlik, mukavemet gibi mekanik özelliklerinde artış meydana gelir (Akpari ve diğ. 2010; Humphreys ve Hartherly, 2004).

Tel çekme işleminde yaygın olarak kullanılan iki temel yöntem vardır. Bunlar; kuru tel çekme ve sulu tel çekme işlemidir. 1,60 mm üzerindeki tellerin tel çekme işlemi kuru tel çekme metodu ile gerçekleştirilirken 1,60 mm’den daha küçük tellerde sulu tel çekme işlemi tercih edilir. Tel çekme işleminin basit şematik görünümü Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Şematik tel çekme işlemi (Çiğdem, 1996)

Tel çekme işlemi çekme matrisleri kullanılarak gerçekleştirilir. Çekme matrislerine hadde adı verilir. Bir çekme haddesi farklı kısımlardan oluşmakta olup bu kısımlar yağlayıcının etkin kullanımı ve sürtünmenin azaltılması için görev yapmaktadır (Balin, 2004). Çekme matrisinin kısımları Şekil 2.13'te verilmiştir.



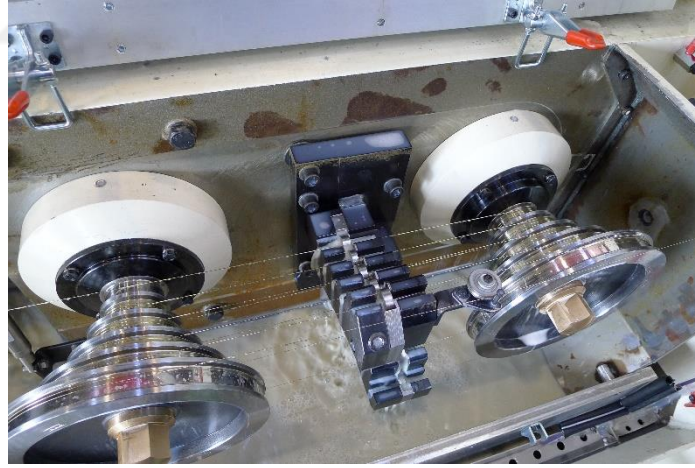
Şekil 2.13. Çekme matrisinin kısımları (Balin, 2004)

Kuru tel çekme işleminde teller çekme matrislerinden kademeli olarak geçirilirler. Her bir kademenin arasında tel sıcaklığının düşürülebilmesi için bloklar bulunmaktadır (Çiçek, 2019). Belirli bir hızda tel çekme işlemine tabii tutulan teller matrislerden geçerken sürtünme meydana gelir. Bu sürtünmenin azaltılması için sodyum veya kalsiyum bazlı tel çekme sabunları kullanılır (Ünseren, 2006). Kuru tel çekme işleminde kullanılan makinenin görseli Şekil 2.14'te verilmiştir.



Şekil 2.14. Kuru tel çekme makinesi (Steel Wire Drawing Machine, t.y.)

Sulu tel çekme işleminde işlem prensibi kuru tel çekme işlemine oldukça benzerdir. Burada hadde kutuları, kuru yağlayıcı ve tel çekme blokları yerine sıvı çözelti, çekme kasnakları ve matrisleri mevcuttur. 1,60 mm'den daha küçük çapta üretilmesi istenen tellerde bu yöntem tercih edilir (Çiçek, 2019). Sulu tel çekme makinesinin görseli Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.15. Sulu tel çekme makinesi (Wet Drawing Machines, t.y.)

2.4.4 Isıl İşlem ve Galvaniz Kaplama

Tel çekme işleminin ardından malzemenin tane yapısı incelik ve plastik deformasyon kabiliyeti azalır. Bu aşamadan sonra tele uygulanacak plastik deformasyon mekanik hasara yol açabilir. Hedeflenen tel çapının elde edilebilmesi için malzemeye ısıl işlem uygulanır. Tavlama işlemi karbon miktarına bağlı olarak çeliğin fırın içerisinde 850 -

1100 °C sıcaklığa ısıtılması ve ardından kurşun, yağ veya akışkan kum banyosunda 550 °C sıcaklığa soğutulması prensibine dayanır. Eğer çelik galvaniz ile kaplanacaksa bu hattın devamında 400-450 °C sıcaklığındaki sıvı çinko banyosuna daldırma işlemi uygulanır (Çiçek, 2019).

2.4.5 Demet Üretimi

Demet üretimi çelik tellerin birbiri üzerine örülmesi ile gerçekleştirilir. Çelik teller demet örüm makinesine yüklenirler ve çekme ve dönme etkisi ile birbirleri üzerine örülürler. Demetlerin bir adet merkez teli ve tasarıma bağlı olarak 6, 12, 18, 24 adet çevre tel bulunabilir. Makinenin dönme yönüne göre demetin örüm yönü belirlenir. Demet örüm makinesi görseli Şekil 2.16'da verilmiştir (Stranding, t.y.).



Şekil 2.16 Demet örüm makinesi (Rohrverseilmaschine, t.y.)

Çelik öz ve halat dış demetleri benzer tipte makinelerde aynı çalışma prensibi ile üretilirler.

2.4.6 Çelik Öz ve Halat Üretimi

Çelik öz üretimi demetlerin bir kapama makinesine yüklenerek birbiri üzerine örülmesi prensibine dayanır. Çelik özün bir adet merkez demeti ve tasarıma bağlı olarak 6, 8 veya daha fazla dış demeti makineye yüklenir ve çekme, döndürme etkisi

sonucunda örülür. En yaygın kullanılan çelik öz kompozisyonu 7x7'dir. Özel tasarımı ürünlerde 6x17S, 6x19S, 8x7 gibi farklı kompozisyonlar kullanılabilir.

Halat üretimi bir adet çelik özün etrafına halat dış demetlerinin çekme, döndürme etkisi sonucunda örülmesi gerçekleştirilir. Halatın dış demetleri rotor adı verilen yapıya yüklenir ve örüm gerçekleştirilir. Ardından üretilen halat bobinlere sarılarak üretimi tamamlanmış olur (Onur, 2010).

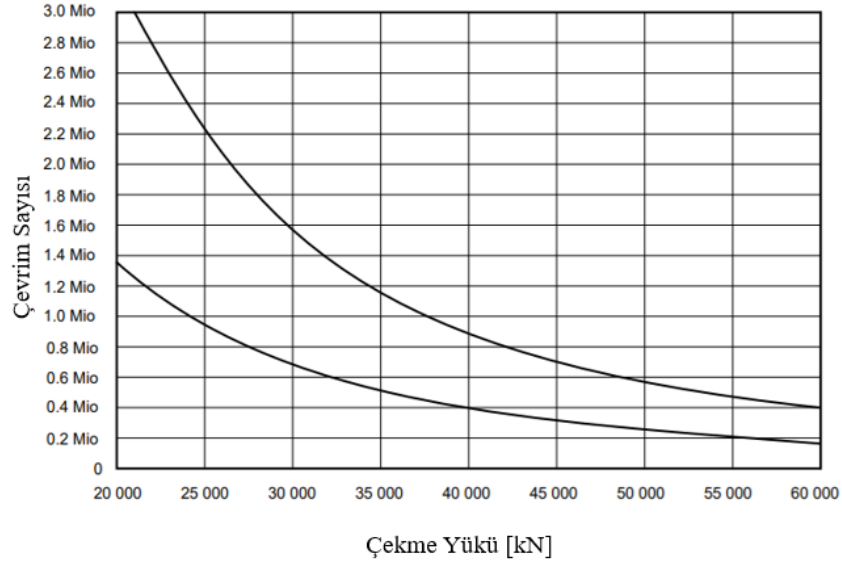
Özü plastik dolgulu halatlarda kapama operasyonu esnasında plastiğin katmanlar arasına ideal bir şekilde doldurulması gereksinimi mevcuttur. Kaplama işlemi kapama operasyonu esnasında yapılırsa istenen ideal katman yapısı oluşturulur. Ancak harici ekstrüzyon ile kaplanan çelik öz daha sonra kapama operasyonunda alınacaksa ilave bir ısıtma uygulaması gereklidir.

2.5. Çelik Halatların Servis Ömrüne Etki Eden Parametreler

Çelik halatlar zorlu çalışma ortamlarında kullanılmaktadır. Bu ortamlarda sıcaklık, nem, hava akışı, korozyon etmenleri, sürtünme, kirlilik vb. değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlerin var olması farklı halat tasarımlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Çelik halatlardan beklenen temel özellik yük taşıma operasyonunu emniyetli bir şekilde gerçekleştirmesidir. Emniyetli çalışma koşullarının sağlanması için halat ömrüne etki eden parametrelerin optimum koşullarda tutulması önemlidir. Optimum koşulların sağlanmadığı durumlarda halat ömrünü erken tamamlayabilir (Demirsoy, 1991).

2.5.1 Çekme Yükü ve Emniyet Katsayısı

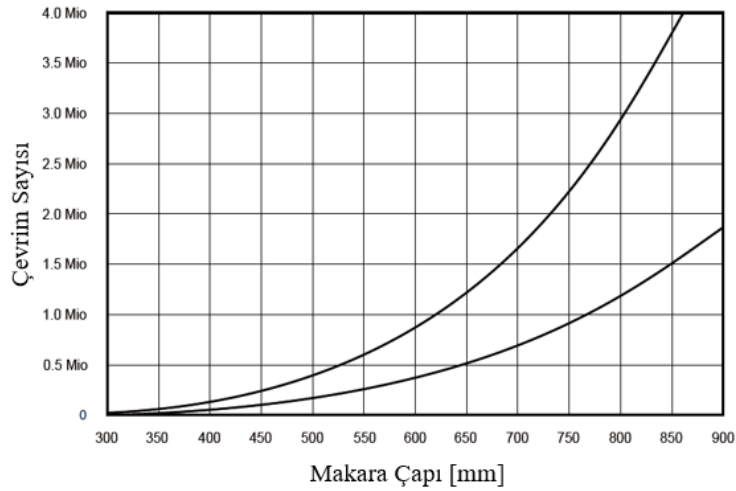
Halata uygulanan çekme yükü servis ömrüne doğrudan etki etmektedir. Bir halatın hesaplanan maksimum kopma yükünün uygulamada maruz kalacağı maksimum yüke oranına emniyet katsayısı adı verilir. Emniyet katsayısı arttıkça halat ömrü artış gösterir. Yapılan deneysel çalışmalarda çekme yükünün artırılmasının servis ömrüne doğrudan etki ettiği belirlenmiştir (Feyrer, 2007). Çekme yükünün servis ömrüne etkisi grafiği Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Çekme yükünün servis ömrüne etkisi (Verreet, 1998)

2.5.2 Çap Oranı (D/d) ve Eğilme

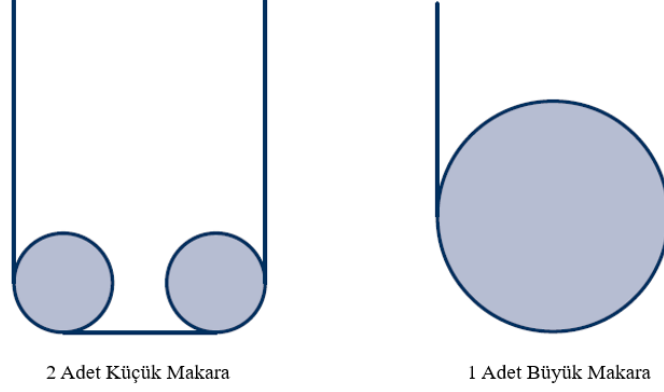
Çelik halatlar makaralar üzerinde çalışırken çekme ve basma kuvvetleri etkisi altında kalırlar. Bu etkiler kullanılan makaranın çapının artması ile azalır. Kullanılan makaranın çapı D ve halat çapı d olmak koşulu ile D/d arttıkça halatın servis ömrü artar (Feyrer, 2007). Makara çapının servis ömrüne etkisi Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18. Makara çapının servis ömrüne etkisi (Verreet, 1998)

