

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HALAT ÖMRÜNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN TEORİK VE
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Yusuf Aytac ONUR**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Makina Mühendisliği

KASIM 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HALAT ÖMRÜNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN TEORİK VE
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Yusuf Aytaç ONUR
(503052017)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Temmuz 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Kasım 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. C. Erdem İMRAK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İsmail YÜKSEK (YTÜ)
Prof. Dr. Ata MUGAN (İTÜ)
Prof. Dr. Mustafa ALIŞVERİŞÇİ (YTÜ)
Doç. Dr. Cemal BAYKARA (İTÜ)**

KASIM 2010

ÖNSÖZ

Günümüzde tel halatlar; asansör, kren, teleferik ve telesiyej sistemlerinde, maden işletmelerinde, denizcilikte yük kaldırma ve iletme elemanı olarak sıklıkla kullanılırlar. Tel halatların sonlu bir ömre sahip olması, işletmelerde kullanılan tel halatların emniyetli bir şekilde yük taşıma görevini ne kadar süre ile yerine getirebileceğinin tespit edilebilmesi konusunu oldukça kritik bir öneme taşımıştır. Makaralarla birlikte kullanılan, eğilme yorulmasına maruz tel halatların işletme ömrüne etki eden parametrelerin, yanlış kullanım, imalat hataları ve çevresel faktörlerin tel halatların işletme ömrüne etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi bu doktora tez çalışmasının amacıdır. Bu tez çalışması, gerek bu konu hakkında çalışma yapan mühendislere gerekse halat imalat sektörü ve kullanıcılarına önemli bir kaynak olacağına inanmaktayım.

Çalışmalarımın her aşamasında değerli fikirleri ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr. C.Erdem İMRAK'a, görüş ve önerileri ile yol gösteren tez izleme komitesindeki hocalarım, Prof.Dr. İsmail YÜKSEK'e (YTÜ Rektörü), Prof.Dr. Ata MUGAN'a (İTÜ), doktora eğitimim süresince Yurt İçi Doktora Bursu aldığım TÜBİTAK BİDEB'e, doktoramın deneysel kısmının yapılmasında, University of Stuttgart Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT), Rope Technology Laboratuvarını kullanma izni veren enstitü müdürü Sayın Prof.Dr.–Ing. Karl-Heinz WEHKING'e, deneysel çalışmalarım sırasında danışmanım olan Rope Technology Laboratuvarı sorumlusu Sayın Dipl.–Ing. Sven WINTER'a, deneysel çalışmalarım esnasında yakın ilgileri ve yardımları için enstitüdeki değerli meslektaşlarıma, deneysel çalışmalarım proje desteği veren İTÜ BAP birimine, tezin regresyon analizi bölümünün hazırlanmasındaki yardımları ve manevi desteği için babam Prof.Dr. İbrahim ONUR'a ve manevi destekleri için anneme ve T. Özge ÖZDİNÇ'e teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Temmuz 2010

Yusuf Aytaç ONUR

Makina Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xv
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. HALATLAR	15
2.1 Bitkisel Halatlar	15
2.2 Tel Halatlar	16
2.2.1 Tel halatların yapısı	17
2.2.1.1 Halat özleri	18
2.2.1.2 Halat demeti	18
2.2.1.3 Halat sınıfı (anma dayanımı)	19
2.2.1.4 Halat çapı	19
2.2.1.5 Preforme (ön şekil verilmiş) halatlar	20
2.2.2 Tel halat imalatı ve halat teli malzemesi	21
2.2.2.1 Halat teli malzemesi	21
2.2.2.2 Tel halat imalatı	23
3. TEL HALAT ÇEŞİTLERİ ve KULLANIM ALANLARI	25
3.1 Özlerine Göre Halat Çeşitleri	25
3.1.1 Lif özlü halatlar	25
3.1.2 Çelik özlü halatlar	25
3.2 Demet (Damar) Kompozisyonlarına Göre Halat Çeşitleri	26
3.2.1 Tek operasyonlu halatlar (paralel tel sarımlı halatlar).....	26
3.2.1.1 Standart demetler	26
3.2.1.2 Seale demetler	26
3.2.1.3 Warrington demetler	26
3.2.1.4 Warrington-Seale demetler	27
3.2.1.5 Filler (dolgu) demetler	27
3.2.1.6 Seale-Filler demetler	28
3.2.2 Çok operasyonlu halatlar (cross lay).....	28
3.3 Özel Halatlar	28
3.3.1 Dönme dirençli halatlar	28
3.3.2 Tam kenetli-yarı kenetli tip halatlar	29
3.3.3 Üçgen demetli halatlar.....	30
3.3.4 Oval demetli halatlar	30
3.3.5 Kompakt halatlar	30

3.3.6 Preslenmiş (swaged) halatlar	31
3.3.7 Plastik dolgulu halatlar	31
3.3.8 Örgülü halatlar	32
3.3.9 Elektro-mekanik halatlar	32
3.3.10 Yassı halat	32
3.4 Tel Halat Kullanım Alanları	33
3.4.1 Vinç halatları	33
3.4.1.1 Vinçlerde kullanılan halat kompozisyonları	34
3.4.1.2 Vinçlerde kullanılan halatların genel özellikleri	34
3.4.2 Telesiyej halatları	34
3.4.2.1 Telesiyejlerde kullanılan halat kompozisyonları	34
3.4.2.2 Telesiyejlerde kullanılan halatların genel özellikleri	35
3.4.3 Denizcilik halatları	35
3.4.3.1 Denizcilikte kullanılan halat kompozisyonları	35
3.4.3.2 Denizcilikte kullanılan halatların genel özellikleri	35
3.4.4 Madencilik halatları	36
3.4.4.1 Madencilikte kullanılan halat kompozisyonları	36
3.4.4.2 Madencilikte kullanılan halatların genel özellikleri	36
3.4.5 Asansör halatları	37
3.4.5.1 Asansörlerde kullanılan halat kompozisyonları	37
3.4.5.2 Asansörlerde kullanılan halatların genel özellikleri	37
3.4.6 Balıkçılık halatları	38
3.4.6.1 Balıkçılıkta kullanılan halat kompozisyonları	38
3.4.6.2 Balıkçılıkta kullanılan halatların genel özellikleri	38
4. HALAT ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	41
4.1 Çekme Yüğü ve Çap Oranı (D/d)	41
4.2 Eğilme	44
4.3 Tel Anma Mukavemeti	45
4.4 Halat Yuvası Şekli	46
4.5 Halat Yuvası Malzemesi	47
4.6 Halat Çapı	49
4.7 Halat Teli Kalınlığı	51
4.8 Halat Türü	51
4.9 Yağlama, İşletmede Tekrar Yağlama	52
4.10 Korozyon	53
4.11 Halat Sarılma Açısı	54
4.12 Halatın Kenar Sapması	54
4.13 Halat Özü	55
4.14 Sapma Açısı	56
4.15 Özel Halat Kullanımı	56
5. HALAT HASARLANMALARI VE SERVİS DIŞI BIRAKMA KRİTERLERİ	57
5.1 Aşınma	58
5.2 Halat Çapında Azalma	59
5.3 Korozyon	59
5.4 Elastikiyetin Azalması	60
5.5 Demet Kopması	61
5.6 Şekil Değıştirme	61
5.6.1 Dalgalanma	61
5.6.2 Kafes oluşumu	62

5.6.3 Demet çıkması.....	62
5.6.4 Tel çıkması	62
5.6.5 Halat çapının bölgesel büyümesi.....	63
5.6.6 Halat çapında bölgesel küçülme.....	63
5.6.7 Yassılaştırmış kısımlar.....	64
5.6.8 Kıvrılmalar veya gerilmiş ilmekler	64
5.6.9 Bükülmeler	65
5.7 Yetersiz Yağlama	65
5.8 Isı veya Elektrik Arkı Sebebiyle Hasarlanma.....	65
5.9 Tel Kırılmalarının Durumu ve Kırılan Tellerin Sayısı	66
5.10 Bağlantı Uçlarında Kırılan Teller	70
5.11 Belirli Bir Yerde Grup Halinde Tel Kırılmaları	70
5.12 Tel Kırılmalarının Artış Oranı	71
5.13 Martenzitik Gevrekleşme	71
5.14 Halatta Dış Etkiler Nedeniyle Oluşan Hasar	71
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	73
6.1 Giriş	73
6.2 Deneylerde Kullanılan Çelik Tel Halat Numuneleri	74
6.3 Halat Numunelerinin Hazırlanması	77
6.4 Halat Eğilme Yorulması Testi	83
6.4.1 Test prensibi	83
6.4.2 Deneylerde kullanılan halat eğilme yorulma test makinası.....	86
6.5 Deneysel Sonuçlar	92
6.5.1 Giriş	92
6.5.2 Çekme yükünün halat ömrüne etkisi	93
6.5.2.1 Donandt yükü	110
6.5.3 Makara çapının halat ömrüne etkisi	113
6.5.4 Halat tipinin halat ömrüne etkisi	117
6.5.5 Dönme hızının halat ömrüne etkisi	121
6.5.6 Halat kusurları ve hasarlarının halat ömrüne etkileri	126
6.5.6.1 Yağlamanın halat ömrüne etkisi	127
6.5.6.2 Tel kırıklarının halat ömrüne etkisi	129
6.5.6.3 Bükülmenin halat ömrüne etkisi	133
6.5.6.4 Aşınmanın halat ömrüne etkisi	136
7. TEORİK HALAT ÖMÜR KESTİRİMİ	141
7.1 Feyrer'in Teorik Halat Ömür Kestirimi.....	141
7.2 Servis Dışı Bırakmak İçin Gerekli Tel Kırık Sayısının Tespiti.....	144
7.3 Feyrer'in Düzeltilmiş Teorik Halat Ömür Kestirimi.....	147
7.4 39 Demetli Dönme Dirençli Halatın Teorik Ömür Kestirimi.....	149
7.5 6 x 36 Warrington-Seale Halatın Teorik Ömür Kestirimi	157
8. REGRESYON ANALİZİ.....	165
8.1 Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli	165
8.2 En Küçük Kareler Yöntemiyle Sabitlerin Bulunması	166
8.3 39 Demetli Dönme Dirençli Halat İçin Regresyon Analizi.....	168
8.4 6 x 36 Warrington-Seale Halat İçin Regresyon Analizi	175
9. SONUÇLAR.....	183
KAYNAKLAR.....	195
ÖZGEÇMİŞ	199

KISALTMALAR

IWRC	: Bağımsız Tel Halat Öz
F	: Filler
PP	: Polipropilen
PA	: Poliamid
PWRC	: Dış Demetlerle Paralel Olan Çelik Öz
ESWRC	: Katı Polimer İle Kaplanmış Çelik Öz
LÖ	: Lif Öz
ÇÖ	: Çelik Öz
WS	: Warrington-Seale
DIN	: Deutsches Institut für Normung
ANSI	: American National Standards Institute
BS	: British Standards
TS	: Türk Standardları
ISO	: International Organization for Standardization
NDT	: Nondestructive Testing
BoS	: Bending Over Sheave
WRC	: Tel Halat Öz
WSC	: Tel Demet Öz

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Halat yapımında kullanılan tellerin anma çaplarına ve anma dayanımlarına göre çekme dayanımları	22
Çizelge 3.1 : Halat gruplarına göre genel özellikler	39
Çizelge 4.1 : Halat kompozisyonuna göre önerilen D/d çap oranları	43
Çizelge 5.1 : Çelik makaralarda çalışan yuvarlak demetli halatların kırık tel sayıları için rehber	67
Çizelge 5.2 : Çelik makaralarda çalışan dönmeyen halatların kırık tel sayıları için rehber	68
Çizelge 5.3 : Tahrik sistemlerinin gruplandırılması	68
Çizelge 5.4 : ANSI'ye göre halatın servisten alınması için verilen tel kırılma sayıları	69
Çizelge 6.1 : Dönme dirençli halatın teknik özellikleri	75
Çizelge 6.2 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın teknik özellikleri	77
Çizelge 6.3 : Halat uç bağlantı alaşımı TEGO-VG3 için bazı kimyasal ve fiziksel özellikler	82
Çizelge 6.4 : 39 demetli dönme dirençli halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi (D=250 mm)	94
Çizelge 6.5 : 39 demetli dönme dirençli halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi (D=100 mm)	98
Çizelge 6.6 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi (D=250 mm)	102
Çizelge 6.7 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi (D=100 mm)	106
Çizelge 6.8 : Donandt yükünü hesaplamak için q_i sabitleri	111
Çizelge 6.9 : Deneysel çalışmalarda kullanılan halat konstrüksiyonları için Donandt yükleri	112
Çizelge 6.10 : 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünün makara çapıyla değişimi	113
Çizelge 6.11 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünün makara çapıyla değişimi	115
Çizelge 6.12 : Halat ömrünün halat tipi ile değişimi	118
Çizelge 6.13 : 39 demetli dönme dirençli halat için dönme hızına bağlı sıcaklık değişimleri	122
Çizelge 6.14 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için dönme hızına bağlı sıcaklık değişimleri	124
Çizelge 6.15 : Halat ömrünün dönme hızıyla değişimi	125
Çizelge 6.16 : Yağlamanın halat ömrüne etkisi	129
Çizelge 6.17 : 6 x 36 Warrington-Seale halatta dış tel kırıklarının halat ömrüne etkisi	132
Çizelge 6.18 : 39 demetli dönme dirençli halatta iç tel kırıklarının halat ömrüne etkisi	133
Çizelge 6.19 : Bükülmenin halat ömrüne etkisi	135

Çizelge 6.20 : Abrasif aşınmanın halat ömrüne etkisi	137
Çizelge 7.1 : Ortalama halat kopma ömrünün teorik kestirimi için kullanılan katsayılar.....	143
Çizelge 7.2 : Ortalama halat servis dışı bırakma ömrünün teorik kestirimi için kullanılan katsayılar.....	143
Çizelge 7.3 : Servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayısının hesabı için sabitler [15].....	145
Çizelge 7.4 : Servis dışı bırakmak için kullanılan tel kırık sayıları	146
Çizelge 7.5 : Düzeltme faktörleri f_N	148
Çizelge 7.6 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ömür sonuçları.....	149
Çizelge 7.7 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları	151
Çizelge 7.8 : İç demet kırıklarına sahip 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları.....	153
Çizelge 7.9 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları	154
Çizelge 7.10 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.....	155
Çizelge 7.11 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ömür sonuçları.....	158
Çizelge 7.12 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları	159
Çizelge 7.13 : Abrasif aşınmış ve dış tel kırıklarına sahip 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları	161
Çizelge 7.14 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları	162
Çizelge 7.15 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.....	163
Çizelge 8.1 : 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü için elde edilen logaritmik değerler	168
Çizelge 8.2 : 39 demetli dönme dirençli halatın teorik kopma ömür kestirimi için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.....	169
Çizelge 8.3 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları	170
Çizelge 8.4 : 39 demetli dönme dirençli halatın servis dışı bırakma ömrü için elde edilen logaritmik değerler	172
Çizelge 8.5 : 39 demetli dönme dirençli halatın teorik servis dışı bırakma ömür kestirimi için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.....	173
Çizelge 8.6 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.....	174
Çizelge 8.7 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü için elde edilen logaritmik değerler	176
Çizelge 8.8 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın teorik kopma ömür kestirimi için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.....	176
Çizelge 8.9 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları	177
Çizelge 8.10 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın servis dışı bırakma ömrü için elde edilen logaritmik değerler	179

Çizelge 8.11 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın servis dışı bırakma ömrü için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.....	179
Çizelge 8.12 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.....	180

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tel halat bileşenleri	17
Şekil 2.2 : Bir demete ait büyüklükler	18
Şekil 2.3 : Tipik halat sarımları.....	19
Şekil 2.4 : Halat çapının ölçülmesi	20
Şekil 2.5 : Halata ön şekil verme	21
Şekil 2.6 : Bir halat makinesinin şematik gösterimi	24
Şekil 3.1 : Lif özlü halat.....	25
Şekil 3.2 : Çelik özlü halat.....	25
Şekil 3.3 : Standart demet	26
Şekil 3.4 : Seale demet.....	26
Şekil 3.5 : Warrington demet	27
Şekil 3.6 : Warrington-Seale demet	27
Şekil 3.7 : Filler demet.....	27
Şekil 3.8 : Seale-Filler demet.....	28
Şekil 3.9 : Çok operasyonlu halatlar	28
Şekil 3.10 : Dönme dirençli halatta yük altında oluşan döndürme momentleri.....	29
Şekil 3.11 : Dönme dirençli halatlar	29
Şekil 3.12 : Tam kenetli-yarı kenetli tip halatlar	29
Şekil 3.13 : Üçgen demetli halat	30
Şekil 3.14 : Oval demetli halat.....	30
Şekil 3.15 : Kompakt halat.....	31
Şekil 3.16 : Preslenmiş (Swaged) halat.....	31
Şekil 3.17 : Plastik dolgulu halat	31
Şekil 3.18 : Örgülü halat	32
Şekil 3.19 : Elektro-mekanik halat.....	32
Şekil 3.20 : Farklı bağlantılı yassı halatlar.....	33
Şekil 3.21 : Vinç halatı örnekleri	34
Şekil 3.22 : Telesiyej halatı örnekleri	35
Şekil 3.23 : Denizcilik halatı örnekleri	36
Şekil 3.24 : Madencilik halatı örnekleri.....	37
Şekil 3.25 : Asansör halatı örnekleri.....	37
Şekil 3.26 : Balıkçılık halatı örnekleri	38
Şekil 4.1 : Bir Filler halat ömrünün D/d oranı ve S/d^2 oranı ile değişimi.....	42
Şekil 4.2 : Halat ömrünün çekme yükü ile değişimi	44
Şekil 4.3 : 2 çeşit kren bloğu örneği.....	45
Şekil 4.4 : Düz (a) ve ters yönde (b) eğilen kren blokları.....	45
Şekil 4.5 : Halat ömrünün yiv dibi yarıçapı ile değişimi.	47
Şekil 4.6 : Kama yiv (a) ve dibi boşaltılmış (b) yiv.....	47
Şekil 4.7 : Farklı yiv malzemelerinin ömre etkisi.....	49
Şekil 4.8 : Farklı çaptaki halatların ömür grafiği	50
Şekil 4.9 : Farklı sarılma açılarının ömre etkisi	54
Şekil 4.10 : Farklı kenar sapma açılarının ömre etkisi.....	55

Şekil 4.11 : Halat kullanımında sapma açısı	56
Şekil 5.1 : Dış abrasif aşınmaya uğramış halat	59
Şekil 5.2 : Halat çapında daralma	59
Şekil 5.3 : Korozyona uğramış halat	60
Şekil 5.4 : Dalgalanma	61
Şekil 5.5 : Kafes oluşumu	62
Şekil 5.6 : Demet çıkması	62
Şekil 5.7 : Tel çıkması.....	63
Şekil 5.8 : Halat çapında bölgesel büyüme	63
Şekil 5.9 : Halat çapında bölgesel küçülme	63
Şekil 5.10 : Çok demetli bir halatın tambur üzerine yanlış sarılmasının sebep olduğu yassılaştırmış kısım	64
Şekil 5.11 : İleri derecede kıvrılmış halat	64
Şekil 5.12 : Aşırı bükülmüş halat	65
Şekil 5.13 : Eksik yağlanmış bir halat.....	65
Şekil 5.14 : Uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalmış halat	66
Şekil 5.15 : Martenzitik gevrekleşme sonucu oluşan çatlağın ilerlemesi	71
Şekil 5.16 : Dış etkiler nedeniyle halatta oluşan hasar.....	72
Şekil 6.1 : Kullanılan halatların kesitleri.....	74
Şekil 6.2 : Kullanılan halatların resimleri	76
Şekil 6.3 : Halat germe tertibatı	78
Şekil 6.4 : Keski ile oluşturulmuş tutamaklar	79
Şekil 6.5 : Tel açma işlemi	79
Şekil 6.6 : Petrol ile temizlenmiş halat telleri	80
Şekil 6.7 : Asit ile kimyasal temizleme.....	80
Şekil 6.8 : Halat uçları için döküm kalıbı	81
Şekil 6.9 : Döküm alaşımı eritme ocağı.....	82
Şekil 6.10 : Döküm işlemi sonrası halat ucu.....	83
Şekil 6.11 : Eğilme yorulması testini gösteren diyagram	84
Şekil 6.12 : Ters yönde eğilme.....	85
Şekil 6.13 : Halat eğilme yorulma test makinası.....	86
Şekil 6.14 : 250 mm çapında test makarası.....	88
Şekil 6.15 : 100 mm çapında test makarası.....	88
Şekil 6.16 : Yuvarlak biçimli yive sahip makara	89
Şekil 6.17 : Terazî koluna konan ağırlıklar	90
Şekil 6.18 : Sıkıştırma vidası	91
Şekil 6.19 : Kurulan halat bağlantısı	92
Şekil 6.20 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=250 mm).....	95
Şekil 6.21 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi.....	96
Şekil 6.22 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi.....	97
Şekil 6.23 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi (D=250 mm)	98
Şekil 6.24 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=100 mm).....	99
Şekil 6.25 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi.....	100
Şekil 6.26 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi (D=100 mm)	101

Şekil 6.27 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi (D=100 mm)	102
Şekil 6.28 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=250 mm).....	103
Şekil 6.29 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi	104
Şekil 6.30 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi (D=250 mm).....	105
Şekil 6.31 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi (D=250 mm)	106
Şekil 6.32 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=100 mm).....	107
Şekil 6.33 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi	108
Şekil 6.34 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi (D=100 mm).....	109
Şekil 6.35 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi (D=100 mm)	110
Şekil 6.36 : 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünün makara çapıyla değişimi .	114
Şekil 6.37 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünün makara çapıyla değişimi ...	116
Şekil 6.38 : Halat ömrünün halat tipi ile değişimi	120
Şekil 6.39 : Halat ömrünün özgül çekme yükü ve çap oranı ile değişimi	121
Şekil 6.40 : Flir T-Serisi termal kamera.....	122
Şekil 6.41 : Halat yüzeyindeki yağın tel fırça ile uzaklaştırılması.....	127
Şekil 6.42 : Bandelin Sonorex SuperRK 514 BH model ultrasonik temizleme cihazı	128
Şekil 6.43 : Yetersiz yağlayıcı halat numuneleri	128
Şekil 6.44 : 6 x 36 Warrington-Seale halattaki dış tel kırıkları	130
Şekil 6.45 : İç tel kırıklarının yaratılması için kullanılan küçük taşlı taşlama makinesi.....	130
Şekil 6.46 : İç tel kırıklarının yaratılabilmesi için belirli uzunluğu açılan halat numunesi	131
Şekil 6.47 : İç demet kırıklarının yaratıldığı demetler	131
Şekil 6.48 : 35° bükülmüş 39 demetli dönme dirençli halat.....	134
Şekil 6.49 : 39 demetli dönme dirençli halatta 35° bükülme nedeniyle oluşan hasarlar	134
Şekil 6.50 : 35° bükülmüş 6 x 36 Warrington-Seale halat	135
Şekil 6.51 : Abrasif aşınma için kullanılan el tipi taşlama makinesi	136
Şekil 6.52 : Abrasif aşınmış 6 x 36 Warrington-Seale halat.....	137
Şekil 6.53 : 39 demetli dönme dirençli halat için farklı tip kusur ve hasarların halat ömrüne etkisi	138
Şekil 6.54 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için farklı tip kusur ve hasarların halat ömrüne etkisi	139
Şekil 7.1 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel halat ömür değerleri.....	150
Şekil 7.2 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür değerleri.....	155
Şekil 7.3 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel halat ömür değerleri.....	159
Şekil 7.4 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür değerleri	163
Şekil 8.1 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış)	170

Şekil 8.2 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış)	174
Şekil 8.3 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış).....	178
Şekil 8.4 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış)	181

SEMBOL LİSTESİ

r	: Yiv Dibi Yarıçapı
d	: Halat Çapı
D	: Makara Çapı
S	: Çekme Yüğü
γ	: Kama Yivlerde Kama Açısı- Yuvarlak Yivlerde Ağız Açısı
α	: Dibi Boşaltılmış Yivlerde Boşaltma Açısı
δ	: Tel Çapı
φ	: Halat Sarılma Açısı
ψ	: Halat Kenar Sapma Açısı
N	: Eğilme Çevrim Sayısı (Halat Kopma Ömrü)
N_A	: Eğilme Çevrim Sayısı (Halat Servis Dışı Bırakma Ömrü)
d₁	: Şekil Değiştiren Halatı Saran Çap
ε	: Yüzde Uzama
l	: Halatın Makara Üzerindeki Eğilme Uzunluğu
h	: Düz Eğilmede Halat Test İlerleme Boyu
u	: Halat İle Makara Arasındaki Temas Boyu
N_{sim}	: Düz Eğilme Maruz Halatın Kopma Ömrü
N_r	: Düz Eğilme Maruz Halatın Kopma Ömrü
Z	: Test Makinesinin test Süresinceki Çevrim Sayısı
D₀	: Yiv Taban Çapı
\bar{S}_D	: Ortalama Donandt Yüğü
S_{D1}	: %95 Kesinlikte Halatların En Fazla %1'inin küçük Olabileceği Donandt Yüğü
R₀	: Tel Anma Dayanımı
\bar{N}	: Ortalama Halat Kopma Ömrü
\bar{N}_A	: Ortalama Halat Servis Dışı Bırakma Ömrü
B_{A30}	: Servis Dışı Bırakma İçin L = 30d Referans Boyunda Gerekli Tel Kırık Sayısı
B_{A6}	: Servis Dışı Bırakma İçin L = 6d Referans Boyunda Gerekli Tel Kırık Sayısı
r²	: Belirleyicilik Katsayısı
r	: Korelasyon Katsayısı

HALAT ÖMRÜNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Bu doktora tez çalışmasında, makaralar üzerinde eğilme yorulmasına maruz çelik tel halatların ömürlerine etki eden parametreler teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için 10 milimetre çapa sahip 39 demetli dönme dirençli halat ve 6 x 36 Warrington-Seale halat konstrüksiyonları kullanılmıştır. Çekme yükünün halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için 4 farklı çekme yükünde her iki halat konstrüksiyonu kullanılarak eğilme yorulma testleri yapılmıştır. Halat kopma ömrü, servis dışı bırakma ömrü ve yüzde uzama değerlerinin çekme yüküyle değişimi incelenmiştir. Halatların beraberce kullanıldığı makaraların çaplarının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için 250 milimetre ve 100 milimetre çapında iki farklı makara kullanılarak eğilme yorulma testleri yapılmıştır. Halat kopma ömrü, servis dışı bırakma ömrü ve yüzde uzama değerlerinin kullanılan makara çapıyla değişimi incelenmiştir. Halat tipinin halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için çekme yükü ve makara çapı parametreleri sabit tutularak her iki halat konstrüksiyonu için eğilme yorulma testleri yapılmıştır. Halat kopma ömrü, servis dışı bırakma ömrü ve yüzde uzama değerlerinin kullanılan halat tipi ile değişimi incelenmiştir. Dönme hızının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için farklı dönme hızlarında (1250dev/h, 2500dev/h, 2750dev/h) her iki halat konstrüksiyonu kullanılarak eğilme yorulma testleri yapılmıştır. Halat kopma ömrünün dönme hızıyla değişimi incelenmiştir. Ayrıca, halatların çalıştırılmaları sırasında meydana gelen aşınma, iç ve dış tel kırıkları gibi parametrelerin yanı sıra halatın imalatı sırasında veya yanlış kullanımı nedeniyle oluşan yetersiz yağlanma sorunu ve halatın kangal üzerinden açılması veya işletmeye alınışındaki yanlışlıklar nedeniyle oluşan bükülmenin halat ömrüne etkilerinin tespiti için eğilme yorulma testleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen deneysel sonuçlar literatür verileri ile karşılaştırılmış ve incelenen halat kusur ve hasarlarının halat ömrüne etki oranları karşılaştırılarak hangi tip kusur ve hasarın halat ömrüne en fazla etki ettiği açıklanmıştır. Feyrer denklemleri kullanılarak elde edilen teorik halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür değerlerinin, deneysel verilerle karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak her iki halat konstrüksiyonu için regresyon analizi yapılmış ve literatürde verilen teorik halat ömür kestirim denklemleri göz önünde bulundurularak her iki halat konstrüksiyonunun halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür değerlerinin teorik olarak tespit edilmesini sağlayacak yeni teorik halat ömür kestirim denklemleri elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, Feyrer denklemleri kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları ve yeni teorik halat ömür denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PARAMETERS AFFECTING TO THE ROPE LIFETIME

SUMMARY

In this doctoral thesis, parameters affecting to the lifetime of steel wire ropes which are subjected to bending over sheaves fatigue have been investigated as theoretical and experimental. For this, 6 x 36 Warrington-Seale and 39 stranded rotation resistant rope constructions that have 10 mm diameter have been used. Bending fatigue tests have been done to investigate effect of tensile load to the rope lifetime by using 4 different tensile loads for investigated ropes. Rope breaking lifetime, discarding lifetime and strain values variation related to tensile load have been investigated. Bending fatigue tests have been done to investigate effect of sheave diameter to the rope lifetime by using two sheaves with different diameter that are 250 mm and 100 mm. Rope breaking lifetime, discarding lifetime and strain values variation related to sheave diameter have been investigated. Bending fatigue tests of each two rope constructions have been done to determine effect of rope type to the rope lifetime in the conditions that tensile load and sheave diameter parameters are considered constant. Rope breaking lifetime, discarding lifetime and strain values variation related to rope type have been investigated. Bending fatigue tests have been done to investigate effect of rotation speed to the rope lifetime by using different rotation speeds that are (1250rev/h, 2500rev/h, 750rev/h) for each two rope construction used. Rope breaking lifetime variation related to rotation speed has been investigated. Also, bending fatigue tests have been done to determine effects of some parameters to the rope lifetime such as kink which forms because of wrong opening of rope from coil or wrong installations of ropes to the system, insufficient lubrication which forms because of wrong use of rope or during manufacturing, abrasive wear, internal or external wire breaks that form during operation. Experimental results obtained by this study have been compared by literature and the most reduction in rope lifetime related to type of defect and failure have been explained by comparing percentages effect of defect or failure. Experimental results obtained have been compared by theoretical rope breaking lifetime and discarding lifetime determined by Feyrer's equations. Regression analysis of each two rope constructions has been done by using experimental data and novel theoretical rope breaking lifetime and discarding lifetime equations have been proposed by considering current literature. Experimental results, results obtained by using proposed novel theoretical rope breaking lifetime and discarding lifetime equations, results obtained by using Feyrer's theoretical rope breaking lifetime and discarding lifetime equations have been compared.

1. GİRİŞ

Tel halatlar; asansör, vinç, köprü, maden işletme gibi sistemlerin ana elemanlarından birisidir. Uygulama alanı çok geniş olan tel halatlarda, çalıştırılmaları esnasında belirli bir zaman aralığında meydana gelen mekanik yorulma ve bozulma olaylarına bağlı meydana gelen hasar mekanizmalarının oluşması ve ilerlemesi oldukça karmaşık bir konudur. Tel halatların normal çalışmaları esnasında veya yanlış kullanılmaları sonucu işletme esnasında kademeli bir şekilde bozulurlar. Bu bozulmalar, belirli bir süre sonra kendilerini farklı şekillerde gösterir. Bu nedenle, çalıştırılmaları sırasında belirli bir süre sonra bozulmaya başlayan tel halatlarda, bozulma türü ile bu bozulma türüne bağlı halat çalışma ömür düşüşü arasında bir ilişkinin tespit edilebilmesi önemli bir araştırma konusudur. Ayrıca, hemen hemen tüm çalışma koşullarında tel halatlar dinamik zorlanmalar nedeniyle yorulmaya maruz kalırlar. Tel halatların çalışma esnasında yorulmaya neden olacak şekilde maruz kaldığı yükler, genel olarak iki ana bölüme ayrılabilir. Bunlardan ilki asma köprülerde köprü döşemesini askıda tutan tel halatların veya telsiz direklerindeki gergi halatlarının maruz kaldığı çekme-çekme yorulması adını alan, değişken bir çekme yükünün varlığıyla tel halat üzerinde meydana gelen yorulmayı ifade eder. Örneğin, bir köprüyü ayakta tutan elemanlardan biri olan tel halatlar, köprü üzerinden geçen taşıt, yaya vb. yüklerin zaman ile değişim göstermesinden dolayı dinamik bir çekme yüküne maruz kalırlar ve zamanla yorulurlar. İkincisi ise, tel halatların büyük bir uygulama alanı bulunduğu vinçler ve asansörlerde olduğu gibi statik bir çekme yüküne karşılık tel halatın makaralara sarılmasından (Bending over Sheave, BoS) dolayı meydana gelen dinamik tekrarlı eğilmenin oluşturduğu eğilme yorulmasıdır. Bu tür yüklere maruz tel halatlarda sonlu bir ömür söz konusudur ve ömür sürelerinin tespit edilebilmesi hem halat imalatçıları açısından hem de çalışma güvenliği ve standard bir muayene metodunun tespit edilebilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu doktora tez çalışmasında, makaralar üzerinde eğilme yorulmasına maruz tel halatların eğilme çevrim sayılarına (ömürlerine) etki eden eden parametrelerin teorik ve deneysel incelemesi yapılmıştır. Makaralar üzerinde eğilme

yorulmasına maruz tel halatların ömrüne etki eden çok sayıda parametrenin ve bozulmanın teorik ve deneysel incelemesi birçok araştırmacı tarafından araştırma konusu olmuştur. Bu doktora tez çalışmasının araştırma alanı ile ilgili yapılan makaleler, raporlar, doktora tezi gibi bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Yazarlar [1] hazırladıkları araştırma raporunda, çelik özlü 6 x 36 Warrington-Seale halatı, lif özlü 6 x 24 Warrington-Seale halatı ve çelik özlü 6 x 26 Warrington-Seale halatı kullanarak eğilme yorulma testleri yapmışlardır. Kullandıkları bu 3 halat tipide sağ çapraz sarımdır. 6 x 24 Warrington-Seale halat galvanizli yüksek karbonlu çelikten, diğer 2 halat ise parlak yüksek karbonlu çelikten üretilmiştir. 12.7 milimetre çaplarındaki (1/2 inç) ve 19.05 milimetre çaplarındaki (3/4 inç) numuneler eğilme yorulma testleri için kullanılmıştır. Testler, çap oranı sırasıyla 10, 20 ve 30 olduğu durumlar için, çekme yükünün halatların minimum kopma yükünün sırasıyla %20, %40 ve %60 olduğu durumlar için, kullanılan makara yivi ve sertliği, dönme hızı ve çevresel koşullar göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Deneysel elde edilen bilgiler istatistiki olarak değerlendirilerek hangi parametrenin halat ömrünü önemli oranda değiştirdiğini tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara bakıldığında, 6 x 36 Warrington-Seale halat ve 6 x 26 Warrington-Seale halat hemen hemen aynı yorulma performansına sahip iken 6 x 24 Warrington-Seale halat daha zayıf kalmıştır. Bunun nedeni olarak, bu halatın düşük elastisite modülü istenen uygulamalarda kullanılması olarak açıklamışlardır. Dolayısıyla iyi bir eğilme yorulma ömrü beklenen uygulamalarda kullanılmamasını önermişlerdir. Ayrıca, elde ettikleri sonuçlara dayanarak yazarlar, bir halat çapı için elde edilen eğilme yorulma testi sonuçlarının kısıtlı aralıkta diğer yakın halat çapları kullanıldığı durumda da kullanılabileceğini açıklamışlardır. Bu çalışmalara ek olarak çap oranının 20 olması durumunda ters yönde eğilmeye maruz halatların eğilme yorulma testlerini yapmışlar ve ters eğilmenin varlığındaki halat ömrünün, ters eğilmenin olmadığı yani düz eğilmenin olduğu durumdaki halat ömrünün %60'ına vardığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, 45.72 metre/dakika (150 feet/dakika) hızda sıcaklık değişimlerini ölçerek, düşük çap oranının ve yüksek çekme yükünün, halat üzerinde oluşan sıcaklıklarda hızlı bir artış meydana getireceğini söylemişlerdir.