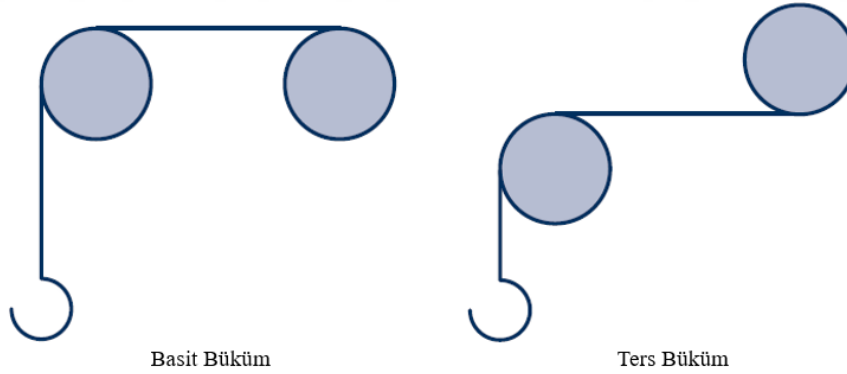
Makara çapına bağlı olarak halatın eğilme maruziyeti değişir. Eğilmenin artmasıyla çekme ve basma kuvvetleri artar ve halatın servis ömrü azalır. Bu sebeple küçük çaplı çok sayıda makara kullanımı yerine büyük çapta tek makara kullanımı önerilmektedir. Yalnızca 2,5 kat daha büyük makara kullanımı sonucunda halat ömrü 8 kata kadar

artırılabilir (Verreet, 2005). Aynı operasyonun farklı çaplardaki makaralar ile gerçekleştirilmesine ait görsel Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19. Aynı operasyonun farklı çaplardaki makaralarla gerçekleştirilmesi (Verreet, 2005)

Çelik halatlar makaralar üzerinde farklı yönlerde bükülebilirler. Bükümün tek bir yönde olması durumunda temel veya basit büküm, birden fazla doğrultuda olması durumunda ters büküm adı verilir. Büküm tipleri Şekil 2.20’de verilmiştir. Halatın büküm doğrultusunun artması halat ömrüne olumsuz etki etmektedir (Verreet, 2005).



Şekil 2.20. Halatların makara üzerinde büküm tipleri (Verreet, 2005)

2.5.3 Tel Mukavemeti

Bir halatı oluşturan tellerin mukavemeti artırılırsa emniyet katsayısı artar ancak buna bağlı olarak ömür artışı daha az olur. Ancak tellerin mukavemetinin artırılması uzama kabiliyetini ve sünekliğini azaltacağından belirli bir düzeyden sonra mukavemet artırılması olumsuz sonuçlar getirmektedir. Bu sebeple 1960 N/mm^2 ve üzerindeki tel

mukavemetlerine sahip halatlarda tel mukavemetinin artırılması halat ömrünü kısaltmaktadır (Usha Martin, 2012).

2.5.4 Makara Malzemesi ve Yiv Geometrisi

Halat makaraları farklı malzemelerden imal edilebilirler. Yaygın kullanımda çelik veya dökme demir kullanılmaktadır. Makaralara yapılan sertleştirme işlemi abrasif aşınmayı azaltacağından halat ömrüne olumlu etki eder. Bunun yanı sıra polyamid veya poliüretan gibi polimerler ile imal edilen makaralarda halat ömrü çelik makaralı kullanıma kıyasla daha yüksektir (Feyrer, 2007).

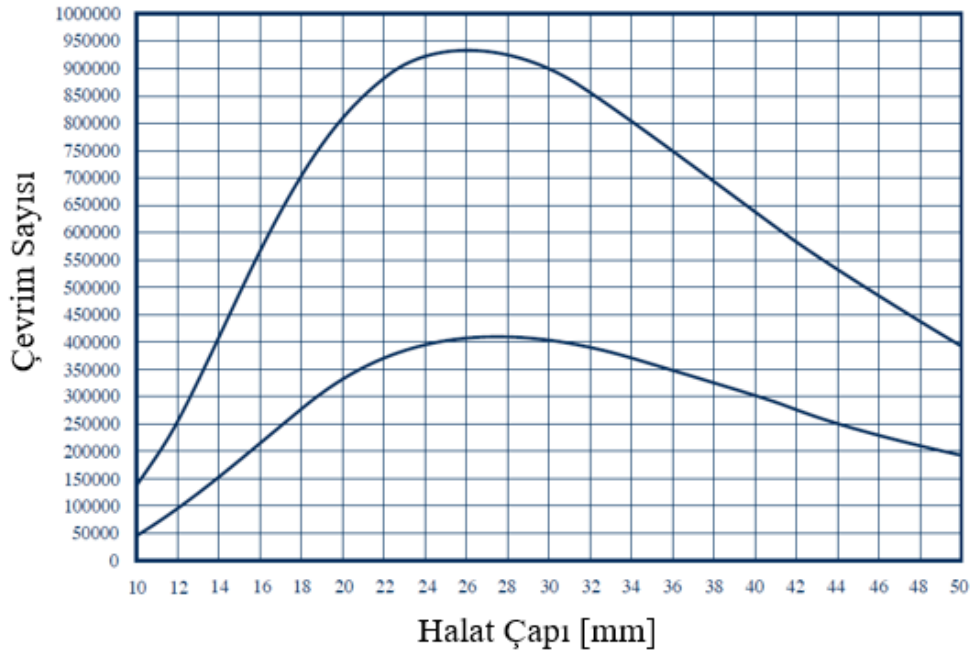
Makara yiv geometrisinin halat ömrüne etkisi makara ile halatın temas karakteristiğine dayanmaktadır. Optimum halat ömrünün elde edilebilmesi için halat ile makara arasında hedeflenen ideal temas basıncının ve temas noktalarının elde edilmesi gerekmektedir. Yiv çapının dar olması halatın keskin köşelere temas etmesine sebep olurken aksi durumda ise temas noktaları azalacağından yüzey basıncı artar. Bu sebeple ilgili standartlar ideal yiv çapının $0,53d$ olacağına kanaat getirmişlerdir (Ernst, 1973; Verreet, 2004). Çelik halatların makaralar ile temas tipleri Şekil 2.21’de verilmiştir.



Şekil 2.21. Çelik halatların makara yivi ile temas karakteristiği (Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. Ürün Kataloğu, 2020)

2.5.5 Halat Çapı

Çelik halatların servis ömrü halat çapına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Belirli bir çapa kadar servis ömrü artış gösterirken belirli bir çaptan sonra tel çapı kalınlığı, eğilme zorluğu vb. nedenlerden dolayı halatın servis ömrü düşüşe geçer. Yapılan çalışmada en ideal halat ömrü 27 mm çapta elde edilmişti (Verreet, 2005). Halat çapına bağlı olarak halat servis ömrünün grafiği Şekil 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.22. Halat çapına bağlı olarak servis ömrünün değişimi (Verreet, 2005)

2.5.6 Halat Kompozisyonu

Çelik halatlarda aşınma, yorulma, dönme gibi birçok parametre mevcuttur. Değişken parametrelerin etkinlik durumuna göre halat seçimleri gerçekleştirilir. Halat tellerinin incilmesi yorulma dayanımını artırırken aşınma dayanımını azaltmaktadır. Bu durumda ihtiyaca uygun olarak demet sayısı ve tel sayısı değişkenlik gösteren halatların seçimi yapılabilir.

2.5.7 Yağlama

Çelik halatların üretim veya bakım çalışmaları esnasında yağlanması halat ömrü için çok önemli bir parametredir. Yağlamanın en önemli iki amacı sürtünmenin azaltılması ile aşınmanın minimize edilmesi ve korozyon korumasıdır. Halat yağlarından beklenen temel özellikler şu şekildedir:

- Çelik materyali dış etkilerden tamamen korumalıdır,
- Suya karşı dayanıklı olmalıdır,
- Aşındırıcı içermemelidir,
- Halatın tamamına nüfuz edebilmelidir (Çiçek, 2016).

2.6. Çelik Halatların Servis Dışı Bırakma Kriterleri

Çelik halatlar kullanımı esnasında belirli zorlayıcı etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler sonucunda servis ömrü tamamlanan halatlar servis dışı bırakılmalıdır. Çelik halatların kullanımının sonlandırılması için “ISO 4309 Vinçler-Tel halatlar-Muayene ve hizmet dışı bırakmak için uygulama kuralları” standardı referans kabul edilmektedir. Standarda göre halatın servis ömrünü etkileyen temel parametreler şu şekildedir:

- Tel kırık sayıları
- Sonlandırma bölgesindeki tel kırık sayıları
- Tel kırılmalarının kümelenmesi
- Tel kırılma oranının artışı
- Demet hasarlanması
- Halat çapının azalması
- Elastikiyetin bozulması
- İç ve dış aşınma,
- İç ve dış korozyon,
- Isıya bağlı hasarlanma
- Kalıcı uzama oranının artması.

2.6.1. Tel Kırık Sayıları

Çelik halatlarda kullanıma bağlı olarak tellerde hasarlanma meydana gelir. Hasarlanan tel sayıları halat kompozisyonuna göre değişim göstermektedir. Standartta yer alan maksimum tel kırık sayısına ulaşan halatlar sistemden çıkarılmalıdır. Tel kırık sayısı dönme dirençli ve dönme dirençli olmayan halatlar için ayrıca belirlenmiştir. Standarda göre tel kırık sayılarını halat çapının 6 ve 30 katı büyüklükteki ölçüm bölgelerine göre yapılmalıdır. Müsaade edilen tel kırık sayılarının seçiminin yapılabilmesi için halatın dış katmanında yer alan yük taşıyan tellerin toplam sayısı gereklidir. Ek olarak halatın damarlarının sarım yönü de müsaade edilen tel kırık sayılarını değiştirmektedir. Düz sarımlı halatlarda müsaade edilen tel kırık sayısı daha düşüktür. Tek katmanlı ve paralel yapılı halatlar için servis dışı bırakma kriteri Şekil 2.23’te verilmiştir. Dönme dirençli halatlarda müsaade edilen tel kırık sayıları Şekil 2.24’te verilmiştir (ISO 4309, 2017).

Halat Kategorisi Numarası	Halatın Dış Demetlerinde Bulunan Yük Taşıyan Tel Sayısı ^a n	Görülebilir Dış Tel Kırığı Sayısı ^b					
		Halatın Çelik Kasnaklarda Çalıştığı ve/veya Tek Katmanlı Tambura Sarıldığı Bölgeler				Halatın Çok Katmanlı Tambura Sarıldığı Bölgeler ^c	
		M1 ile M4 Sınıfları veya Bilinmeyen Sınıf ^d					
		Çapraz Yönlü		Düz Yönlü		Çapraz ve Düz Yönlü	
6d uzunluğun üzerinde ^e	30d uzunluğun üzerinde ^e	6d uzunluğun üzerinde ^e	30d uzunluğun üzerinde ^e	6d uzunluğun üzerinde ^e	30d uzunluğun üzerinde ^e	6d uzunluğun üzerinde ^e	30d uzunluğun üzerinde ^e
01	n≤50	2	4	1	2	4	8
02	51≤n≤75	3	6	2	3	6	12
03	76≤n≤100	4	8	2	4	8	16
04	101≤n≤120	5	10	2	5	10	20
05	121≤n≤140	6	11	3	6	12	22
06	141≤n≤160	6	13	3	6	12	26
07	161≤n≤180	7	14	4	7	14	28
08	181≤n≤200	8	16	4	8	16	32
09	201≤n≤220	9	18	4	9	18	36
10	221≤n≤240	10	19	5	10	20	38
11	241≤n≤260	10	21	5	10	20	42
12	261≤n≤280	11	22	6	11	22	44
13	281≤n≤300	12	24	6	12	24	48
	n>300	0,04×n	0,08×n	0,02×n	0,04×n	0,08×n	0,16×n

NOT Dış demetleri 19 veya daha az sayıda tel içeren Seale kompozisyona sahip halatlarda (Örn; 6x19S) n sayısı demetlerin dış katmanındaki tel sayısına göre hesaplanır.

^a Bu standardın amaçları doğrultusunda dolgu telleri yük taşıyan tel olarak kabul edilmez ve n sayısına dahil edilmez.

^b Kırık bir telin iki ucu vardır (Bir tel olarak sayılır).

^c Değerler çapraz kısımlarda meydana gelen bozulma bölgelerinde ve sapma açısı sebebiyle sargılar arasında karışan bölgelerde geçerlidir.

^d Listelenen tel kırık sayıları, sınıflandırılmasının M5 ile M8 olduğu bilinen mekanizmalar üzerindeki halatlara uygulanabilir.

^e d = Halatın anma çapı

Şekil 2.23. Tek katmanlı ve paralel yapı halatlarda müsaade edilen tel kırık sayıları (ISO 4309, 2017)

Halat Kategorisi Numarası	Halatın Dış Demetlerinde Bulunan Yük Taşıyan Tel Sayısı ^a n	Görülebilir Dış Tel Kırığı Sayısı ^b			
		Halatın Çelik Kasnaklarda Çalıştığı ve/veya Tek Katmanlı Tambura Sarıldığı Bölgeler		Halatın Çok Katmanlı Tambura Sarıldığı Bölgeler ^c	
		6d uzunluğun üzerinde ^d	30d uzunluğun üzerinde ^d	6d uzunluğun üzerinde ^d	30d uzunluğun üzerinde ^d
21	4 demetli n≤100	2	4	2	4
22	3 veya 4 demetli n≥100	2	4	4	8
23-1	71≤n≤100	2	4	4	8
23-2	101≤n≤120	3	5	5	10
23-3	121≤n≤140	3	5	6	11
24	141≤n≤160	3	6	6	13
25	161≤n≤180	4	7	7	14
26	181≤n≤200	4	8	8	16
27	201≤n≤220	4	9	9	18
28	221≤n≤240	5	10	10	19
29	241≤n≤260	5	10	10	21
30	261≤n≤280	6	11	11	22
31	281≤n≤300	6	12	12	24
	n>300	6	12	12	24

NOT Dış demetleri 19 veya daha az sayıda tel içeren Seale kompozisyona sahip halatlarda (Örn; 6x19S) n sayısı demetlerin dış katmanındaki tel sayısına göre hesaplanır.

^a Bu standardın amaçları doğrultusunda dolgu telleri yük taşıyan tel olarak kabul edilmez ve n sayısına dahil edilmez.

^b Kırık bir telin iki ucu vardır (Bir tel olarak sayılır).

^c Değerler çapraz kısımlarda meydana gelen bozulma bölgelerinde ve sapma açısı sebebiyle sargılar arasında karışan bölgelerde geçerlidir.

^d d = Halatın anma çapı

Şekil 2.24. Dönme dirençli halatlarda müsaade edilen tel kırık sayıları (ISO 4309, 2017)

2.6.2. Halat Çapının Azalması

Çelik halatlar yük altında uzamaya elverişlidir. Buna ek olarak halatın aşınması da eklendiği zaman bir miktar çap azalması meydana gelmektedir. Çelik halatlarda müsaade edilen maksimum çap azalma miktarı Şekil 2.25'te verilmiştir (ISO 4309, 2017).

	Halat Tipi			Önem Derecesi	
	Tek Katmanlı Lif Özlü Halatlar	Tek Katmanlı Çelik Özlü veya Paralel Halatlar	Dönme Dirençli Halatlar	Açıklama	%
Çaptaki Azalma (% olarak ifade edilir.)	%6'dan az	%3,5'dan az	%1'den az	-	0
	%6 ile %7 arasında	%3,5 ile %4,5 arasında	%1 ile %2 arasında	Az	20
	%7 ile %8 arasında	%4,5 ile %5,5 arasında	%2 ile %3 arasında	Orta	40
	%8 ile %9 arasında	%5,5 ile %6,5 arasında	%3 ile %4 arasında	Yüksek	60
	%9 ile %10 arasında	%6,5 ile %7,5 arasında	%4 ile %5 arasında	Çok Yüksek	80
	%10'dan fazla	%7,5'dan fazla	%5'den fazla	Sistemden Çıkarma	100



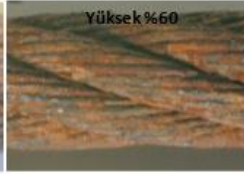

Şekil 2.25. Halat çapına bağlı olarak sistemden çıkarma kriterleri (ISO 4309, 2017)

2.6.3. Korozyon

Halatlar kullanıldığı ortam şartlarına bağlı olarak korozyona uğrarlar. Korozyonun temel sebebi yetersiz bakımdır. Halatın korozyona bağlı olarak sistemden çıkarılma kriterleri Şekil 2.26'da verilmiştir (ISO 4309, 2017).

Korozyon Tipi	Durum	Önem Derecesi
Dış Korozyon^a	Silinebilir Yüzey Oksidasyonları Tel Yüzeyinde Hafif Yüzeyde Yoğunlaşmış Korozyon Tel Yüzeyinde Ağır ve Çukurlu ^b	Yüzeysel - %0 Orta - %20 Yüksek - %60 ^c Sistemden Çıkarma - %100
İç Korozyon^d	Belirgin görünen iç korozyon belirtileri - Örneğin; Dış demetlerin arasındaki vadi boşluklarından belirlenebilen korozyon ^e	Sistemden Çıkarma - %100 veya Kullanıcı tarafından uygulanabiliyor ise ISO 4309 standardında yer alan prosedüre uygun olarak "İç Muayene" yapılmalıdır.
Aşınma Korozyonu	Kuru kalmış tel ve demetlerin birbiriyle temas ederek aşınması sonucunda kırmızı pudra görünümünde oluşan korozyon	Durumun sebebi araştırılmalı, araştırma sonucunda şüphe olması durumunda sistemden çıkarılmalıdır.

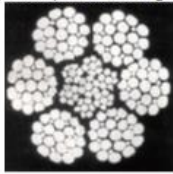
^a Dış korozyonun örnek görselleri aşağıdaki gibidir.

^b Diğer herhangi bir ara durum için önem derecesine göre değerlendirme yapılmalıdır.

^c Çinko kaplı tellerde yüzeyde hafif korozyon oluşumu zorlaşacaktır. Bu durumda yukarıdaki önem dereceleri bir miktar esnetilebilir.

^d İç korozyonun örnek görseli aşağıdaki gibidir.













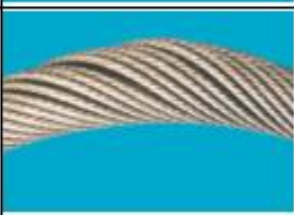
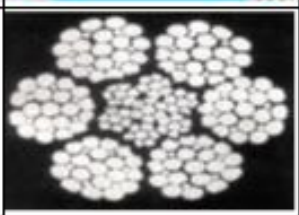


^e İç korozyonun değerlendirmesi öznelidir. Bu durumda iç korozyonla ilgili bir şüphe varsa halat sistemden çıkarılmalıdır.

Şekil 2.26. Korozyona bağlı olarak sistemden çıkarma kriterleri (ISO 4309, 2017)

2.6.4. Tipik Hasarlanmalar

Çelik halatlarda meydana gelen tipik hasarlanma tipleri mevcuttur. Bunların bazıları kritik düzeyde olup halatın direkt olarak servis dışı bırakılmasını gerektirmektedir (ISO 4309, 2017). Tipik hasar türleri Şekil 2.27’de verilmiştir.

Kırık Tel Çıkıntıları		Dış Aşınma	
Öz Tellerinin Koparak Dışarı Fışkırması		Dış Korozyon	
Halat Çapında Bölgesel Azalmalar		Tepe Noktalardaki Tel Kırıkları	
Halat Demetinin Kabarması veya Dönmesi		Vadilerdeki Tel Kırıkları	
Halatın Dönerek Açılması (Adımın Büyümesi)		Halat Çapında Bölgesel Artış	
Halatta Dalgalanma		Gam Oluşumu	
Kuşkafesi Oluşumu		İç Korozyon	

Şekil 2.27. Çelik halatlarda tipik hasarlanma mekanizmaları (ISO 4309, 2017)

2.7. Çelik Halatlara Uygulanan Testler

Çelik halatlar yük taşıma amacıyla kullanılan kaldırma elemanlarıdır. Taşıma işlemi esnasında bir halattan istenen özellik yeterli mukavemete sahip olması, makaralar üzerinde hasarlanmadan çalışabilmesi, çalışma esnasında korozyondan korunması ve yük altında dönmemesidir. Bu doğrultuda halatlara sıklıkla uygulanan testler şu şekilde belirtilebilir:

- Halat Kopartma Testi
- Halat Yorulma (Ömür) Testi
- Korozyon Testi
- Tork - Dönme Testi

2.7.1. Halat Kopartma Testi

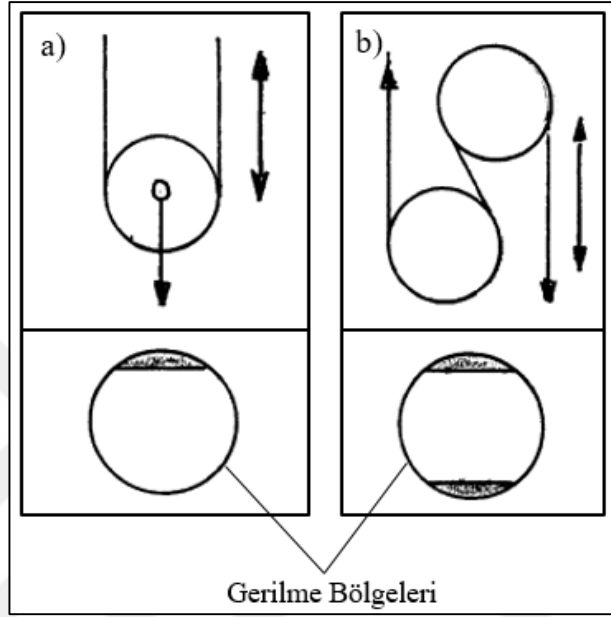
Halat kopartma testleri malzemenin ilgili standartta belirtilen minimum kopma mukavemetine uygunluğunun denetlenmesi adına yapılmaktadır. Testler hedeflenen minimum kopma mukavemetine ulaşılması veya bu değerin geçilmesi durumunda başarılı kabul edilmektedir. Minimum kopma mukavemetine ulaşılması durumunda halat koparılmadan testin sonlandırılması mümkündür. Test işlemi için minimum numune boyutları halatın üretiminin gerçekleştirildiği üretim standardına bağlı olarak değişmekte olup uygun ölçüler seçilmelidir. Halatın kopma mukavemetinin %80'ine ulaşılmasının ardından maksimum test hızı kopma mukavemetinin %0,5'ini geçmemelidir. Testlerin gerçekleştirileceği test cihazı ISO 7500-1 standardına uygun olmalıdır (TS EN 12385-1, 2010).

2.7.2. Halat Yorulma (Ömür) Testi

Çelik halatlar kullanıma bağlı olarak servis ömrünü tamamlamaktadır. Bir çelik halatın servis ömrünün belirlenmesi için “ISO 4309 Vinçler-Tel halatlar-Muayene ve hizmet dışı bırakmak için uygulama kuralları” standardı kullanılmaktadır.

Çelik halatların servis ömrünün belirlenmesi için standartlarda herhangi bir test metodu yer almamaktadır. Sektörel tecrübeye bağlı olarak halatın kullanım alanını en yakın şekilde yansıtacak özel test cihazları geliştirilmiştir.

Kullanıma bağılı olarak çelik halatlar basit büküm veya ters büküm etkilerine maruz kalırlar. Basit büküm ve ters büküm şematik görünüşleri Şekil 2.28’de verilmiştir. Basit bükümde halat üzerinde tek bir bölgede çekme gerilmeleri oluşurken ters bükümde iki bölgede oluşmaktadır. Bu sebeple ters büküm etkisinin halat ömrüne olumsuz etki ettiği söylenebilir (Feyrer, 2007).



Şekil 2.28. Çelik halatların makara üzerinde oluşan gerilme bölgeleri (Feyrer, 2007)

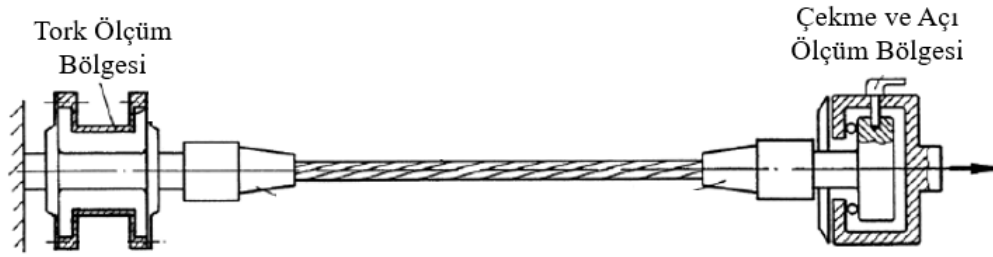
Test prensibine göre halat emniyet katsayısı seçimine uygun olarak belirli bir yüke kadar gerdirilir. Yük uygulama işleminin tamamlanmasının ardından sabit yük altında çevrimsel hareket gerçekleştirilir. Standartta belirtilen tel kırığı, çap azalması, dalgalılık gibi parametrelerin denetlenmesi ile birlikte halat ömrü tayin edilir.