Yazarlar [2] hazırladıkları araştırma raporunda, 50,8 milimetre (2 inç) çapında, 6 x 25 Filler, sağ çapraz sarım, lif özlü 78.4 kN minimum kopma yüküne sahip çelik tel halatların eğilme yorulma testlerini yapmak için kullandıkları test makinesi 3 makara

ve 2 tamburdan meydana gelmiştir. Böylelikle, her bir eğilme stroğunda halatın eğilme sayısı arttırılmış hem de test yükünün daha küçük alanda iletilmesi sağlanmıştır. 3 makaradan birine bir hidrolik silindir ile sabit çekme yükü uygulayarak halatın makaralar üzerinde eğilmesini sağlamışlardır. Çalışmalarında halatın minimum kopma yükünün %30'u ve %50'sini sabit çekme yükü kabul ederek eğilme yorulma testlerini yapmışlardır. Ayrıca, eğilme çevrim sayısına bağlı oluşan tel kırık sayılarını, kalıntı kopma yüklerini ve yüzde kopma uzamalarını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, yazarlar, yorulma hasarı doğrudan ölçülmesine bile yüzde kopma uzamasına, elastisite modülüne ve kırılan tellere bakılarak yorulmanın varlığının doğrulandığını açıklamışlardır. Eğilme çevrim sayısı arttıkça kırık tel sayısı hızlı bir oranda artmış olduğunu ve halattaki bu hızlı bozulmanın halatın kopma dayanımında hızla düşüşe neden olacağını söylemişlerdir.

Yazarlar [3] hazırladıkları araştırma raporunda, British Rope Inc. tarafından hazırlanan test datalarını kullanarak halat tipinin, sarım şeklinin, halat öz tipinin, çap oranı 24 olduğu durumdaki halat kopma ömrüne etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara bakıldığında, güvenlik faktörü 4 olduğu durum için en fazla kopma ömrü, lif özlü, çapraz sarım, yuvarlak demetli halattadır. En düşük kopma ömrü dönme dirençli halattadır. Güvenlik faktörü 12 olduğu durum için yine en fazla kopma ömrü yuvarlak demetli halatta fakat en düşük kopma ömrü üçgen demetli halatta olduğunu açıklamışlardır. Demeti teşkil eden tellerin dizilişi ve sayılarının 6 demetli halatlarda kopma ömrüne etkisini tespit etmek içinde halat eğilme yorulma testleri yapmışlardır. Burada, güvenlik faktörü 4 için en fazla kopma ömrü 6×25 (12/6+6F/1), en düşük kopma ömrü 6×37 (18/12/6/1) çapraz (cross) sarım halatta olduğunu ve güvenlik faktörü 12 için en fazla kopma ömrünün 6×26 - 6×41 arasında kalan halatlarda en düşük kopma ömrünün 6×19 (9/9/1) halatta olduğunu söylemişlerdir. Sarım tipinin halat ömrüne etkisini tespit edebilmek için 6×25 (12/6+6F/1) lif özlü halat için kullandıkları datalara dayanarak, düz sarımlı halatın çapraz sarımlı halata göre ortalama %30 oranında kopma ömrünün yüksek olduğunu söylemişlerdir. Halat öz tipinin halat ömrüne etkisini tespit edebilmek için 6×25 (12/6+6F/1) halat için kullandıkları datalara dayanarak, bağımsız çelik tel halat özüne (IWRC) sahip halatın, lif özlü aynı halata göre kopma ömrünün ortalama %20 oranında yüksek olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca, 16 milimetre çapında, tel anma dayanımı 1570 MPa, çap oranı 25, minimum kopma yükü yaklaşık 140 kN olan 6, 8

ve 9 demetli bağımsız çelik tel halat özüne sahip halatlar için farklı çekme yüklerinde eğilme yorulma testlerini yapmışlardır. Yapılan testler neticesinde en fazla kopma ömrünün 9×25 ($12/6+6F/1$) çelik özlü halatta, en düşük kopma ömrünün ise 6×19 Standard çelik özlü halatta olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuçlara dayanarak halat ne kadar fazla dış tel ve demete sahipse halatın daha iyi esneklik ve üstün eğilme yorulma ömrü göstereceğini açıklamışlardır. Ayrıca yazarlar, 16 milimetre çapında, düz sarımlı halatın kullanıldığı ve çap oranı 25 olduğu durum için yaptıkları eğilme yorulma testinde sabit çekme yükünde halatı oluşturan tellerin anma dayanımındaki değişimin, halat kopma ömrüne etkisinin olmadığını söylemişlerdir. Buna ek olarak, 16 milimetre çapında, düz sarımlı, lif özlü, tel anma dayanımı 1370 MPa olan halat kullanarak elde ettikleri test sonuçlarını kullanarak çap oranlarının 7.3, 11.3, 18.8, 25, 31.3, 43.9 ve 53.9 olduğu sistemler için halat eğilme yorulma ömür eğrilerini çizmişlerdir. İlave olarak, British Rope Inc. tarafından hazırlanan test datalarını kullanarak makara çapının, halat dış teli çapına oranı kullanılarak farklı çekme yüklerindeki halat eğilme yorulma ömür eğrilerini spiral halat ve 6 demetli halatlar için çizmişlerdir. Böylelikle farklı en dış tel çapına sahip halatların farklı makara çaplarında kullanılmaları durumundaki halat eğilme yorulma ömür ilişkisini kurmuşlardır. Halatın makara üzerindeki temas açısının halat eğilme yorulma ömrüne etkisini tespit edebilmek için 8×19 Seale, çapraz sarım, 6 milimetre çapında, çap oranı 13.3, tel anma dayanımı 1770 MPa olan halat kullanarak, çekme yükünün halatın minimum kopma yükünün %15'i olması durumunda elde ettikleri halat kopma ömrü eğrisini açıklamışlardır. Temas açısı 20° yi geçtikten sonra halat ömrünün arttığını, 60° den sonra ise halat ömrünün değişmeyerek sabit kaldığını söylemişlerdir. Aynı şekilde halatın makara üzerindeki temas uzunluğunun, halat demetlerinin sarım uzunluğunun yarısı olduğu durumdan itibaren halat ömrünün arttığını ve halat demetlerinin sarım uzunluğunun, halatın makara üzerindeki temas uzunluğuna eşit ve daha büyük olduğu durumlarda halat ömrünün değişmediğini söylemişlerdir. Benzer testi 6×6 lif özlü, çapraz sarım, 8 milimetre çapında halat kullanarak, çap oranının 33 olduğu ve çekme yükünün halatın minimum kopma yükünün %8'i olması durumunda elde ettikleri halat kopma ömrü eğrisini açıklamışlardır. Ayrıca, ters yönde eğilmenin halat kopma ömrüne etkisini tespit edebilmek için 6×19 , 16 milimetre çapında, çapraz ve düz sarım, tel anma dayanımı 1270 MPa olan halatlar kullanılarak halat eğilme yorulma testleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara bakıldığında, çoğu farklı çap oranı için yüksek çekme yüklerinde

düz eğilmeye göre ters yönde eğilmenin yarattığı halat kopma ömründeki düşme oranı, çapraz sarımlı halat için 1.3 iken düz sarımlı halat için 1.3-1.8 arasında kalmıştır. Düşük çekme yüklerinde özellikle çap oranının artmasıyla birlikte halat ömrü düşme oranı artmıştır. Düz sarımlı halat düz eğilmede üstün ömre sahipken ters eğilme durumundaki performansı çapraz sarımlı halata göre daha düşük olduğunu açıklamışlardır. Naylon ve dökme demir yiv malzemesine sahip makaralar kullanarak, kullanılan makara yiv malzemesinin halat eğilme yorulma ömrüne etkisini tespit edebilmek için 16 milimetre çapında, çap oranı 19, tel anma dayanımı 1570 MPa olan 6 x 19, çapraz ve düz sarımlı halat ve 8 x 25 çapraz ve düz sarımlı halatları kullanmışlardır. 6 demetli çapraz sarımlı halatın dökme demir makara yerine naylon malzemedan yapılmış yivli makara ile kullanılması durumunda 3.4 kat, düz sarımlı aynı halat için 2 kat kopma ömür artışı sağlanmış olduğunu ve 8 demetli halat için bu oranların 1.2-1.5 kat arasında kaldığını açıklamışlardır.

Yazar [4] hazırladığı araştırma raporunda, halat tipi, halat çapı, kullanılan makara çapı, çekme yükü, tel anma dayanımı, en çok zorlanan halat bölümünün uzunluğu gibi parametreleri göz önünde bulundurarak Prof. Feyrer'in teorik halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür formüllerini kullanmış ve bunun için bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Belirtilen parametrelerden çekme yükü, kullanılan makara çapı ve halat çapının halat eğilme yorulma ömrüne etkilerini göstermek için ayrı ayrı halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür eğrileri çizmiştir. Ayrıca, halatın kullanılacağı işletme grubu ve yük durumu için genelleştirilmiş halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür sonuçları bulmuştur. Fakat bu sonuçlar doğru sonuçlar vermemiştir. Bunun nedeni olarak, halatın ömrünün, halatın kullanılacağı işletme grubuna ve bundan daha fazla yük durumuna bağlı olması olarak açıklamıştır.

Yazarlar [5] çekme-çekme yorulmasına maruz tel halatların ömrüne, gerilme değişiminin, ortalama gerilmenin ve halat sarım uzunluğuna bağlı halat numune boyunun etkisini incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca, 2.5 Hz ve 4 Hz yükleme frekanslarında halat üzerinde bütün test boyunca oluşan sıcaklık değişimlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, 2.5 Hz ve 4 Hz yükleme frekans aralığında incelenen halat numunesi için önemli bir sıcaklık değişimi gözlemlenmemiştir.

Yazarlar [6,7] sabit çekme yükü altında makaralar üzerinde eğilme yorulmasına maruz kalan tel halatlarda iç ve dış tel kopmalarının, plastik ve abrasif aşınmanın, korozyonun, gevşek tel ve kordonların ve dengesiz dış demet sarılmasının eğilme

yorulma ömrüne etkilerini incelemişlerdir. Bunun için belirtilen kusur ve hasar türlerinin benzeri halat numuneleri üzerinde test öncesinde yaratılmış ve halat ömrüne etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalarında yazarlar, 19 milimetre çapında, 1960 MPa tel anma dayanımında, bağımsız çelik tel halat özüne (IWRC) sahip 6 x 25 Filler çelik tel halat ile 19 milimetre çapında, 34 kompakt demete sahip, tel demet özlü, 1960 MPa tel anma dayanımında dönme dirençli halatı kullanmışlardır. Çekme yükü olarak her iki halat tipi için minimum kopma yükünün %20'si sabit çekme yükü olarak seçilmiştir. Kullanılan makara çapı 342 milimetre ve eğilme uzunluğu 150 milimetredir. Bu parametreler kullanılarak, her iki halat tipi için önce eğilme yorulma testlerini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra her iki halat tipi için işletmede oluşabilecek hasar türleri göz önünde bulundurularak belirtilen hasarlar halat numuneleri üzerinde yaratılmıştır. 6 x 25 Filler halat için birbirine bitişik 3 dış demette ikişer (3x2) ve üçer (3x3) olmak üzere tel kırıkları yaratılmış, halatın makara üzerindeki eğilme uzunluğu boyunca 0.3 milimetre derinliğinde abrasif aşınma yüzey taşlama tezgahında yaratılmış, yine birbirine bitişik 3 dış demette ikişer (3x2) ve üçer (3x3) olmak üzere gevşek teller yaratılmış, çatlak başlangıcına neden olabilecek yüzeylerin oluşmasına neden olan plastik aşınma yaratılmış ve eğilme yorulma testleri bu halat tipi için yapılmıştır. 34 kompakt demete sahip dönme dirençli halat için birbirine bitişik 4 iç demette ve dağılmış şekilde 4 demette olmak üzere en dış kademelerin bir alt kademesinde iç demet kırıkları yaratılmış, en dış ve bir alt demet kademeleri arasındaki yağ halat açılarak uzaklaştırılmış ve böylece daha rijit konstrüksiyon yaratılmış, dış demetler halat uç bağlantısından önce 90° açılarak dengesiz dış demet sarılması yaratılmış, birbirine bitişik 4 dış demet ve dağılmış şekilde 4 dış demet gevşetilmiş ve eğilme yorulma testleri bu halat tipi için yapılmıştır. Ayrıca, Prof. Feyrer'in teorik halat kopma ömür denklemleri kullanılarak tespit ettikleri teorik halat kopma ömürleri, elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Hasarsız iki farklı halat tipi için yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde elde edilen halat kopma ömür değerlerinin teorik halat kopma ömür değerlerine oranı kullanılarak elde edilen sabitler, hasarlı halatlar için saptanan teorik halat ömür kestirim sonuçlarını düzeltmek için kullanılmışlardır. Teorik hesaplama için kullanılan yöntemin kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar verdiği ve belirtilen hasar tiplerinde halat kopma ömründeki düşüşün fazla olmadığı sonuçlarına varmışlardır.

Yazar [8] hazırladığı el kitabında, halatların makaralar üzerindeki temas eğrisinin uzunluğunun halat kopma ömrüne etkisini açıklamıştır. Burada, halatın sarım uzunluğu ile makara üzerindeki halatın temas uzunluğu arasında bir ilişki bahsedilerek, makara üzerindeki halatın temas uzunluğunun halat sarım uzunluğuna eşit oluncaya kadar ki temas uzunluklarında halat kopma ömrünün düştüğü, halatın bir sarım uzunluğunun üzerindeki makara temas uzunluklarında ise halat kopma ömründe herhangi bir değişim olmadığından bahsetmişlerdir. Buna ek olarak halatın makara üzerindeki temas uzunluğunun, halat sarım uzunluğuna eşit yapmak için gerekli sarılma açısı değerleri; en dış demetteki tel sarım uzunluğunun tel çapına oranına ve makara çapının halat çapına oranına bağlı olarak gösterilmiştir.

Yazarlar [9] kren üzerinde çalışırken kopan bir çelik halatın hasar analizini yapmışlardır. İnceledikleri halat, bağımsız çelik tel halat özlü 6 x 19 Seale halattır. Bu halatın 3 adet dış demetinin tüm telleri açılarak her bir tel için çekme testi ve 5 milimetre çapında makarada üzerinde 90° sarılması durumundaki eğilme çevrim sayılarını tespit etmişlerdir. Halat özündeki merkez demetin çekme mukavemetine hiç etkisi olmadığını, buradaki tellerin ya işletme esnasında zaten koptuğunu ya da ilk eğilmede kopacağını ve bu nedenle de merkez demetin eğilme yorulma testini yapmanın mümkün olmadığını söylemişlerdir. Bu kren halatındaki hasarın nedenlerini araştıran yazarlar, halatın yük taşıma kapasitesinin, kırık tel sayılarının artmasıyla birlikte, halatın kopmasına kadar düşürdüğünü, beklenmedik hasarın yorulma olayı nedeniyle hızlanacağını, ayrıca yetersiz bakım ve muayenenin de bunun sebebi olduğunu açıklamışlardır.

Yazarlar [10] helikopter kurtarma askı halatlarının salınma karşı serbest kanca ile birlikte kullanıldıkları durumda, salınım açısının değişiminin halat eğilme yorulma ömrüne etkisini incelemişlerdir. Bunun için, 19 x 7 paslanmaz çelik, 4.76 milimetre çapında, preforme dönme dirençli halatı kullanmışlardır. 1 metre boyunda hazırlanmış halat numuneleri, modifiye edilmiş bir eğilme yorulma test cihazında, 98.1 N ön yükü ile yüklenip yükün salınım açısının eğilme yorulma ömrüne etkisini tespit edebilmek için, halatın 1 dış demetinin kopana kadar ki eğilme çevrim sayısını tespit etmişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçları kullanarak açısal değişim ile halat eğilme yorulma ömrünün değişim ilişkisini quadratik formda vermişlerdir.

Yazar [11] hazırladığı araştırma raporunda, tel halatı servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayılarının ilgili standartlarda [12,13] verilen tel kırık sayılarına ulaşmadan

önce, yapılan 2 halat muayenesi arasında kaydedilen eğilme çevrim sayısı ve geçen süre değerlerini kullanarak halatı servis dışı bırakma zamanını veya çevrim sayısını daha önce yüksek kesinlikte tespit etmek için bir öneri sunmuştur. Bu çalışmaya göre, çift logaritmik grafikte gösterilen halatın muayenesi sırasında tespit edilen eğilme çevrim sayıları ve buna bağlı tel kırık sayıları kullanılarak bu noktalardan yaklaşık düz bir eğri geçirilir ve ilgili standartlarda belirtilen tel kırık sayısından yatay bir çizgi çizilerek, bu doğruyla kesiştirilip kesişim noktasından düşey eksene paralel bir çizgi çizilerek servis dışı bırakma ömrü yaklaşık tayin edilebilir.

Yazar [14] hazırladığı doktora tezinde, makaralarla birlikte kullanılan halatların ömrüne sapma açısının etkisini tespit edebilmek için çalışmalar yapmıştır. Bunun için, 12 milimetre ve 16 milimetre çaplarında, çapraz sarım, belirli bir kenar sapmasıyla çalışan halatların eğilme yorulma ömürlerini ve tel kırık sayılarındaki büyümeyi tespit etmek için gerekli eğilme yorulma testlerini gerçekleştirmiştir. Testlerde, halat tipi, halat çapı, sapma açısı, çap oranı, yiv boğaz açısı ve eğilme uzunluğu parametreleri değiştirilmiştir. Sonuç olarak, aynı sapma açısında, farklı halat konstrüksiyonları kullanılarak yapılan eğilme yorulma testlerinde, sapma açısının varlığında halat tipinin halat eğilme yorulma ömrüne etkisinin büyük olduğu, daha yüksek burulma rijitliği gösteren halatların, kenar sapması olması durumunda eğilme yorulma ömürlerini daha fazla kaybettiklerini açıklamıştır.

Yazar [15] yayınladığı kitapta, çekme yükü ve çap oranının, halat teli anma mukavemetinin, halat çapının, makara üzerindeki halat eğilme uzunluğunun, halat öz tipinin, çinko kaplamanın, yağlamanın, makara yiv geometrisi ve malzemesinin, halatın makaralara sarılma açısının, halat kenar sapmasının, ters eğilmenin halat eğilme yorulma ömrüne etkilerinin tespiti için çok sayıda testler yapmıştır ve literatürde verilen birçok kaynaktan yararlanarak bu parametreleri değerlendirmiştir. 16 milimetre çapında, 8 x (19+6F) Filler, çapraz sarım, 1650 MPa tel anma dayanımına sahip tel halatın farklı çekme yükü ve çap oranlarında çok sayıda eğilme yorulma testleri yapılmış ve sonuçlar grafik üzerinde gösterilmiştir. Çekme yükünün belli bir değeri geçmesinden sonra halat kopma ömrünün şiddetli bir şekilde düştüğü açıklanmıştır. Bu yük Donandt yükü olarak adlandırılmaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve teorik halat ömür denklemleri oluşturulmuştur. Ayrıca, çeşitli halat konstrüksiyonları kullanılarak yapılan eğilme yorulma testleri sonuçlarına dayanarak halat teli anma dayanımının artmasıyla

birlikte halat kopma ömrünün çok küçük oranda artacağı söylenmiştir. Halat çapının ömre etkisini tespit edilebilmesi için 6 x 19, lif özlü, çapraz ve düz sarım, her demeti aynı sarım açısına sahip 2.5 milimetre ile 24 milimetre çapları arasındaki halatlar kullanılarak eğilme yorulma testleri yapılmış ve halat ömrünün artan halat çapı ile azaldığını tespit edilmiştir. Buna ek olarak, tel anma dayanımı 1370 MPa, çap oranı 25 olan, çapraz sarım, lif özlü 8 x 19 Seale halat kullanılarak farklı eğilme uzunluklarında 23.4 kN çekme yükünde gerçekleştirilen eğilme yorulma testleri sonuçlarına dayanarak eğilme uzunluğunun halat çapının 1000 katı olduğu duruma kadar ki eğilme uzunluklarında, eğilme uzunluğunun artmasıyla birlikte halat eğilme yorulma ömrünün düştüğünü tespit edilmiştir. Halat öz tipinin halat ömrüne etkisini tespit etmek için halat özlerinin lif özlü ve çelik özlü olması durumları ayrı ayrı ele alınmıştır. Lif özlü halatlarda lif öz malzemesinin ve bunun kütlesinin halat ömrüne etkisini incelemek için aynı kompozisyon ve özellikte fakat lif öz malzemesi farklı halatlar için yapılan eğilme yorulma testleri neticesince lif öz malzemesi olarak kullanılan sisal ve polipropilen (PP) için halat kopma ömrü hemen hemen aynı olmuştur ve poliamid (PA) lif öz malzemesi için halat kopma ömrü ise dikkat çekecek derecede yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni ise muhtemelen poliamid malzemesinin dayanımının iyi olmasıdır. Lif özün kütlesinin artmasının halat ömrünü arttırıcı yönde etkisi olduğu saptanmıştır. Çelik özlü halatlar için yapılan eğilme yorulma testlerine göre, halat özü olarak katı polimer ile kaplanmış çelik öz (ESWRC) ve dış demetlerle paralel olan çelik öz (PWRC), halat özünün bağımsız bir halat olarak da kullanıldığı çelik öz ile (IWRC) karşılaştırıldığında halat kopma ömrünün daha fazla olduğu saptanmıştır. Halat tellerinin çinko kaplanması durumundaki halatın eğilme yorulma ömrünün çinko kaplanmamış çıplak telli halata göre değişiminin tespiti için yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde halat sarım tipine bakılmaksızın halat kopma ömrünün değişmediği saptanmıştır. Yağlamanın halat kopma ömrüne etkisinin tespit edilmesi için yapılan eğilme yorulma testleri sonucunda yağlanmamış bir halatın kopma ömrü iyi bir şekilde yağlanmış bir halatın kopma ömrünün ancak %15-%20'sine ulaştığı tespit edilmiştir. Kullanılan makaranın yiv geometrisinin halat kopma ömrüne etkisinin tespiti için yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde yiv dibi yarıçapının (r) halat çapına oranının (r/d) artmasıyla birlikte genel olarak halat eğilme yorulma ömrünün düştüğü tespit edilmiştir. Halat kopma ömrünün, makara veya tambur yiv yarıçapının bir fonksiyonu ile değişmekte olduğu ve en uzun halat kopma ömrüne $r = 0.53d$ oranında erişildiği açıklanmıştır.

Makara veya tambur yiv malzemesinin halat kopma ömrüne etkisini tespit etmek için yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde makara veya tambur yivleri yumuşak bir malzemedan (küçük elastisite modülüne sahip malzeme) yapıldığında, halat kopma ömrünün arttığı tespit edilmiştir. Plastik veya dökme demir yiv malzemesinin kullanıldığı, eğilme yorulmasına maruz bir halatta kopma ömür eğrileri yapılan karşılaştırmalı deneyler neticesinde saptanmıştır. 4 farklı özellikteki halatların, 3 farklı çekme yükü uygulandığı durumda yapılan eğilme yorulma testlerine göre aynı özellikteki bir halat için aynı çekme yükü uygulandığında poliamid yiv malzemesinin kullanılması durumunda halat kopma ömrünün arttığı görülmektedir. Daha yumuşak (daha düşük elastisite modüllü) bir poliüretan yiv malzemesi kullanılması durumunda ise bu tip malzemelere göre daha sert bir poliamid yiv malzemesine göre daha yüksek bir halat kopma ömrü bekleme eğilimi vardır. Halat sarılma açısı değişiminin halatın kopma ömrü ile olan ilişkisinin saptanması ile ilgili belirli kompozisyondaki ve özellikteki bir halat için yapılan çalışmada küçük sarılma açılarında halat kopma ömrünün çok yüksek olduğu, yaklaşık 20° lik sarılma açısında halat ömrünün bir dip yaptığı ve 60° ye kadar halat kopma ömrünün arttığı ve bu sarılma açısı değerinden sonrada kopma ömrünün değişmediği belirlenmiştir. Ayrıca yapılan eğilme yorulma testlerinde halat sarılma açısı yerine halatın makara veya tamburla olan temas uzunluğunun ölçülmesiyle elde edilen halat temas uzunluğu/halat adımı oranının değişmesiyle halat kopma ömrünün değişimi tespit edilmiştir. Makara yiv merkezinden tambur flanşına ve tambur merkezine dik olarak çizilen iki çizgi arasındaki açı olarak bilinen halat sapma açısının halat kopma ömrüne etkisinin tespiti için belirli halat tipleri ve parametreler kullanılarak yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde genel olarak halat sapma açısının artmasıyla halat kopma ömrünün azaldığı tespit edilmiştir. Halatların ters yönde eğilmesi durumundaki halat eğilme yorulma ömrünün tespiti için yapılan testler neticesinde genel olarak ters yönde eğilen halatların eğilme yorulma ömrünün, düz yönde eğilen halatların eğilme yorulma ömrünün yarısı kadar olduğu söylenmiştir. Ayrıca, ters yönde eğilme çevrim sayısının düz yönde eğilme çevrim sayısına oranının, düz yönde eğilme çevrim sayısının azalması ve çap oranının artmasıyla birlikte arttığı tespit edilmiştir.

Yazarlar [16] halat ömrünün, halat öz tipi ve kullanılan halat öz yağlayıcısının tipi ile değişimini incelemişlerdir. Bunun için, 16 milimetre çapında, çapraz sarım, 1770 MPa tel anma dayanımında, 6 x 36 Warrington-Seale halat konstrüksiyonları

kullanılmıştır. 3 farklı çekme yükünde 400 milimetre çapında makara kullanılarak yaptıkları eğilme yorulma testleri neticesinde jüt lif özlü ve halat özünün ASKM-1A tipindeki yağlayıcıyla yağlandığı 6 x 36 Warrington-Seale halatın eğilme yorulma ömrü, hint keneviri (hemp) lif özlü ve halat özünün E-1 tipindeki yağlayıcıyla yağlandığı 6 x 36 Warrington-Seale halatın eğilme yorulma ömründen daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Wire Rope Works Inc. tarafından yayımlanan teknik bültende [17], 12.7 milimetre (1/2 inç) çapında, makaralar üzerinde eğilme yorulmasına maruz tel halatların performansına, kullanılan makara çapının etkisini tam olarak göstermek için, tel halat endüstrisi tarafından geliştirilen halat ömür eğrisi açıklanmıştır. Uygun olmayan çap oranı (D/d) kullanıldığı durumda halat ömrünün değişeceğini halat ömür eğrisine bağlı olarak gösterilmiştir. Burada çap oranı olarak makara çapının (D), halat çapına (d) oranı olarak ifade etmişlerdir. Bu teknik bültene göre örneğin çap oranı 40 iken halat ömrü (N) 40 birim iken çap oranı 55 olduğu durumda halat ömrü 76.5 birimdir. Sonuç olarak halat ömrünün çap oranının artmasıyla arttığını ve çap oranının 55 olduğu durumda halat ömrünün çap oranının 40 olduğu duruma göre %91 fazla olduğunu açıklamışlardır.

Bu doktora tez çalışmasında, makaralar üzerinde eğilme yorulmasına maruz tel halatların eğilme çevrim sayılarına (ömürlerine) etki eden eden çekme yükü (S), kullanılan makara çapı (D), halat tipi, özgül çekme yükü (S/d^2) (d , tel halat çapı), çap oranı (D/d), dönme hızı, iç ve dış tel kırıkları, yetersiz yağlama, bükülme, abrasif aşınma gibi parametrelerin teorik ve deneysel incelemesi yapılmıştır. Bu doktora tez çalışmasının araştırma alanı ile ilgili yapılan makaleler, raporlar, doktora tezi gibi çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, birçok araştırmacı tarafından çekme yükünün (S), kullanılan makara çapının (D), özgül çekme yükünün (S/d^2), çap oranının (D/d) halat eğilme yorulma ömrüne etkileri çok sayıda eğilme yorulma testleri yapılarak incelenmiş olduğu görülmektedir. İlgili literatürde, dönme hızının artmasıyla birlikte halat eğilme yorulma ömrünün ne oranda değişeceği ve halat üzerinde dönme hızına bağlı meydana gelen sıcaklıkların ne oranda değişeceği konularında herhangi bir çalışma yoktur. İç ve dış tel kırıkları, yetersiz yağlama, bükülme, abrasif aşınma gibi parametrelerin halat eğilme yorulma ömrüne etkisinin tespiti üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle, bu doktora tez çalışmasında, bu parametreler ile ilgili elde edilen deneysel sonuçların literatüre yeni sonuçlar

katacağı kesindir. Ayrıca, bu doktora tez çalışmasında incelenen halat konstrüksiyonları için, elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak regresyon analizi yapılmış, yeni teorik halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür kestirim denklemleri sunulmuştur.

İkinci bölümde, tel halatların genel yapısı, halat teli malzemesi, tel halat imalatı konularında genel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, özlere göre tel halat çeşitleri, demet kompozisyonlarına göre tel halat çeşitleri, özel tip halatlar ve tel halatların kullanım alanları ile ilgili literatür bilgileri verilmiştir.

Dördüncü bölümde, halat ömrüne etki eden faktörler hakkında belli başlı tanımlamalar yapıp literatürde bu faktörler ile ilgili elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Bu bölümde, halat ömrüne etki eden faktörler olarak, çekme yükü (S) ve çap oranı (D/d), eğilme türü, tel anma dayanımı, halat yuvası şekli, halat yuva malzemesi, halat çapı (d), halat teli kalınlığı, halat türü, yağlama, işletmede tekrar yağlama, korozyon, halat sarılma açısı, halat kenar sapması, halat öz tipi, sapma açısı, özel halat kullanımı gibi faktörler ele alınmıştır.

Beşinci bölümde, tel halatların imalatı veya çalıştırılması esnasında oluşabilecek halat kusur ve hasar türleri açıklanmıştır. Ayrıca, tel halatları servis dışı bırakmak için standartlarda belirtilen izin verilebilir maksimum kusur, hasar türleri ve bunların mertebeleri açıklanmıştır. Bu bölümde, halat kusur ve hasarları olarak, aşınma, halat çapında azalma, korozyon, elastikiyetin azalması, demet kopması, şekil değiştirme, dalgalanma, kafes oluşumu, demet çıkması, tel çıkması, halat çapında bölgesel büyüme, halat çapında bölgesel küçülme, yassılaşıma, kıvrılmalar veya gerilmiş ilmekler, bükülme, yetersiz yağlama, ısı sebebiyle hasarlanma, tel kırık sayıları ve dağılımı, martenzitik gevrekleşme, dış etkiler nedeniyle oluşan hasarlar ele alınmıştır.

Altıncı bölümde, ilk olarak deneysel çalışmalarda kullanılan halat konstrüksiyonları ve bunların teknik özellikleri açıklanmıştır. Daha sonra kullanılacak bu halat konstrüksiyonlarını teste hazırlama işlemleri detaylı olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan halat eğilme yorulma test makinesinin tanıtımı yapılarak, deneysel çalışmalar yapılarak her bir test sonucunda elde edilen halat kopma ömrü, servis dışı bırakma ömrü, yüzde uzama değerleri bulunarak halat ömrüne etki eden

faktörlerin (çekme yükü, kullanılan makara çapı, özgül çekme yükü, çap oranı, dönme hızı) etki oranları, farklı iki halat konstrüksiyonu göz önünde bulundurularak tespit edilmiştir. Ayrıca, tel halatların çalıştırılmaları süresince meydana gelen abrasif aşınmanın, iç ve dış tel kırıklarının yanı sıra halatın imalatı sırasında veya yanlış kullanımı nedeniyle oluşan yetersiz yağlamanın, halatın açılması veya işletmeye alınışındaki yanlışlıklar nedeniyle oluşan bükülmenin halat ömrüne etkileri ve en sonunda halat ömrünü en çok düşüren parametre tespit edilmiştir.

Yedinci bölümde, Prof. Feyrer tarafından, farklı halat konstrüksiyonları kullanılarak, farklı parametrelerde yapılan çok sayıda eğilme yorulma testleri neticesinde, halat literatürüne kazandırılan, teorik halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür denklemleri açıklanmıştır. Ayrıca, Prof. Feyrer'in teorik halat ömür denklemleri, kullanılan iki farklı halat konstrüksiyona uyarlanarak teorik halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür değerleri teorik olarak kestirilmiştir. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar, her iki halat konstrüksiyonu için karşılaştırılmıştır.

Sekizinci bölümde, her iki halat konstrüksiyonu kullanılarak yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde elde edilen deneysel sonuçlara, en küçük kareler yöntemi kullanılarak regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizi sonucunda, incelenen iki farklı halat konstrüksiyonu için yeni teorik halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür denklemleri oluşturulmuştur.

Sonuçlar bölümünde ise bu doktora tez çalışmasında incelenen halat ömrüne etki eden parametreler için elde edilen eğilme yorulma test sonuçları ve Feyrer'in teorik halat ömür kestirim sonuçları derlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar kullanılarak elde edilen yeni teorik halat ömür kestirim denklemleri verilmiştir.

2. HALATLAR

Lifli veya çelik telli bir öz etrafına, bir veya birkaç kat halinde helisel olarak sarılmış ve bitkisel veya metalik malzemeden yapılmış, halat demetlerinin meydana getirdiği elemana halat adı verilir. Halatlar; kolay bükülebilmeleri ve rahat kullanımları nedeniyle yük kaldırma ve taşıma, kuvvet iletimini sağlamak bakımından, çekici eleman olarak oldukça yaygın kullanılmaktadırlar [18].

Halatlar birçok çalışan parçaya sahip bir makine gibi düşünülebilir ve çoğu makinede olduğu gibi doğru bir şekilde üretilmeli, kullanılacak yere göre doğru olanı seçilmeli ve doğru bir şekilde kullanılmalıdır. Ayrıca makineler gibi çok çeşitli kompozisyonlarda halatlar vardır ve her biri kullanım alanları göz önünde bulundurulduğu için değişik kompozisyonlarda imal edilmiştir. Aynı özelliklere sahip bir halat bir uygulamada çok uygun olurken, diğer bir uygulamada ise uygun olmayabilir [19].

Halatlar yapıldıkları malzeme türüne göre bitkisel halatlar ve tel halatlar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

2.1 Bitkisel Halatlar

Kendir, manila, sisal ve pamuktan yapılırlar. Düşük mukavemetlidirler. Bu nedenle çok büyük halat çapları ve buna bağlı olarak kullanılan diğer elemanların (makara, tambur vb.) boyutlarının da çok büyük olması kaçınılmazdır. Dolayısı ile kaldırma ve taşıma makinalarında, kullanma alanları oldukça sınırlıdır. Ayrıca bu halatlar mevcut mukavemetlerini kullanım süresince koruyamazlar. Özellikle nemli ve ıslak ortamlarda kullanılması durumunda bu sakınca daha da artmaktadır. Bitkisel halatların yeni olanları $1200\text{--}1300\text{ daN/cm}^2$ ve kullanılmış olanları ise 500 daN/cm^2 dolayında bir kopma mukavemetine sahip olarak düşünülmelidir [18].

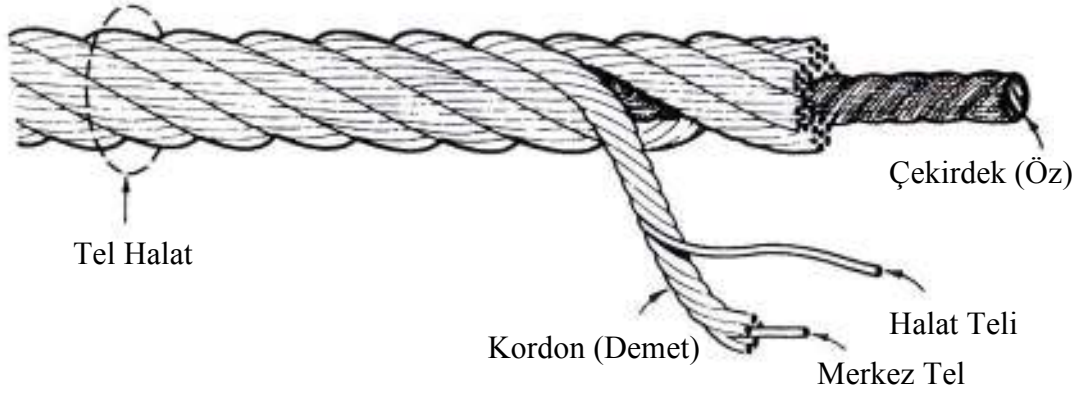
2.2 Tel Halatlar

Çelik tellerden yapılan halatlar, iletim makinelerinin en yüksek derecede zorlanan önemli elemanıdır. Değişik çalışma şartları çeşitli tipte halatların yapımını zorunlu kılmıştır. Pratikte, tel halatların karakteristik özellikleri çok az bilinmektedir. İşletme personeli tel halatların bakımı, kontrolü ve kullanılmaları hakkında gerekli bilgiden yoksun ise, düzgün ve emniyetli bir çalışma gerçekleştirilemez. Tasarımcıdan başka kullanıcının da tel halatlar hakkında gerekli bilgilere sahip olması gereklidir [20].

Tel halatların geliştirilmesi sonucu daha önceleri kullanılan zincirler bugün için kren imalatında kullanılmamaktadır. Tel halatların zincirlere karşı üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Hafif olmaları nedeniyle, hızla çalışan kaldırma makinelerinde kütle tesiri azdır.
- b) İşletme emniyetleri yüksek ve işletme kontrolleri kolaydır.
- c) Zincirlerden çok daha elastik olduklarından hafif darbelere karşı koyarlar.
- d) Yüksek hızlarda sessiz çalışırlar.
- e) Yerine göre birim fiyatları zincirlere nazaran ucuzdur.

Zincirler gibi birdenbire kopmayıp, kopan tellere dikkat edilmesiyle emniyet tedbirleri alınabilmektedir. Yukarıdaki nedenler tel halatların zincirlere tercih edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca tel halatlar yüksek taşıma gücüne sahiptir. Çalışma sırasında ortaya çıkan aşınma ve korozyon olayının dışında yorulma ve nemin etkisi ile mukavemetlerinden pek birşey kaybetmemektedirler. Yükün halat içindeki çok sayıda tele dağılması nedeniyle işletme emniyeti oldukça yüksektir. Tel halatlar yüksek çalışma hızlarında çalıştırılabilirler. Kendi ağırlıkları ile taşıma kapasiteleri arasında uygun bir oran mevcuttur ve büyük bir elastik uzama miktarına sahiptirler. İşletme sırasında kolaylıkla gözle kontrol edilmeleri mümkündür. Tel halatların taşıma kapasiteleri ve çalışma özellikleri düşük sıcaklıklarda değişmemektedir. Yalnız lif özlü halatlarla 100°C, çelik özlü halatlarla ise 250°C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda çalışmamalıdır. Alçak ve yüksek sıcaklıklarda halat ucu bağlantısının kontrolü çok dikkatli yapılmalıdır [20]. Şekil 2.1'de bir tel halat ve elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Tel halat bileşenleri.

2.2.1 Tel halatların yapısı

Tel halatlar, işletme esnasında birbirleriyle etkileşim içinde olan teller, demetler ve özlerden oluşurlar. Tel halat mühendisleri, halatları, her kullanım alanında optimum dayanım, abrasif aşınma direnci, ezilme direnci, eğilme yorulma direnci ve korozyon direncine ulaştırmak için çok değişik kompozisyonlarda ve farklı çelik sınıfında tasarlarlar. Her uygulamada en iyi tel halatı seçebilmek için, yapılacak iş için gerekli performans karakteristiklerinin bilinmesi ve bu iş için gerekli olan özellikleri en az optimum olarak taşıyan bir tel halatın tasarlanmış olması gereklidir. Tel halatlarda aşağıdaki üç karakteristik, tel halat kompozisyonu değiştirilerek değiştirilebilir [19].

- Mukavemet: Tel halat çapının ve/veya tek tellerin çekme mukavemetinin ve/veya kesitteki çelik içeriğinin artırılmasıyla (teller arasında hava boşluklarının azaltılmasıyla) ve/veya çelik öz kullanılarak mukavemet artırılabilir.
- Eğrilip, bükülebilme: Daha fazla ve daha küçük çaplı tel kullanılarak ve/veya tek tellerin çekme mukavemetinin azalmasıyla ve/veya lif öz kullanılmasıyla artırılabilir.
- Sağlamlık: Bir başka deyişle fiziksel hasara direnç, daha az ve daha büyük çaplı tel kullanılarak ve/veya çelik öz kullanılarak ve/veya dış hasar kaynaklarına maruz kalan çelik alanının artırılmasıyla artırılabilir. Galvaniz vb. kaplamalar korozyona direnci arttırmak için kullanılabilir [19].

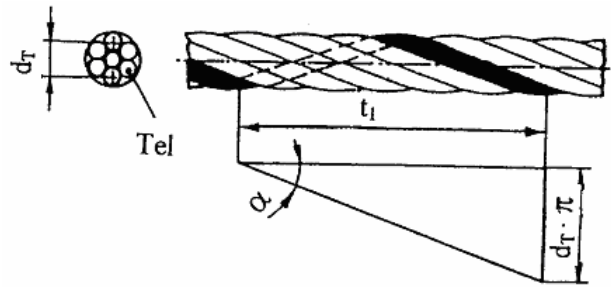
2.2.1.1 Halat özleri

Gerek demet gerekse halatın oluşturulmasında orta kısımda öz adı verilen bir çekirdek bulunur. İnce çelik tellerin öz etrafında bir veya daha fazla sıra halinde belirli bir kurala göre sarılması sonucu elde edilen halat elemanına demet adı verilir. Demetler de yine bir öz etrafına belirli kurallara göre sarılarak halatları oluştururlar.

Halatlarda öz olarak bitkisel lifler veya çelik teller kullanılır. Lif öz olarak sisal keneviri, manila keneviri ve hint keneviri (jüt) ile sentetik lifler (polyamid, polyetilen, polypropilen vs.) kullanılır. Ancak sentetik liflerden öz kullanıldığında halatın çalışma sıcaklığı 80°C sıcaklığın üstünde olmamalıdır. Çelik öz ise, bir çelik tel, çelik telli bir demet veya biri kendi özünde olmak üzere 7 telli, 7 demetten yapılmış bağımsız bir halat şeklinde göz önüne alınır [18].

2.2.1.2 Halat demeti

Bir öz etrafına bir veya birkaç kat halinde helisel sarılmış olan ve kesiti yuvarlak, üçgen veya oval biçiminde çelik teller demeti halat demeti adını almaktadır. Demet teli ekseninin, demet ekseni etrafında çizdiği helisin demet ekseni boyunca ölçülen kısmına demet adımı, tellerin ekseni ile demet ekseni arasındaki açığa da demet sarma açısı adı verilir. Şekil 2.2'de bir demeti oluşturan tellerin sarımı, adımı ve açısı gösterilmiştir [18].

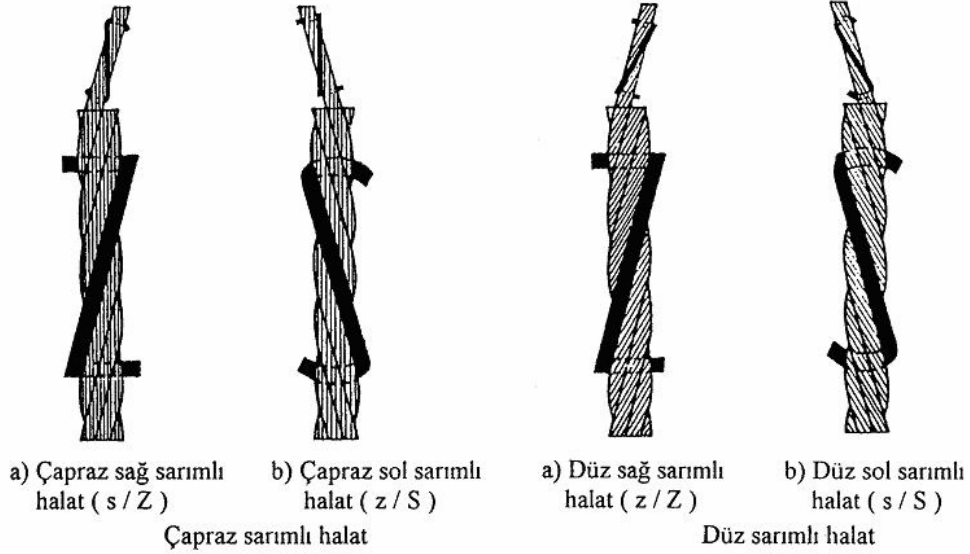


Şekil 2.2 : Bir demete ait büyüklükler [18].

Burada; t_1 (mm) demet sarma adımı, α (derece) demet sarma açısı, d_T (mm) demetin enine kesitinde demet telleri merkezlerinden geçen dairenin çapı olarak verilmektedir.

Halatı meydana getiren teller ve demetler değişik kompozisyonlarda örülerek değişik halat çeşitleri meydana getirilir. Halatlar demetlerin sarılış yönlerine göre ve demetleri meydana getiren tellerin düzenleniş şekline göre sınıflandırılır. Demetleri

meydana getiren teller ile halatı oluşturan demetlerin sarılış yönleri harflerle temsil edilir. Demeti meydana getiren teller sağa sarılışlı ise « z », sola sarılışlı ise « s » harfleri ile gösterilir. Demetlerin sarımı sağa doğru ise « Z », sola doğru ise « S » harfleri ile gösterilir. Eğer halatları meydana getiren demetlerin sarımı ile demeti meydana getiren tellerin sarımı aynı yönde ise *düz sarımlı*, farklı yönde ise *çapraz sarımlı* halat olarak adlandırılır. Şekil 2.3’de çapraz sağ sarımlı, çapraz sol sarımlı, düz sağ sarımlı ve düz sol sarımlı halat örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Tipik halat sarımları.

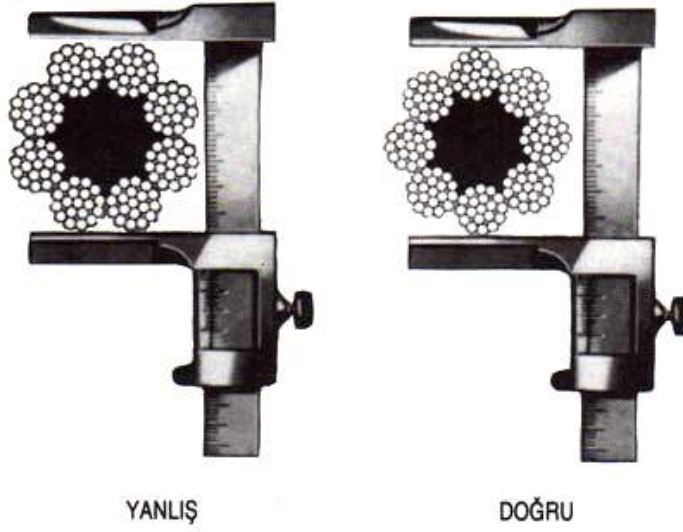
2.2.1.3 Halat sınıfı (anma dayanımı)

Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan çelik tel sınıfı 1420-1770 MPa ve 1860 MPa olarak bilinmektedir. Paslanmaz çelik teller ve diğer özel sınıf teller, özel uygulamalarda kullanılırlar. Genellikle yüksek sınıf (anma dayanımlı) teller kullanıldığında telin sünekliği düşeceği unutulmamalıdır [19]

2.2.1.4 Halat çapı

Bir halatın anma çapı halatın dik kesitini sınırlayan bir dairenin çapıdır. Bir daire, halat damarının (demetinin) tümünün dış yüzeyine teğettir. Birimi “mm” olarak gösterilir. Şekil 2.4’te halat çapının doğru bir şekilde ölçülmesi gösterilmiştir [21].

HALAT ÇAPININ ÖLÇÜLMESİ



Şekil 2.4 : Halat çapının lülmesi [21].

2.2.1.5 Preforme (ön şekil verilmiş) halatlar

Halat imalatında, halatı oluşturan elemanlara (teller ve/veya damarlar), halat ve damar biçimine göre helisel ve sürekli kalacak durumda önceden özel bir operasyon ile şekil verilmesine preforme yani ön şekil verme denir. Bu tür halatlar hem yüksüz konumda şekillerini korurlar hem de ömürleri daha uzun olur [18,21]. Şekil 2.5’de halat demetlerinin halat özüne örülmeden önceki ön şekillendirme işlemini yapan bir ön şekil verme kafası gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Halata ön şekil verme [22].

2.2.2 Tel halat imalatı ve halat teli malzemesi

2.2.2.1 Halat teli malzemesi

a) Parlak alaşımsız tel: Bu tür halatların tel malzemesi olarak, dinlendirilmiş ve aşağıda verilen saflık derecesindeki alaşımsız karbon çeliği kullanılmaktadır. Tellerin ölçü ve mukavemetine göre karbon miktarları %0.4...%0.9 arasında seçilmektedir. Anma çapları ve anma dayanımlarına bağlı olarak tellerin çekme dayanımları Çizelge 2.1’de verilmiştir [18]. Öngörülen alaşım miktarları şöyledir [20]:

- Manganez	: % 0.30...% 0.70
- Silisyum	: % 0.10...% 0.30
- Fosfor	: maksimum % 0.045
- Kükürt	: maksimum % 0.045
- Azot	: maksimum % 0.008

Bu alaşımsız çelik malzeme, SM-ocağında, LD-konverterinde veya indüksiyon ocaklarında ergitilerek bloklar halinde dökülür. Bloklar sıcak olarak haddelenerek en az 5 mm çapında tel haline getirilir. Tel çapının daha da küçültülmesi soğuk haddeleme ile yapılır [20].

Telin mukavemeti, alaşım miktarı, ısıl işlem ve soğuk haddeleme sırasındaki kesit daralması ile belirlenmektedir. Artan karbon miktarı ve kesit daralması ile telin

mukavemeti artmakta, buna karşılık elastik uzaması, eğilme ve burulma kabiliyeti azalmaktadır. Bu nedenle ince tellerin çekme mukavemeti 4000 MPa değerine ulaşabilmekle beraber bu teller 2000 MPa mukavemet değerinin üzerinde çalıştırılmamaktadır [20].

b) Parlak alaşımlı tel: Korozyona, ısıya ve aşınmaya dayanıklı, düşük miktarda alaşımlanma gibi özelliklere sahip teller Cr, Ni, Mo, Ti gibi alaşım elemanlarını bünyelerinde bulundurmaktadır [20].

c) Çinko kaplı tel: Korozyona karşı dayanıklılığı arttırabilmek için tellerin üzeri son çekme işleminden sonra çinko ile kaplanır. Bu işlem için “son çinko kaplama” deyimi kullanılır. Eğer tel çinko kaplandıktan sonra haddelenirse “çinko kaplı olarak çekilmiş” ifadesi kullanılır. Dayanıklılık, çinko kaplamanın kalınlığı ile artmaktadır. Çinko kaplama alevle veya elektrolizle yapılır. Alevle yapılan çinko kaplamada zorunlu ısı işlem nedeniyle çekme mukavemeti parlak tele oranla %10 kadar azalmaktadır. Fakat, bu yöntemle kaplanmış telin eğilme ve burulma değerlerinin parlak tele göre azalmasının, halat ömrünü negatif olarak etkilemediği yapılan deneylerle tespit edilmiştir. Alevle yapılan çinko kaplamada çinko kalınlığı tel çapı ile bağıntılıdır. Elektroliz yolu ile yapılan kaplamada ise kalınlık elektroliz süresine bağlı bulunmaktadır. Elektrolizle yapılan çinko kaplamada mukavemet değerleri yaklaşık olarak parlak telin aynısı olmaktadır. Çinko kaplı tellerde en yüksek mukavemet değeri, elektroliz yoluyla çinko kaplı tellerin çekilmesi neticesinde elde edilmektedir [20].

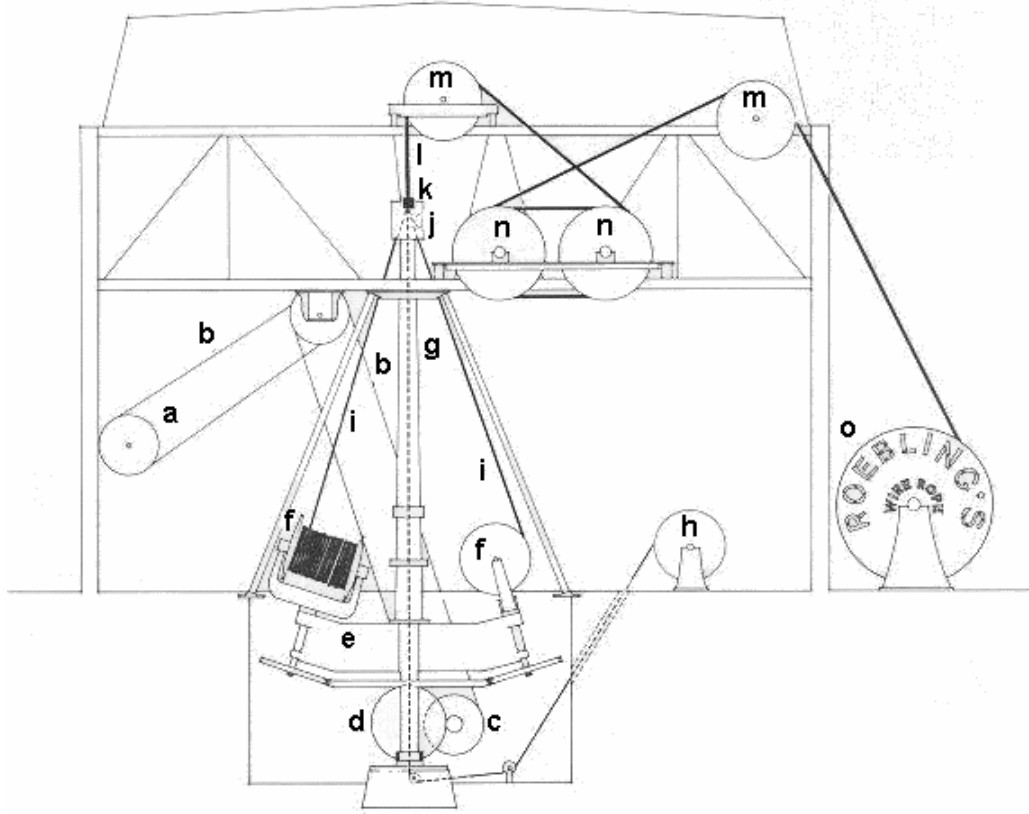
Çizelge 2.1 : Halat yapımında kullanılan tellerin anma çaplarına ve anma dayanımlarına göre çekme dayanımları [18].

Tel anma çapı, (mm)	Tel anma dayanımı (daN/mm ²)	
	160	180
	Çekme Dayanımı (daN/mm ²)	
0.19 – 0.50 (dışında)	160 - 200	180 - 220
0.50 – 1.00 "	160 - 196	180 - 216
1.00 – 1.50 "	160 – 193	180 - 213
1.50 – 2.00 "	160 - 190	180 - 210
2.00 ve daha çok	160 - 187	180 - 207

2.2.2.2 Tel halat imalatı

Tel halatların imalatında ilk önce halat çelik telleri istenen boyutlarda soğuk çekme ve haddeleme suretiyle elde edilir. Daha sonra bu teller istenen halat kompozisyonuna göre demet oluşturmak için halat sarma makinelerinde sarılırlar. Bu demetlerde yine halat sarma makinelerinde bir çelik tel halatı meydana getirmek üzere bitkisel veya çelik bir öz (öz bir demette olabilir) etrafına sarılırlar.

Tel halat imalatında kullanılan halat makinesinin şematik bir çizimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Kayış-kasnak ve dişli çark mekanizmalarının sistemi tahrik etmek için kullanılmasıyla elde edilen hareket ile tahrik mili ve üzerine demetlerin sarıldığı kasnaklar örme tablası etrafında dönmeye başlarlar. Aynı zamanda sistemdeki demetler sürekli olarak ön şekil verme kafasının da bulunduğu kalıba doğru beslenirler. Burada preforme halatlar denilen ön şekil verilmiş halatların imalatında kullanılan ön şekil verme kafasının üzerinde bulunan küçük makaralardan helisellik vermek üzere geçirilen demetler sonrasında halatı meydana getirmek için öz etrafına sürekli bir şekilde döndürülerek helisel bir şekilde sarılırlar. Halatın sarılmadan sonra açılmaması (dağılmaması) için yapılan ön şekil verme işlemlerinden sonra örülen demetlerin meydana getirdiği tel halatlar sonrasında bir dizi tambura sarılarak bobine sarılırlar.



Şekil 2.6 : Bir halat makinesinin şematik gösterimi [23].

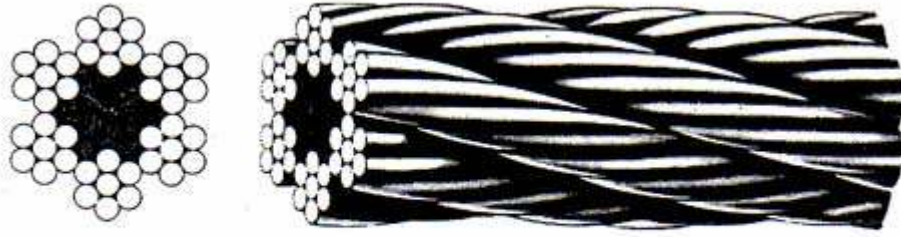
Burada; (a) ana tahrik kasnağını, (b) tahrik kayışını, (c) alt tahrik mekanizmasına güç veren kasnağı, (d) tahrik miline ve üzerine demetlerin sarıldığı kasnağa hareket veren dişlileri, (e) demetlerin sarıldığı kasnakları destekleyen örme tablasını (spider), (f) demetlerin sarıldığı kasnağı (tel halat kompozisyonundaki demet sayısı, demetlerin sarıldığı kasnak sayısını belirler), (g) içi boş mili (öz olarak kullanılacak demet mil içerisinden geçirilir), (h) öz olarak kullanılacak demetin sarıldığı kasnağı, (i) demeti, (j) ön şekil verme kafasını (demette helisellik oluşturur), (k) halatı oluşturmak için demetlerin öze sarıldığı kalıbı, (l) tel halatı, (m) transfer kasnaklarını, (n) çıkarma tamburlarını, (o) bobini ifade etmektedir.

3. TEL HALAT ÇEŞİTLERİ ve KULLANIM ALANLARI

3.1 Özlerine Göre Halat Çeşitleri

3.1.1 Lif özlü halatlar

Halatın özü tabii (kenevir vs.) veya sentetik (polyamid vs.) liflerden oluşmuştur. Standardize edilmiş yazılışı “LÖ” olarak gösterilir. Şekil 3.1’de lif özlü bir halat örneği gösterilmiştir [21].

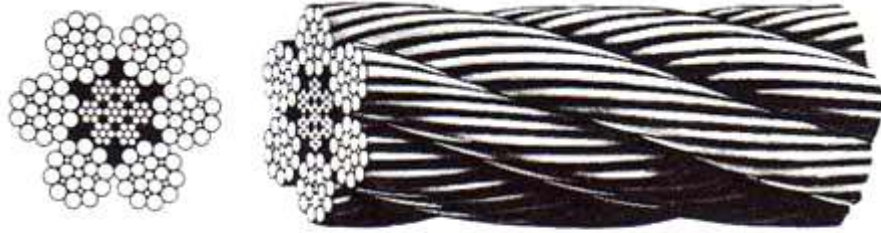


6 x 7 Halat (LÖ)

Şekil 3.1 : Lif özlü halat [21].

3.1.2 Çelik özlü halatlar

Halat özü belirli bir çapa kadar halatın bir damarı veya 49 çelik telden müteşekkil 7 damarlı örülmüş bir halattır. Standardize edilmiş yazılışı “ÇÖ” olarak gösterilir. Şekil 3.2’de çelik özlü bir halat örneği gösterilmiştir [21].



6 x 21 Filler Halat (ÇÖ)

Şekil 3.2 : Çelik özlü halat [21].

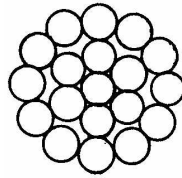
3.2 Demet (Damar) Kompozisyonlarına Göre Halat Çeşitleri

3.2.1 Tek operasyonlu halatlar (paralel tel sarımlı halatlar)

Halatın demetini teşkil eden teller aynı yönde birbirine paralel ve aynı sarım uzunluğu ile tek bir operasyonla örülen halatlardır. Demet örüm şekillerine göre; Seale, Filler, Warrington, Warrington-Seale, Seale- Filler olarak adlandırılır [21].

3.2.1.1 Standart demetler

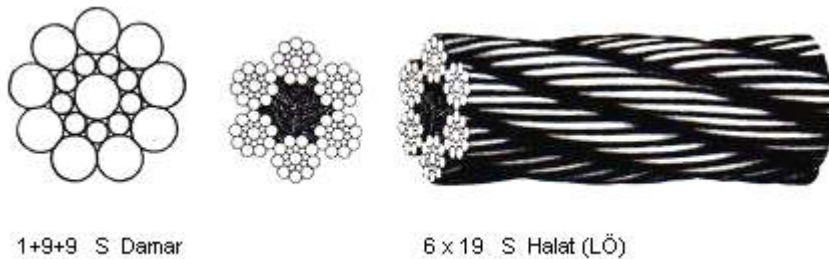
Demeti oluşturan bütün teller eşit çaplıdır. Bütün kademelerdeki teller demet eksenine göre aynı sarım açısındadır. Şekil 3.3'de bir Standart demet kesiti gösterilmiştir [20].



Şekil 3.3 : Standart demet [18].

3.2.1.2 Seale demetler

Birbirine bitişik dış iki katta eşit sayıda teli olan ve en dış kat telleri, onun altındaki katta bulunan tellerin arasına yerleştirilen, sarma adımı ile sarma yönü aynı olan demetlerdir. Şekil 3.4'de bir Seale demet kesiti ve lif özlü, çelik telli, yuvarlak demetli 6 x 19 SEALE (S) bir halat örneği gösterilmiştir [18].

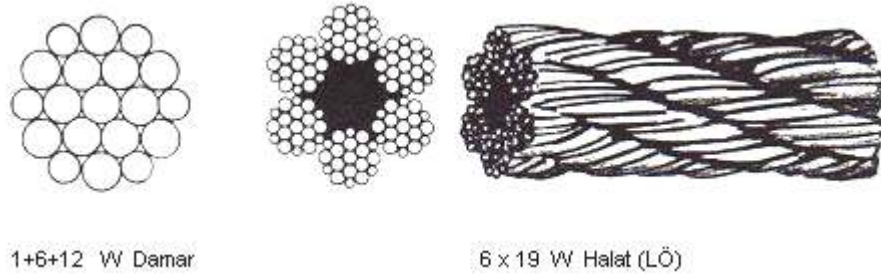


Şekil 3.4 : Seale demet [21].

3.2.1.3 Warrington demetler

Dış katta iki ayrı çapta ve bir atlayarak dizilmiş ve altındaki tel sayısının iki katı teli olan demetlerdir. Bir başka deyişle demeti teşkil eden dış kat telleri birbirine eşit sayıda iki farklı çaptaki tellerden örülmüş konstrüksiyonlardır. Şekil 3.5'de bir

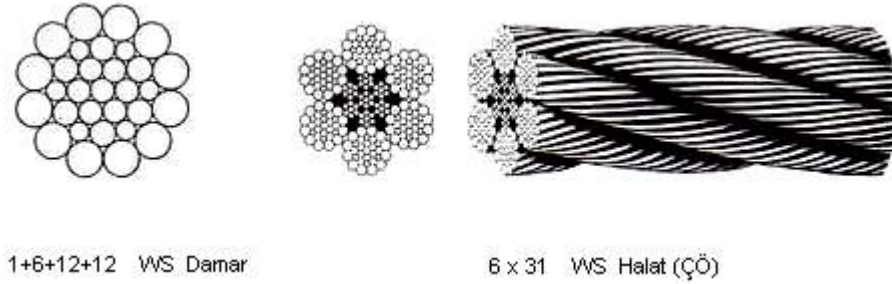
Warrington demet kesiti ve lif özlü, çelik telli, yuvarlak demetli 6 x 19 WARRINGTON (W) bir halat örneği gösterilmiştir [18,21].



Şekil 3.5 : Warrington demet [21].

3.2.1.4 Warrington-Seale demetler

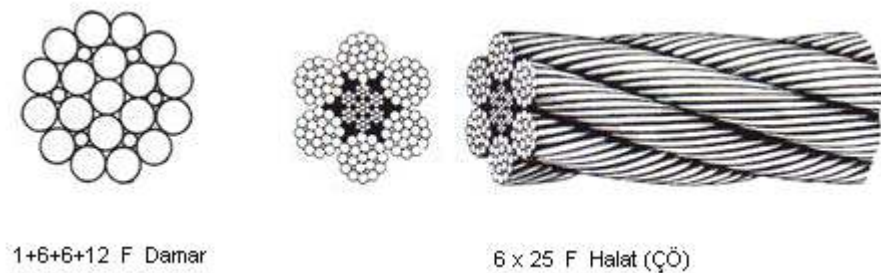
Demeti teşkil eden dış kat telleri Seale, alt kat telleri ise Warrington dizilişli konstrüksiyonlardır. Şekil 3.6'da bir Warrington-Seale demet kesiti ve çelik özlü, çelik telli, yuvarlak demetli 6 x 31 WARRINGTON-SEALE (WS) bir halat örneği gösterilmiştir [21].



Şekil 3.6 : Warrington-Seale demet [21].

3.2.1.5 Filler (dolgu) demetler

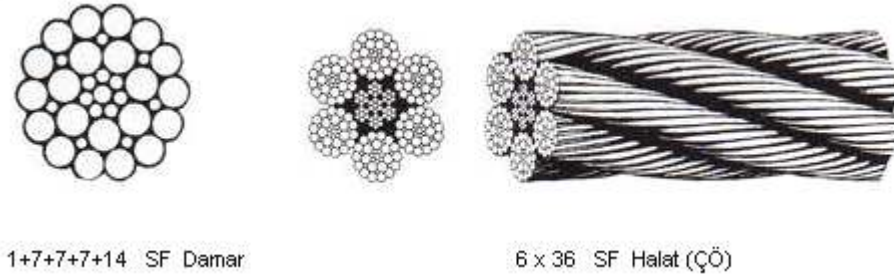
Demeti teşkil eden dış kat tellerinin alt katında, dış kat tellerinin yarısı adedinde ve bu tellere yataklık yapan dolgu telli demetlerdir. Şekil 3.7'de bir Filler demet kesiti ve çelik özlü, çelik telli, yuvarlak demetli 6 x 25 FILLER (F) bir halat örneği gösterilmiştir [21].



Şekil 3.7 : Filler demet [21].

3.2.1.6 Seale-Filler demetler

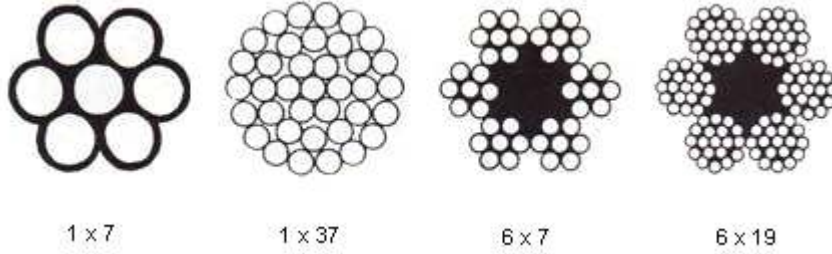
Demeti teşkil eden dış kat telleri Seale yani bir alt kat telleriyle aynı sayıda, alt kat tellerinden ise dolgu telleri bulunan demetlerdir. Şekil 3.8’de bir Seale-Filler demet kesiti ve çelik özlü, çelik telli, yuvarlak demetli 6 x 36 SEALE-FILLER (SF) bir halat örneği gösterilmiştir [21].



Şekil 3.8 : Seale-Filler demet [21].

3.2.2 Çok operasyonlu halatlar (cross lay)

Bu sınıf halatlar STANDARD kompozisyonlar olarak adlandırılır. Halattaki demetlerin tüm kat telleri aynı yönde ve aynı açıyla örülen bu nedenle de her kat ayrı bir katsayısına göre imal edilen kompozisyonlardır (6x7, 6x9, 6x36, 6x37, 6x41 gibi). Şekil 3.9’da çok operasyonlu halat örnekleri gösterilmiştir [21].

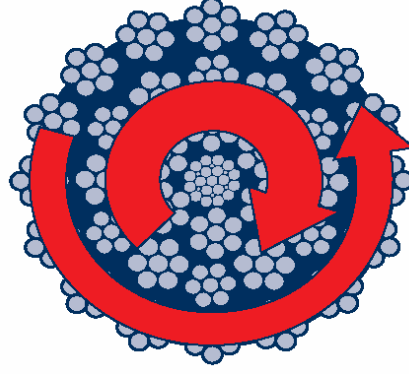


Şekil 3.9 : Çok operasyonlu halatlar [21].