2.7.3. Korozyon Testi

Çelik halatlarda en önemli kullanım parametrelerinden biri de korozyondur. Çeliğin kullanım ömrü boyunca korozyondan korunması ve metal kaybının önlenmesi çok önemli bir husustur. Bu doğrultuda çelik halatlarda karşılaştırma sonuçları elde edebilmek adına çevrimsel tuz test cihazında korozyon testleri yapılmaktadır. Testler için 50 santimetrelik numuneler kesilerek kabin içerisinde yerleştirilir. Ardından ASTM B117 standardına uygun tuz çözeltisi ile birlikte korozyon süreleri tespit edilir.

2.7.4. Tork Dönme Testi

Çelik halatlar helisel yapısı sebebiyle yük altında dönmeye elverişlidirler. Bu durum belirli bir yüksekliğin üzerindeki uygulamalarda dönme miktarının artmasında ve kullanım problemlerinin oluşmasına sebebiyet verir. Çelik halatların dönme miktarının teyit edebilmesi için “ISO 21669 Çelik Tel Halatlar – Dönme özelliklerinin belirlenmesi” standardı kullanılmaktadır. Standarda göre yük altında halat çapının 1000 katı uzunluktaki bir numune 360 dereceden az dönüyorsa dönme dirençli halat olarak tanımlanmaktadır. 360 ile 1440 derece arası dönmeye maruz kalan halatlar kısmi dönme dirençli iken, 1440 dereceden fazla dönen halatlar dönme direnci olmayan halat olarak tanımlanmaktadır. Standartta belirtilen dönme miktarlarının tayini için Şekil 2.29’da verilen sistemlere benzer ölçüm cihazları geliştirilmiştir. (Feyrer, 2007; ISO 21669, 2005).



Şekil 2.29. Tork – Dönme Test Cihazı (Feyrer, 2007)

2.8. Çelik Halatlar ile Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

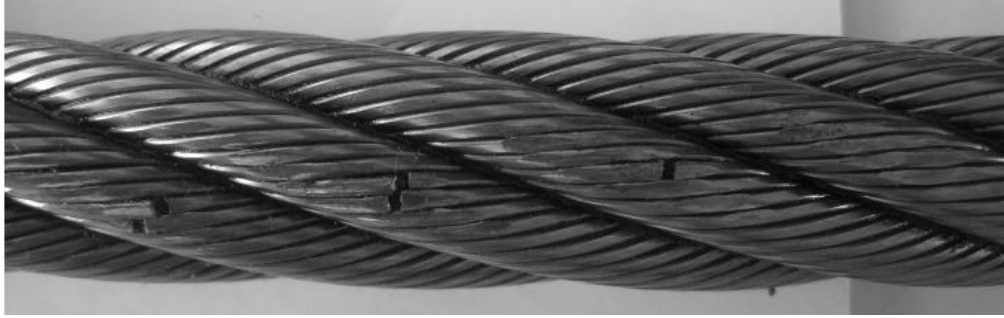
Çelik halatların üretim yöntemlerinin çok eski yıllara dayanmasına karşın bilimsel yayınlar bir hayli kısıtlıdır. Buna karşın çelik halatların kopma mukavemeti, yorulma performansı ve tork performansı ile ilgili çalışmalar mevcuttur.

Ivanov ve diğ. (2020), sapan olarak kullanılan çelik halatların bükülme miktarının mukavemet kaybına etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 6x25F ve 6x36WS konstrüksiyonundaki halatlar kullanılmış ve farklı büküm çapları seçilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular şu şekildedir:

- Halat konstrüksiyonu eğilme kabiliyetini çok önemli derecede etkilemektedir.

- Aynı çaptaki bir damar için dış katmandaki tel sayısının azalması tel çapını kalınlaştıracağından gerilmelerin artacağı ve bunun sonucunda eğilme dayanımının azalacağı belirlenmiştir.
- Aynı konstrüksiyondaki halatın farklı çaplarda olması durumunda eğilme dayanımında ekstrem bir değişiklik görülmemiştir.

Zhihui ve Jiquan (2012), çelik halatların makaralar üzerinde bükülme sonucu yorulma davranışının karakteristiğini incelemiştir. Çalışma sonucunda; halat ömrünü artırmak için çekme yükü, D/d oranı, kasnak malzemesi, halat konstrüksiyonu ve telin kalitesinin çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Aynı zamanda halatların kasnaklara giriş açısının kontrol altında tutulması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda yorulma sonucunda gerçekleşen kırılmalara dair Şekil 2.30'daki halat görseli paylaşılmıştır.



Şekil 2.30. Zhihui ve Jiquan (2012)'in çalışması sonucunda gerçekleşen tipik yorulma kırılmaları

Onur ve İmrak (2017), 6x36WS konstrüksiyonundaki çelik halatın eğilme yorulması davranışını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Teorik ömür kestirimi için Feyrer'in ömür kestirim metodunu kullanmışlardır. Çalışma sonucunda çekme yükü artışının halat ömrünü azalttığı belirlenmiştir. Ek olarak kasnak çapının azalması sonucunda da halatın yorulma ömrü azalmaktadır. Teorik ömür kestirim metodunda elde edilen sonuçlar kabul edilebilir sonuçlar vermiştir.

Oksanen ve ark. (2015), çelik halatların dökme demir kasnaklar üzerinde çalıştığı esnada meydana gelen aşınmaları incelemiştir. Çalışmada 8 mm çapında 8x19S konstrüksiyonunda halat kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yorulma kırılmasının temas bölgelerinde meydana gelen çatlakların ilerlemesi sonucu gerçekleştiği

belirtilmiştir. Temas basıncının artışı çatlak derinliğinin artmasına ve kırılmanın hızlanmasına sebebiyet vermektedir.

Urchegui ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada polimer kaplı çelik halatın makaralar üzerinde çalışırken yorulma ve aşınma davranışını incelemişlerdir. Çalışmada 6,50 mm çapında 7x19S konstrüksiyonunda halat kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; polimerik kılıfın aşınmayı tamamen ortadan kaldırmamasına rağmen teller arasındaki teması önleyerek büyük ölçüde azalttığı ortaya konmuştur. Aynı zamanda kasek çapının %25 azaltılması hacimsel halat aşınmasını %100 artırırken %50 azaltılmasının %2200 artırdığı belirtilmiştir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tezde, çelik halatlar üzerine yapılan üretim ve test çalışmaları Kocaeli ilinde bulunan Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. firmasında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında özü plastik dolgulu çelik halat üretimi gerçekleştirilerek performans testleri yapılmıştır ve halatın geliştirilen yönleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmada çelik özlü(IWRC) ve özü plastik dolgulu(EPIWRC) halatların üretim faaliyetleri gerçekleştirildi. Üretimi gerçekleştirilen halatlara ait detaylı bilgiler Tablo 3.1’de verilmektedir. Çalışılan plastik dolgunun etkilerinin tam olarak görülebilmesi adına halat kompozisyonu değiştirilmedi.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan çelik halatlara ait bilgiler

Numune Tanımı	Halat Kompozisyonu	Halat Çapı (mm)	Mukavemet Sınıfı (N/mm ²)	Öz Tipi	Minimum Kopma Mukavemeti (kN)	Kaplama Cinsi
Numune 1	8x26WS	22,00	1960	IWRC	378	Galvaniz
Numune 2	8x26WS	22,00	1960	EPIWRC	417	Galvaniz

3.1. Çalışmada Kullanılan Halatların Tasarım Çalışmaları

3.1.1. Ürün Tasarımının Gerçekleştirilmesi

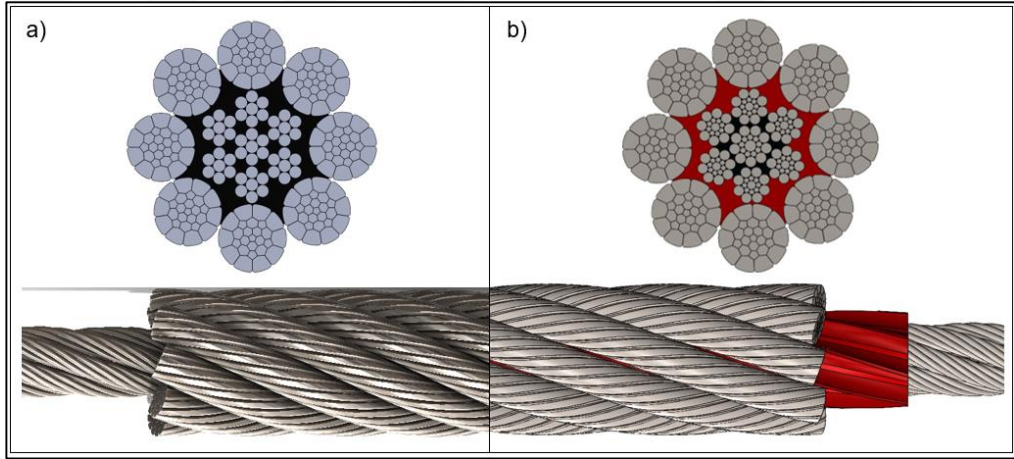
Çalışmada kullanılacak olan halatların özel tasarımı İngiliz Veri Tabanlı halat tasarım programında yapıldı. Söz konusu tasarım programı çelik halatlarının istenilen temel parametrelerinin tanımlanmasının ardından matematiksel hesaplamalar ile detay proses parametrelerini belirlemektedir. Halat çapı, adım oranı, demetler arası boşluklar ve teller arası boşluklar gibi sayısal değerlerin programa girilmesinin ardından çelik öz çapı, nihai halat çapı, damar çapları, tel çapları, halat teorik kopma mukavemeti, halat teorik birim ağırlığı gibi parametreler elde edilir. Kullanım alanına uygun olarak tel çapı, demet çapı, demet adım oranı, halat adım oranı, halat preforme miktarı gibi özellikleri seçilerek yapılan tasarım sonucunda üretim prosesi hazırlandı. Halatlara ait temel proses detayları Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan çelik halatların proses parametreleri

Numune Tanımı	Numune 1	Numune 2
Halat Kompozisyonu	8x26WS	8x26WS
Nominal Halat Çapı (mm)	22,00	22,00
Fiili Halat Çap Aralığı (mm-mm)	22,00-23,10	22,00-23,10
Halat Adım Oranı	6,50	6,50
Çelik Öz Kompozisyonu	7x7	6x17S
Çelik Öz Çap Aralığı (mm-mm)	10,86-11,29	11,04-11,48
Çelik Öz Adım Oranı	6,50	6,50
Kaplama Materyali	-	Polipropilen
Çelik Öz Merkez Demet Çap Aralığı (mm-mm)	4,08-4,24	4,15-4,32
Çelik Öz Dış Demet Çap Aralığı (mm-mm)	3,51-3,66	3,65-3,79
Çelik Öz Demet Adım Oranı	8,00	8,00
Dış Demet Kompozisyonu	1x26WS	1x26WS
Nominal Dış Demet Çapı (mm)	5,95	5,79
Fiili Dış Demet Çap Aralığı (mm-mm)	5,89-6,13	5,73-5,96
Dış Demet Adım Oranı	8,00	8,00