3.3 Özel Halatlar

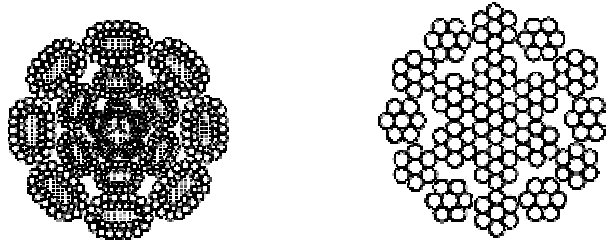
3.3.1 Dönme dirençli halatlar

Geleneksel bir halatta, bir dış yük, halatı açmaya ve yükü döndürmeye çalışan bir moment yaratır. Yük altında, dönmenin oluşmaması için halat özü bir yönde burulmaya çalışırken bu tip halatlarda dış katmandaki demetler diğer yönde burulmaya çalışmaları gereklidir. Bu davranış Şekil 3.10’da gösterilmiştir [24].



Şekil 3.10 : Dönme dirençli halatta yük altında oluşan döndürme momentleri [24].

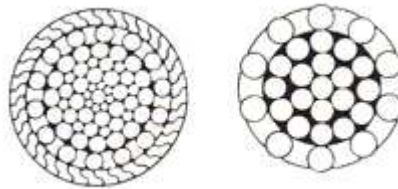
Dönme dirençli halatlar bir çelik öz veya lif öz üzerine en az iki kat aynı tip demetlerin ters istikamette üst üste sarılmasıyla meydana gelen halatlardır. Dönme dirençli halatlar daha önceden çok demetli ve dönmeyen halatlar olarak biliniyordu. Şekil 3.11’de dönme dirençli (dönmez) halat örnekleri gösterilmiştir [25].



Şekil 3.11 : Dönme dirençli halatlar [25].

3.3.2 Tam kenetli-yarı kenetli tip halatlar

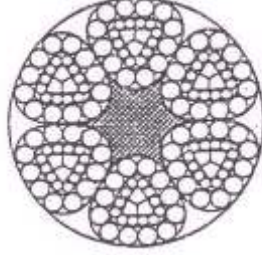
En dış telleri yuvarlak olmayıp, profilleri yardımıyla telleri birbirine kenetlenmiş halatlardır. Dıştaki tellere uygun formun verilmesiyle tam kenetli (kapalı) tip halat yapısı elde edilir. Böylece halatın esas taşıyıcı telleri korozyon ve radyasyon etkisinden korunur. Yarı kenetli tip halatlar da en dış katı bir yuvarlak bir yarı kenetli (H şekilli) tellerden oluşurlar. Şekil 3.12’de sol tarafta örnek bir tam kenetli halat kesiti, sağ tarafta ise yarı kenetli bir halat kesiti gösterilmiştir [20,21].



Şekil 3.12 : Tam kenetli-yarı kenetli tip halatlar [21].

3.3.3 Üçgen demetli halatlar

Üçgen demetli halatlar, demet kesiti yaklaşık üçgen biçiminde olan halatlardır. Yüksek yüzey basınçlarında çalışan halatlarda basma yüzeyini arttırmak için Şekil 3.13’de gösterilen üçgen demetli halatlar kullanılır [18,20].



Şekil 3.13 : Üçgen demetli halat [20].

3.3.4 Oval demetli halatlar

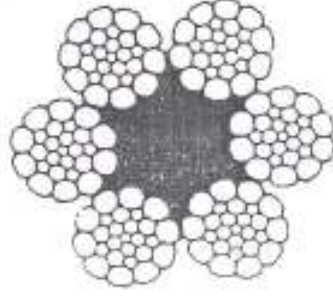
Oval demetli halatlar, demet kesiti yaklaşık olarak oval biçiminde olan halatlardır. Üçgen demetli halatlarda olduğu gibi, yüksek yüzey basınçlarında çalışan halatlarda basma yüzeyini arttırmak için Şekil 3.14’de gösterilen oval demetli halatlar kullanılır [18,20].



Şekil 3.14 : Oval demetli halat [21].

3.3.5 Kompakt halatlar

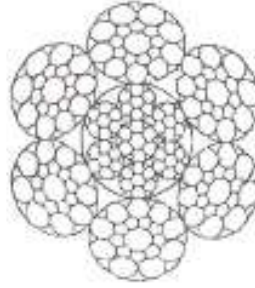
Kompakt halatlar aynı çaptaki standart halatlara göre daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olup, bu halatların üzerinden geçtiği makara yüzeylerine daha geniş bir alanda temas etmesi nedeniyle aşınması daha az kullanım ömrü ise daha fazladır. Şekil 3.15’de örnek bir kompakt halat kesiti gösterilmiştir [25].



Şekil 3.15 : Kompakt halat [26].

3.3.6 Preslenmiş (swaged) halatlar

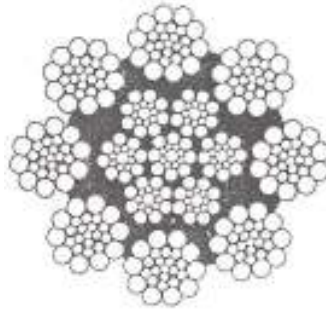
Preslenmiş (swaged) halatlar, kompakt halatlar gibi makaralara daha geniş temas alanı sağlaması, iç gerilmelerin azaltılması, aynı çaptaki standart halatlardan daha fazla yük kaldırabilmesi ve daha uzun ömürlü olması gibi avantajlara sahiptir. Şekil 3.16’da örnek bir preslenmiş halat kesiti gösterilmiştir [26].



Şekil 3.16 : Preslenmiş (Swaged) halat [26].

3.3.7 Plastik dolgulu halatlar

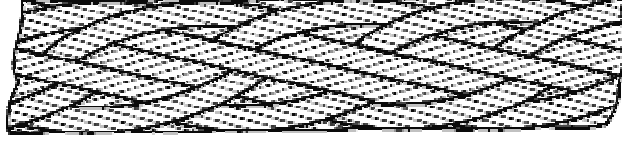
Plastik dolgulu halatlar, halat içinde demetler arasındaki boşlukların plastik ile doldurulduğu halatlar olup bu halatlar özellikle vinçlerde sessiz çalışması, uzun ömürlü olması ve iç tellerin korozyona karşı etkin şekilde korunması gibi avantajlara sahiptir. Şekil 3.17’de örnek bir plastik dolgulu halat kesiti gösterilmiştir [26].



Şekil 3.17 : Plastik dolgulu halat [26].

3.3.8 Örgülü halatlar

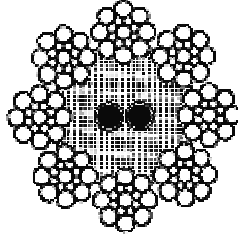
Yuvarlak demetlerin çiftler halinde örülmesiyle oluşan halat çeşidine örgülü halat denir. Şekil 3.18’de örnek bir örgülü halat gösterilmiştir [25].



Şekil 3.18 : Örgülü halat [25].

3.3.9 Elektro-mekanik halatlar

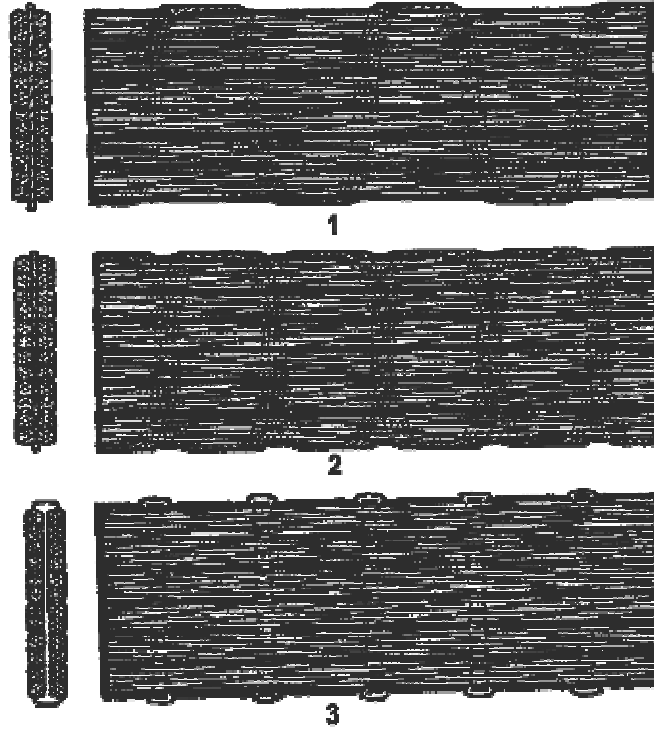
Elektro-mekanik halatlar, elektrik iletkenler içeren demetli veya spiral halatlardır. Şekil 3.19’da elektro-mekanik bir halat kesiti gösterilmiştir [25].



Şekil 3.19 : Elektro-mekanik halat [25].

3.3.10 Yassı halat

Yassı halatlar, her biri dört demetten oluşan birim halatlar topluluğu olarak adlandırılırlar. Genellikle sarımı sağ ve sol olarak değişen 6, 8 veya 10 adet birim halatın yan yana sarılmasıyla ve bağlantı telleriyle veya demetleriyle veya perçinlerle bir arada tutulmasıyla oluşan halatlardır. Şekil 3.20’de farklı bağlantılı yassı halatlara örnek gösterilmiştir [25].



1) Tek bağlantılı 2) Çift bağlantılı 3) Perçinli

Şekil 3.20 : Farklı bağlantılı yassı halatlar [25].

3.4 Tel Halat Kullanım Alanları

Tel halatlar, kolay bükülebilmeleri ve rahat kullanımları nedeniyle yük kaldırma ve taşıma, kuvvet iletimini sağlamak bakımından, çekici eleman olarak madencilikte, petrol kuyularında, vinçlerde, ağır yüklerin taşınmasında, asansörlerde, tramvaylarda, denizcilikte, balıkçılıkta, ormancılıkta, gemi ve yatlarda, telesiyejlerde, genel mühendislik uygulamalarında oldukça yaygın kullanılmaktadırlar. Geniş bir uygulama alanında kullanılan tel halatlar için önemli kullanım alanlarında hangi tip kompozisyonda halatların tercih edildiği ve bu halatlardan beklenen özellikler aşağıda anlatılmıştır.

3.4.1 Vinç halatları

Vinçlerde kullanılan halatlarda,

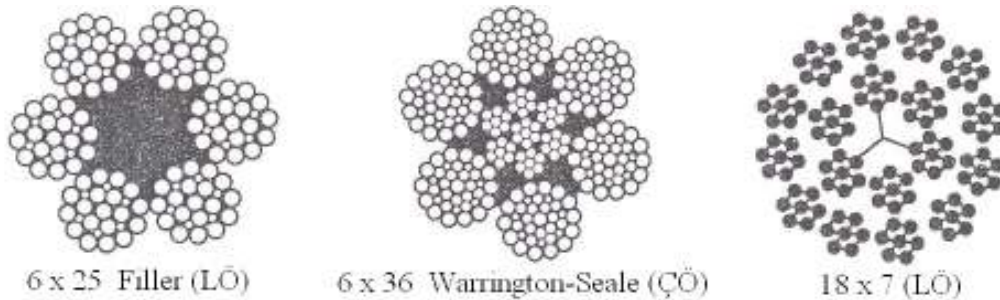
- Yük için gerekli halat taşıma kapasitesi,
- Aşınma dayanımı,
- Yorulma dayanımı,
- Dönme karşı dayanım
- Korozyona karşı dayanım çok önemlidir [26].

3.4.1.1 Vinçlerde kullanılan halat kompozisyonları

Genellikle serbest yükün kaldırma ve indirme işlerinde 18x7 kompozisyonlu lif özlü dönmeyen halatlar, gemi veya kum vinçlerinde ise 6x36 Warrington-Seale lif özlü halatlar kullanılır. Özellikle kargo halatlarında aşınma dirençleri ile çarpma dayanımları çok önemlidir. Bu özellikler korozyondan daha fazla önem arzettiğinde 6x25 lif özlü paralel kompozisyonlu siyah (galvanizlenmemiş) halatlar da kullanılabilir. Gemi güverte vinçlerinde ise genel özellikler 6x36 Warrington-Seale lif özlü ve galvanizli halatların iyi netice verdiği görülmüştür. Şekil 3.21’de vinçlerde kullanılan örnek üç adet halat kesiti gösterilmiştir [26].

3.4.1.2 Vinçlerde kullanılan halatların genel özellikleri

Bu tip halatlar belli aralıklarda temizlenmeli ve yağlanmalıdır. Vinç halatları kullanılmadan önce düşük yükte belli bir süre çalıştırılarak tellerin yerlerine oturmaları sağlanmalıdır. Özellikle dönmeyen (nuflex) halatlarda çarpma ve darbelerden kaçınılmalı ve bu halatlarda kısa boy kullanımlarda kesilen uçlar işlem öncesi mutlaka ve kalıcı bir şekilde bağlanmalıdır [26].



Şekil 3.21 : Vinç halatı örnekleri [26].

3.4.2 Telesiyej halatları

Telesiyejlerde kullanılan halatlarda,

- Aşınma dayanımı,
- Yorulma dayanımı,
- Teknik emniyet kuralları,
- Korozyona karşı dayanım çok önemlidir [26].

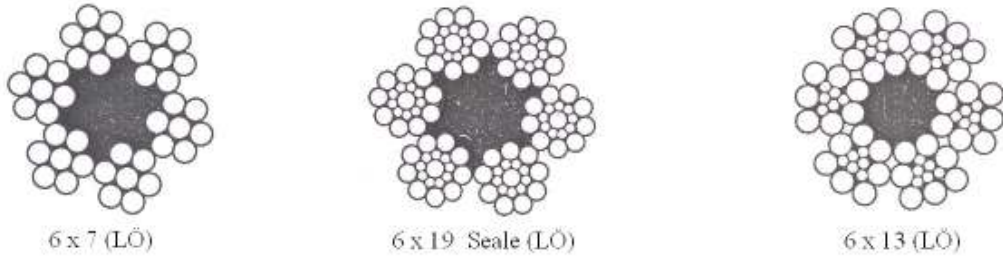
3.4.2.1 Telesiyejlerde kullanılan halat kompozisyonları

Telesiyej halat kompozisyonları 6x7, 6x13 veya 6x19 Seale tipi, tel ve halattaki demet yönlerinin aynı olduğu sızal veya polipropilen özlü düz halatlardır. Müşteri taleplerine bağlı olarak lif özlü, galvanizli veya siyah tel olarak imal edilebilir.

Halatlar galvanizli değilse mutlaka yağlanırlar. Şekil 3.22’de telesiyelerde kullanılan örnek üç adet halat kesiti gösterilmiştir [26].

3.4.2.2 Telesiyelerde kullanılan halatların genel özellikleri

Genel halat bakımları yanında telesiyej halatlarında yük dağılım hesaplamaları çok önemli olup, yapılacak günlük kontrollerde özel bir ilgi gerektirirler. Özellikle çalışılmayan sezon sonrası yapılan işletmeye alma işlemlerinde, tellerde dahili korozyon olup olmadığı dikkatle incelenmelidir. Telesiyelerde halatların geçtiği aksamların, kolaylıkla erişilebilen yerler olmaması nedeniyle, yeni halat kullanım öncesinde bu aksamlarını bakım ve kontrolleri çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır [26].



Şekil 3.22 : Telesiyej halatı örnekleri [26].

3.4.3 Denizcilik halatları

Korozif ortamlarda çalışan denizcilik halatlarında,

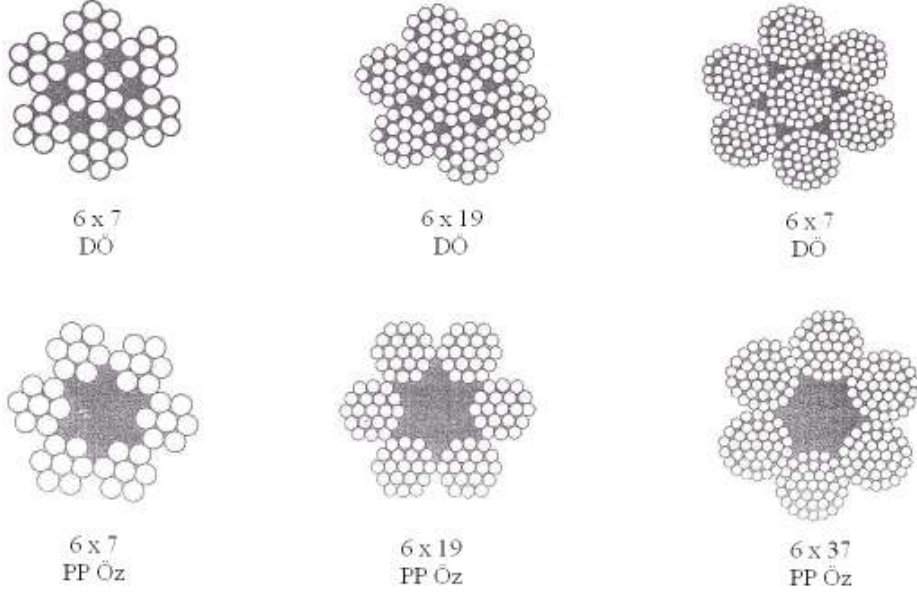
- Tuzlu atmosfer şartlarındaki korozyona dayanım,
- Yorulma dayanımı,
- Kullanım kolaylığı,
- Yüke dayanım özellikleri çok önemlidir [26].

3.4.3.1 Denizcilikte kullanılan halat kompozisyonları

Denizcilik halatları olarak genellikle 6x7, 6x19, 6x24 ve 6x37 kompozisyonlu çelik veya polipropilen özlü halatlar kullanılır. Şekil 3.23’de denizcilikte kullanılan örnek altı adet halat kesiti gösterilmiştir [26].

3.4.3.2 Denizcilikte kullanılan halatların genel özellikleri

Denizcilik halatları genelde çapraz örümlü olup, galvanizli ve yağsız olarak üretilirler. Halat yağlamasında kullanılacak yağın veya gresin korozif çalışma ortamına uygun olması gereklidir. Genelde halatlar, galvaniz kaplamaları yüksek polipropilen özlü ve preformeli olup, minimum tel mukavemetleri 160 veya 180 kg/mm² olacak şekilde imal edilirler [26].



Şekil 3.23 : Denizcilik halatı örnekleri [26].

3.4.4 Madencilik halatları

Ağır hizmet amaçlı olarak çalışan madencilik halatlarında,

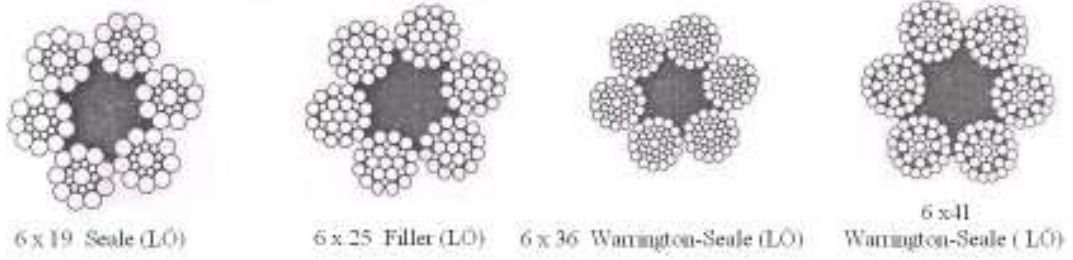
- Kopma yükü,
- Aşınma dayanımı,
- Eğilme dayanımı,
- Çarpma dayanımı,
- Korozyon dayanımı özellikleri çok önemlidir [26].

3.4.4.1 Madencilikte kullanılan halat kompozisyonları

Genellikle demetteki tellerin aynı adımda olduğu paralel telli ve çelik özlü kompozisyonlar tercih edilir. Bu kompozisyonlar arasında 6x19 Seale, 6x36 Warrington-Seale, 6x25 Filler ve 6x41 Warrington-Seale kompozisyonlu halatlar sayılabilir. Şekil 3.24'de madencilikte kullanılan örnek dört adet halat kesiti gösterilmiştir [26].

3.4.4.2 Madencilikte kullanılan halatların genel özellikleri

Halat telleri en az 180 kgf/mm^2 veya esnekliğin istendiği durumlarda ise en az 160 kgf/mm^2 mukavemet değerinde olacak şekilde yapılır. Halatlar yağlı-kaplamasız veya galvanizli olarak imal edilebilirler. Esneklik veya ezme mukavemetinin beraberce düşünüldüğü ve aynı derecede önemli olduğu durumlarda 8 demetli halatlar kullanılabilir [26].



Şekil 3.24 : Madencilik halatı örnekleri [26].

3.4.5 Asansör halatları

İnsan taşıyamaya yönelik asansör halatlarında,

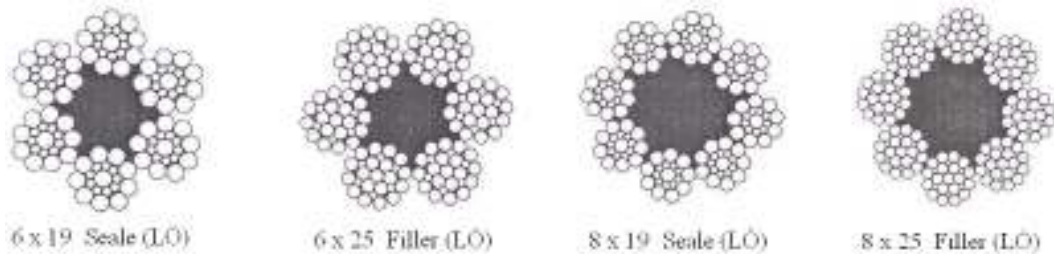
- Yorulma dayanımı,
- Aşınma dayanımı,
- Sinir olmaması,
- Çarpma dayanımı,
- Uygun preforme özellikleri çok önemlidir [26].

3.4.5.1 Asansörlerde kullanılan halat kompozisyonları

Genellikle bu amaca uygun olarak Seale veya Filler kompozisyonlu, aynı adımlı paralel telli ve lif özlü halatlar tercih edilir. Bunlar arasında 6x19 Seale, 6x25 Filler, 8x19 Seale veya 8x25 Filler kompozisyonlu halatlar sayılabilir. Şekil 3.25’de asansörlerde kullanılan örnek dört adet halat kesiti gösterilmiştir [26].

3.4.5.2 Asansörlerde kullanılan halatların genel özellikleri

Bu halatlar esnek ve dış telleri kalın olup, aşınma dayanımları iyidir. İnsan taşımalarında kullanılan asansör halatlarında emniyet katsayısı en az 12 olacak şekilde halat seçilmesi tavsiye edilir. Tel minimum kopma mukavemetleri en az 140, 160 veya 180 kg/mm² olabilir. Özel asansör halatlarında farklı iki mukavemet özelliklerinde teller kullanılabilir. Halatlar yağlanmalı, kullanım esnasında sık sık kontrol edilmeli ve kontroller kayıt altına alınmalıdır [26].



Şekil 3.25 : Asansör halatı örnekleri [26].

3.4.6 Balıkçılık halatları

Korozif ortamda çalışan balıkçılık halatlarında,

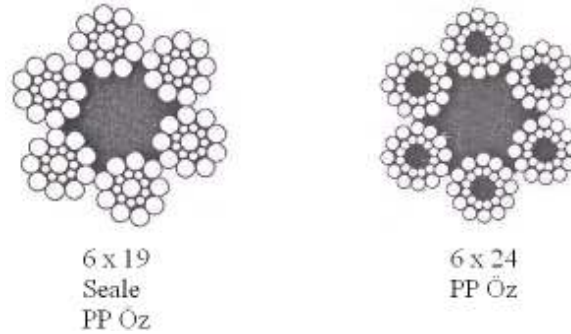
- Deniz suyuna dayanım,
- Modern balıkçılıkta önemli olan yüksek gerilmelere dayanım,
- Kullanım kolaylığı
- Aşınma dayanımı çok önemlidir [26].

3.4.6.1 Balıkçılıkta kullanılan halat kompozisyonları

Genellikle balıkçı halatları olarak 6x7 Standart, 6x19 Seale ve 6x24 kompozisyonlu ve polipropilen özlü halatlar kullanılır. Şekil 3.26'da balıkçılıkta kullanılan örnek iki adet halat kesiti gösterilmiştir [26].

3.4.6.2 Balıkçılıkta kullanılan halatların genel özellikleri

Korozyona dayanım açısından halat telleri sıcak daldırma yöntemi ile çinko kaplanmıştır. Korozyona dayanımı arttırmak amacıyla deniz suyu atmosferine dayanımlı özel greslerle, örneğin asfalt bazlı gresler ile, yağlanabilirler. Yağlama adezyonunun, başka bir deyişle yağın telleri tutma özelliğinin yüksek ve halat özlerinin polipropilen olması, korozyon dayanımı açısından tercih edilir. Tel mukavemetleri genellikle en az 180 kg/mm^2 olacak şekilde imal edilirler. Bazı özel balıkçılık halatlarında farklı mukavemet özelliklerinde teller kullanılabilir [26].



Şekil 3.26 : Balıkçılık halatı örnekleri [26].

Yukarıda çeşitli uygulamalarda kullanılan tel halatlar hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı şekilde sıklıkla tercih edilen halat grupları ve bunlara ait genel özellikler bir araya getirilebilir. Çizelge 3.1'de halat gruplarına göre genel özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Halat gruplarına göre genel özellikler [26].

Halat Grubu	Genel Özellikler
6 x 7	Kalın tellerinden dolayı “kaba örüm” şeklinde nitelendirilebilir. Aşınma yıpranmaların önemli olduğu sürtünmeli yerlerde tercih edilirler. Sert halat grubudur ve büyük çaplı makara kullanımı gerektirir.
6 x 19	Birçok yerde kullanılır. Esneklik ve aynı zamanda aşınmaya karşı dayanımları yüksektir.
6 x 25 Filler (Dolgu Teli)	6x19 alt grubudur. Dolgu telleri iyi bir destekleme görevi yapar ve demetlerin daha dengeli kalmasını sağlar. Esneklik ve aşınma dirençleri iyidir.
6 x 19 Warrington	6x19 alt grubudur. 6x25 Filler’den daha az ancak 6x21 Filler’den daha esnektir.
6 x 21 Filler (Dolgu Teli)	6x19 alt grubundandır. Warrington grubuna göre daha az esnek, ancak aşınma direnci daha fazladır. Diğer yönden 6x19 Seale grubundan daha esnek, ancak daha az aşınma dirençlidir.
6 x 26	6x19 grubundadır. 6x19 aşınma dayanımı ile 6x19-6x37 grupları arasında bir esneklik özelliği gösterirler.
Seale Kompozisyonlar	6x19 grubunda en az esnekliğe sahip halatlardır. Aşınma ve ezilme mukavemetleri ile sağlamlıkları mükemmeldir.
6 x 19 Seale	En tanınmış Seale tipi halatlardır. Aşınmaya karşı dayanımları 6x21 Seale’lere göre biraz daha fazladır.
6 x 21 Seale	Esneklik ve aşınma dayanımları hemen hemen aynıdır. Sağlam ve ezilme dayanımları iyidir.
6 x 37	Esneklikleri çok iyidir. Aşınma dayanımları 6x19 grubundan daha azdır.
Dönmez Halatlar (8 x 19 S, 8 x 25 F) (19 x 7, 34 x 7 vb.)	Yüklendiklerinde dönme eğilimleri, geleneksel halatlara göre daha azdır. Yükleme kapasiteleri 6x19 ve 6x37 grubu halatlara göre daha düşüktür.

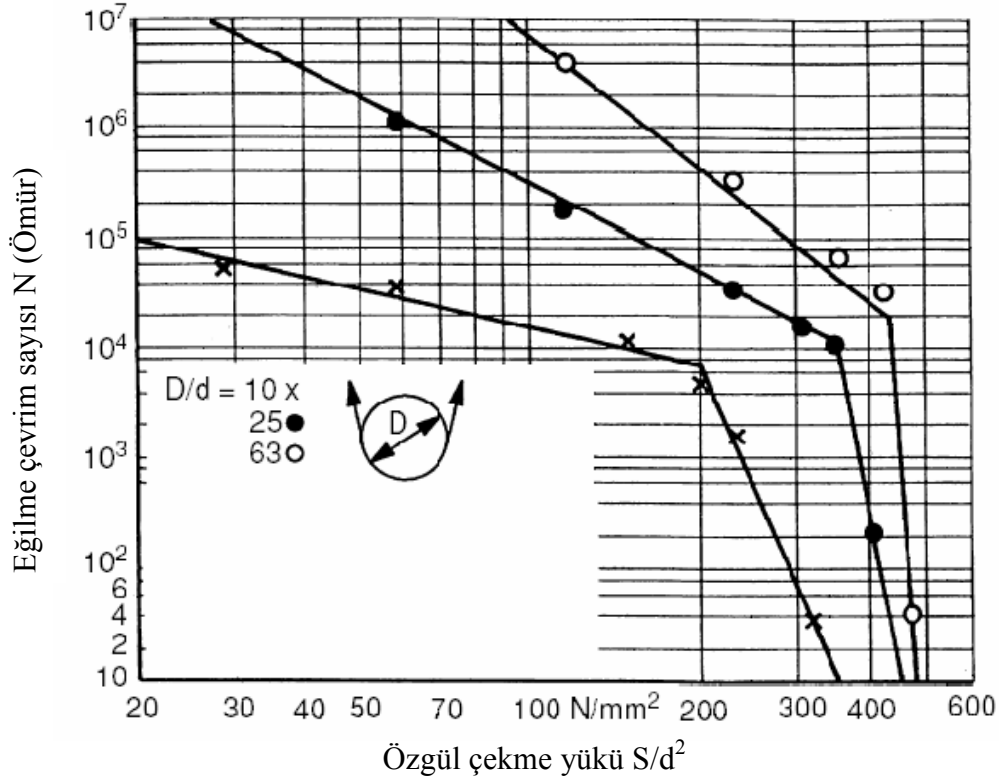
4. HALAT ÖMRÜNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Çelik tel halatlar, kaldırma ve iletim makinelerinin en yüksek derecede zorlanan önemli elemanlarından birisidir. Değişik çalışma şartları, çeşitli tipte halatların yapımını zorunlu kılmaktadır. Halatlardan beklenen ömür sürelerince görevlerini emniyetli bir şekilde yapabilmeleri için işletme şartlarına en uygun halatın kullanılması ve halat ömrüne etki eden faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Böylelikle hem halat imalatı sırasında hem de halatların çalıştırılması sırasında halatların işletmeden alınma sürelerinin azalmasının nedenleri imalatçı, kullanıcı veya operatör tarafından bilinmesi sağlanacaktır. Ayrıca, düzgün ve emniyetli bir çalışmanın sürdürülebilmesi için halat periyodik bakım ve kontrollerinin zamanında yapılması ve halatın kopmadan önce değiştirilme kriterlerinin bilinmesi gerekmektedir. Mevcut koşullara göre halat davranışları ancak deney yapılarak tayin edilebilir. Bu bölümde halatın çalışma ömrüne etki eden faktörler, daha önce yapılan deneysel çalışmaların da sonuçlarından yararlanılarak ve halatların çalışmaları sırasında meydana gelen hasarlar (aşınma, dış, iç tel kırılmaları vs.) göz önüne alınmaksızın anlatılacaktır. Halatlarda işletme esnasında zamanla oluşan hasar tiplerini ve halatlar için emniyetli çalışmanın bittiği sınır değerlerini belirten değiştirme kriterleri ileriki bölümde anlatılacaktır [20].

4.1 Çekme Yüğü ve Çap Oranı (D/d)

Halat ömrüne etki eden en önemli parametrelerin başında çekme yüğü (S) ve D/d (makara çapının halat çapına oranı) oranı gelmektedir. Bir halatın ömrü, uygulanan çekme yükünün karesi ile ters orantılıdır. Ayrıca D/d oranının artmasıyla halat ömrü artmaktadır. Bu nedenle, optimum bir makara ve halat çapı, istenen ömür süreleri göz önünde tutularak seçilmelidir. Yazar [15], yaptığı çalışmalarda çekme yüğü ile D/d oranının halat ömrüne etkisini tek bir şekilde gösterecek tarzda ifade etmiştir. Şekil 4.1'de 16 mm çapında anma dayanımı 1650 N/mm^2 olan 8x25 Filler bir halat için

elde edilmiş halat ömrünün D/d çap oranı ve özgül çekme yükü (S/d^2) ile ilişkisi gösterilmektedir.



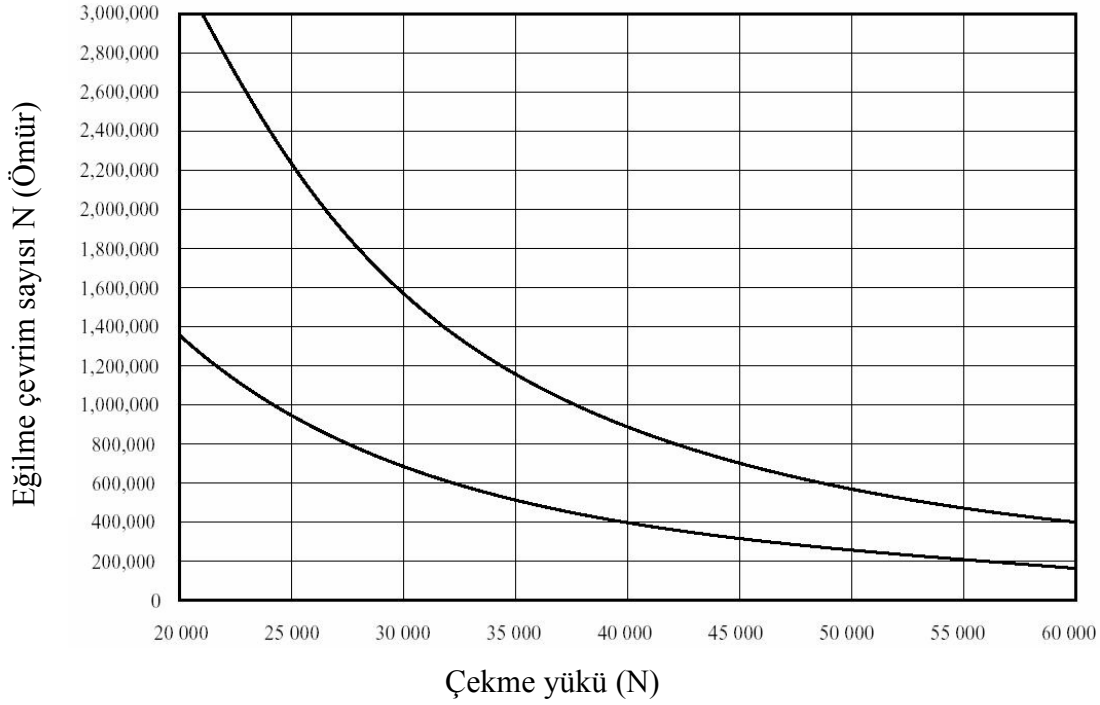
Şekil 4.1 : Bir Filler halat ömrünün D/d oranı ve S/d^2 oranı ile değişimi [15].