3.1.2 Ürün Tasarımının 2D ve 3D Doğrulama Çalışmaları

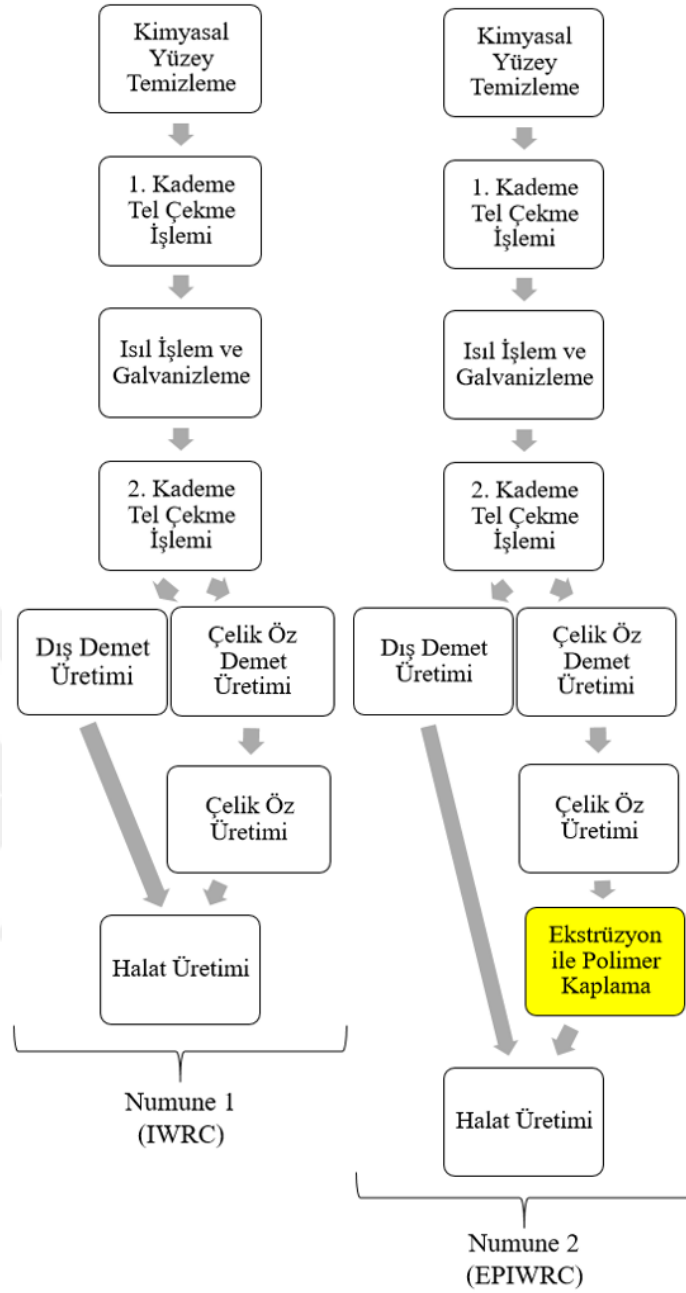
Tablo 3.2’de belirtilen ürün parametrelerine uygun olarak 2D ve 3D doğrulama çalışmaları “Solidworks” programında yapıldı. Doğrulama çalışmalarında teller ve demetler arasında istenen boşlukların ve temas noktalarının sağlandığı belirlendi. Numune 1 ve 2’ ye ait 2D ve 3D tasarım görselleri Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan halatların 2D ve 3D tasarım görselleri

3.2. Çalışmada Kullanılan Halatların Üretim Çalışmaları

Üretim faaliyetleri kapsamında Numune 1 ve 2’den 100’er metre üretim gerçekleştirildi. 2 ürün için de deneme üretimleri başarıyla tamamlandı ve kritik ölçümlerde herhangi bir olumsuzluk görülmedi. Ürünlerin hiyerarşik üretim aşamaları Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan halatların üretim akış şemaları

3.2.1. Kimyasal Yüzey Temizleme İşlemi

Üretim için kullanılması planlanan 5,50 mm çapında filmaşın hammaddelere yüzeydeki pas ve kirlerin temizlenmesi için kimyasal yüzey temizleme işlemi yapıldı. İlk olarak asit banyosuna daldırılan filmaşın uygun sürelerde bekletildi. Asit banyosunda yüzeyleri temizlendikten sonra asit durulama banyosunda yüzeydeki HCl temizlendi. Yüzeyindeki artık astitten arındırılan filmaşınlar sırasıyla fosfat ve boraks

banyosuna daldırıldı. Yapılan işlemin ardından filmaşın tel çekme işlemine hazır hale getirildi. Bu işlemler kullanılan tüm filmaşınlar için tekrarlandı.

3.2.2. Birinci Kademe Tel Çekme İşlemi

Yüzey temizleme işleminin ardından filmaşınlar ilgili çap değerlerine ulaştırılmak için tel çekme işlemine tabii tutuldu. Tel çekme işleminde redüksiyon oranına uygun olarak çok kademeli tel çekme işlemi yapıldı. Tel çekme makinesine azalan redüksiyon olacak şekilde sıralı haddeler yerleştirildikten sonra filmaşın bu haddelerden geçirilerek tel çekme işlemi yapıldı. Şekil değişimi sonrası tellerin iç yapısı ince taneli bir metalürjik yapıda olduğundan daha fazla redüksiyon uygulanması mümkün değildir. Bu sebeple yarı mamüllere ısı işlem uygulanması gerekmektedir.

3.2.3. Isıl İşlem ve Galvanizleme İşlemi

Birinci kademe tel çekme işlemi tamamlanan ince taneli yapıdaki tellerin yeniden kristalleşme tavı(östenitleme) ile tane boyutları ve deformasyon kabiliyeti değiştirildi. Karbon miktarına bağlı olarak 850-1100 C° sıcaklığındaki ısı işlem fırınından geçirilen teller hattın devamında galvaniz kaplama işlemine tabii tutuldu. Galvaniz kaplama işleminin ardından teller 2. Kademe tel çekme işlemi için hazır hale getirildi. Isıl işlem etkisinin malzeme yapısına etkisi kontrol edildi.

3.2.4. İkinci Kademe Tel Çekme İşlemi

Isıl işlem ile şekil değiştirme kabiliyeti geri kazandırılan ve yüzeyine galvaniz kaplama işlemi uygulanan çelik tellere 2. Kademe tel çekme işlemi uygulandı. Nihai çapı 1,60 mm üzerindeki tellere kuru tel çekme, 1,60 mm'den daha küçük olan tellere sulu tel çekme işlemi uygulandı. İşlem sonrasında nihai tel çapları kontrol edildiğinde nominal değerlerde üretildiği tespit edildi. Yapılan işlemler tüm teller için tekrarlandı.

3.2.5. Çelik Öz Demet ve Dış Demet Üretimi

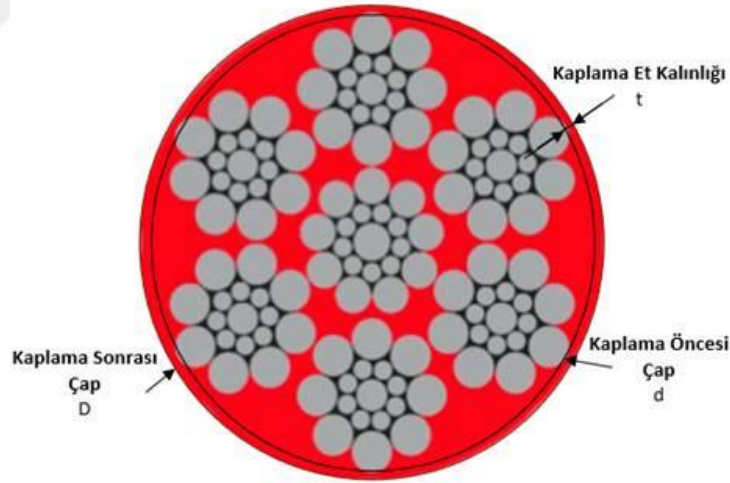
Tel çekme işleminin tamamlanmasının ardından çelik öz demetleri ve halat dış demetlerinin üretimi gerçekleştirildi. IWRC halatın çelik öz demetleri 6 beşikli tübüler tip demet üretim makinesinde üretildi. EPIWRC halatın çelik öz demetleri 18 beşikli tübüler tip demet üretim makinesinde üretildi.

3.2.6. Çelik Öz Üretimi

Üretimi yapılacak olan numuneler için 7x7 ve 6x17S kompozisyonlarında çelik öz üretimleri gerçekleştirildi. Bağımsız çelik özlü (IWRC) halat için yapılan 7x7 çelik öz üretimi 6 beşikli tübüler tip çelik öz üretim makinesinde gerçekleştirildi. Plastik kaplı bağımsız çelik özlü (EPIWRC) halat için 6x17S çelik öz üretimi 6 beşikli planetary tip çelik öz üretim makinesinde gerçekleştirildi.

3.2.7. Ekstrüzyon ile Polimer Kaplama

Çelik öz üretiminin tamamlanmasının ardından EPIWRC halatın çelik özü ekstrüzyon ile kaplama işlemine tabii tutuldu. Solidworks programında yapılan 2D tasarımda katmanlar arasında plastik ile doldurulacak kısmın hacmi hesaplanarak plastik kaplama kalınlığı tayin edildi. Yapılan hesaplamaların ardından kaplama öncesi çap d , kaplama sonrası çap D ve et kalınlığı t olacak şekilde t 'nin istenilen değerde olması sağlandı. Kaplama yapılan çelik özün 2D görseli Şekil 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.3. Plastik kaplama sonrası çelik özün 2D görseli

Kaplama işleminin ardından çelik özün görünümü Şekil 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.4. Çelik özün kaplama sonrası görseli

3.2.8. Halat Üretimi

Çelik özün kaplama işleminin ve dış demet üretimlerinin tamamlanmasının ardından EPIWRC halat üretim işlemlerine başlandı. Halat üretimi 8 beşikli planetary tip halat üretim makinesinde gerçekleştirildi. Kaplama yapılan çelik öz makinenin merkez vericisine yerleştirildikten sonra dış demetler üzerine örüldü. Örüm esnasında polipropilen camsı geçiş sıcaklığı ile erime sıcaklığı arasında olan 100-110 °C sıcaklığa ısıtılması sağlanarak katmanlar arasında tam bir koruyucu tabaka oluşturması sağlandı. Üretim öncesi çap ve adım kontrolleri yapılarak halat üretimi tamamlandı. 8x26WS EPIWRC halatın üretimi sonrasında çekilen görseli Şekil 3.5'te verilmiştir. Görselde de görüldüğü gibi halatın bir demeti kesildiğinde plastik katmanın tüm boşlukları doldurarak bir katman oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 3.5. EPIWRC halatın üretim görseli

IWRC halat üretimi 8 beşikli planetary tip halat üretim makinesinde gerçekleştirildi. Üretim öncesi çap ve adım kontrolleri yapılarak halat üretimi tamamlandı.

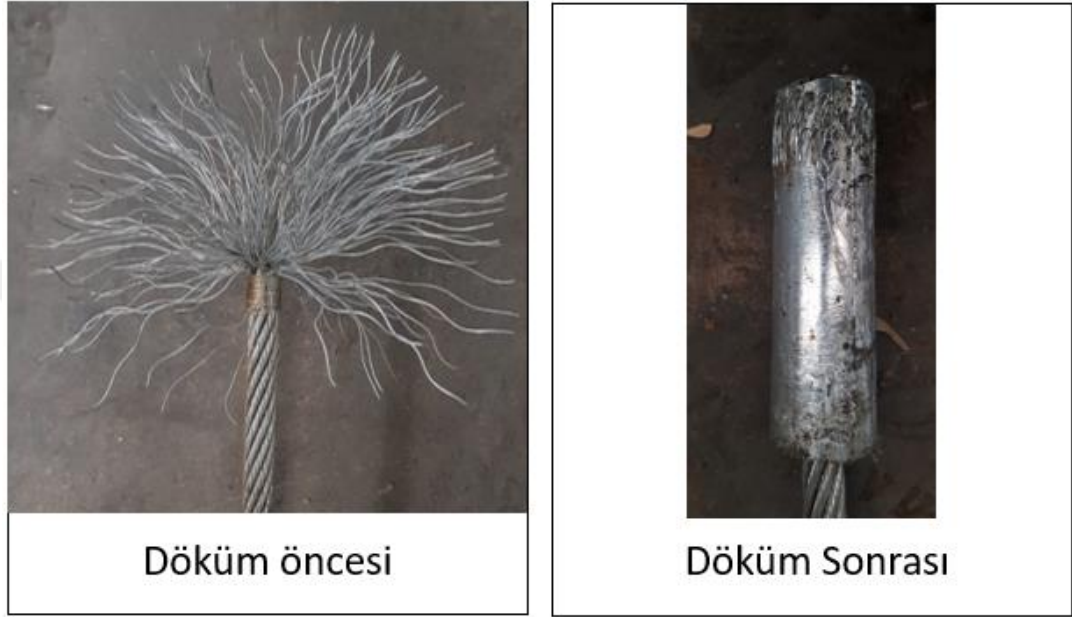
3.3. Çalışmada Kullanılan Halatların Test ve Deney Çalışmaları

Halat üretim aşamasının tamamlanmasının ardından performans testleri için çalışmalar gerçekleştirildi. Üretimi tamamlanan halatlara kopartma testleri, ömür performans testleri ve korozyon testleri gerçekleştirildi.