Şekil 4.1’de çekme yükü yerine özgül çekme yükü ifadesi kullanılmıştır. Bunun nedeni yazar [15], halat ömrünün D/d çap oranı ve çekme yükünün değişimiyle ne oranda değiştiğinin tespitini deney yapmaksızın yaklaşık olarak kestirebilmek için oluşturduğu eşitlikte çekme yükünü özgül çekme yükü olarak göz önünde bulundurduğunda geçerli sonuçlara ulaştığını düşündüğü için kullanmıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sabit özgül çekme yükünde D/d çap oranı artmasıyla halat ömrü artmakta ve özgül çekme yükünün artmasıyla aynı D/d çap oranı için halat ömrü azalmaktadır. Bu azalma kendini belli bir özgül çekme yükü değerinden sonra şiddetle kendini göstermektedir. Bu durum özgül çekme yükünün sınır değerini vermektedir [15]. Çizelge 4.1’de halat kompozisyonuna göre önerilen ve minimum D/d çap oranları verilmiştir [19].

Çizelge 4.1 : Halat kompozisyonuna göre önerilen D/d çap oranları [19].

Kompozisyon	Önerilen D/d çap oranı	Minimum D/d çap oranı
6 x 7	72	42
19 x 7 veya 18 x 7 dönme dirençli	51	34
6 x 19 Seale	51	34
6 x 21 Filler	45	30
6 x 25 Filler	39	26
6 x 31 Warrington-Seale	39	26
6 x 36 Warrington-Seale	35	23
8 x 19 Seale	41	27
8 x 25 Filler	32	21
6 x 41 Warrington-Seale	32	21
6 x 42 Filler	21	14

Halat çekme yükünün (S) halat ömrüne etkisini inceleyen yazar [4], Feyrer'in geliştirdiği halat ömür denklemlerini kullanarak yaptığı bilgisayar programıyla özellikleri bilinen bir halat için halat ömrünün çekme yüküyle değişimini tespit etmiştir. 30 mm çapında, 1770 N/mm^2 anma dayanımında, 40000 N çekme yüküne maruz, en ağır şekilde gerinen eğilme bölgesinin uzunluğunun 20000 mm olduğu ve 600 mm çapında makaranın kullanılması durumunda halatın işletmeden alınma kriterlerine eriştiğindeki ömrünün 400000 eğilme çevrimi olduğunu ve halatın tümünden koptuğu andaki ömrünün ise 900000 eğilme çevrimi olduğunu kestirmişlerdir. Böylelikle farklı çekme yükleri ve diğer özellikleri yukarıdaki gibi olan bir halat için halat ömür-çekme yükü eğrilerini elde etmişlerdir. Şekil 4.2'de halat ömrü ile halat çekme yükü arasındaki ilişki gösterilmektedir [4]. Şekil 4.2'de üstteki eğri halatın tümünden kopması durumu göz önünde bulundurularak elde edilmiş ve alttaki eğri ise halatın işletmeden alınma kriterlerine erişme durumu göz önünde bulundurulmasıyla elde edilmiştir.

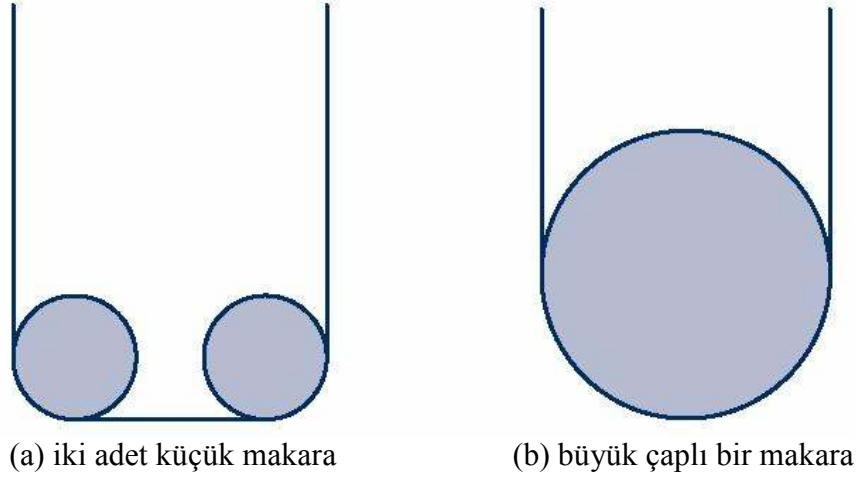


Şekil 4.2 : Halat ömrünün çekme yükü ile değişimi [4].

4.2 Eğilme

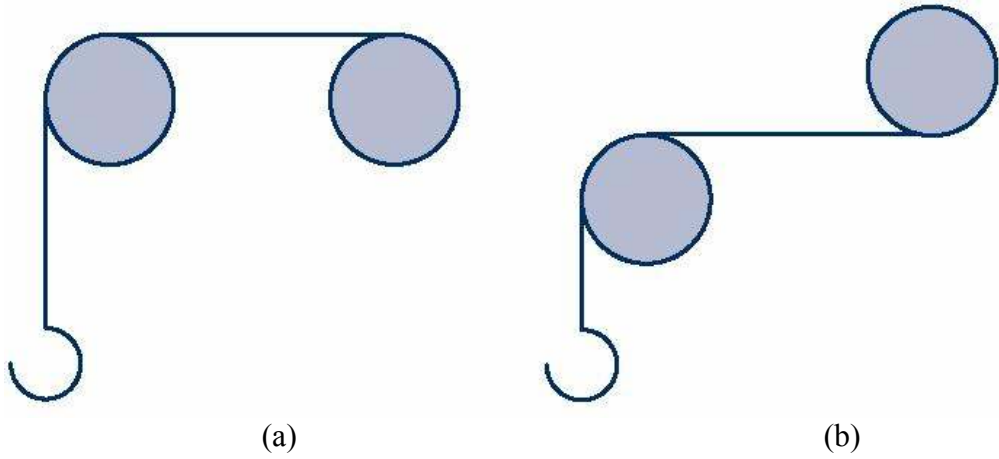
Halatın düz konumdan eğik konuma ve tekrar düz konuma gelmesindeki değişimlerin tamamına bir eğilme değişmesi denir. Bir halat parçası bir çalışma periyodu esnasında ne kadar çok eğilme değişmesi ile etkilenirse ömrü o kadar azalır [18].

Sıklıkla, halatlar gereksiz eğilme yorulmasına maruzdurlar. Bir örnek olarak aynı koşullar altında sadece kren bloğu farklı olan iki sistemin yorulma ömrünü karşılaştırdığımızda, Şekil 4.3a gösteriminde kren bloğunda iki adet küçük makara mevcuttur ve her bir kaldırma işleminde halat kren bloğundan geçerek iki kez eğilmekte, Şekil 4.3b gösteriminde ise büyük çaplı bir makaradan oluşmuş bir kren bloğu vardır ve halat buradan bir kez geçerek eğilmektedir. Bu durumda Şekil 4.3b'deki kren bloğundan geçen halatın ömrü iki katına çıkmaktadır. Ayrıca, Şekil 4.3b'deki kanca bloğundaki makara çapı Şekil 4.3a'dakilerden 2.5 kat büyük olduğu için, makara çapının artmasının da halat ömrüne etkisi göz önünde bulundurulduğunda halat ömrü Şekil 4.3a'ya göre 18 kat arttırılması sağlanabilecektir [27].



Şekil 4.3 : 2 çeşit kren bloğu örneği [27].

Makara veya tambur grubunda çalışan halatın aynı yönde veya ters yönde eğilmesi de halat ömrünü büyük ölçüde etkiler [18]. Genel olarak, bir ters yönde eğilme, halatı, düz bir eğilmeye göre 2 ila 7 kat daha fazla yormaktadır. Şekil 4.4a’da düz bir şekilde eğilen bir halat, Şekil 4.4b’deki gibi ters yönde eğilen bir halata göre 1.5 ila 4 kat arasında daha uzun ömür süreleri sağlamasına neden olmaktadır. Sonuç olarak ters yönde eğilen bir halatın işletme ömrü makara çaplarının arttırılmasıyla veya çekme yükünün azaltılmasıyla arttırılabilir [27].



Şekil 4.4 : Düz (a) ve ters yönde (b) eğilen kren blokları.

4.3 Tel Anma Mukavemeti

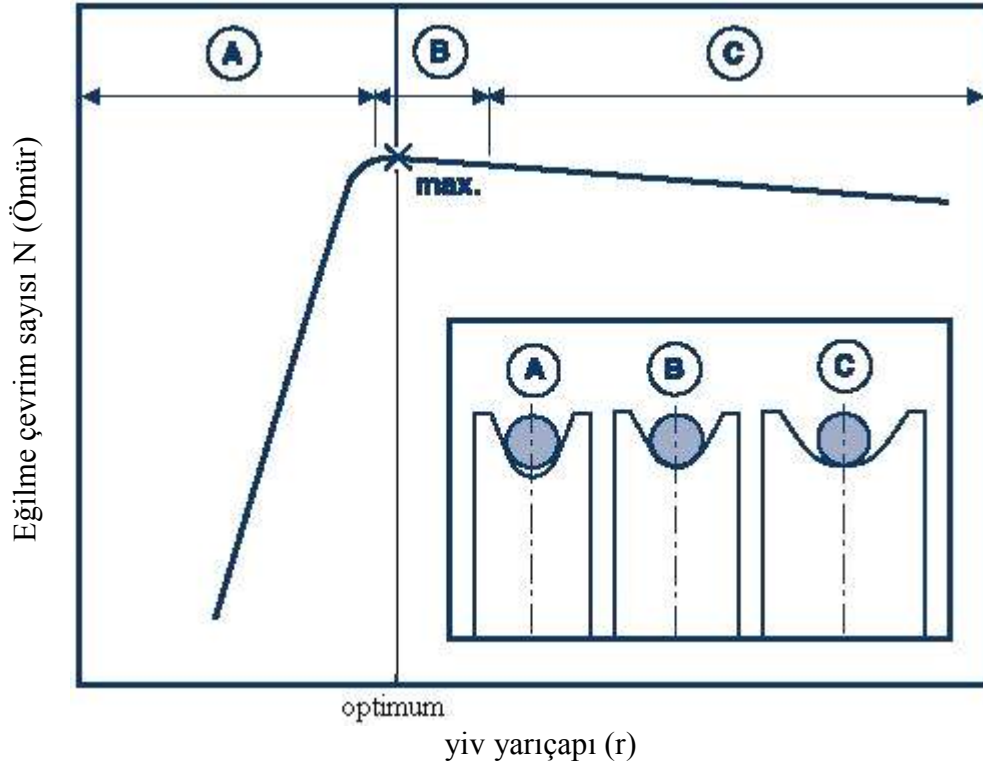
Aynı yük ve halat çapında tel mukavemetinin 1370 N/mm^2 den 1570 N/mm^2 ye arttırılmasıyla kopmaya karşı hesapsal emniyet uygun bir şekilde büyür fakat halat ömründe artış çok azdır. Tel mukavemetinin daha da arttırılması (1570 N/mm^2 den

1770 N/mm² ye) halinde bu hesapsal emniyetin artışı daha da çoktur. Daha yüksek tel mukavemetlerinde ise (1960 N/mm²) halat ömrünün azaldığı tespit edilmiştir [28].

4.4 Halat Yuvası Şekli

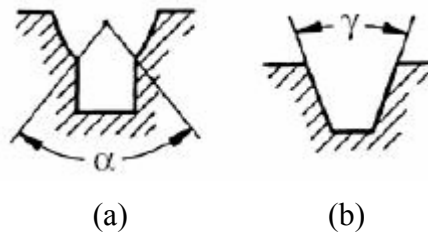
Halatın tambur veya makara yivine oturması ne kadar iyi olursa, halat ömrü de o kadar uzun olur. Yiv dibi yarıçapı (r) halat yarıçapından daha büyük olduğu takdirde halat az sayıda noktalarda yive temas edeceğinden yüzey basıncı yüksek olur ve bunun sonucu halat ezilir ve başlangıçtaki yuvarlak halat kesiti oval bir kesit şeklini alır. Yiv şekli yuvarlak halat kesitine ne kadar fazla yaklaşırsa halat zorlanmaları da o oranda azalır ve halat ömrü artar [28].

Halat ömrü r/d oranının artmasıyla düşmektedir (d , halat çapıdır). Halat ömrü, makara veya tambur yiv yarıçapının bir fonksiyonu ile değişmektedir ve en uzun halat ömrüne $r = 0.53d$ oranında erişilmektedir. Şekil 4.5’de yiv şeklinin yuvarlak olduğu durumdaki halat ömrünün yiv yarıçapının artmasıyla ilişkisi gösterilmektedir. Burada B, tam olarak $r = 0.53d$ oranını veren yiv dibi yarıçapı değerinde bir yiv geometrisi ifade etmektedir. A’da bu oran daha düşük C’de ise daha büyüktür. Şekil 4.5’den de görüldüğü gibi halat ömrü $r = 0.53d$ oranı sağlandığında en yüksektir ve yiv dibi yarıçapı bu orana göre arttıkça veya azaldıkça halat ömrü düşmektedir [24].



Şekil 4.5 : Halat ömrünün yiv dibi yarıçapı ile değişimi [24].

Tambur veya makaralarda açılan yuvarlak yivler kama yivlerden veya tahrik kasnaklarında görülen dibi boşaltılmış yivlerden daha uygundur. Kama yivlerde kama açısı (γ) azaldıkça, dibi boşaltılmış yivlerde boşaltma açısı (α) arttıkça halatın ömrü düşer. Şekil 4.6a'da dibi boşaltılmış bir yiv geometrisi ve Şekil 4.6b'de kama yiv geometrisi gösterilmektedir [28].

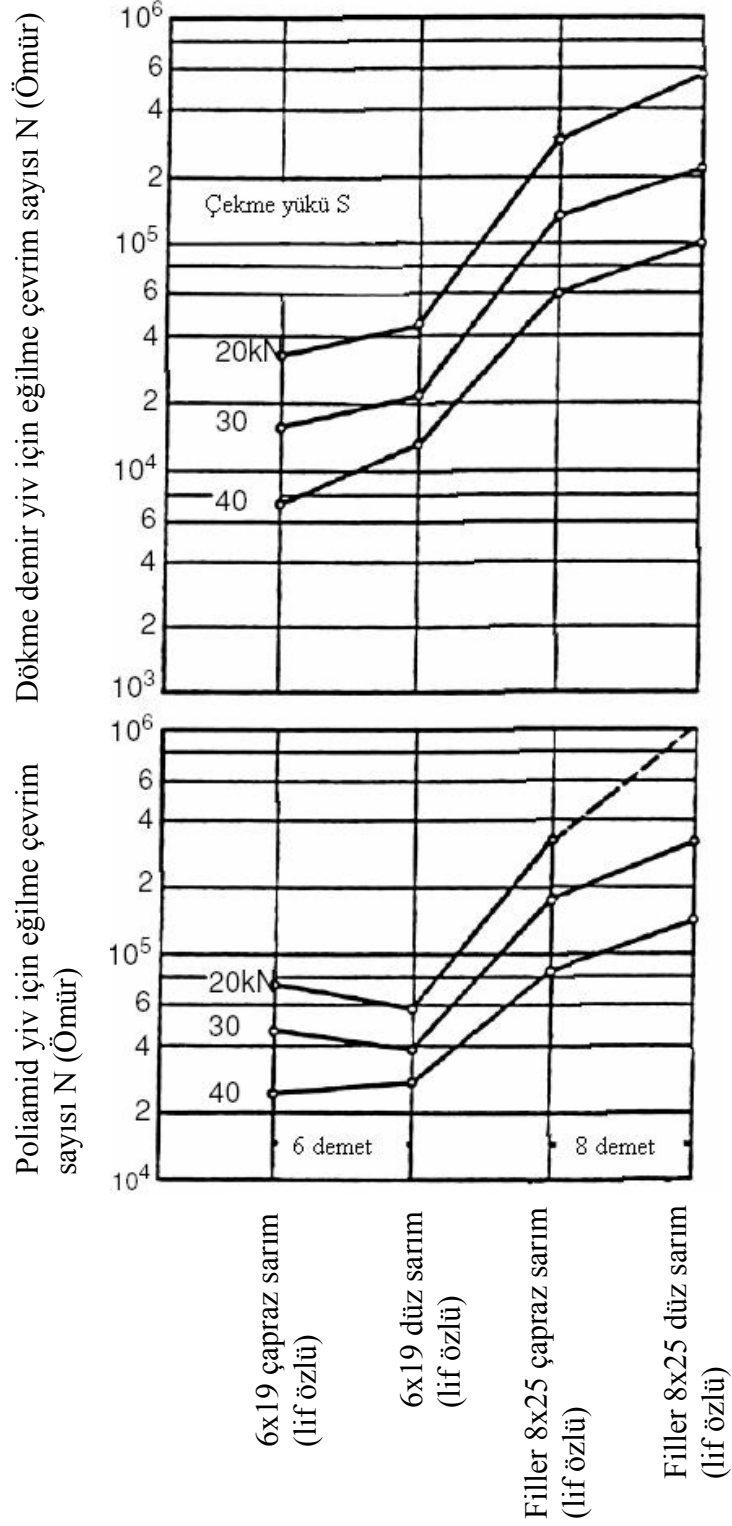


Şekil 4.6 : Dibi boşaltılmış yiv (a) ve kama (b) yiv.

4.5 Halat Yuvası Malzemesi

Genel olarak makara veya tambur ve yivleri çelik veya dökme demirden yapılırlar. Bazı durumlarda çelik yiv malzemesi sertleştirilir. Bu sertleştirme işlemi halat ömrünü düşürmez aksine artırır. Bunun nedeni aşınma nedeniyle yiv geometrisinin değişmesinin engellenmesidir [15].

Makara veya tambur yivleri yumuşak bir malzemeden (kk elastisite modülüne sahip malzeme) yapıldığında, yine halat ömrünün arttığı tespit edilmiştir. Plastik veya dökme demir yiv malzemesinin kullanıldığı, eğilme yorulmasına maruz bir halatta ömür eğrileri yapılan karşılaştırmalı deneyler neticesinde saptanmıştır. Şekil 4.7’de hem plastik hem de dökme demir yiv malzemesinin kullanıldığı durumdaki halat ömür eğrileri gösterilmiştir. 4 farklı özellikteki halatların, 3 farklı çekme yükü uygulandığı durumda yapılan eğilme yorulma deneyine göre aynı özellikteki bir halat için aynı çekme yükü uygulandığında poliamid yiv malzemesinin kullanılması durumunda halat ömrünün arttığı görülmektedir. Daha yumuşak (daha düşük elastisite modüllü) bir poliüretan yiv malzemesi kullanılması durumunda ise bu tip malzemelere göre daha sert bir poliamid yiv malzemesine göre daha yüksek bir halat ömrü bekleme eğilimi vardır [15].

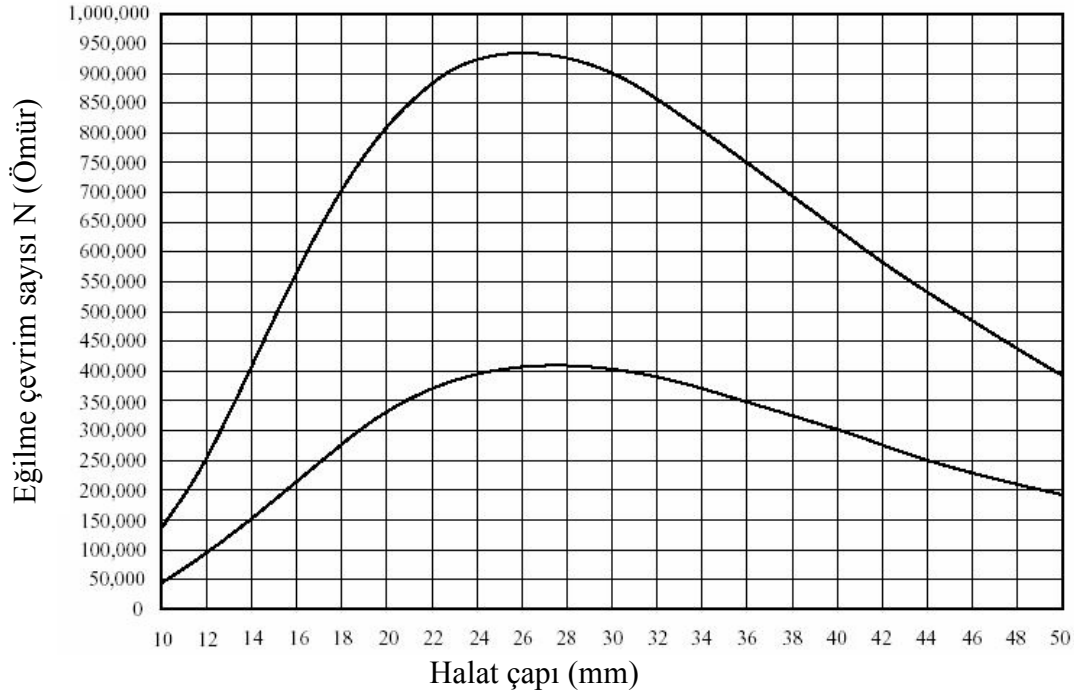


Şekil 4.7 : Farklı yiv malzemelerinin ömre etkisi [15].

4.6 Halat Çapı

Bölüm 4.1’de bahsedilen ve Şekil 4.2’de çekme yükünün etkileri incelenen halat türünü ele aldığımızda halat çapının artmasıyla halat ömrünün bir müddet arttığı

fakat belli bir maksimum değerden sonra düştüğü saptanmıştır. Şekil 4.8’de belirli özellikteki bir halat için ifade edilen halat çapı-halat ömür ilişkisi gösterilmiştir [4].



Şekil 4.8 : Farklı çaptaki halatların ömür grafiği [4].

Şekil 4.8’de üstteki eğri halatın tümünden kopması durumu göz önünde bulundurularak elde edilmiş ve alttaki eğri ise halatın işletmeden alınma kriterlerine erişme durumu göz önünde bulundurulmasıyla elde edilmiştir. Halat çapının artmasıyla halat ömrünün bir müddet arttığı fakat belli bir maksimum değerden sonra düştüğü saptanmıştır. İşte halat ömrünün maksimum olduğu halat çapına en uygun halat çapı denir. Şekil 4.8’de da görüldüğü gibi, halat çapı 10 mm olduğunda işletmeden alınma kriteri göz önünde bulundurulduğunda halat ömrü 50000 çevrim olmaktadır. Aslına bakıldığında bu halatın sarıldığı makara vs. elemanın çapı 600 mm ve D/d çap oranı ise 60’dır. Yani çok uygun bir çap oranı mevcuttur fakat 40000 N gibi yüksek bir çekme yükünün halatta neden olduğu çekme gerilmesi göz önünde bulundurulduğunda 10 mm halat çapı çok ince kalmaktadır. Halat çapı 20 mm olduğunda halat ömrü ise alt eğri için 340000 çevrim olmakta ve bu değer 10 mm halat için tespit edilen ömür değerinin yaklaşık 7 katıdır. Elbette D/d çap oranı 30’a düşmüştür fakat halatın bu çekme yüküne dayandığı kesit alanı 4 kat artmıştır. Halat çapını yine iki kat arttırdığımızda bu sefer 40 mm halat çapı için ilave bir ömür artışı gerçekleşmemektedir. Halat ömrü 300000 çevrim olmaktadır. 20 mm halat çapındaki ömür değerine ulaşamamıştır. Bu çap emniyet faktörü göz önünde

bulundurulduğunda 10 mm halat çapı kullanılması durumuna göre 16 kat emniyetlidir. Fakat bu durumda D/d çap oranı oldukça düştüğü de unutulmamalıdır. ($D/d = 15$)

Şüphesiz, Şekil 4.8’de sol bölümdeki halat çapları için mevcut çekme yükü çok büyük fakat eğilme gerilmesi küçük olmakta, sağ bölümdeki halat çapları için D/d çap oranı çok küçük olmakta fakat halatın kesit alanına göre çekme yükü küçük olmaktadır. Her iki bölümün ortasında maksimum halat ömrünü veren halat çapında hasar yaratan çekme yükü ve eğilme gerilmesi etkisi minimumdur. Buradaki halat çapı da en uygun halat çapıdır. Bu tip bir halat kompozisyonu için en uygun çap 27 mm ve halat ömrü de 410000 çevrimdir [4].

4.7 Halat Teli Kalınlığı

Makara veya tambura sarılan halat telinde meydana gelen teorik eğilme gerilmesi $\sigma_e = \delta.E/D$ şeklindedir. Burada δ , tel çapı, D , tambur veya makara çapı, E ise halat teli malzemesinin elastiklik modülüdür. Ancak deneyler göstermiştir ki kalın telli halat, aynı makara veya tambur çapında, ince telli halatlardan daha elverişli olmaktadır. Bu sonuca göre, ince tellerin yivde ezilme ve basınç gibi dış zorlanmalara karşı kalın tellere nazaran daha çok hassastırlar. Yiv yarıçapı büyüdükçe, yani halatın yive oturması kötüleştikçe, kalın telli halatların üstünlüğü daha çok kendini gösterir. Orta devir sayıları ve orta tel kalınlıkları kaldırma makineleri yapımı için en uygun olanıdır [18,28].

4.8 Halat Türü

Denemelerde ve işletmede genellikle düz sarımlı halatların çapraz sarımlı halatlardan daha üstün olduğu görülmüştür. Ancak, kama şekilli ve dibi boşaltılmış yivler bir istisna teşkil etmektedir. Çünkü bu tip yivlerde çapraz sarımlı halat düz sarımlı halattan daha iyi sonuç vermektedir. Tellerin demet dahilinde iyi ve yeteri derecede destek bulmasının önemi vardır. Bu bakımdan aynı sarım uzunluğuna sahip halatlar (paralel sarımlı halatlar) aynı sarım açılı halatlardan daha uygundur. Çünkü aynı sarım açısında aynı sarım uzunluğuna nazaran çekme gerilmesi teorik olarak bütün tellere eşit dağılsa da aynı sarım uzunluğunda bir demetin iç ve dış tel katları arasındaki tellerin çaprazlaşmasından bahsedilemez. Çünkü dış teller uzunlukları

boyunca iç katların yivlerine sıkıca temas ederek otururlar. Böylece çaprazlaşma noktalarında yüksek yüzey basınçları ve yerel eğilme zorlanmaları da ortadan kalkmaktadır. Paralel sarımlı olarak imal edilen halatlar bu bakımdan aynı sarım açılı halatlardan çoğu durumda daha uzun ömürlüdür. Genellikle dönme dirençli halatlar normal halatlardan daha az ömre sahiptir [28].

Halata sarılan tellerdeki iç gerilmelerin de halatın ömrü üzerinde etkisi vardır. Bir halatın kesilmesinde bu iç gerilmeler hemen kendini gösterir. Bu durumda teller süpürge gibi hemen dışarı fırlar. Uygun imalat metotlarıyla (preforming) bu gerilmeler ortadan kaldırılırsa ileride halat içinde nasıl duracaksa o şekilde demete bir ön şekillendirme verilirse kesilme halinde halatın telleri kurtulan yay gibi dışarı fırlamaz. Bu gerilimsiz halatlar genellikle normal halatlardan daha uzun ömürlüdür [28].

4.9 Yağlama, İşletmede Tekrar Yağlama

Halatların iyi bir şekilde yağlanmasının halat ömrünü arttırır. Yağlanmamış bir halatın yapılan eğilme testindeki ömrü iyi bir şekilde yağlanmış bir halatın ömrünün ancak %15-%20'sine ulaştığı tespit edilmiştir [15]. Halatlar işletme sırasında yük kaldırılırken veya indirilirken makara veya tamburlarda eğilirler. Bu nedenle halatı meydana getiren teller ve demetler birbirlerine göre göreceli hareket yaparlar. Halatlarda kullanılan yağlayıcıların görevi teller ve demetler arasındaki ve halatla makara arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır. Bu da aşınmayı azaltır. Yağlayıcıların çok düşük oranda halatı korozyona karşı koruma özellikleri de vardır. Genel olarak yağlayıcılar nüfuz eden (penetrating) ve astar (coating) yağları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Nüfuz eden yağlar, arkasında her bir demeti korumak ve yağlamak için kalın bir yağlayıcı film bırakan, yağlayıcıyı tel halatın özüne taşıyan ve sonrasında buharlaşan bir petrol solventi içerirler. Astar yağları ise halat yüzeyine düşük oranda nüfuz ederek halat dış kısmını nemden koruyan ve halatın, makara veya tambur ile temas ettiği bölgelerde aşınma ve sürtünmeden kaynaklı korozyonu azaltırlar. Her iki tip yağlayıcıda kullanılmaktadır. Fakat çoğu halatın çalışma sırasında içeriden hasara uğraması nedeniyle halat özünün yeteri derecede yağlandığından emin olunması gereklidir. Tel halat yağlayıcıları parafin yağı, asfalt bazlı yağ, gres, petrol yağları veya bitkisel yağlar olabilir. Tel halatlar imalat esnasında yağlanırlar. Eğer lif özlü bir halat imal edilecekse, halat özü mineral veya parafin yağı ile yağlanmalıdır.

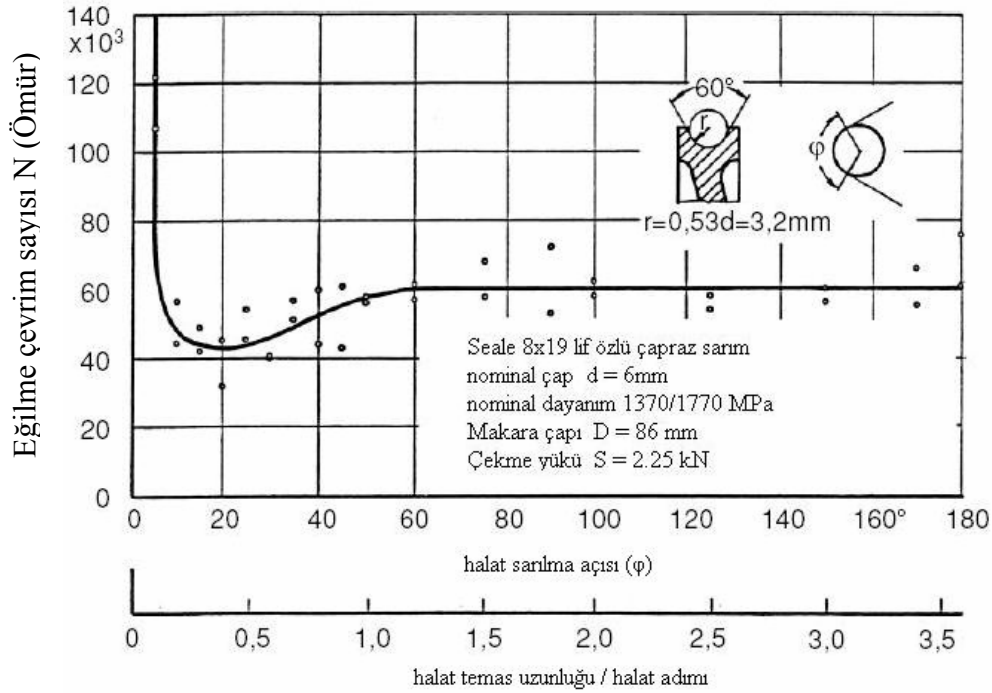
Burada halat özü emerek bir nevi depo görevi görecek ve işletmede halatın daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Eğer çelik özlü bir halat imal edilecekse, yağlayıcı (yağ veya gres tipi) tellerin özü oluşturmak üzere sarılmasını sağlayan kalıp önünden pompalanarak tüm teller tarafından astarlanması sağlanır. Halatlarda kullanılacak yağlar alkali ve asit içermemelidir, tel yüzeyine yeterli yapışma kuvveti sağlamalıdır, tel ve demet aralarına kolaylıkla nüfuz edebilecek viskozitede olmalıdır, oksitlenme ve suya karşı dirençli olmalıdır. Normal olarak halatlar imalat sırasında yağlandığı haliyle bütün ömür süresince çalıştırılırlar. Fakat uzun ömürlü halatların işletmede tekrar yağlanmaları gereklidir. Yapılan deneysel çalışmalarda ömür süresi yaklaşık 80000 eğilmede çevrim olan bir halata test esnasında ilave olarak yağlamak ömür süresinde herhangi bir artış sağlamamaktadır. Halatın tekrar yağlanmasız ömrü yaklaşık 80000 eğilmede çevrimden fazla olduğu durumlarda bu halat için tekrar yağlamanın halat ömrünü arttırdığı tespit edilmiştir [11,15,29].

4.10 Korozyon

Alaşımız ve alaşımlı çelik malzemelerin kullanıldığı tel halatlar özellikle deniz ve endüstriyel kirlenme olan atmosfer şartlarında korozyona uğrarlar. Korozyon hiçbir zaman istenmeyen bir olaydır ve halat ömrünü azaltır. Korozyona karşı en iyi koruyucu, tellerin galvanizlenmesidir. Korozyon sadece halatın metalik alanının azalması suretiyle kopma mukavemetinin azalması değil, başlayan gerilme kırılmalarından kaynaklanan düzensiz yüzeylerin sebep olduğu yorulmayı da hızlandıracaktır. Şiddetli korozyon, halat elastikiyetinin azalmasına sebep olabilir. Korozyon bekleniyorsa ve bilinen birincil bozulma tarzı ise, çinko (veya çinko alaşımı Zn95/A15) ile kaplanmış telleri olan halat kullanımı tercih edilmelidir. Çok sayıda küçük teli olan bir halat az sayıda büyük teli olan halattan daha çok korozyona yatkındır. Korozyonu önlemek için yapılan galvanizleme işleminin halat ömrüne etkisi incelemek için yapılan çok sayıdaki eğilme yorulması deneyinde çok iyi yağlanmış ve çinko kaplanmış ve kaplanmamış halat için ömür değerlerinde herhangi bir fark saptanmamıştır ve düz sarımlı halat için çapraz sarımlı halata göre daha yüksek bir ömür değeri bulunmuştur [12,15,18,30].

4.11 Halat Sarılma Açısı

Halat sarılma açısı (halat sapma açısı) değişiminin halatın ömrü ile olan ilişkisinin saptanması ile ilgili belirli kompozisyondaki ve özellikteki bir halat için yapılan çalışmada küçük sarılma açılarında halat ömrünün çok yüksek olduğu, yaklaşık 20° lik sarılma açısında halat ömrünün bir dip yaptığı ve 60° ye kadar halat ömrünün arttığı ve bu sarılma açısı değerinden sonrada ömrünün hemen hemen değişmediği belirlenmiştir. Ayrıca yapılan eğilme yorulması deneyinde halat sarılma açısı yerine halatın makara veya tamburla temas uzunluğunun ölçülmesiyle elde edilen halat temas uzunluğu/halat adımı oranının değişmesiyle halat ömrünün değişimi tespit edilmiştir. Şekil 4.9'da halat sarılma açısı ile halat ömrü arasındaki ilişki şekilde ifade edilen halat kompozisyonu ve halat özellikleri için gösterilmiştir [15].