3.3.1 Halat Kopartma Testleri

Kopma testleri gerçekleştirilecek halatlardan üçer adet 1,20 m uzunluğunda test numuneleri kesildi. Numune kesim işleminin ardından halatın iki ucuna çinko

sonlandırma işlemi yapıldı. Sonlandırma işlemi için halatların uç kısımlarında tüm teller açılarak fırça şeklinde yapı oluşturuldu. Ardından kimyasal kullanılarak yağlardan arındırılan teller kalıba yerleştirilerek çinko sonlandırma işlemi gerçekleştirildi. Tellerin açılmış hali ve çinko başlıkların görseli Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Kopma testi yapılacak halatların sonlandırma işlemine ait görsel

Çinko sonlandırma işleminin ardından koparma testleri 1000 kN maksimum yükleme kapasitesine sahip yük ve deplasman kontrollü olarak çalışabilen üniversal tip çekme test cihazında gerçekleştirildi. Test cihazının görseli Şekil 2.7'de verilmektedir. Halat çekme testleri kuvvet kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir. Halatın kopma mukavemetinin %80'ine kadar yükleme hızı, saniyede kopma mukavemetinin %1 büyüklüğe karşılık gelen kN değerinde olmalıdır. %80 kopma mukavemet değerinden halatın kopma anına kadar ise çekme hızı saniyede %0,5 değere karşılık gelen kuvvet büyüklüğünde olmalıdır. 22 mm halatta beklenen 417 kN kopma yükündeki numune için başlangıç çekme hızı 4,17 kN/s iken ikincil test hızı 2,09 kN/s olarak seçildi. Çekme testlerinde test hızı standarda uygun olarak yapıldı. Tüm çekme testleri sırasıyla yapılarak test sonuçları kaydedildi. Kaydedilen test sonuçları arasından başarılı kabul edilen sonuçlar ürünün performans çıktısı olarak kaydedildi. Yapılan çalışma sonucunda EPIWRC halat üretiminin IWRC halat üretimine nazaran daha yüksek mukavemet değerleri sağlaması hedeflenmektedir.



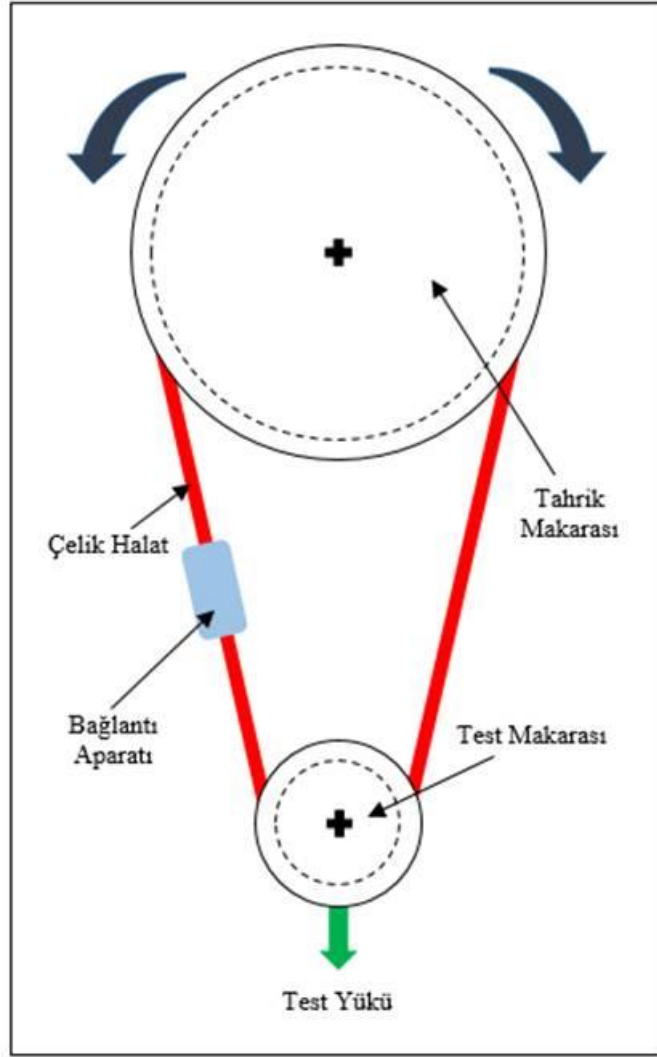
Şekil 3.7. Üniversal tip dikey halat koparma test cihazı

3.3.2 Halat Yorulma (Ömür) Testleri

Ömür testleri için üretimi tamamlanan halatlardan 18'er metrelik halat numuneleri kesildi. Numune kesim işleminin ardından koparma testlerinde olduğu gibi sonlandırma işlemi yapılarak numune hazırlama işlemi tamamlandı. Ömür testleri için test parametreleri seçildi. Seçilen test parametreleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Testte kullanılan cihazın çalışma prensip şeması Şekil 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Ömür testi yapılan halatların test parametreleri

Numune Tanımı	Halat Kompozisyonu	Öz Tipi	Testte Uygulanacak Kuvvet (kN)	Güvenlik Katsayısı	Ortalama Test Hızı (rpm)
Numune 1	8x26WS	IWRC	83,4	5	10
Numune 2	8x26WS	EPIWRC	83,4	5	10



Şekil 3.8. Ömür test cihazı çalışma prensibi

Ömür testlerinde ISO 4309 standardına uygun olarak çap azalması, tel kırığı vb. kontrolleri yapıldı. Standartta 8x26WS halatlar için belirtilen halat çapının 6 katı mesafede 9 veya halat çapının 30 katı mesafede 18 görünür tel kırığı sayısına ulaşılan dek test sürdürüldü. Testlerin tamamlanmasının ardından elde edilen çevrim sayıları servis ömrü olarak kaydedildi.

3.3.3 Halat Korozyon Testleri

Korozyon testleri için halatlardan birer adet 30 cm uzunluğunda numune kesildi. Kesilen numunelerin 2 ucuna silikon ile sonlandırma yapılarak çelik özün kesit açıklığından nem alması engellendi. Numuneler çevrimsel korozyon test kabineye yerleştirildi. Kabine yerleştirilen numuneler 24 saatlik periyotlarla incelendi. Numune yüzeylerinde beyaz ve kırmızı pas görülme süreleri kaydedildi. Toplam test süresi

1000 saate ulaştığında test sonlandırıldı. Korozyon testinden sonra numunelerin görseli Şekil 3.9’da verilmektedir.



Şekil 3.9. Korozyon testinin ardından halatların dış yüzey görünümleri

Testin ardından numunelerin dış demetleri açılarak elik öz katmanların korozyon durumu kontrol edildi. elik özlerin test sonrası yüzey görünümleri Şekil 3.10’da verilmektedir.



Şekil 3.10. Korozyon testinin ardından elik özlerin yüzey görünümleri

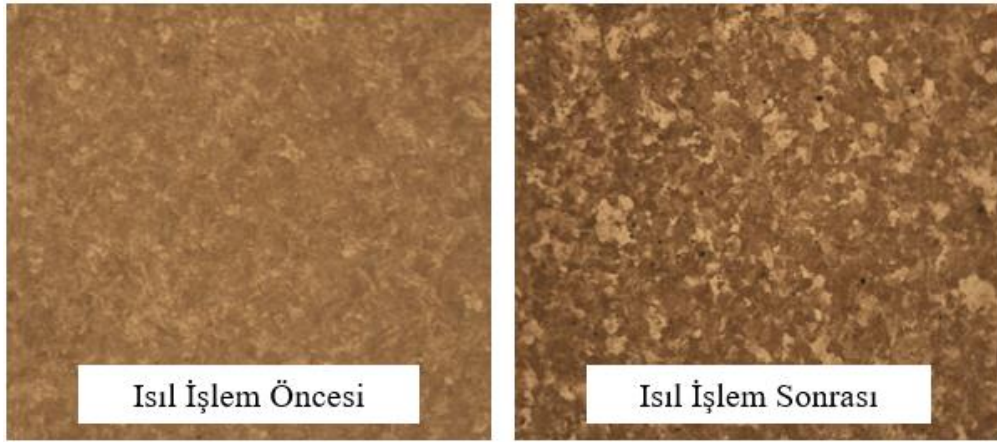
Performans testlerinin ardından elde edilen sonuçlar Bulgular kısmında değerlendirilecektir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada özü plastik dolgulu bağımsız çelik özlü (EPIWRC) ve standart bağımsız çelik özlü (IWRC) halatların üretim faaliyetleri ve ardından performans testleri gerçekleştirildi.

4.1. Üretim Faaliyetlerinde Elde Edilen Bulgular

Üretim faaliyetleri IWRC ve EPIWRC halatlar için başarıyla tamamlandı. Kimyasal yüzey temizleme işlemlerinde filmaşın yüzeylerinde herhangi bir korozyon görülmedi. Birinci kademe tel çekme aşamasında tüm teller hedeflenen nominal çap değerlerinde üretildi. Isıl işlem operasyonunda istenilen mukavemet değerleri elde edildi ve galvaniz kaplama kalınlığı sağlandı. Isıl işlem öncesi ve sonrası malzemenin tane yapısı Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Isıl işlem öncesinde ve sonrasında tane yapısının görünümü

İkinci kademe tel çekme, demet üretimi, çelik öz üretimi ve halat üretimi proses parametrelerine uygun olarak gerçekleştirildi. Üretim esnasında her adımda yapılan ölçüm sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloda verilen sonuçlar incelendiğinde tüm çap ve adım değerlerinin belirlenen aralıklarda gerçekleştiği ve malzeme yüzeylerinin çok iyi durumda olduğu görüldü.

Tablo 4.1. Üretimleri gerçekleştirilen numunelerin üretim parametrelerinin ölçüm sonuçları

Numune Tanımı	Numune 1	Numune 2
Halat Kompozisyonu	8x26WS	8x26WS
Halat Çapı (mm)	22,80	22,70
Halat Adım Oranı	6,60	6,70
Çelik Öz Çapı (mm)	11,02	11,32
Çelik Öz Adım Oranı	6,40	6,50
Çelik Öz Merkez Demet Çapı (mm)	4,18	4,21
Çelik Öz Dış Demet Çapı (mm)	3,55	3,69
Nominal Dış Demet Çapı (mm)	6,02	5,94

Polimer kaplama işleminde herhangi bir problem gözlemlenmedi. Kaplama işlemi sonucunda çelik özün dışında herhangi bir delik, deformasyon vb. gözlenmedi. Polimerin yapısal durumu incelendiğinde herhangi bir kararsızlık görülmedi. Ek olarak ürünün metal ile temas ettiği bölgelerde tutunmanın sağlandığı ve polimerin ürünü tam olarak koruyacak forma sahip olduğu görüldü.

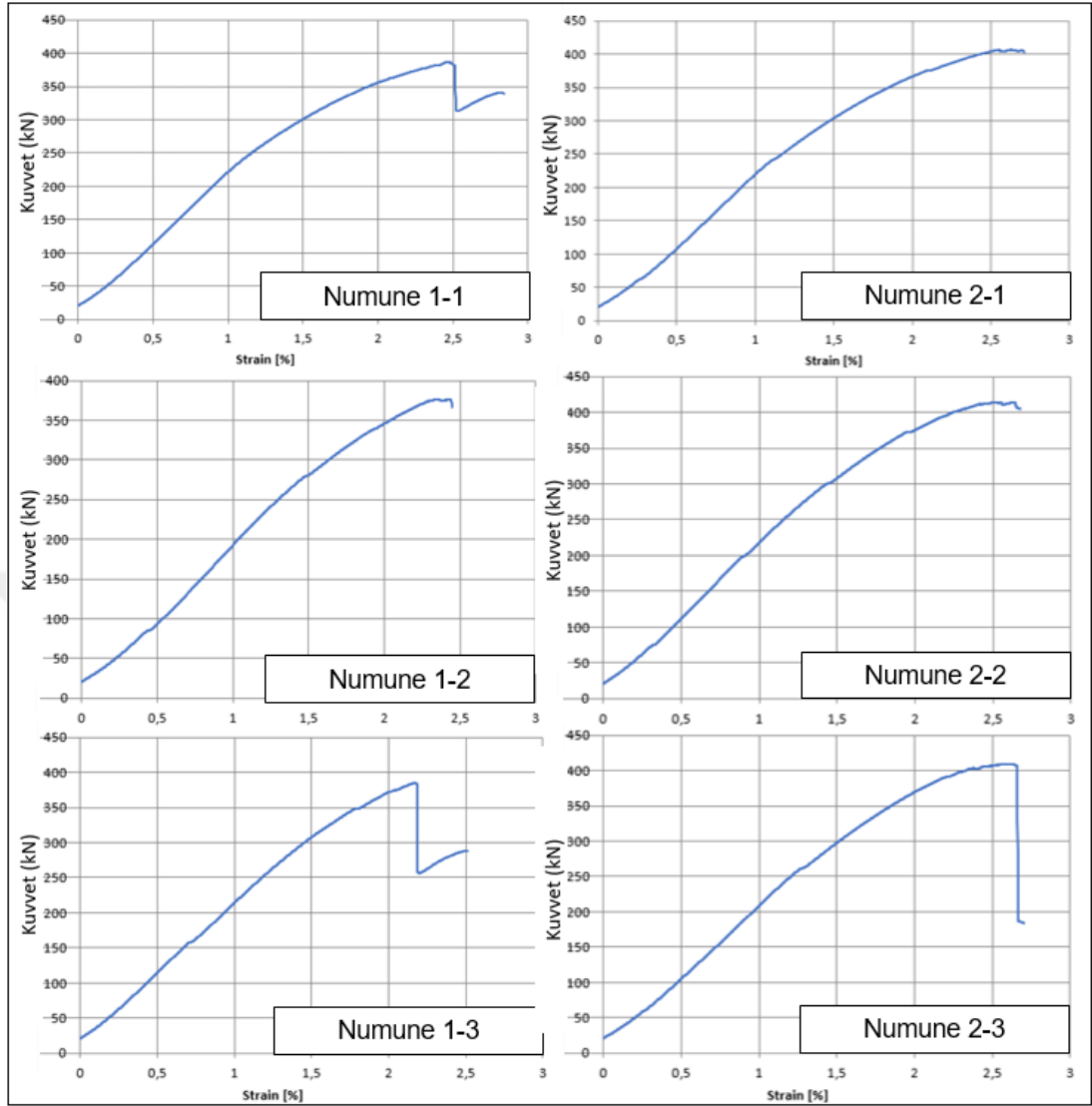
4.2. Test ve Deney Faaliyetlerinde Elde Edilen Bulgular

Üretilen numunelerden Materyal ve Metod bölümünde belirtilen ölçülerde test numuneleri hazırlandı. Numunelere halat kopartma testi, ömür performans testi ve korozyon testi gerçekleştirildi. Performans testleri laboratuvar koşullarında 25 °C sıcaklıkta gerçekleştirildi.

4.2.1. Halat Kopartma Testlerinde Elde Edilen Bulgular

Numunelere dikey tip üniversal test cihazında yapılan testlerde tüm halatlar başarılı bir şekilde koparıldı. Her bir ürün için 3 adet çekme testi gerçekleştirildi. Testte birincil çekme hızı 4,17 kN/s iken kopma mukavemetinin %80'ine ulaşıldıktan sonra 2,09 kN/s olarak uygulandı. Kopma işleminin ardından elde edilen birer adet test grafiği Şekil 4.2'de ve test sonuçları Tablo 4.2'de verilmektedir.

Çekme test grafiklerinde de görüldüğü gibi halatlara %5 ön yük uygulanmaktadır. Bu ön yük halatın helisel yapısı sebebiyle ihtiyaç duyduğu minimum kullanım yükünü temsil etmektedir. Yapılacak uzama ve elastisite modülü ölçümleri için test başlangıcından önce numunelere mutlaka ön yük verilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.2. Halat kopartma test diyagramları; a) IWRC, b) EPIWRC

Tablo 4.2. Halat kopartma test sonuçları

Numune Tanımı	Halat Kompozisyonu	Halat Çapı (mm)	Ölçülen Kopma Mukavemeti (kN)	Kopma Uzaması (%)
Numune 1	8x26WS	22,00	382	2,5
			375	2,4
			383	2,2
Numune 2	8x26WS	22,00	409	2,7
			419	2,6
			417	2,7

Çekme testi sonuçları incelendiğinde 1 numaralı IWRC numunesinin 3 testinde de yakın değerler elde edildiği ve 2 test sonucunun beklenen minimum değer olan 378 kN değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. 2 numaralı EPIWRC numunesinde 2 test

sonucunun hedeflenen minimum değer olan 417 kN kopartma değerine uygun olduğu görülmektedir. 1 ve 2 numaralı numuneler arasında yaklaşık %10 mukavemet artışı olduğu görülmektedir. Bu mukavemet artışı özel tasarım ile metalik kesit doluluğunun artırılmasından ve plastik katman sayesinde tellerdeki mekanik hasarlanmaların azalmasından kaynaklanmaktadır. Özü plastik dolgulu halatların sektörel durumu incelendiğinde elde edilen mukavemet artışı ile beklenen mukavemet artışı arasında herhangi bir uyumsuzluk yoktur.

4.2.2. Halat mr Testlerinde Elde Edilen Bulgular

Ömür testleri özel tasarıma sahip çevrimsel test cihazında geręekleřtirildi. ISO 4309 standardında hedeflenen tel kırık sayılarına ulaşıldığında testler durduruldu. Standartta 8x26WS konstrüksiyonu için halat çapının 6 katı mesafede ve 30 katı mesafede müsaade edilen maksimum tel kırık sayıları sırasıyla 9 ve 18 olarak verilmektedir. Test sonuçları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Halat mr test sonuçları

Numune Tanımı	Halat Kompozisyonu	Halat apı (mm)	Test Yükü (kN)	Servis mr (evrim)
Numune 1	8x26WS	22,00	83,4	38.868
Numune 2	8x26WS	22,00	83,4	56.833

Ömür testlerinde tellerde tipik yorulma kırılmaları gözlendi. Tel kırılmalarının geręekleřtięi bölgelerin görselleri Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Ömür testlerinde meydana gelen tipik yorulma kırılmaları

Testi tamamlanan IWRC halatın elik özü incelendiğinde tel kırılmalarının meydana geldiği görüldü. Meydana gelen tel kırılmalarının Zhihui ve Jiquan (2012)'nin

yaptıkları çalışmada meydana gelen yorulma kırılmaları ile aynı kırılma karakteristiğine sahip olduğu görüldü. Halatların çelik makaralar ile temas ettiği noktalarda meydana gelen düz kırılmalar tipik yorulma kırılması olarak nitelendirilmektedir. EPIWRC halatın plastik durumu ve çelik özü kontrol edildiğinde plastik katmanın bütünlüğünü koruduğu ve iç kısmında az sayıda tel kırılmaları olduğu görüldü. IWRC ve EPIWRC halatların çelik öz görselleri Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Ömür testleri sonrasında çelik özlerin durumu

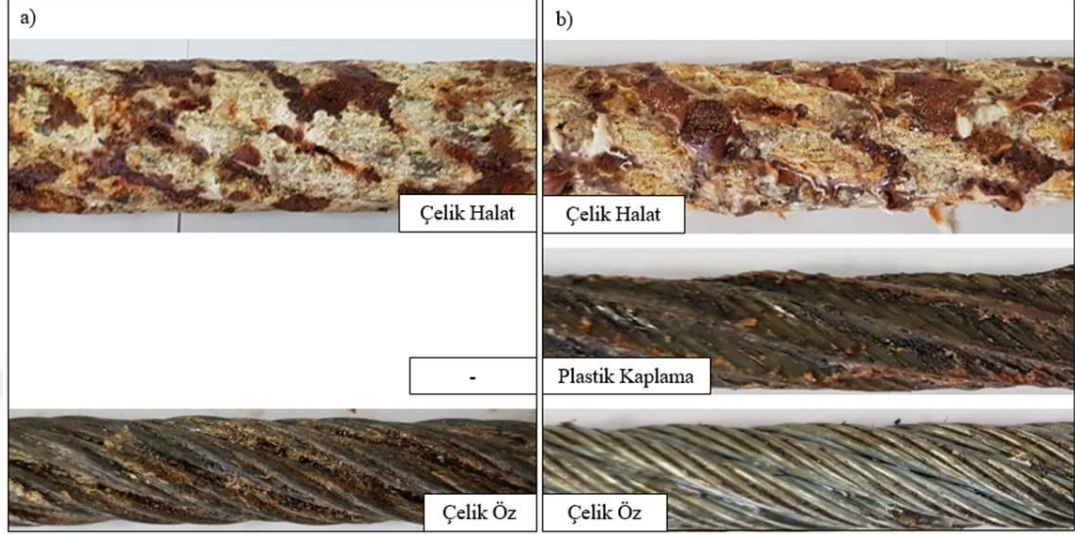
4.2.3. Halat Korozyon Testlerinde Elde Edilen Bulgular

Çalışma konusunu belirleyen halatların 1000 saatlik korozyon testleri tamamlandı. Korozyon testleri çevrimsel tip tuz test kabini içinde gerçekleştirildi. Test kabini içinde nem değeri %95 - 98, sıcaklık değeri 35 °C, hava basıncı 0,9 - 1 bar ve hava debisi 0,3 – 0,4 lt/dk olarak ayarlandı. Cihazın çalıştırılmasının ardından 24 saatlik periyotlarla görsel kontrol gerçekleştirildi. Numunelerin beyaz ve kırmızı pas başlangıç süreleri Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4. Halat korozyon test sonuçları

Numune Tanımı	Halat Kompozisyonu	Halat Çapı (mm)	Beyaz Pas Oluşumu (saat)	Kırmızı Pas Oluşumu (saat)
Numune 1	8x26WS	22,00	380	540
Numune 2	8x26WS	22,00	460	690

Numunelerin test sürelerinin tamamlanmasının ardından dış demetleri açıldı ve plastik tabaka sıyrıldı. Çelik özlerin test sonrasındaki korozyon durumları Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. Korozyon testi sonunda korozyon durumu

Korozyon test sonuçları incelendiğinde ürünlerde ilk olarak beyaz pas oluştuğu görüldü. Beyaz pas galvanizli halatlarda çinko katmanın oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan çinko oksitinin atmosferdeki karbondioksit ile reaksiyona girmesi sonucu meydana gelen çinko karbonata dönüşmesi sonucu meydana gelir. Bu korozyon tipinde herhangi bir metalik kayıp gerçekleşmez. Belirli bir süre sonra çinko katmanının altında yer alan demir ile atmosferik temasın başlamasının ardından demir oksit meydana gelir ve kırmızı pas görülür. Bu durum metal kaybının başladığını göstermektedir. Korozyon testi metal kaybının başlaması ile sonlandırılır. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi kırmızı pas oluşumu görülen IWRC halatın çelik özünün tamamen paslandığı ve yüzeyinde galvaniz tabakanın tamamen yok olduğu görülmektedir. EPIWRC halatta ise test sonrasında plastik katmanın sıyrılarak çıkarılmasının ardından galvaniz tabakanın çeliği korozyondan korumayı sürdürdüğü ve neredeyse hiç beyaz pas olmadığı görülmektedir. Kullanım esnasında görülmesi mümkün olmayan çelik özün korozyondan büyük ölçüde korunması halatın kullanım ömrü boyunca çok daha emniyetli bir çalışma gerçekleştirmesini sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında plastik dolgulu bağımsız çelik özlü (EPIWRC) ve standart bağımsız çelik özlü (IWRC) halatların üretim faaliyetleri yapılarak test ve deney çalışmaları ile performans karşılaştırmalar gerçekleştirildi. IWRC ve EPIWRC halatlardan 100'er metre üretilerek testler için numune hazırlıkları yapıldı. Numuneler halat kopma testi, halat ömür testi ve halat korozyon testleri yapıldı.