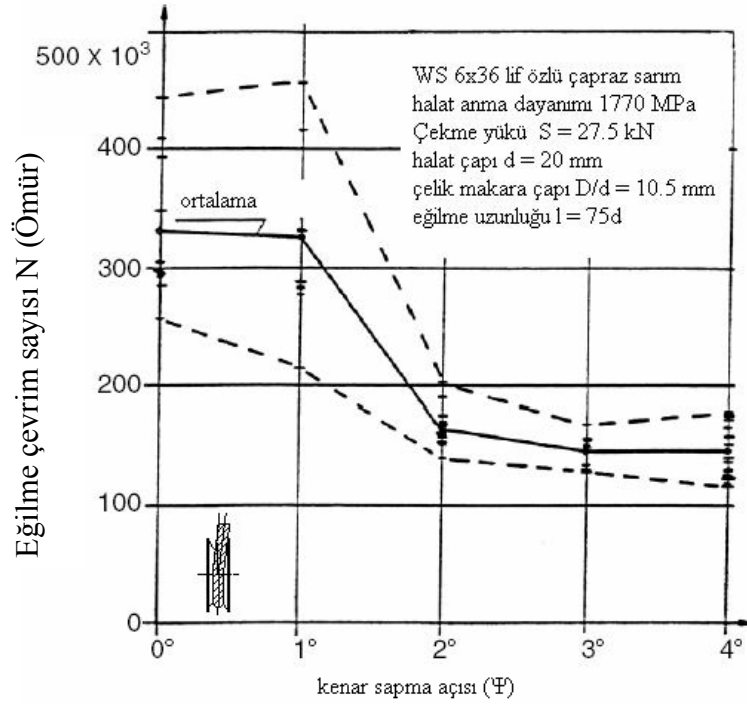


Şekil 4.9 : Farklı sarılma açılarının ömre etkisi [15].

4.12 Halatın Kenar Sapması

Halatın makara veya tambur yivinden kenar sapması halat ömrünü düşüren bir etkiye sahiptir. Bu nedenle demetli halatlarda maksimum 4° , dönme dirençli halatlarda ise 1.5° kenar sapması değerleri izin verilebilir. Farklı halat kenar sapması açı değerleri için eğilme yorulması deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.10'da 0° ila 4° halat sapma

değerleri arasında şekilde belirtilen tip ve kompozisyonda halat için yapılan eğilme yorulma testi neticesinde saptanan ömür değerleri gösterilmiştir [15].



Şekil 4.10 : Farklı kenar sapma açılarının ömre etkisi [15].

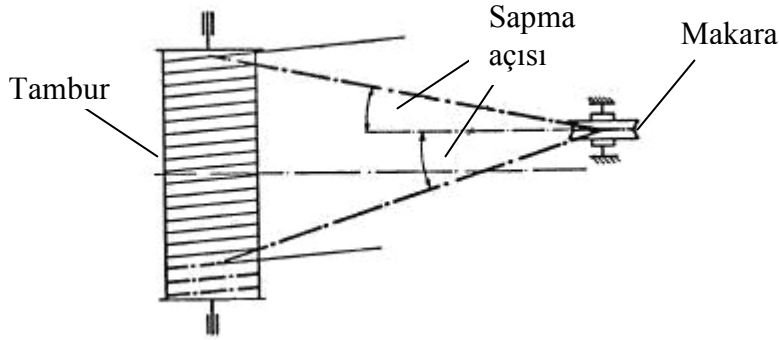
4.13 Halat Özü

Halat özünün halat ömrüne etkisini incelemek için yapılan deneyler halat özlerinin lif özlü ve çelik özlü olması durumları için ayrı ayrı ele alınmıştır. Lif özlü halatlarda lif öz malzemesinin ve bunun kütesinin halat ömrüne etkisini incelemek için aynı kompozisyon ve özellikte fakat lif öz malzemesi farklı halatlar için yapılan eğilme yorulması deneyleri neticesince lif öz malzemesi olarak kullanılan sisal ve polipropilen (PP) için halat ömrü hemen hemen aynı poliamid (PA) lif öz malzemesi için halat ömrü ise dikkat çekecek derecede yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni ise muhtemelen poliamid malzemesinin dayanımının iyi olmasıdır. Lif özün kütesinin artmasının halat ömrünü artırıcı yönde etkisi olduğu saptanmıştır [15].

Çelik özlü halatlar için yapılan eğilme yorulması deneylerine göre halat özü olarak katı polimer ile kaplanmış çelik öz (ESWRC) ve dış demetlerle paralel olan çelik öz (PWRC), halat özünün bağımsız bir halat olarak da kullanıldığı çelik öz ile (IWRC) karşılaştırıldığında halat ömrünün daha fazla olduğu saptanmıştır [15].

4.14 Sapma Açısı

Sapma açısı, halatın tambur üzerine düzgün bir şekilde sarılabilmesi, halatı ve tambur yivini ezilmeye ve aşınmaya karşı korumak için belirli limitler içerisinde olmalıdır. Sapma açısı, yiv merkezinden tambur flanşına ve tambur merkezine dik olarak çizilen iki çizgi arasındaki açıdır. Sağ ve sol olmak üzere iki çeşit sapma açısından bahsedilebilir ve bu açı halatın kullanım alanındaki sarımı ve dolayısıyla halat ömrü üzerinde çok etkilidir. Çalışma verimi ve halat ömrü artırılması için sapma açısının, düz tamburlarda 1.5° , yivli tamburlarda ise 2° yi aşmaması gereklidir. Minimum sapma açısı değeri ise her iki tip tambur içinde 0.5° dir. Şekil 4.11’de halat kullanımında sapma açısı gösterilmiştir [26].



Şekil 4.11 : Halat kullanımında sapma açısı [14].

4.15 Özel Halat Kullanımı

Bölüm 3.3’de gösterilen plastik dolgulu, preslenmiş, kompakt vb. özel halatların kullanımı bu halatların sahip olduğu tipik özellikleri nedeniyle halat ömrünü artırıcı yönde etki yapmaktadır.

5. HALAT HASARLANMALARI VE SERVİS DIŞI BIRAKMA KRİTERLERİ

Bir halat, kullanım yerine uygun olmayan tip ve konstrüksiyonda seçilerek kullanılması halinde o halatın fiziksel özelliklerinde bazı bozulmalarının olması muhtemeldir. Örneğin, dış tel çapları 2 mm'den daha küçük olan esnek tip halatlar muhtemelen aşınma ve korozyon nedeniyle bozulurlar. Galvanizlenmemiş halatlar özellikle iyi bir şekilde yağlanmadıklarında korozif bir ortamda çalıştırıldıklarında korozyon nedeniyle bozulurlar [31]. Bunun yanında tel halatlar doğru, uygun bir şekilde kullanıldıklarında uzun ama sınırlı ömre sahip taşıma elemanlarıdır ve beklenen ömür sürelerinin sağlanabilmesi için işletme esnasında halatların bakımının yapılması gereklidir. Tel halatın bakımı, kaldırma makinesine, kullanımına, çevreye ve kullanılan halatın tipine bağlıdır. Halat imalatçıları tarafından aksi belirtilmedikçe, mümkün olan yerlerde tel halatlar temizlenmeli, özellikle makaralar üzerinden geçerken bükülen kısımlar dıştan greslenmeli veya yağlanmalıdır. Tel halatların bakımının yapılmasının asıl nedeni emniyetsiz bir çalışmanın oluşacağı ve ciddi zararlara yol açacak aşamaya gelmeden önce halatların değiştirilmesi için halatı periyodik olarak kontrollerden geçirmektir. Burada halatın, beraber çalıştığı elemanlar, çalışma koşulları veya dış etkiler nedeniyle oluşabilecek hasarların periyodik bakımlarda ortaya çıkarılması esastır. Bunun yanında oluşan halat hasarının emniyetli bir çalışmayı engelleyecek kadar bir etki yaratıp yaratmayacağına da bilinmesi ve periyodik bakımlar esnasında tespit edilen hasarın büyüklüğüne göre halatın çalışmasına izin vermek veya işletmeden almak gereklidir. Bunun için ulusal ve uluslar arası standartlarda belirtilen halat servis dışı bırakma kriterleri vardır. Bu bölümde, işletmede oluşabilecek halat hasarları ve halatlar için servis dışı bırakma kriterleri açıklanacaktır [12].

5.1 Aşınma

Halatlarda aşınma olayı iki ana kategoriye ayrılır. Bunlar abrasif aşınma ve plastik aşınmadır. Abrasif aşınma, kendi arasında dış ve iç abrasif aşınma olarak ikiye ayrılırlar. Halatlarda dış abrasif aşınma yani en dış demet tellerinin aşınması, hareket halindeki halatın, makara veya tambur yivleri ile sürtünme teması nedeniyle oluşmaktadır. Dış tel aşınması, yükün arttırılması veya azaltılması esnasında halatın makara ile temas eden noktalarında daha belirgindir ve dış demetlerde düz yüzeyler olarak kendini gösterir. Dış tel aşınması, eksik yağlama, yanlış yağlama nedeniyle ve toz, kum tanelerinin varlığı ile artar. Aşınma, halatın kesit alanını azaltarak halatın mukavemetini düşürür [31]. Halatın çalışma hızının artması, yumuşak bir malzemedan yapılmış makara kullanılması, büyük sapma açısının söz konusu olması, uygun olmayan yivlerin kullanılması dış tellerdeki aşınmayı arttırır [26]. Şekil 5.1’de dış abrasif aşınmaya uğramış bir halat gösterilmiştir. Bir halatın içindeki demet ve tellerin birbirlerine göre göreceli hareketi nedeniyle de ilave bir iç abrasif aşınması meydana gelir. Plastik aşınmada ise abrasif aşınmadan farklı olarak halatta malzeme kaybı olmaz veya çok küçük bir malzeme kaybı olur ve halat malzemesinin yer ve şekil değiştirmesi nedeniyle oluşur. Halattaki deformasyonlar, çok sıkı kasnak yivleri, üretim hataları nedeniyle oluşur. Deformasyonlar birbirine temas eden demetler arasındaki basıncı arttırarak tel kopmalarına bile neden olabilir. Tambur veya makaraya temas eden teller arasındaki gerilme, telin plastiklik sınırını aştığında plastik aşınma meydana gelir. Plastik aşınma ayrıca çok yüksek hızlarda tambur üzerine fazla sarım yapıldığında halatlar birbiri üzerinde kayarken, halatın temas noktalarında birbirine çarpmasıyla da oluşabilir. Bu proseste tel sertleşir ve gevrek hale gelir. Bunun sonucu olarak tek tek tellerin tahribatına neden olan plastik deformasyon alanlarında yorulma çatlakları başlar [32,33]. Bir halatta aşınmaya direncini arttırabilmek için en dış demetlerdeki dış tel sayısının azaltılarak daha kalın tellerin kullanılması gereklidir.

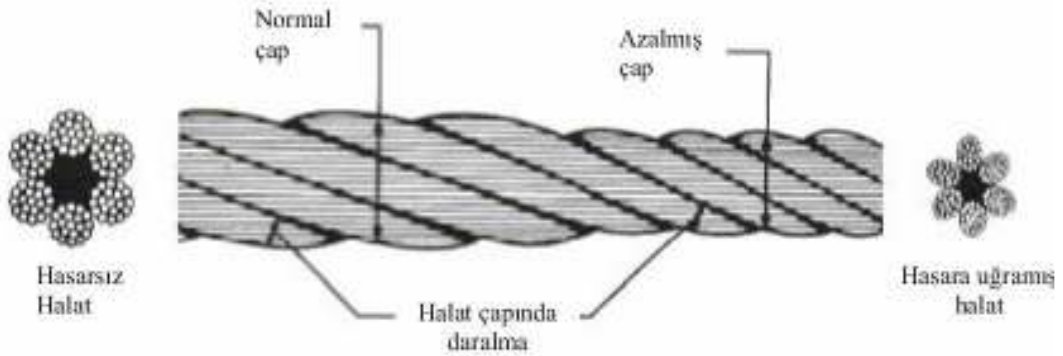
Bir halatta aşınmanın varlığı doğal olarak istenmez. Periyodik bakımı gerçekleştiren uzman kişinin aşınma nedeniyle halattan malzeme eksilmesinin halat anma çapını yüzde kaç azalttığı tespit etmesi gereklidir. Dış aşınma nedeniyle gerçek halat çapı, halat anma çapının %7’si kadar veya daha fazla küçüldüğünde, hiçbir kırık tel görülmesi dahi halat servis dışı bırakılmalıdır [12].



Şekil 5.1 : Dış abrasif aşınmaya uğramış halat [6].

5.2 Halat Çapında Azalma

Halat çapındaki küçülmeye iç abrasif aşınma ve halatın yaralanması, özellikle bükülmeye maruz kalındığında, halattaki demetler arasındaki ve teller arasındaki sürtünmeden kaynaklanan iç abrasif aşınma, çelik özün kopması, çelik özün bozulması, çok demetli halatlarda iç katların kopması sebep olabilir. Bu faktörler, halat çapında, dönmeyen halatlar için anma çapının %3'ü kadar, diğer halatlar için anma çapının %10'u kadar küçülmeye sebep olursa, hiçbir kırık tel görülmesi dahi halat servis dışı bırakılmalıdır [12]. Şekil 5.2'de halat çapındaki daralma gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Halat çapında daralma [34].

5.3 Korozyon

Korozyon, halatlarda abrasif aşınmadan daha ciddi bir bozulma sebebidir. Korozyon tel halat için çok zararlıdır ve korozyonun ölçülmesi oldukça zordur. Korozyon genellikle halatın eksik yağlanması durumunda halat yüzeyinde herhangi bir görünür belirti oluşmadan önce halat içerisinde kendini gösterir. Paslanma nedeniyle halatta oluşan renk bozulması halatın yağlanmaya ihtiyacı olduğunu gösterir. Eğer bu durum süreklilik gösterirse, halat demet ve tellerinde zamansız yorulma hasarlarına neden olan ağır korozyona neden olur. Yorulma halatın tekrarlı yüklemeye maruz kaldığındaki kademeli olarak bozulma durumunu tanımlayan bir kavramdır. Su,

buhar, duman, yetersiz yağlamanın olduğu, sodyum klorür (tuz) vb. ortamlar oldukça korozyiftir. Korozyon iç ve dış korozyon olarak ikiye ayrılır. Dış korozyonda yüzey hafif paslı bir halde veya pulcuk şeklinde görülür. Bazen de çukurcuklaşmalar şeklinde kendini gösterir. İç korozyon tehlikeli ve tespit etmesi zordur. Bu tip korozyonu tespit edecek uzmanın bu korozyonun varlığına işaret olabilecek belirtileri bilmesi gerekmektedir. İç korozyon, yüke dayanma yüzeyini yok ederek tel kaybı yaratır. Halat çapındaki değişme, sık sık demetler arası boşlukta görülen tel kırılmaları ile birlikte halatın dış katlarında demetler arası boşluğu kaybolması iç korozyon belirtileri olarak gösterilebilir. Şiddetli iç korozyonun tespiti, halatın derhal servis dışı bırakılma sebebidir [12,31]. Ayrıca halat tellerinin yüzeyleri çok pürüzlü ve çok çukurcuklaşmışsa veya teller demet içerisinde verilen fireler nedeniyle gevşek kalmışsa halat servis dışı bırakılmalıdır [35]. Şekil 5.3'de korozyona uğramış bir halat gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Korozyona uğramış halat [36].

5.4 Elastikiyetin Azalması

Genellikle çalışma ortamının eşlik ettiği belirli şartlar altında, bir halatın elastikiyetinde önemli bir azalma meydana gelebilir ve halatın daha fazla kullanımı emniyetli olmaz. Azalan elastikiyetin tespiti zordur. Halatı muayene eden kişi tereddüt içinde ise, bir halat uzmanının tavsiyesi geçerli olmalıdır. Ancak, elastikiyetin azalması, halat çapının küçülmesi, halat sarım adımının uzaması, halat ile birlikte çalışan elemanların birbirine baskısının sebep olduğu, teller arasındaki ve demetler arasındaki boşluğun kaybolması, dış demetler arası boşlukta, ince kahverengi toz görülmesi, herhangi bir tel kırılması görülmemesine rağmen, halatın kullanım için dikkati çekecek kadar sertleşmesi ve halat çapının, sadece tellerin aşınmasına bağlı olandan daha fazla küçülmesi durumları oluştuğunda görülebilir. Son durumun oluşması halinde dinamik yükleme altında ani kopmalar takip edebilir. Halatın derhal servis dışı bırakılması gerekir [12].

5.5 Demet Kopması

Bir demet tamamen koparsa, halat servis dışı bırakılmalıdır [12].

5.6 Şekil Değiştirme

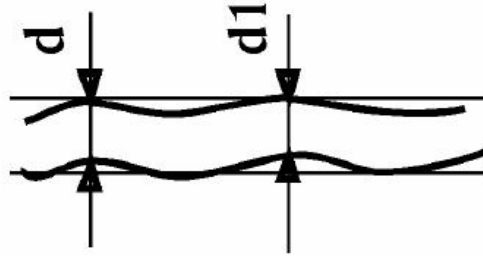
Halatın normal şeklindeki görülebilir bozulmalar “şekil değiştirme” olarak ifade edilir ve halatın şekil değiştiren yerinde düzensiz gerilme dağılımına sebep olabilir. Görünüşleri bakımından, dalgalanma, kafes oluşumu, demet çıkması, tel çıkması, halat çapının bölgesel büyümesi, halat çapının bölgesel küçülmesi, yassılaştırmış kısımlar, kıvrılmalar veya gerilmiş ilmekler ve bükülmeler gibi farklı şekil değişiklikleri meydana gelebilir [12].

5.6.1 Dalgalanma

Dalgalanma, tel halatın boyuna ekseninin helis şeklini aldığı şekil değişikliğidir. Mukavemette herhangi bir kayba yol açmamasına rağmen, böyle bir şekil değişikliği aşırı derecede ise, düzensiz halat tahrikine yol açan darbeler iletebilir. Uzun süre kullanılırsa, aşınmaya ve tel kırılmalarına sebep olur. Dalgalanma halinde halat çapı,

$$d_1 > 4d / 3 \quad (5.1)$$

ise, halat servis dışı bırakılmalıdır. Burada, d , halatın anma çapı, d_1 , şekil değiştiren halatın saran çapıdır. Dikkate alınan halat boyu $25d$ 'yi aşmamalıdır. Şekil 5.4'de dalgalanma durumu gösterilmiştir [12].



Şekil 5.4 : Dalgalanma [12].

5.6.2 Kafes oluşumu

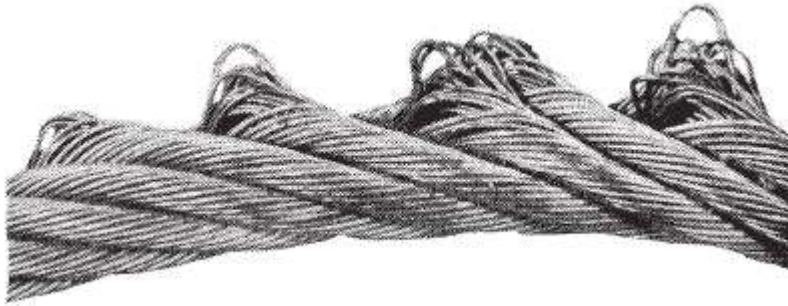
Kafes oluşumu, çelik öze sahip halatlarda, demetlerin dış katları yerlerinden oynadığında veya demetin dış katları, iç katlara nazaran uzadığında meydana gelir. Böyle bir durum, halatın gevşek bir durumda ani olarak yüklenmesi (kapma) sonucunda oluşur. Kafes oluşumu, halatın derhal servis dışı bırakılma sebebidir [12]. Şekil 5.5’de çok demetli bir halatta kafes oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Kafes oluşumu [36].

5.6.3 Demet çıkması

Demet çıkması, çoğunlukla halattaki dengesizliğin özün çıkması olarak meydana geldiği kafes oluşumu ile birlikte ani yükleme durumlarında görülür. Demet çıkması, halatın derhal servis dışı bırakılma sebebidir [12]. Şekil 5.6’da çelik demet özün çıkması durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Demet çıkması [36].

5.6.4 Tel çıkması

Tel çıkması durumunda, halatın makara yuvasına temas etmeyen dış yüzünde, belirli teller veya tel grupları, ilmekler halinde yükselir. Bu durum, genellikle şok yüklemelerden kaynaklanır. Bozulma aşırı ise, halat servis dışı bırakılmalıdır [12]. Şekil 5.7’de tel çıkması durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Tel çıkması [12].

5.6.5 Halat çapının bölgesel büyümesi

Halat çapında bölgesel büyümeler oluşabilir ve halatın nispeten uzun bir boyunu etkileyebilir. Bu durum genellikle özün bozulmasıyla ilişkilidir (belirli çevre şartlarında, bir lif öz nemin etkisiyle şişebilir) ve neticede dış demetlerin yerleşimini bozan dengesizlik oluşur. Aşırı durumlarda, halat servis dışı bırakılmalıdır [12]. Şekil 5.8’de düz sarımlı bir halatta, ani yüklemenin sebep olduğu çelik özün bozulmasından kaynaklanan çap büyümesi gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Halat çapında bölgesel büyüme [36].

5.6.6 Halat çapında bölgesel küçülme

Halat çapındaki bölgesel küçülme, çoğunlukla özün kopması ile oluşur. Böyle bir şekil değiştirme için, halat uçlarına yakın yerler dikkatlice muayene edilmelidir. Aşırı durumlarda, halat servis dışı bırakılmalıdır [12]. Şekil 5.9’da dış demetlerin kopan lif özün yerine oturması nedeniyle halat çapının bölgesel küçülmesi gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Halat çapında bölgesel küçülme [12].

5.6.7 Yassılaşmış kısımlar

Halatta yassılaşmış kısımlar, mekanik hasarlar sonucunda oluşur. Halatta yassılaşmış kısımlar büyük çoğunlukla halatın tambur üzerine yanlış sarılmasından dolayı meydana gelir. Halatın işletmede çok sıkı, gergin olmayan ilk kurulumunun yapılması da halatın hızlı şekilde bozulmasına neden olmaktadır. Aşırı derecede yassılaşma var ise, halat servis dışı bırakılmalıdır [12,37]. şekil 5.10'da çok demetli bir halatın tambur üzerine yanlış sarılmasının sebep olduğu yassılaşmış kısım gösterilmiştir.



şekil 5.10 : Çok demetli bir halatın tambur üzerine yanlış sarılmasının sebep olduğu yassılaşmış kısım [38].

5.6.8 Kıvrılmalar veya gerilmiş ilmekler

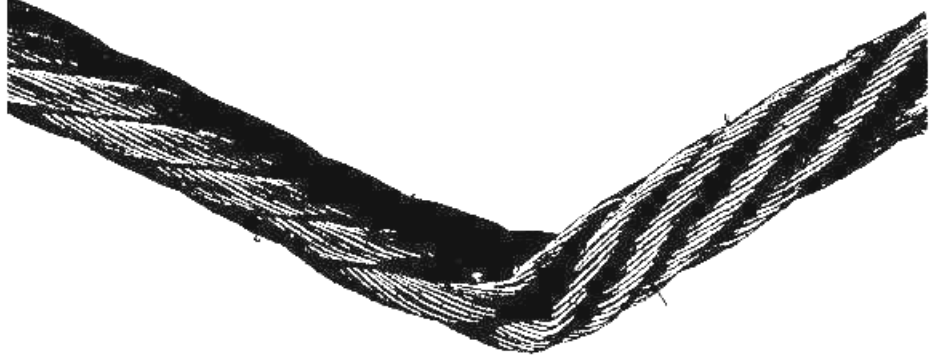
Kıvrılmalar (kink) veya gerilmiş ilmekler, halatın, ekseni etrafında dönüşüne müsaade edilmeden gerilmiş bir ilmeğin oluşturduğu şekil değişikliğidir. Aşırı aşınmaya yol ačan, sarım adımının dengesizliğidir ve aşırı durumlarda halat mukavemeti oldukça azalır. Kıvrılmalar veya gerilmiş ilmekler, halatın derhal servis dışı bırakılma sebebidir [12]. şekil 5.11'de ileri derecede kıvrılmış bir halat gösterilmiştir. Burada, lif özün çıkmasına sebep olan burulma söz konusudur.



şekil 5.11 : İleri derecede kıvrılmış halat [12].

5.6.9 Bükülmeler

Bükülmeler, dış etkilerin sebep olduğu, halatın açısız yer değiştirmesidir. Bu durum, halatın derhal servis dışı bırakılma sebebidir [12]. Şekil 5.12’de aşırı bükülmüş bir halat gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Aşırı bükülmüş halat [12].

5.7 Yetersiz Yağlama

Halat genellikle öze emdirilmiş yağ yardımıyla yağlanır. Fakat özün ısı tesiri veya sıkışma nedeniyle yağsız kalması mümkündür. Yağlama durumu demetlerin arasının incelenmesi ile anlaşılabilir. Buraları gres veya yağlayıcı madde ile dolu olmalıdır. Halatın yağlanması fırça yardımı ve viskozitesi düşük bir yağla yapılmalıdır. Bu durumda yağ halat özüne kadar nüfuz edebilir [20]. Bu durumda, halatın servis dışı bırakılma sebebidir. Şekil 5.13’de eksik yağlanmış bir halattaki demetlerin kilitlenerek zamansız tel kırılmalarına sebep olduğu haldeki durum gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Eksik yağlanmış bir halat [38].

5.8 Isı veya Elektrik Arkı Sebebiyle Hasarlanma

Çelik tel halatlar ısıyı çok iyi iletirler. Bu nedenle halatın herhangi bir bölgesi, emdiği ısıyı, kendinden daha soğuk bir alana iletme süreci, sınırlı bir süre, çok sıcak çevre koşullarında çalışabilir. Fakat halat tellerindeki sıcaklık yaklaşık 300° sıcaklığı aştığında teller çekme mukavemetinin üçte ikisini kaybederler. Dış yüzeyde meydana getirdiği renklerden tanınan istisnai termal etkilere maruz kalan halatlar, servis dışı

bırakılmalıdır. Halatta sıcaklık nedeniyle çekme mukavemetinde düşüş görülmesi dahi kullanılan yağın damlama noktasına denk veya daha yüksek sıcaklıklara çıktığında yorulma ömründe düşüş beklenebilir [12,32].

Şekil 5.14’de uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalma nedeniyle önce tavlanmış, sonra yumuşamış ve sonrasında uzamış ve yağlayıcı tamamen gitmiş olan bir halat gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : Uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalmış halat [32].

5.9 Tel Kırılmalarının Durumu ve Kırılan Tellerin Sayısı

Bir tel halat izin verilebilir tel kırılma sayısına ulaştığında veya aştığında, halat derhal servis dışı bırakılmalıdır. Vinçlerde kullanılan ve işletme esnasında hareket eden halatlarda kopmuş teller, özellikle dönme hareketi yapan makara ve tambur üzerindeki bölümlerinde oluşur. Tipik olarak, bu elemanlar üzerinde eğilmeler nedeniyle oluşan yorulma çevrimleri sonucunda teller kopar. Bu alanlardaki kopmalar dışıdır ve genellikle gözlenebilir. Halatlarda, servis dışı bırakma için gerekli tel kırılma sayıları birçok ulusal standartta belirtilmiştir. Burada, Türk, Amerikan, İngiliz standartlarında tel kırılmalarıyla ilgili servis dışı bırakma kriterleri açıklanacaktır.

Halatların emniyetli bir şekilde kullanılabilmesi için çeşitli servis dışı bırakma kriterleri belirtilmiştir. Bu kriterlerden biri de halatta kırılan tellerin sayısıdır. Tel kırıklarının servis dışı bırakma sayısı, dış demetlerdeki yük taşıyan tellerin sayısı ve sınıflandırma grubunun bir fonksiyonu olarak DIN 15020 normunda sunulmuştur. Çizelge 5.1’de çelik makaralarda çalışan yuvarlak demetli bir tel halatı servis dışı bırakmak için kopmuş tellerin sınır sayıları gösterilmiştir [12,13].

Çizelge 5.1 : Çelik makaralarda çalışan yuvarlak demetli halatların kırık tel sayıları için rehber [12,13].

Dış demetlerdeki yük taşıyan tellerin sayısı 1)	Halat yapısının 2) tipik örnekleri	Gözle görülen kopmuş tel adedi 3)							
		1E _m , 1D _m , 1C _m , 1B _m , 1A _m mekanizmalar için sınıflandırma grupları				2 _m , 3 _m , 4 _m , 5 _m mekanizmalar için sınıflandırma grupları			
		Çapraz Halat çapı 4) cinsinden halat boyunda		Düz Halat çapı 4) cinsinden halat boyunda		Çapraz Halat çapı 4) cinsinden halat boyunda		Düz Halat çapı 4) cinsinden halat boyunda	
<i>n</i>		6 <i>d</i>	30 <i>d</i>	6 <i>d</i>	30 <i>d</i>	6 <i>d</i>	30 <i>d</i>	6 <i>d</i>	30 <i>d</i>
<i>n</i> = 50	6 x 7 (6/1)	2	4	1	2	4	8	2	4
51 = <i>n</i> = 75	6 x 19 (9/9/1) *	3	6	2	3	6	12	3	6
76 = <i>n</i> = 100		4	8	2	4	8	16	4	8
101 = <i>n</i> = 120	8 x 19 (9/9/1) * 6 x 19 (12/6/1) 6 x 19 (12/6 + 6F/1) 6 x 25 FS (12/12/1) *	5	10	2	5	10	19	5	10
121 = <i>n</i> = 140		6	11	3	6	11	22	6	11
141 = <i>n</i> = 160	8 x 19 (12/6 + 6F/1)	6	13	3	6	13	26	6	13
161 = <i>n</i> = 180	6 x 36 (14/7 + 7/7/1) *	7	14	4	7	14	29	7	14
181 = <i>n</i> = 200		8	16	4	8	16	32	8	16
201 = <i>n</i> = 220	6 x 41 (16/8 + 8/8/1) *	9	18	4	9	18	38	9	18
221 = <i>n</i> = 240	6 x 37 (18/12/6/1)	10	19	5	10	19	38	10	19
241 = <i>n</i> = 260		10	21	5	10	21	42	10	21
261 = <i>n</i> = 280		11	22	6	11	22	45	11	22
281 = <i>n</i> = 300		12	24	6	12	24	48	12	24
300 < <i>n</i> 2)		0,04 <i>n</i>	0,08 <i>n</i>	0,02 <i>n</i>	0,04 <i>n</i>	0,08 <i>n</i>	0,16 <i>n</i>	0,04 <i>n</i>	0,08 <i>n</i>

1) Dolgu telleri yük taşıyan tel olarak kabul edilmez ve bu nedenle muayene dışı tutulur. Çok demet katına sahip halatlarda, sadece görülebilen dış demetler dikkate alınır. Çelik özlü halatlarda, öz bir iç demet olarak kabul edilir ve dikkate alınmaz.
2) Görülebilir kırık tel sayısının hesaplanmasında, değer bir tamsayıya yuvarlatılır. Dış demetlerinin dış telleri normalden daha büyük olan halatlar için, bu özel yapının çizelgede değeri düşürülmüş ve yıldız (*) ile gösterilmiştir.
3) Kırık bir tel iki görülebilir uca sahip olabilir.
4) *d* = Halatın anma çapı

Dönmeyen halatlarda servis dışı bırakma kriterleri belirlenirken, halatın yapısı, kullanımda geçen süre ve halatın kullanım şekli dikkate alınmalıdır. Halatın servis dışı bırakılmasına sebep olacak görülebilir kırık tel sayısı Çizelge 5.2’de gösterilmiştir [12].

Çizelge 5.2 : Çelik makaralarda çalışan dönmeyen halatların kırık tel sayıları için rehber [12,13].

Gözle görülen kopmuş tel adedi 1)			
1E _m , 1D _m , 1C _m , 1B _m , 1A _m mekanizmalar için sınıflandırma grupları		2 _m , 3 _m , 4 _m , 5 _m mekanizmalar için sınıflandırma grupları	
Halat çapı 2) cinsinden halat boyunda		Halat çapı 2) cinsinden halat boyunda	
6d	30d	6d	30d
2	4	4	8
Kırık bir tel iki görülebilir uca sahip olabilir 1) d = Halatın anma çapı 2)			

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de belirtilen sınıflandırma grupları, tahrik sisteminin günlük ortalama çalışma süresi ve yükleme durumunun bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre Çizelge 5.3’de verilen sınıflandırma grupları belirlenir [13].

Çizelge 5.3 : Tahrik sistemlerinin gruplandırılması [13].

Çalışma zamanı sınıfı	Çalışma zamanı sembolleri		V006	V012	V025	V05	V1	V2	V3	V4	V5
	Ortalama günlük çalışma saatleri “aralıkları” (1 yıl zarfında)		0.125 e kadar	0.125 - 0.25	0.25 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 8.0	8.0 - 16.0	16.0 dan fazla
Yük durumu	No	Yükleme durumu	İŞLETME GRUPLARI								
	1	Hafif Az sıklıkta büyük yük	1E _m	1E _m	1D _m	1C _m	1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m
	2	Orta Eşit sıklıkta küçük, orta ve büyük yükler	1E _m	1D _m	1C _m	1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	5 _m
	3	Ağır Genellikle büyük yükler	1D _m	1C _m	1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	5 _m	5 _m

Çizelge 5.1, çapraz ve düz sarımlı halatlarda tel kırılmaları için servis dışı bırakma kriterlerini göstermektedir. Çapraz sarımlı halatlarda, halatın servis dışı bırakılması için verilen tel kırılma sayıları, ortalama olarak, düz sarımlı halatlara göre iki kat daha fazladır. Genel olarak, halatın servis dışı bırakılması için verilen tel kırılma sayıları dış demetlerdeki yük taşıyan tellerin sayısı arttıkça artmaktadır ve 2_m, 3_m, 4_m, 5_m mekanizma gruplarında, halatın servis dışı bırakılması için verilen tel kırılma sayıları, ortalama olarak, diğer mekanizma gruplarına göre iki kat daha fazladır.

Tel halatların işletme esnasında durağan halde (standing rope) olması durumundaki izin verilebilir tel kırılma sayıları hareketli halatlardan farklı olarak Amerikan Ulusal

Standartları Enstitüsünce (ANSI) belirtilmiştir. Amerikan Ulusal Standartları Enstitüsünce belirtilmiş halatın servisten alınması için verilen tel kırılma sayıları Çizelge 5.4’de gösterilmiştir [33,36]. Halatta, bir halat adımı veya bir demet içerisinde kırılmış tel sayısı Çizelge 5.4’de belirtilen değerlere ulaştığında, halat derhal servis dışı bırakılmalıdır. Amerikan standardında belirtilen bu kriterler sadece literatürdeki bilgilerin açıklanması amacıyla.

Çizelge 5.4 : ANSI’ye göre halatın servisten alınması için verilen tel kırılma sayıları [36].

ANSI	Teçhizat	Hareketli halatlarda kırılan tel sayısı		Sabit halatlarda kırılan tel sayısı	
		Bir halat adımında	Bir demette	Bir halat adımında	Uç birleşiminde
B30.2	KÖPRÜLÜ VİNÇLER	12	4	Tanımlanmamış	
B30.4	PORTAL, KULE, KOLON VİNÇLER	6	3	3	2
B30.5	PALETLİ, LOKOMOTİF& KAMYON VİNÇLERİ	6	3	3	2
B30.6	BOMLU VİNÇ	6	3	3	2
B30.7	TEMEL DESTEKLİ TAMBUR ASKILARI	6	3	3	2
B30.8	HAREKETLİ VİNÇLER	6	3	3	2
B30.16	YUKARIDAN MONTAJLI KALDIRICILAR	12	4	Tanımlanmamış	
A10.4	PERSONEL KALDIRICILARI	6**	3	2**	2
A10.5	MALZEME KALDIRICILARI	6**	Tanımlanmamış		

**1 çukurcuk(valley) olsa dahi servis dışı bırakılmalıdır.

İngiliz standartlarında (BS 6570) halatta 10*d* uzunluğunda kırılan tel sayısı, 10*d* uzunluğundaki toplam tel sayısının %5’ine eriştiğinde halatın servis dışı bırakılmasının gerekli olduğu anlatılmıştır. Ayrıca, çelik makaralar üzerinde çalışan 6 ve 8 demetli halatların servis dışı bırakılması için gerekli tel kırılmaları iki kategoride açıklanmıştır. Bunlardan biri, emniyet faktörünün beşten düşük olduğu kategoridir. Burada, dolgu telleri hariç tutulmak üzere, kırılmış tel sayısı, dış demet tellerinin %5’ine eriştiğinde halatın servis dışı bırakılmasını söyler. Diğeri ise, emniyet faktörünün beşten büyük olduğu kategoridir. Burada, dolgu telleri hariç tutulmak üzere, kırılmış tel sayısı, dış demet tellerinin %1’ine eriştiğinde halatın

servis dışı bırakılmasını gereklidir. Bununla birlikte, kırılmış tellerin yerel olarak kümelenmesi durumunda halat, uç bağlantısına yakın bölgede 3 veya daha fazla tel koptuğunda, bir demette 3 veya daha fazla tel koptuğunda, 10d halat boyunda iki komşu demet arasında 5 kırılmış tel bulunursa halat servis dışı bırakılması gereklidir. Burada, d, halat çapıdır [35]. İngiliz standardında (BS 6570) yukarıda belirtilen kırılan tellerin sayısı ve durumu ile ilgili halatı servis dışı bırakma kriterleri yerini 2004 yılında BS ISO 4309 isimli İngiliz standardına bırakmıştır. Bu da Türk standartlarında halatı servis dışı bırakmak için gerekli uygulama kurallarının açıklandığı TS ISO 4309 ile aynıdır. İngiliz standardında belirtilen bu kriterler sadece literatürdeki bilgilerin açıklanması amacıyla.

Bununla birlikte, yüke ve özellikle halat konstrüksiyonuna bağlı olarak halatın iç kısmındaki tellerde de kopmalar oluşabilir. Halat iç tellerinin veya çelik özün muayenesi için bazı yayınlarda, dış demetlerin Marlin çivisi ile kaldırılması önerilmektedir. Bu durumda, halat hasar görebilir. Halat iç tellerindeki kırılma durumlarını incelemek için en uygun yöntem tahribatsız muayenedir (NDT) [11,32].

5.10 Bağlantı Uçlarında Kırılan Teller

Bağlantı uçlarında veya bitişiğindeki kırılan teller, az sayıda dahi olsa, buradaki yüksek gerilmelerin bir göstergesidir ve uç bağlantısının doğru olmamasından kaynaklanabilir. Bu bozulmanın sebebi araştırılmalı ve mümkünse, sonraki kullanım için yeterli boyda halat kalıyorsa, uç bağlantısı yeniden yapılmalıdır [12].

5.11 Belirli Bir Yerde Grup Halinde Tel Kırılmaları

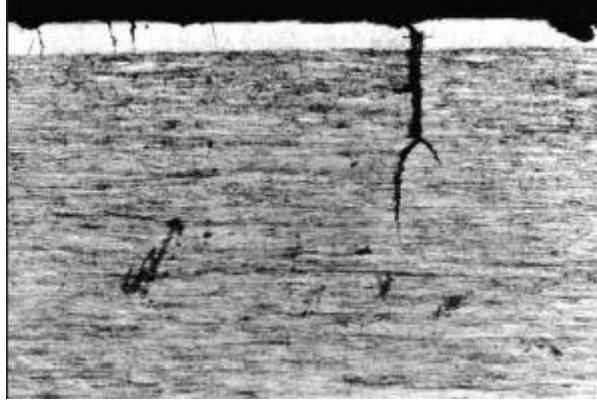
Kırılan tellerin birbirine çok yakın olduğu, bu kırılmaların grup oluşturduğu durumlarda halat servis dışı bırakılmalıdır. Böyle gruplar halinde kırılmalar, 6.d boyundan daha kısa bir boy içinde olursa veya herhangi bir demet içinde yoğunlaşırsa, kırık tellerin sayısı Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de belirtilen azami değerden daha az olsa dahi, halatı servis dışı bırakmak yerinde bir hareket olacaktır [12].

5.12 Tel Kırılmalarının Artış Oranı

Uygulamada, halat bozulmasının en önemli sebebinin yorulma olduğu durumlarda, belirli bir kullanım süresinden sonra tel kırılmaları başlayacak, ancak kırıkların sayısı, daima kısalan zaman aralıklarında gittikçe artacaktır. Bu durumlarda, kırılmaların artış oranının belirlenmesi bakımından dikkatli muayene yapılması ve kırık tellerin artışının kaydedilmesi tavsiye edilir. Bu kuralın uygulanması, halatın gelecekte servis dışı bırakılacağı tarihe karar verilmesinde kullanılır [12].

5.13 Martenzitik Gevrekleşme

Martenzit, çok sert ve gevrek olan bir metal yapıdır. Çeliğin kritik bir sıcak üzerine ısıtıldıktan sonra hızlı soğutulması sonucu oluşur ve gevrekleşmeye neden olur. Tel halatta sürtünen yüzeyin ısınması ve altındaki soğuk metalin etkisi ile kütlelerin soğumasının bir sonucu olarak oluşabilir. Martenzitik gevrekleşme, halatın tambur üzerine çok sarımlı olarak sarılması sırasında halatın temas noktalarında gelişebilir. Burada halat, birbirine değen sarımların teması ile ısınır, sonra çevresindeki metal tarafından soğutulur. Martenzitik yapı kolayca çatlağa neden olur ve böylece çatlaklar, tel yüzeyinden içine doğru ilerler [33]. Şekil 5.15’de martenzitik gevrekleşme nedeniyle oluşan çatlağın tel içerisine ilerlemesiyle oluşan hasar gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : Martenzitik gevrekleşme sonucu oluşan çatlağın ilerlemesi [32].

5.14 Halatta Dış Etkiler Nedeniyle Oluşan Hasar

Tel halatlar, çalıştırıldıkları yerde sık sık dış etkiler nedeniyle hasar alırlar. Tel halat, çelik bir nesneye çarpabilir veya tam tersi olarak çelik nesne halata çarpabilir, tel halat sert bir yüzey üzerinde sürüklenebilir. Şekil 5.16’da sivri uçlu bir nesneye

arpmasından dolayı aldığı hasar gösterilmiştir. Bu durumda, halat servis dışı bırakılmalıdır [32].



Şekil 5.16 : Dış etkiler nedeniyle halatta oluşan hasar [32].

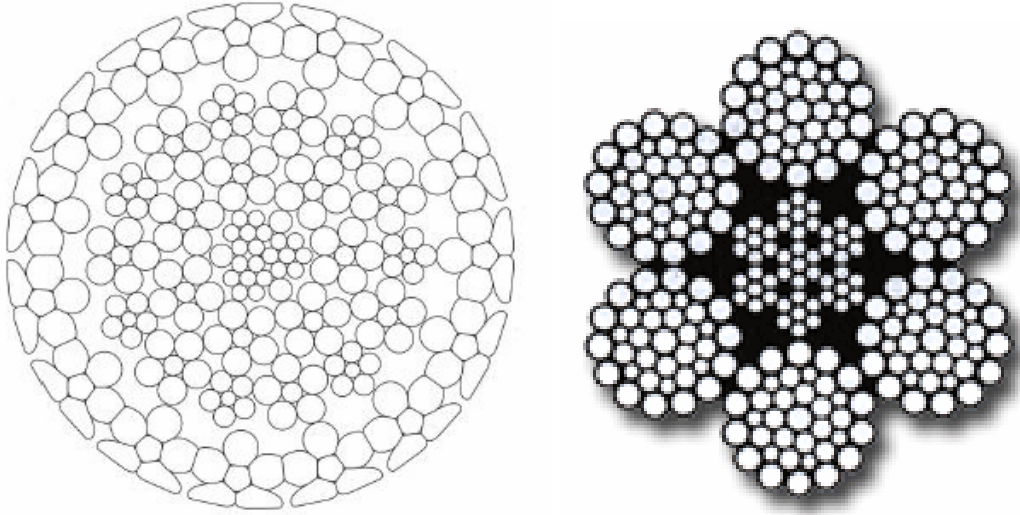
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Giriş

Bu tez çalışmasının deneysel kısmı, Stuttgart Üniversitesi, Institut für Fördertechnik und Logistik, Rope Technology laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Halatlar, büyük bir uygulama alanı bulduğu vinçler, madencilik uygulamaları, teleferikler ve asansörlerde olduğu gibi sabit bir çekme yükünün kaldırılıp indirilmesi işlemini yaparken, makaralar üzerine sarılıp boşalırlar. Bu esnada, halatlar, düz halden eğri hale gelmekte ve yük indirilirken de eğri halden doğru hale gelmektedir. Yani, halatlar, tekrarlı bir eğilme hareketi nedeniyle yorulmaya maruz kalırlar. Bu tip yorulmaya literatürde makara üzerinde eğilme nedeniyle oluşan yorulma (Bending over Sheave (BoS) Fatigue) denmektedir. Bu tip yorulma, makaralarla birlikte çalışan halat uygulamaları için özeldir. Yük sabit olmasına rağmen, halatın hareketinden kaynaklanan tekrarlı bir eğilmenin varlığı, halatın sonlu bir ömre sahip olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, makara üzerinde eğilme (BoS) nedeniyle oluşan yorulma, kısaca eğilme yorulması olarak ifade edilecektir. Bu tez çalışmasında, eğilme yorulmasına maruz çelik tel halatların işletme ömrüne (N , (çevrim)) etki eden çekme yükü, beraber kullanılan makaranın çapı, halat tipi, dönme hızı gibi parametrelerin ve aşınma, tel kırıkları, yetersiz yağlama, bükülme gibi imalat kaynaklı veya çevresel faktörler nedeniyle oluşmuş hasar türlerinin, halat ömrüne ne oranda etki ettikleri incelenmiştir. Bunun için, iki farklı kompozisyondaki çelik tel halat numuneleri temin edilmiştir. Bu halat numuneleri, çeşitli işlemlerden geçirilerek deneylere hazırlanmıştır. Hazırlanan test halatlarının, halat elemanları için özel olarak tasarlanmış eğilme yorulması deney teçhizatında testleri gerçekleştirilmiştir. Her bir halat numunesi için servis ömrü N , işletmeden alma ömrü N_A , yüzde kopma uzama ($\% \varepsilon$) değerleri tespit edilmiştir. İncelenen iki farklı halat kompozisyonu için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Halat ömrüne etki eden en önemli parametre ve hasar türü, deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir.

6.2 Deneyleerde Kullanılan Çelik Tel Halat Numuneleri

Deneyleerde, farklı kompozisyona sahip iki halat kullanılmıştır. Karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmesi için halat numunelerinin çapları, sarım tipi ve yönleri, tel anma dayanımları, ön şekil verme (preforme), galvanizleme durumları aynı seçilmiştir. Şekil 6.1’de temin edilen farklı kompozisyona sahip iki halatın kesitleri gösterilmiştir.



(a) 39 demetli dönme dirençli halat

(b) 6 x 36 Warrington-Seale halat

Şekil 6.1 : Kullanılan halatların kesitleri.

Şekil 6.1a’da bu tez çalışmasında kullanılan dönme dirençli halatın kesiti gösterilmektedir. Bu halat, bir çelik demet öz üzerine üç kat halinde demetlerin ters istikamette üst üste sarılmasıyla meydana gelen ve böylelikle yüklendiklerinde açılmaya karşı emniyetli olan dönme dirençli halatı temsil etmektedir. Çizelge 6.1’de bu halatın teknik özellikleri gösterilmiştir. 10 mm çapında, preforme, 1960 MPa tel sınıfında, toplam 39 demetten oluşmuş olup 241 tele sahiptir. Sağ çapraz sarımlı (sZ) bir halat olup, 96.2 kN minimum kopma yüküne sahiptir ve tel demet özlüdür. Galvanizlidir. Dolgu faktörü ise 0.714’tür.

Çizelge 6.1 : Dönme dirençli halatın teknik özellikleri.

Demet sayısı	39
Tel sayısı	241
Çap	10 mm
Tel anma mukavemeti	1960 N/mm ²
Sarım tipi	Çapraz sarım (sZ)
Dolgu faktörü	0.714
Minimum kopma yükü	96.2 kN
Galvanizleme durumu	Galvanizli

Bu tez çalışmasında kullanılan ve Şekil 6.1a'da kesiti ve Çizelge 6.1'de teknik özellikleri verilen dönme dirençli halat, aynı çaptaki diğer halat çeşitlerine göre oldukça esnektir ve yüksek kopma yüküne sahiptir. Bunun nedeni halatın, bir kalıp içerisinde preslenerek sıkıştırılması (rope swaging) neticesinde aynı kesitte daha yüksek metalik alanın sağlanmış olmasıdır. Ayrıca, bu tip dönme dirençli bir halat, 15 adet oval şekilli dış demete sahiptir. Bu nedenle, bu tip halat, makaralar ve tamburlar üzerinde mükemmel bir temas sağlar. 19x7 dönme dirençli halat kompozisyonuyla karşılaştırıldığında kopma yükü %60 oranında arttırılmıştır. Her demet bir alüminyum öz ve çevresinde beş adet telden oluşmuştur. Bu, halata, oldukça iyi aşınmaya direnç sağlamaktadır. Bu tip halatlar dönmeye karşı serbest uç bağlantıları ile birlikte kullanılabilirler. Kule vinçler ve mobil vinçlerde ana veya yardımcı askı elemanı olarak kullanılabilen bu halatlar, tünel sondaj projeleri ve metro konstrüksiyonları vb. gibi geniş uygulama alanında tercih edilirler. Şekil 6.2a'da dönme dirençli halat numunesinin resmi gösterilmiştir.



(a) 39 demetli dönme dirençli halat (b) 6 x 36 Warrington-Seale halat

Şekil 6.2 : Kullanılan halatların resimleri.

Şekil 6.1b’de bu tez çalışmasında kullanılan ikinci halat numunesi, 6 x 36 Warrington-Seale halatın kesiti gösterilmektedir. Bu halat, 6 adet demete sahip ve her demetinde 36 adet farklı çapta tel olan, demeti teşkil eden dış kat telleri Seale, alt kat telleri ise Warrington dizilişli, çelik özlü bir (IWRC) halattır. Halatın özü, kendi başına bir halat olup “Independent Wire Rope Core (IWRC)” olarak adlandırılmaktadır. Bu tip halatlar, dönmeye karşı dirençli değildir ve bu nedenle açılmaya eğilimlidirler. Bu durum uç bağlantılarında göz önünde bulundurulmalıdır. Çizelge 6.2’de bu halatın teknik özellikleri gösterilmiştir. 10 mm çapında, preforme, 1960 MPa tel sınıfında, 6 demetten oluşmuş, sağ çapraz sarımlı (sZ) bir halat olup, 70.4 kN minimum kopma yüküne sahiptir ve çelik tel özlüdür. Galvanizlidir. Dolgu faktörü ise 0.58’dir. Bu tez çalışmasında kullanılan ve Şekil 6.1b’de kesiti ve Çizelge 6.2’de teknik özellikleri verilen 6 x 36 Warrington-Seale halat, her bir demetinde, 14 adet dış tele sahiptir. Bu teller, makaralarla çalışma durumunda temas eden halat yüzeyleridir.

Çizelge 6.2 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın teknik özellikleri.

Demet sayısı	6
Konstrüksiyon	6 x (1-7-7+7-14) + IWRC
Çap	10 mm
Tel anma mukavemeti	1960 N/mm ²
Sarım tipi	Çapraz sarım (sZ)
Dolgu faktörü	0.58
Minimum kopma yükü	70.4 kN

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, demet başına dış tellerin sayısının artmasıyla yorulma direnci artarken, dış tellerinin sayısının azalmasıyla aşınma direnci artmaktadır. Yani, daha kalın ve az sayıda dış teli olan halat (6x7, 6x19S vb.) kullanmak halatın aşınma direncini arttırırken, daha ince ve çok sayıda dış teli olan halat (6x64, 6x49) kullanmak yorulma direncini arttırmaktadır. 6 x 36 Warrington-Seale halatlar, üstün bir yorulma direnci gösterirken, aynı zamanda göreceli iyi aşınma direnci gösterirler. 6 x 36 Warrington-Seale halatlar, bu özellikleri ile, farklı tipteki krenlerde, maden işletmelerinde, petrol kuyularında, ağır yüklerin kaldırılmasında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Şekil 6.2b'de 6 x 36 Warrington-Seale halat numunesinin resmi gösterilmiştir.

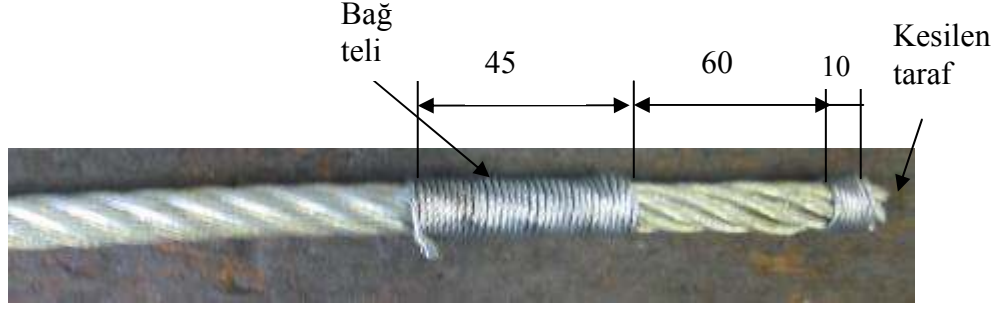
6.3 Halat Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada, iki farklı çapta makara kullanılmıştır. Bunlardan ilki 250 mm çapında (D=250 mm) çelik makara ve ikincisi 100 mm çapında (D=100 mm) çelik makaradır. Halat numunelerinin boyları, eğilme yorulma testleri için, beraber kullanıldıkları makara çaplarına göre seçilmektedir. 250 mm çapında makara kullanıldığında 1450 mm boyunda halat numuneleri, 100 mm çapında makara kullanıldığında 1200 mm boyunda halat numuneleri kullanılmıştır. Bunun nedeni, deney boyunca halat üzerine uygulanması gereken sabit çekme yükünün, doğru bir şekilde oluşturulmasıdır. Belirtilen boylarda halat numunelerinin kesilmesi için, ilk olarak, halat sarılı olduğu kangaldan açılarak istenen boyda işaretlenir ve Şekil 6.3'de gösterilen halat germe tertibatına takılarak bir ucundan kol yardımıyla gerilerek bağlanır.



Şekil 6.3 : Halat germe tertibatı.

Halatın istenen boyda kesilmesi için işaretlenen yerin her iki tarafına emniyet tutamağı uygulanmalıdır. Demetli halatlarda emniyet tutamağının uzunluğu en az halat çapının iki katı kadar olmalıdır. Ön şekillendirmeli (preforme) halatlarda kesme işaretinin iki tarafında birer adet tutamak genellikle yeterlidir. Ön şekillendirilme olmayan halatlar, dönme dirençli halatlar ve paralel kapalı halatlar için kesme yerinin her iki tarafında en az iki adet tutamak tavsiye edilir. Bu tez çalışmasında kullanılan iki halat numunesi de ön şekillendirilmiş olup, kesme işaretinin her iki tarafından 5 mm uzakta tutamak uzunluğu 10 mm ve 70 mm uzakta, tutamak uzunluğu 45 mm olacak şekilde 1 mm çapında bağ teli ile sarılmıştır. Şekil 6.4'de keski yardımıyla halat üzerine sarılan tutamaklar, halatın bir tarafı için gösterilmiştir. Halat kesme işlemi taşlama tezgahında gerçekleştirilmiştir [15].



Şekil 6.4 : Keski ile oluşturulmuş tutamaklar.

Uygun boyda kesilen halat numunelerinin eğilme yorulması test makinasına takılması için her iki ucundan uç bağlantılarının yapılması gerekmektedir. Bunun için ilk önce Şekil 6.4'deki 10 mm boyundaki tutamak keski yardımıyla sökülür ve halatın kordonları 70 mm mesafeye kadar tek tek ayrılır ve açılır, açılan kordonlardaki tellerde aynı şekilde birbirlerinden ayrılarak dışa doğru kıvrılırlar. Tel açma işlemi tamamlanmış dönme dirençli halat numunemizin ucu Şekil 6.5'de gösterilmiştir. Aynı işlemler 6 x 36 Warrington-Seale halat numunelerimiz içinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.5 : Tel açma işlemi.

Halatı oluşturan tellerin ayrılmasından sonra ayrılan tel boyunda, halat, petrol vb. temizleyicilerle herhangi bir yağ tabakası ve pislik kalmayacak şekilde yüzeysel olarak temizlenir. Şekil 6.6'da petrol ile temizlenmiş bir dönme dirençli halat numunemizin ucu gösterilmiştir.



Şekil 6.6 : Petrol ile temizlenmiş halat telleri.

Şekil 6.6'dan görüldüğü gibi petrol vb. temizleyiciler, halat uçlarındaki, halat demeti ve telleri üzerindeki yağlayıcıları, pislikleri uzaklaştırarak parlak bir yüzey oluşturmaktadır. Daha sonra demeti ve telleri açılan halat uçları, Şekil 6.7a'da gösterilen asit banyosu içerisinde batırılarak kimyasal temizleme için bir süre tutulur. Bu çözelti, tel yüzeyindeki pas, tortu, petrol vb. tabakaların temizlenmesi için kullanılmaktadır. Asidin yakıcı etkisiyle halat uçları Şekil 6.7b'deki gibi kararmıştır.



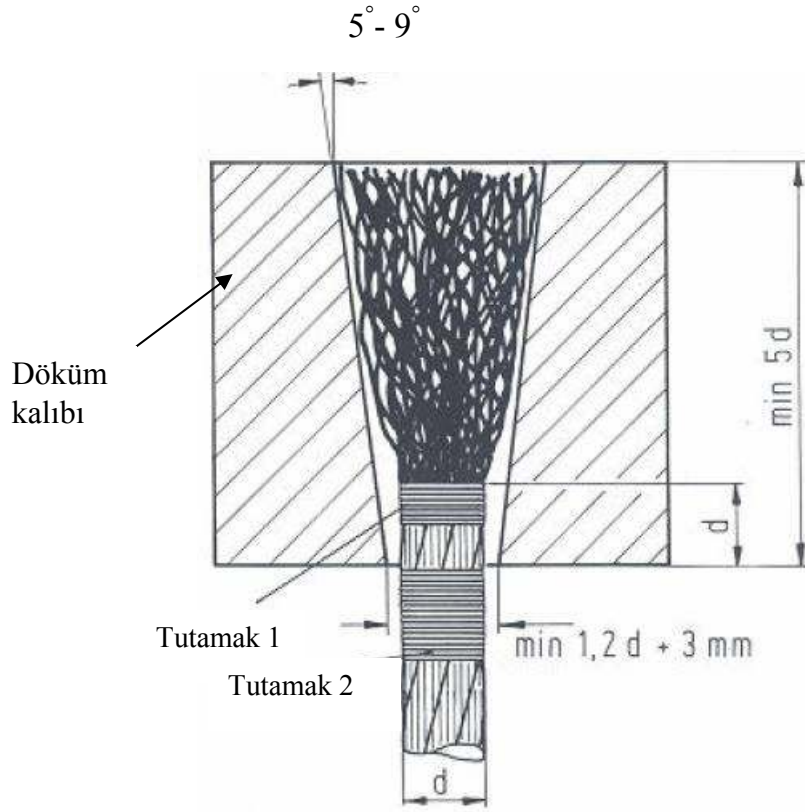
(a) Asit banyosu



(b) kimyasal temizlenmiş halat ucu

Şekil 6.7 : Asit ile kimyasal temizleme.

Yüzey temizleme işlemleri tamamlandıktan sonra, halat uçları Şekil 6.8'de kesiti gösterilen döküm kalıplarının içerisinde geçirilir. Kalıp içerisine döküm işleminin yapılabilmesi için bir döküm alaşımına ve bu alaşımı döküm sıcaklığına çıkaracak ocağa ihtiyaç vardır. Şekil 6.9'da gösterilen döküm alaşımı eritme ocağı bu çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 6.8 : Halat uçları için döküm kalıbı.

Banyo 345° sıcaklığa ısıtılır. Banyo içerisinde, halat uç bağlantılarının sağlanması için kurşun ağırlıklı alaşım TEGO-VG3 adlı halat ucu döküm alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşım halat uç bağlantılarının döküm yoluyla sağlanması durumunda kullanılan bir alaşım türü olup, halat uç bağlantıları için özeldir. Halat uç bağlantı alaşımı TEGO-VG3 için bazı kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 6.3’de gösterilmiştir.



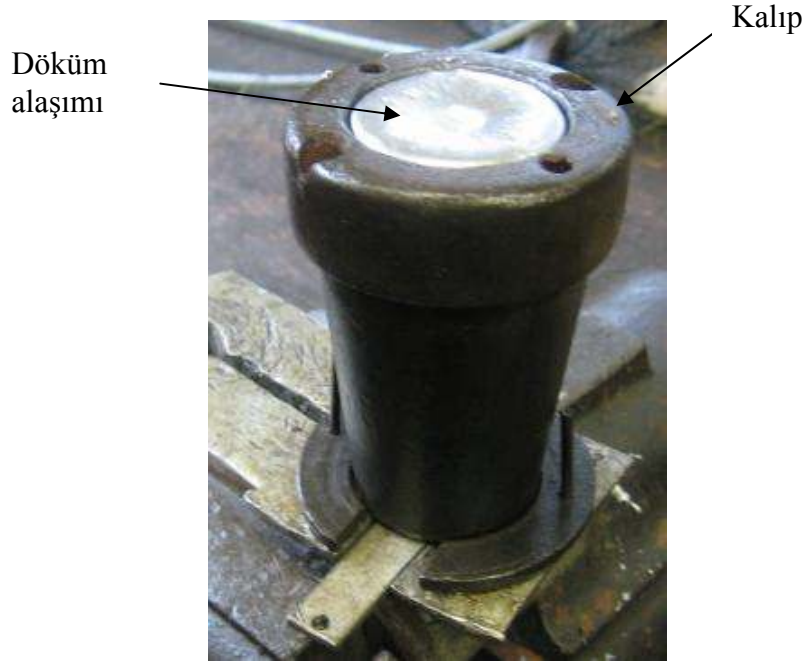
Şekil 6.9 : Döküm alaşımı eritme ocağı.

Çizelge 6.3 : Halat uç bağlantı alaşımı TEGO-VG3 için bazı kimyasal ve fiziksel özellikler.

Kimyasal bileşim (%-kütle):	
Sn	10
Sb	10
Cu	0.5
As	0.5
Cd	2
Pb	77
Çekme testi (MPa):	
%0.2deki akma mukavemeti	38
Çekme mukavemeti	74
Elastisite modülü	30000
Fiziksel özellikler:	
Yoğunluk	9.9 kg/dm ³
Alt erime noktası	242 °C
Döküm sıcaklığı	340 °C - 360 °C

Kimyasal temizlenmiş halat numunelerinin uçları daha sonra 345 °C sıcaklığa ısıtılan döküm alaşımının içerisinde bir süre tutulduktan sonra çıkarılıp, TEGO-ROPTIN adlı çinko klorid çözeltisine bir dakikadan az bir süre batırılır. Bu çözelti, çinko kloride ek olarak, az miktarda amonyak tuzu ve serbest asit içerir ve yakıcıdır. Halat uçlarının bu çözeltiye batırılma nedeni döküm alaşımının tellere daha iyi tutunmasını ve oksitlerin giderilmesini sağlamaktır. Çinko klorid çözeltisinden çıkarılan halat ucu tekrar döküm alaşımı eritme ocağına batırılarak bir süre beklenir. Sonrasında, halat ucu, kalıp içerisinde Şekil 6.8’de gösterildiği gibi konumlandırılır ve döküm kalıbının üst tarafından kepçe vasıtasıyla döküm ocağından alınan erimiş döküm alaşımı kalıp içerisine dökülür. Halat ucu, döküm işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 6.10’da gösterilen hale gelir.

Bu işlemler, halatın diğer ucu içinde tekrarlanarak halat numuneleri eğilme yorulması test makinasına bağlanmaya hazır hale getirilir.



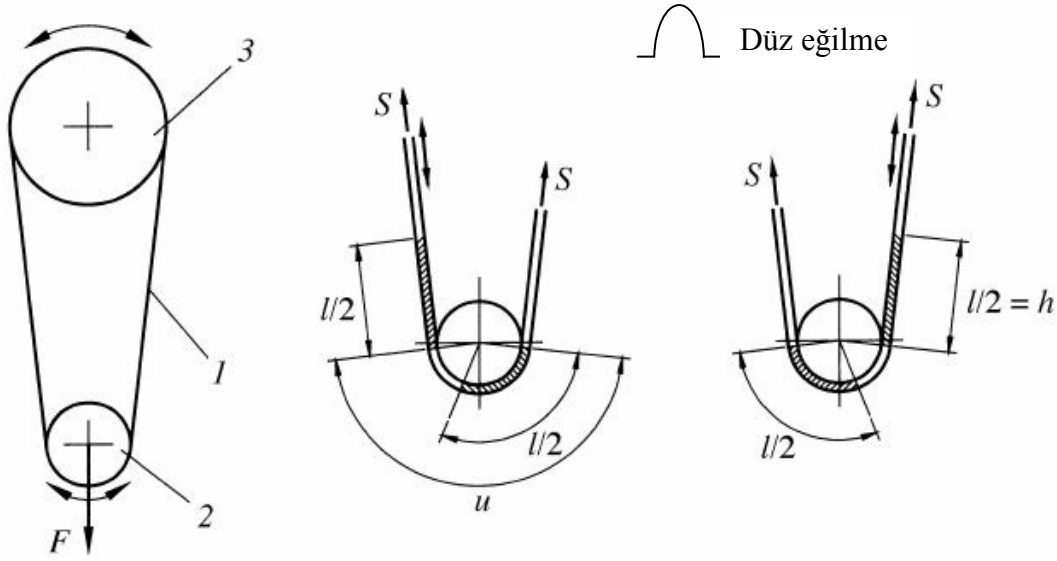
Şekil 6.10 : Döküm işlemi sonrası halat ucu.

6.4 Halat Eğilme Yorulması Testi

6.4.1 Test prensibi

Tel halatlar makaralar üzerinde birlikte çalıştırıldığında, halatı oluşturan teller sabit ve değişken zorlanmalara maruz kalırlar. Tellerin maruz kaldığı bu gerilmelerin tümü bilinebilse bile, belirli kompozisyondaki bir tel halatın dayanımının tespit

edilebilmesi mümkün değildir. Bunun nedeni, tellerin birbirine göre göreceli hareketi nedeniyle oluşan yüzeylerdeki aşınma ve halat içerisindeki düzensizlikler nedeniyle oluşan çok farklı çekme gerilmesiyle yüklenen komşu tellerin varlığıdır. Bu nedenle, makaralar üzerinde çalışan tel halatlar her zaman sonlu bir ömre sahiptir ve çalışmaları sırasındaki eğilme çevrim sayıları sadece tel halat eğilme yorulması test makinalarında ölçülebilir [15]. Çelik tel halatların eğilme yorulma testlerini gerçekleştirmek için çoğunlukla günümüzde kullanılan test prensibi ve düz eğilmenin sembolik gösterimi Şekil 6.11’de gösterilmektedir.



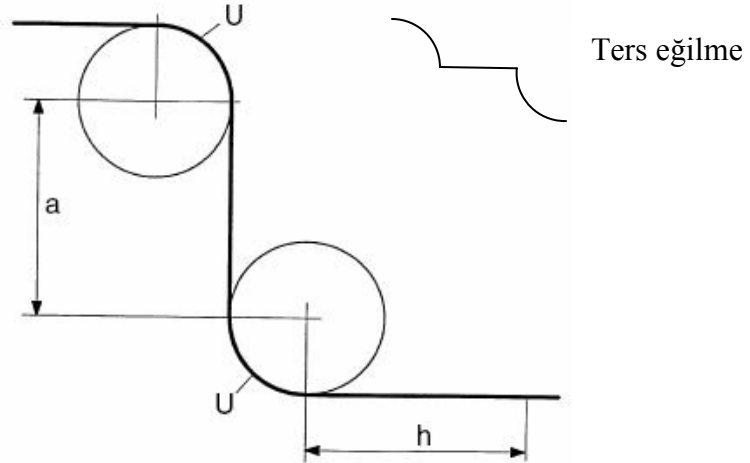
Şekil 6.11 : Eğilme yorulması testini gösteren diyagram [16].