Üretim faaliyetleri incelendiğinde iki halatın da üretim proses parametrelerine uygun olarak üretildiği görülmektedir. Tasarımı yapılan iki halatın proses parametrelerinin seri üretime uygun olduğu belirlendi.

IWRC ve EPIWRC halatlara yapılan kopma testleri standartlara uygun olarak gerçekleştirildi. IWRC halatın istenen kopma mukavemeti 378 kN fiili mukavemet değeri 382 kN olarak ölçüldü. EPIWRC halatta ise 417 kN mukavemet beklenirken 419 kN değerinde kopma gerçekleşti. İki ürün için de kopma değerleri belirlenen sınıra çok yakın olmasına karşın istenen değerlerin üzerinde olduğu görüldü. Ek olarak EPIWRC halatın IWRC halata nazaran %10 daha yüksek kopma mukavemetine sahip olduğu belirlendi.

Halat ömür testleri çevrimsel olarak çalışan özel tasarımı test cihazında gerçekleştirildi. Testte halatın makaralarla temas eden kısımlarında hasarlanmalar meydana geldi Literatürde yorulma kırılması olarak tanımlanan tipik hasar mekanizmaları görülen halatların servis ömrü belirlendi. IWRC ve EPIWRC halatlar sırasıyla 38.868 ve 56.833 çevrim tamamlayarak servis ömrünün sonuna ulaştı. Testler boyunca beklenmeyen bir hasar mekanizması oluşmadı. EPIWRC halatların servis ömrünün IWRC halatlara göre %40 daha yüksek olduğu belirlendi. Test sonrası numuneler incelendiğinde EPIWRC halatta plastik katmanın bütünlüğünü koruduğu ve çelik özü hasarlardan büyük ölçüde koruduğu görüldü. IWRC halatta ise dış demetlerde olduğu gibi çelik özde de ciddi hasarlanmalar olduğu görülmektedir.

Korozyon testleri çevrimsel korozyon test kabiniinde gerçekleştirildi. Numunelere 24 saatte bir yapılan incelemelerle birlikte 1000. Saatte test sonlandırıldı. Test sonunda iki numunede de kırmızı pas oluşumu gözlemlendi. EPIWRC halatta beyaz ve kırmızı pas oluşumunun IWRC halata nazaran daha geç gerçekleştiği görüldü. Test sonrasında numunelerin dış demetleri açılarak çelik öze incelemeler yapıldı. Plastik katmanın yapısal bütünlüğünü koruduğunu ve polimerik özelliklerinde herhangi bir bozulma olmadığı görüldü. Polimerin sıyrılması ile birlikte IWRC ve EPIWRC halatların çelik özlerinin korozyon durumu karşılaştırıldı. IWRC halatın çelik özünde ciddi düzeyde kırmızı pas ve bir miktar metal kaybı olmasına karşın EPIWRC halatın çelik özünde beyaz pas oluşumu dahi görülmedi. Plastik katmanın çelik özü korozyondan çok iyi derecede koruduğu görülmektedir.

Bulgular ve tartışma bölümünde sunulan performans test sonuçları incelendiğinde EPIWRC halatın IWRC halata göre üstün mekanik özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Özellikle denizcilik ve liman endüstrisi gibi korozif ortam şartlarında yer alan vinçlerde EPIWRC halatların kullanımının daha güvenli bir kullanım sunacağı söylenebilir. Yüksek mukavemeti sayesinde daha yüksek güvenlik faktörü sunacak olan EPIWRC halatlar ek servis ömrü ile bakım işçiliklerini azaltacaktır. Ek olarak halatın çelik özünün dışarıdan bakınca görülememesi büyük bir risk oluştururken plastik dolgulu halatlarda çelik özün çok daha uzun süre korozyona uğramadan ve hasarlanmadan çalışmayı sürdüreceği belirlendi.

EPIWRC halatlar ile ilgili bilimsel çalışmaların kısıtlı olması sebebiyle bu alandaki çalışmaların artırılması büyük önem arz etmektedir. Halat tasarımına ek olarak farklı polimerlerin halat ömrüne ve korozyon koruyuculuğuna etkisi incelenebilir. Ek olarak polimerler üzerinde yapılacak hibrit çalışmalar ile halatın ve çelik özün yağlayıcı özellikleri geliştirilebilir.

Sektörel anlamda çok değişik koşullarda kullanılan çelik halatlar aşırı yüksek ve düşük sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Ekvatorial bölgelerde veya kutuplara yakın bölgelerde kullanılan halatlar ekstrem sıcaklık koşulları sebebiyle ekstra zarar görmektedir. Ekstrem sıcaklık koşullarında polimerlerde gevrekleşme veya yumuşama problemleri yaşanması muhtemeldir. Bu alanda yapılacak çalışmalar ve özel polimer seçimleri ile tüm koşullara uyum sağlayabilecek özel ürünler geliştirilebilir.

Çelik öz telleri ile halatın dış demet telleri arasındaki temas ilişkileri incelendiğinde EPIWRC halattaki plastik katmanın temasları minimize ettiği ve aşınmaları azalttığı görülmektedir. Temas bölgelerindeki aşınma mekanizmaları, sürtünme faktörü ve yağlamanın da etkileri araştırılarak yeni çalışmalar yapılması mümkündür.

Çalışmada gerçekleştirilen testler laboratuvar ortamında ideal ortam koşullarında gerçekleştirildi. Günlük kullanımda ortam sıcaklığının değişkenliği, korozif etkilerin şiddeti, halatın bakım uygunluğu, operatör kullanımına bağlı oluşabilecek sebebiyle ürün performansları değişiklik gösterebilir. Spesifik özelliklerde ve koşullarda test sonuçlarının görülebilmesi için ilgili koşulların sağlanarak testlerin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Akpari, A., Hasani, G. H., Jam, J. M. (2010). An Experimental Investigation of the Effect of Annealing Treatment on Strain Inhomogeneity in the Cross-Section of Drawn Copper Wires, *Metal*, 5, 18-20.
- Balin, B. (2004). Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme İşlemi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 154377.
- Bridon Ropes. (1992). *Steel Wire Ropes and Fittings*.
- Çelik, E. (2019). Çelik Tel Çekme Hadde Geometrisinin Telin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, 613630.
- Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. (1999). *Ürün Kataloğu*, Türkiye
- Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. (2020). *Ürün Kataloğu*, Türkiye
- Çiçek, E. (2019). Karbon Oranının Alaşımız Çelik Filmaşınlerden Elde Edilen Tel Ürünlerin Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 612084.
- Çiçek Salman, Ö. (2016). Modelling and Analysis Corrosion Fatigue Behaviour of Steel Wire Rope, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 444192.
- Çiğdem, M. (1996) *İmal Usülleri*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Demirsoy, M. (1991). *Transport Tekniği- Kaldırma Makinaları*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ernst, H. (1973). *Kaldırma Makinaları Cilt-1*, Fon Matbaası, Ankara.
- Feyrer, K. (2007). *Wire ropes: tension, endurance, reliability*. Springer. Berlin.
- Gobinath, R., Naveen Kumar, N., Balachandran, G. (2018). Metallurgical Characterization of Commercial High Carbon Steel Wire Rods, *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 7, 229-242.
- Güzey, A. (2009). Demirsel Tellerin Üretim Sürecinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 245428

- Hardin, J. M. (1998). On Path Independence of Axially Loaded Wire Rope Strands, PhD Thesis, University of Illinois, Theoretical and Applied Mechanics, Urbana-Champaign, 991254. Humphreys, F. J., Hatherly M. (2004). *Recrystallization and Related Annealing Phenomena (2nd edition)*. Elsevier, Oxford
- International Organization for Standardization (2005). *Steel wire ropes — Determination of rotational properties (ISO 21669)*. Switzerland.
- International Organization for Standardization (2017). *Cranes — Wire ropes — Care and maintenance, inspection and discard (ISO 4309)*. Switzerland.
- Ivanov, H. I., Ermolaeva N. S., Breukels J., De Jong B. C. (2020). Effect of Bending on Steel Wire Rope Sling Breaking Load: Modelling and Experimental Insights, *Engineering Failure Analysis*, 116, 766-767.
- Kandemir, İ. (2014). Çelik Tel Halatı Mukavemetinin Deniz Ortamındaki Değişikliklerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 397846.
- Oksanen, V., Valtonen, K., Andersson, P., Vaajoki, A., Laukkanen, A., Holmber, K., Kuokkala V. T. (2015). Comparison of Laboratory Rolling-Sliding Wear Tests with In-service Wear of Nodular Cast Iron Rollers Against Wire Ropes, *Wear*, 340-341, 73-81.
- Onur, Y. A. (2010). Halat Ömrüne Etki Eden Parametrelerin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 315356.
- Onur, Y.A., İmrak, C. E. (2017). Discard Fatigue Life of Stranded Steel Wire Rope Subjected to Bending Over Sheave Fatigue, *Mechanics & Industry*, 18(2), 1-7.
- Rohrverseilmaschine. (2021, 6 Aralık). Erişim adresi <https://www.stolberger.com/de/produkte/details/Tubular-stranding-line-HST-630-10-5444-10q/>
- Selbstverlag, O. J. (1950). *United Ropeworks*, Rotterdam, Holland.
- Steel Making Process. (2021, 7 Ekim). Erişim adresi http://sarthak.group/images/manufacturing_process.jpg
- Steel Wire Drawing Machine. (2021, 6 Aralık). Erişim Adresi <http://www.mekosan.com.tr/machine.php?id=18>
- Stranding. (2021, 6 Aralık). Erişim adresi <https://www.stolberger.com/en/solutions/stranding/>
- Surface Treatment of Wire. (2021, 6 Aralık). Erişim adresi <https://www.metalurgia.pl/en/services/surface-treatment-of-wire-and-wire-rod>

- Türk Standartları Enstitüsü (2010). *Steel wire ropes - Safety - Part 1: General requirements* (TS EN 12385-1). Türkiye.
- Urchegui, M. A., Tato, W., Gomez, X. (2008). Wear Evolution in a Stranded Rope Subjected to Cyclic Bending, *JMEPEG*, 17, 550-560.
- Usha Martin. (2012). *Wire Rope Handbook*, India.
- Ünseren M. (2006). Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 185112.
- Verreet, R. (1998). *Calculating the service life of running steel wire ropes*. Germany.
- Verreet, R. (2002). *A Short History of Wire Rope by Dpl.-Ing. Roland Verreet*. Germany.
- Verreet, R. (2004). *Special wire ropes-technical documentation*. Germany.
- Verreet, R. (2005). *Casar Steel wire ropes for cranes problems and solutions*. Germany.
- Wet Drawing Machines. (2021, 6 Aralık). Erişim adresi <http://gcreurodraw.com/wet-drawing-machines>
- Yılmaz, M. (2007). Taşıyıcı Sistem Çelik Halatları ve Madencilik Sektöründeki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 178984.
- Zhihui, H., Jiquan, H. (2012). The Fatigue and Degradation Mechanisms of Wire Ropes Bending-over-sheaves, *Applied Mechanics and Materials*, 127, 344-349.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Polat, M., Köşeler, R., Kılavuz, İ. (2021). Experimental Investigation of Bending Fatigue, Breaking Load and Corrosion Performance of Steel Wire Ropes with Independent Wire Rope Core (IWRC) and Impregnated Plastic (EPIWRC), *30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials*, Czech Republic, 26-28 Mayıs 2021.

Polat, M., Serdaroğlu, Z. Ş. (2021). Experimental Investigation on Torque Rotation and Tensile Strength Behavior of Multistrand Rotation Resistant Steel Wire Ropes, *International Conference on Engineering Technologies*, 18-20 Kasım 2021.

Serdaroğlu, Z. Ş., **Polat, M.** (2021). Experimental Investigations on Mechanical Properties of Steel Wire Ropes by Using Different Emregnated Thermoplastic Materials, *International Conference on Engineering Technologies*, 18-20 Kasım 2021.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2014 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2019 yılında Makine Mühendisliği Lisans Mezunlu olarak mezun oldu. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