Burada, test edilecek tel halat l , test makarası 2 ve tahrik makarası 3 yivleri üzerinden geçirilerek bağlanır. Tahrik makarası, halatın hareketini sağlar ve test makarasına göre daha büyük çaplıdır. Sabit çekme yükü test makarasından halat üzerine uygulanmaktadır. Halatın kopması, her zaman test makarası üzerinde hareket eden halat bölümünde meydana gelmesi için test makarası, tahrik makarasından daha küçük çaplı olması gerekmektedir. Bu yüzden, makaralar arası mesafe, halat test bölgesinin tahrik makarası üzerinden geçmemesi için, test ilerleme boyundan ($30.d$, d : halat çapı) daha büyüktür. Şekil 6.11’de h , test ilerleme boyu, l , eğilme değişmesinin olduğu halat boyu, u ise halat ile makara temas uzunluğudur. Halatlar işletme sırasında makaralar üzerinde düz eğilme (simple bending) şeklinde veya ters eğilme şeklinde (reverse bending) eğilirler. Şekil 6.11’de gösterilen eğilme yorulma testinde test halatları tekrarlı bir şekilde düz eğilirler. Literatürde düz şekilde eğilen halatların makaralar üzerindeki eğilme çevrim sayısı N , iki farklı indis ile

gösterilmektedir. Bunlar N_{\wedge} ve N_{sim} şeklindedir. Düz eğilmadaki çevrim sayısının tespiti için halatın testteki ilerleme uzunluğu h önemlidir. Halatın testteki ilerleme uzunluğu h , halatla test makarası arasındaki temas yayının uzunluğu u dan daha küçük olduğu durumda, test makinasının her bir çevriminde, test halatı bir tam düz eğilme değişmesi etkisinde kalır. Şekil 6.11’de görüldüğü gibi, test makinasının her bir çevriminde, test halatı, test makarasının sağ ve sol eğilme bölgesinde, h eğilme boyunda eğilirler. Test makinasının test süresinceki çevrim sayısı Z ile gösterilmiştir. Test halatı üzerindeki toplam eğilme uzunluğu l , (6.1) eşitliği ile bulunabilir [15].

$$l = 2.h \text{ ve } N_{\wedge} = N_{sim} = Z, \quad h < u \text{ için} \quad (6.1)$$

Bunun yanında, halatlar işletmedeki makaraların tertibatı nedeniyle makaralar üzerinde ters yönde de eğilebilirler. Şekil 6.12’de halatın, makaralar üzerinde ters yönde eğildiği bir sistem gösterilmiştir. Halat ilerleme uzunluğu $h = u + a$ olması durumunda $l = u$ eğilme boyunda, kaldırma makinasının işletme süresinceki çevrim sayısı Z ise Şekil 6.12’de ki sistemde halat, $2Z$ çevrim kadar ters yönde eğilir. Yani ters yönde eğilme çevrim sayısı $N_{rev} = 2Z$ olur. Ters yönde eğilmenin sembolik gösterimi Şekil 6.12’de gösterilmiştir [15].



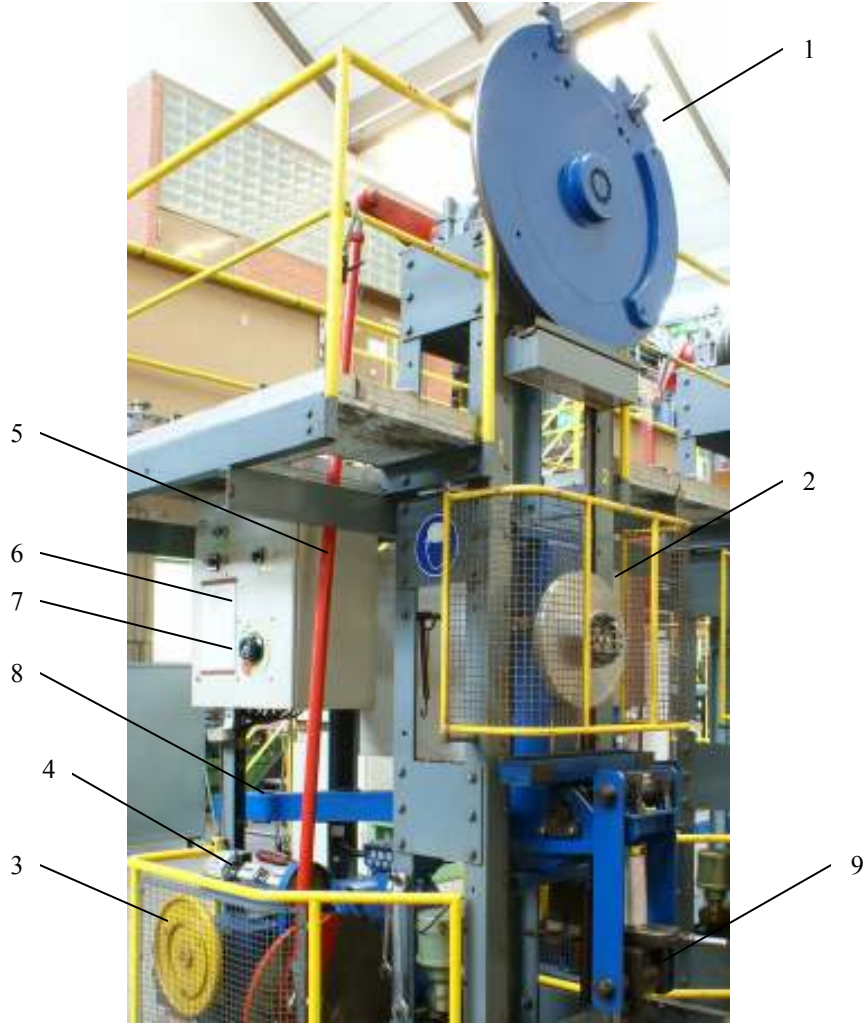
Şekil 6.12 : Ters yönde eğilme [15].

Burada, halat dış lifleri, halat hareketi esnasında daha üst tarafta gösterilen makara üzerinde çekme şeklinde eğilirken, alt kısımdaki makara üzerinde dış lifler tam ters bir şekilde basma şeklinde eğilirler. Bu durumda halat ters yönde eğilir. Bu şekilde çalıştırılan halatlarda işletme ömrü, düz şekilde eğilen halatlara göre düşer. Bu tez

çalışmasında, halatların makaralar üzerinde düz şekilde eğilmesinin sağlandığı test makinası kullanılmıştır.

6.4.2 Deneylerde kullanılan halat eğilme yorulma test makinası

Bu tez çalışmasındaki deneysel çalışmalar, Stuttgart Üniversitesi, Institut für Fördertechnik und Logistik, Rope Technology laboratuvarındaki halat eğilme yorulma test makinalarında gerçekleştirilmiştir. Test prensibi Bölüm 6.4.1’de açıklanan ve bu tez çalışmasında kullanılan halat eğilme yorulma test düzeneği ve belli başlı elemanları Şekil 6.13’de gösterilmiştir.



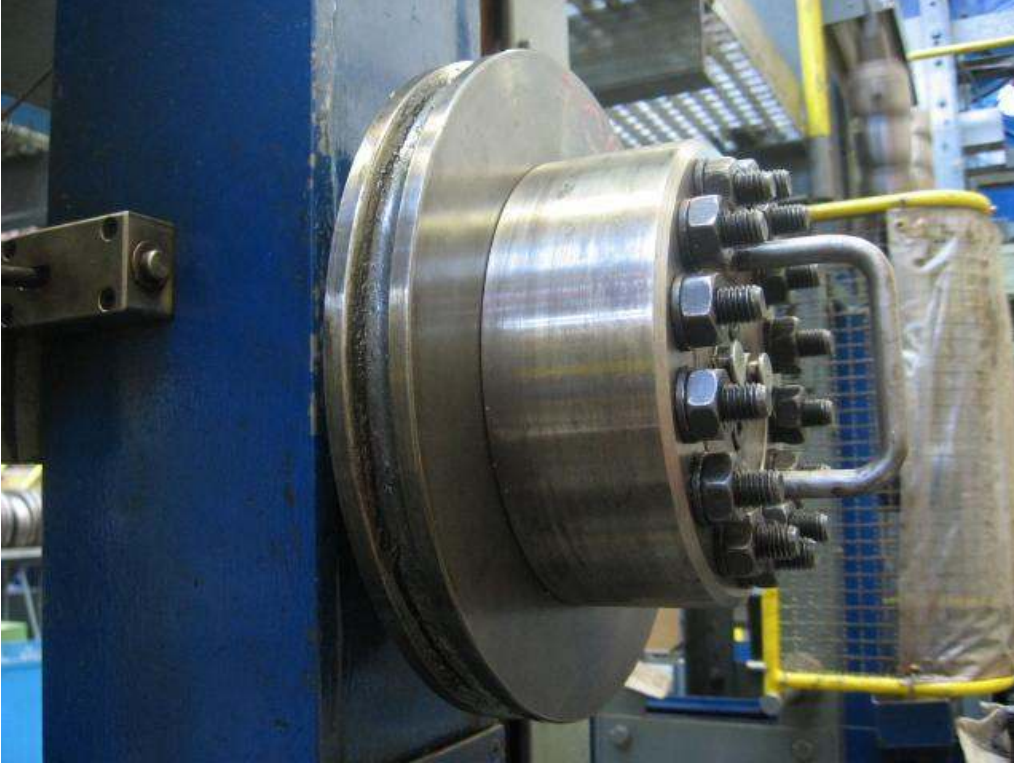
Şekil 6.13 : Halat eğilme yorulma test makinası.

Şekil 6.13’de gösterilen bir eğilme yorulma test makinasının belli başlı elemanları şunlardır:

- 1: tahrik makarası
- 2: test makarası
- 3: elektrik motoru

- 4: sayaç
- 5: motorun dönme hareketini tahrik kasnağına ileten çevirme kolu
- 6: elektrik bağlantı kutusu
- 7: devir ayar düğmesi
- 8: test halatına sabit çekme yükü uygulanmasını sağlayan kaldıraç düzeneği
- 9: test halatına yükü iletmek için kullanılan sıkıştırma vidası

Test düzeneği Blocher marka, 9.4 kW gücünde, maksimum dönme hızı 1560 devir/dakika olan bir elektrik motoru (3) ile tahrik edilir. Dönme hareketi, dişli çark sistemi ve kavrama yardımıyla çevirme kolunun (5) bağlı olduğu Şekil 6.13'de kırmızı renkte görülen diske iletilir. Test makinasının dönme hızı ise devir ayar düğmesi (7) yardımıyla değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan test makinasının maksimum dönme hızı 2750 devir/saat'tir. Dönme hızının maksimumunu belirleyen parametreler, test esnasında yüksek hızlar nedeniyle test makarası ve test halatının temasının olduğu halat bölgesinde artan sıcaklık ve halat üzerinde sabit çekme yükü yaratmak için kullanılan kaldıraç kolunun (8) yukarı aşağı hareketi esnasındaki salınımının makina tasarım limitlerinin dışına çıkmasıdır. Bu çalışmada, dönme hızının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için deneysel çalışmalar da yapılmıştır. Ayrıca, dönme hızına bağlı olarak test halatı üzerindeki sıcaklık artışları termal kamera yardımıyla ölçülmüştür. Test makinasının, halat kopuncaya kadar ki çevrim sayısı sayaç (4) yardımıyla sayılır. Test sırasında halat hareketinin sürekliliğini, çevirme kolunun bağlı olduğu, daha büyük çaplı tahrik makarası (1) sağlar. Bu makara, ileri geri belli bir strok boyunca hareket ederek halatın test makarası (2) üzerinde yorularak kopmasını sağlar. Bu çalışmada kullanılan tahrik makarasının çapı 1 metredir ve tüm testler için aynı makara kullanılmıştır. Daha küçük çaplı test makarasının çapı ve yiv geometrisi test parametresi olarak göz önünde bulundurulabilir. Tahrik makarası ve test makarası, farklı çaptaki halatların veya makaraların kolayca sökölüp takılabilmesi için asılı pozisyonda yataklanmışlardır. Ayrıca, bu pozisyonlarıyla, test halatının test esnasında durdurularak tel kırıklarının ölçümünün rahat bir şekilde yapılması da sağlanmıştır. Bu çalışmada iki farklı çapta test makarası kullanılmıştır. Şekil 6.14'de bu çalışmada kullanılan 250 mm çapındaki test makarası Şekil 6.15'de ise bu çalışmada kullanılan 100 mm çapındaki test makarası gösterilmiştir [15].

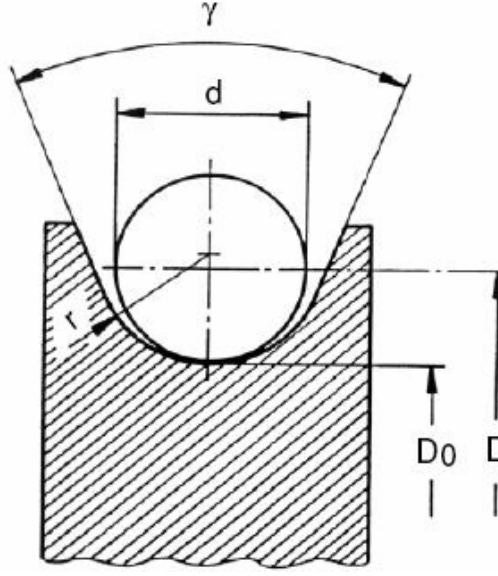


Şekil 6.14 : 250 mm çapında test makarası.



Şekil 6.15 : 100 mm çapında test makarası.

İlerleyen bölümlerde test makarası çapı, D olarak simgelenilecektir. Bu çalışmada kullanılan tüm makaralarda halatın oturma yüzeyi Şekil 6.16'da gösterildiği gibi yuvarlak biçimli sertleştirilmiş çelikten yapılmıştır.



Şekil 6.16 : Yuvarlak biçimli yive sahip makara [15].

Burada, d ; halat çapı, r ; yiv yarıçapı, γ ; yiv ağız açısı, D ; halat merkezleri arasındaki mesafe olmakla birlikte aynı zamanda makara çapı olarak verilir, D_0 ; yiv taban çapıdır. Bu çalışmada kullanılan makaralar için, (6.2) eşitliği ve değeri kullanılmıştır [15].

$$r = 0.53d \text{ ve } \gamma = 60^\circ \quad (6.2)$$

Halat eğilme yorulması test cihazının önemli bir elemanı da test halatına sabit çekme yükü uygulanmasını sağlayan kaldıraç düzeneğidir. Test halatına sabit çekme yükünün uygulanabilmesi için bu kaldıraç düzeneği tasarlanmıştır. Bir ucundaki terazi koluna Şekil 6.17'deki gibi konulan ağırlık yardımıyla diğer ucundaki test halatına, test makarası üzerinden sabit çekme yükü uygulanmaktadır.



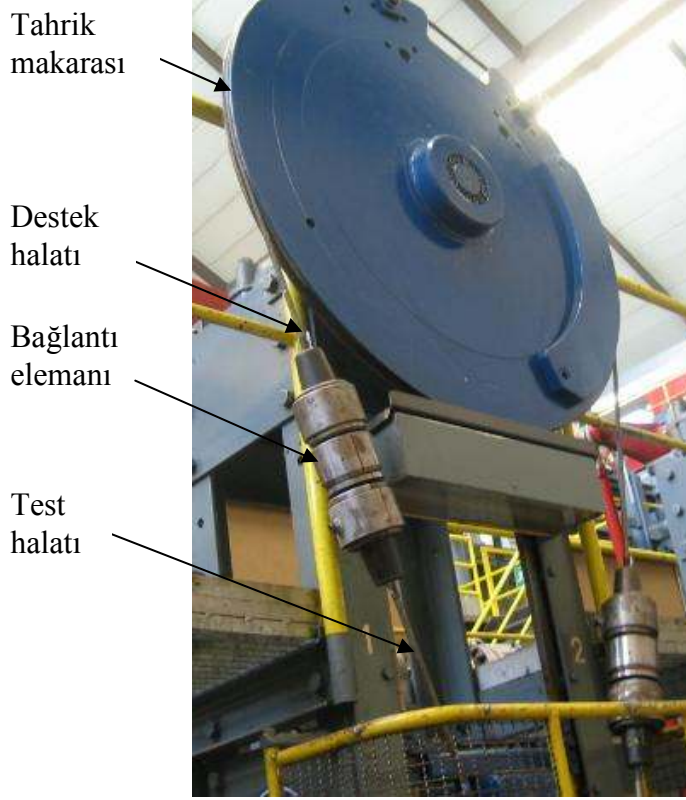
Şekil 6.17 : Terazi koluna konan ağırlıklar.

Bu ağırlıklar, Şekil 6.18’de gösterilen sıkıştırma vidası (9) kullanılarak kaldırılır. Ağırlıkların zeminden yukarıya kaldırılmaları esnasına aynı zamanda test makarasının merkez eksenini de aşağı yöne çekilir ve böylece test halatı gerdirilerek sabit çekme yükü yaratılır. Sabit çekme yükünün yaratılması için kullanılacak ağırlığın ne olacağı, çekme yükünün ve kullanılan makaraların ve yardımcı elemanların ağırlıkları göz önünde bulundurularak, formüller kullanılarak belirlenir.



Şekil 6.18 : Sıkıştırma vidası.

Bölüm 6.3’de belirtilen boylarda kesilen ve uç bağlantıları hazırlanan halat numunelerinin, test makinasına bağlanması gerekmektedir. Bunun için halat numunelerinin hazırlanmasındaki adımlar tekrarlanarak 3 metre boyunda uç bağlantıları yapılmış yeni bir destek halatı hazırlanır. Tahrik makarası üzerinde çalışan destek halatının asıl görevi, tahrik makarasından aldığı hareket ile test halatının h ilerleme boyunda test makarası üzerinde ileri geri hareketini sağlamaktır. Bu hareketi sağlamak için destek halatı, tahrik makarası üzerinden geçirilerek bir halka oluşturacak şekilde test halatının her iki ucundan bağlanır. Destek halatının eğilme yorulma testindeki işlevi sadece budur. Sonuçlara etkisi yoktur. Destek halatı ve test halatı birbirine Şekil 6.19’da gösterildiği gibi bir bağlantı elemanı ile bağlanır. Bu haliyle, test makinası çalıştırılmaya hazırdır.



Şekil 6.19 : Kurulan halat bağlantısı.

6.5 Deneysel Sonuçlar

6.5.1 Giriş

Deneysel olarak elde edilen sonuçlardan önce test esnasında araştırmacı tarafından yapılan ölçümler açıklanmalıdır. İlk olarak, yapılan testler esnasında, deney teçhizatı belli aralıklarla durdurularak test halatının Bölüm 5’de açıklanan servis dışı bırakma kriterlerinde belirtilen koşullara erişip erişmediğinin tespiti için durum değerlendirmesi yapılır ve her bir makina duruşunda, halatın $6d$ ve $30d$ boyundaki eğilme bölgesinde oluşan tel kırıkları tespit edilir ve halat çapı ölçülür. Yapılan deneylerin tümünde, servis dışı bırakma kriteri olarak görülebilir tel kırık sayıları alınmıştır. Tel kırık sayıları, bölüm 5.9’da belirtildiği gibi bir işletmeden alma kriteri olup, Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de belirtilen gözle görülen tel kırık sayılarına ulaşıldığı andaki eğilme çevrim sayısı tespit edilir. Bu eğilme çevrim sayısı, halatın servis dışı bırakılması gereken eğilme çevrim sayısı, N_A olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada, kullanılan halat numunelerimizin $1E_m$, $1D_m$, $1C_m$, $1B_m$, $1A_m$ tipi işletme gruplarında çalıştırıldığı kabulü yapılmıştır. Çizelge 5.2’ye göre 39 demetli dönme dirençli halat numunemiz ve halatın çalıştırılacağı işletme grupları gözönünde

bulundurulduğunda, halatın $6d$ boyunda 2, $30d$ boyunda 4 tel kırığının tespit edilmesi durumunda halatın işletmeden alınması gerekmektedir. Çizelge 5.1'e göre 6 x 36 Warrington-Seale halat numunemiz ve halatın çalıştırılacağı işletme grupları gözönünde bulundurulduğunda halatın $6d$ boyunda 7, $30d$ boyunda 14 tel kırığının tespit edilmesi durumunda halatın işletmeden alınması gerekmektedir.

Halatı meydana getiren dış demetlerden en az birinin koptuğu anda makina durdurulur ve test başından itibaren makinanın kaç çevrim yaptığı, sayaçtan okunarak kayıt edilir. İşte bu andaki çevrim sayısı, makina çevrim sayısı veya halatın koptuğu andaki eğilme çevrim sayısı N , kısaca halat kopma ömrü olarak adlandırılır. Halat kopma ömrü, N (çevrim), zamana dönüştürülebilir. Örneğin, halatın bir inip çıkmasında makara veya tambur üzerindeki eğilme sayısı bulunur. Daha sonra bir günde halatın ne kadar inip çıktığı tespit edilip, günlük eğilme sayısı bulunur ve böylelikle tespit edilen N değeri halatın bir gündeki eğilme sayısına bölünerek halatın ömrü gün olarak bulunur. Burada, tambura bir düz sarılış yarım eğilmeye, makaraya bir düz sarılış ve boşanış 1 eğilmeye karşılık gelir. Buna göre, bir makara üzerinden geçen bir halat bir tam, tambura sarılan bir halat ise yarım eğilme sayısına sahiptir [28].

Halat numunelerinin hem işletmeden alma zamanına ulaştığı andaki hem de en az bir demetinin koptuğu andaki yüzde uzama değerleri halat ilk ve son boyları ölçülerek tespit edilmiştir.

Yapılan testlerde 1250 devir/saat dönme hızı kullanılmıştır. Dönme hızının halat ömrüne etkisinin tespitinin yapılabilmesi için sadece bazı testlerde farklı dönme sayıları kullanılmıştır.

6.5.2 Çekme yükünün halat ömrüne etkisi

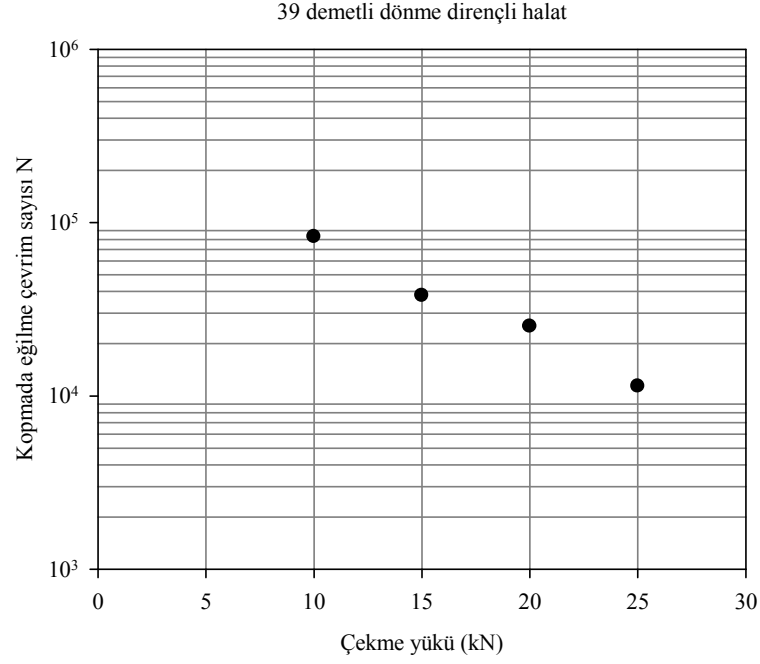
Halat ömrüne etki eden en önemli parametrelerin başında çekme yükü (S) gelmektedir. Çekme yükünün halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için bu çalışmada kullanılan, 10 mm çapında farklı kompozisyona sahip 39 demetli dönme dirençli halat ile 6 x 36 Warrington-Seale halatın, 4 farklı çekme yükünde $D=250$ mm ve $D=100$ mm çapa sahip iki farklı makara kullanılarak ömür testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerde değiştirme kriteri olarak "TS ISO 4309 Vinçler-Tel Halatlar-Muayene ve Hizmet Dışı Bırakmak İçin Uygulama Kuralları" standardında belirtilen kırık tel sayı değerleri kullanılmıştır.

39 demetli dönme dirençli halat numunelerinin D=250 mm çapındaki makaralar ile kullanılması durumunda yapılan testler neticesinde elde edilen kopma ömrü (N), servis dışı bırakma (discard) ömrü (N_A) ve yüzde uzama değerleri ($\% \varepsilon$) bir arada Çizelge 6.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 : 39 demetli dönme dirençli halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi (D=250 mm).

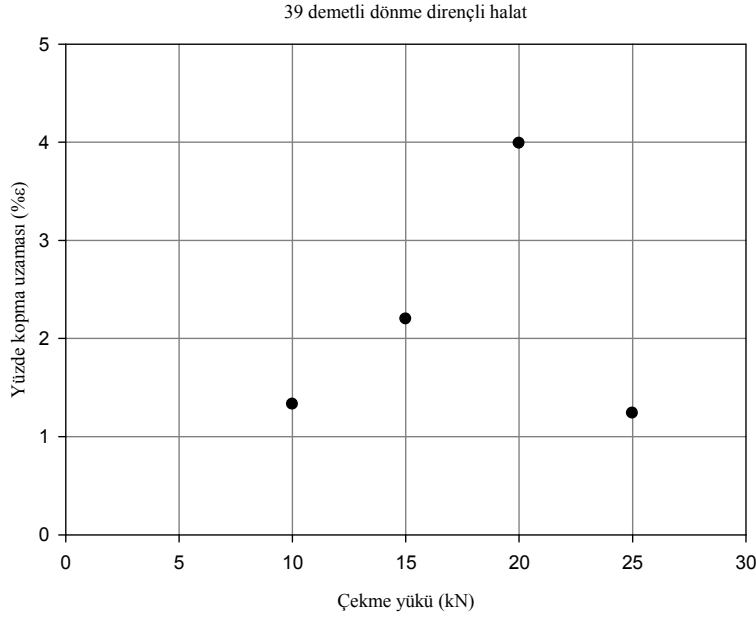
39 demetli dönme dirençli halat				
D = 250 mm (D/d=25)				
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	% Uzama	Discard Ömrü (N_A)	% Uzama
S=10 kN	82859	1.33	55014	0.94
S=15 kN	38013	2.2	20003	1.65
S=20 kN	25202	3.99	13006	3.11
S=25 kN	11377	1.24	8756	0.73

Şekil 6.20’de 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünün çekme yükü ile değişiminin tespit edilebilmesi için 4 farklı çekme yükünde ve D=250 mm çapında makara kullanılarak yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir. Kopma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. 10 mm çapındaki numuneler sırasıyla 10 kN, 15 kN, 20 kN ve 25 kN çekme yükleriyle yüklenmiş ve bu çekme yüklerindeki kopma ömürleri tespit edilmiştir. Kopma halindeki halat ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte büyük oranda düşmektedir. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 1.5 tona (15 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %54.12 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %33.70 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2 tondan (20 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %54.85 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %86.26 oranında düşmüştür.



Şekil 6.20 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=250 mm).

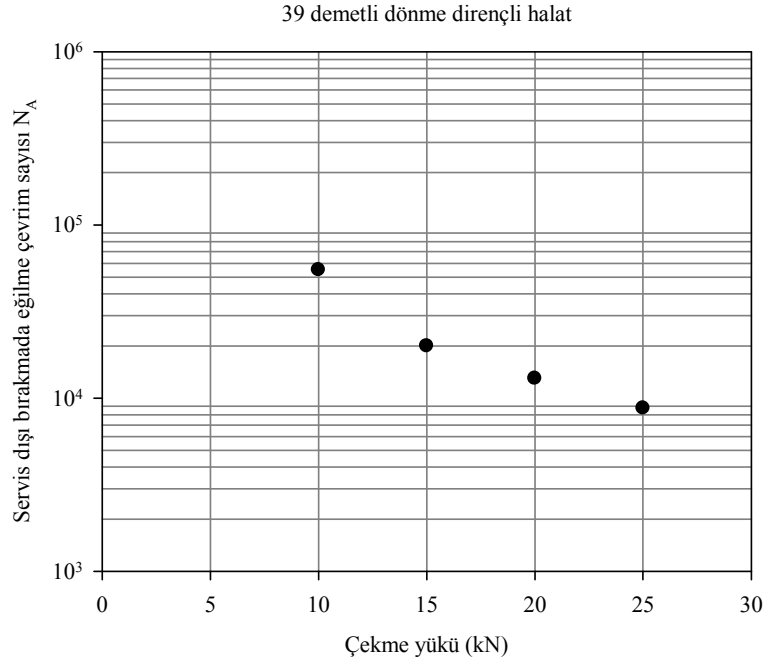
Şekil 6.21’de, 39 demetli dönme dirençli halatın, D=250 mm çapında makara kullanılması durumunda, yüzde kopma uzamasının çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Yüzde uzamaları gösteren eksen ve çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın en az bir demetinin koptuğu andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, halat çekme yükü 1 tondan 1.5 tona yükseltilmesiyle yüzde kopma uzaması 1.65 kat artmıştır. Halat çekme yükü 1.5 tondan 2 tona yükseltilmesiyle yüzde kopma uzaması 1.81 kat artmıştır. Kaldırılan yükün 1 tondan 2 tona yükseltilmesi neticesinde yüzde kopma uzaması 3 kat artmaktadır. En yüksek yüzde kopma uzaması 2 ton yük kaldırıldığı durumda, 3.99 olduğu tespit edilmiştir. Yük 2.5 tona yükseltildiğinde ise yüzde kopma uzaması oldukça azalmakta buna nazaran kopma erken olmaktadır.



Şekil 6.21 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi (D=250 mm).

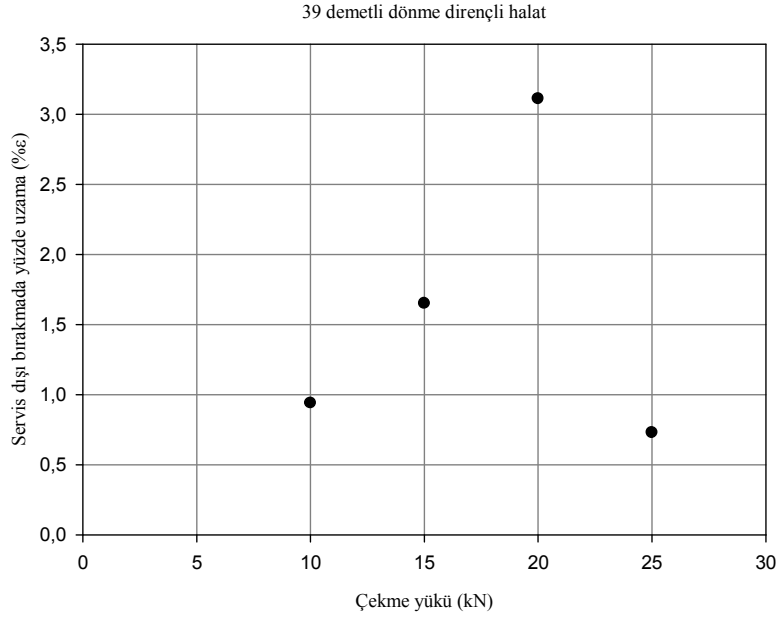
Şekil 6.22’de 39 demetli dönme dirençli halatın, D=250 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrünün çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Servis dışı bırakma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. 39 demetli dönme dirençli halatın, servis dışı bırakma ömrünün tespit edilebilmesi için deney teçhizatı belli aralıklarla durdurulup, halatın, test makarası üzerinde eğildiği, her iki eğilme bölgesinde $6d$ ve $30d$ boyundaki tel kırıkları sayılmış, birbirine dik olarak ölçülen iki çapın ortalaması alınmış ve Bölüm 5’de açıklanan servis dışı bırakma kriterlerinde belirtilen koşullara erişip erişmediğinin tespiti için durum değerlendirmesi yapılmıştır. Servis dışı bırakma ömrünün tespiti için kullanılan halat numuneleri, kopma ömrünün tespitinde kullanılan halat numuneleriyle aynıdır. Yani, karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşılabilmesi için, aynı halat numuneleri kullanılarak, servis dışı bırakma ve kopma ömrü deneysel olarak belirlenmiştir. Servis dışı bırakma ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte büyük oranda düşmektedir. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 1.5 tona (15 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %63.64 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %34.97 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2 tondan (20 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %32.67 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1

tondan (10 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %84.08 oranında düşmüştür.



Şekil 6.22 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi (D=250 mm).

Şekil 6.23’de, 39 demetli dönme dirençli halatın, D=250 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrüne eriştiğindeki yüzde uzamanın çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın servis dışı bırakma ömrüne eriştiği andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, halat çekme yükü 1 tondan 1.5 tona yükseltilmesiyle yüzde uzama 1.75 kat artmıştır. Halat çekme yükü 1.5 tondan 2 tona yükseltilmesiyle yüzde uzama 1.88 kat artmıştır. Kaldırılan yükün 1 tondan 2 tona yükseltilmesi neticesinde yüzde uzama 3.3 kat artmaktadır. En yüksek yüzde uzaması 2 ton yük kaldırıldığı durumda, 3.11 olduğu tespit edilmiştir. Yük 2.5 tona yükseltildiğinde ise yüzde uzama oldukça azalmakta buna nazaran halatı servis dışı bırakma erken olmaktadır.



Şekil 6.23 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi (D=250 mm).

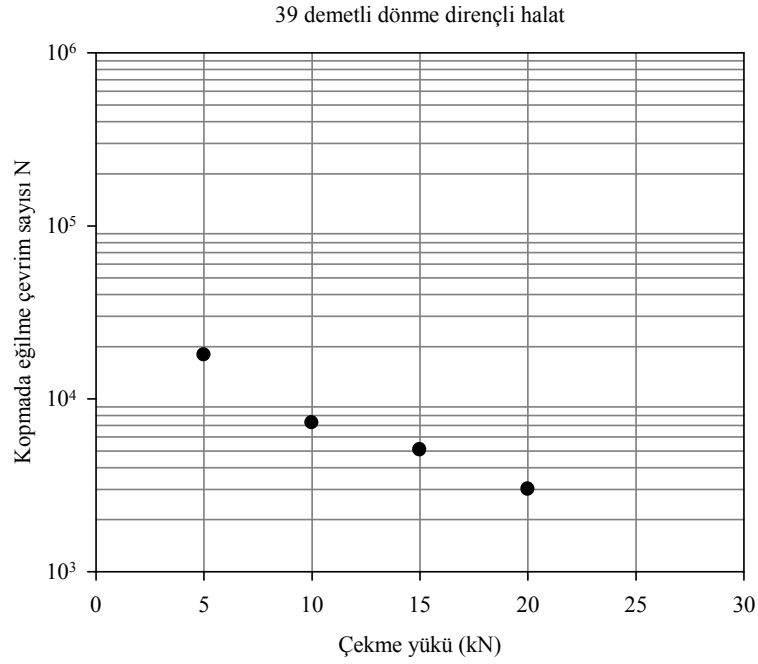
39 demetli dönme dirençli halat numunelerinin D=100 mm çapındaki makaralar ile kullanılması durumunda yapılan testler neticesinde elde edilen kopma ömrü (N), servis dışı bırakma (discard) ömrü (N_A) ve yüzde uzama değerleri ($\% \varepsilon$) bir arada Çizelge 6.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 : 39 demetli dönme dirençli halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi (D=100 mm).

39 demetli dönme dirençli halat				
D = 100 mm (D/d=10)				
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	% Uzama	Discard Ömrü (N_A)	% Uzama
S=5 kN	17906	0.71	12508	0.69
S=10 kN	7256	0.68	5002	0.17
S=15 kN	5060	0.84	3752	0.42
S=20 kN	2996	1.83	2050	0.72

Şekil 6.24’de 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünün çekme yükü ile değişiminin tespit edilebilmesi için 4 farklı çekme yükünde ve D=100 mm çapında makara kullanılarak yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir. Kopma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. 10 mm çapındaki numuneler sırasıyla 5 kN, 10 kN, 15 kN ve 20 kN çekme yükleriyle yüklenmiş ve bu çekme yüklerindeki kopma ömürleri tespit

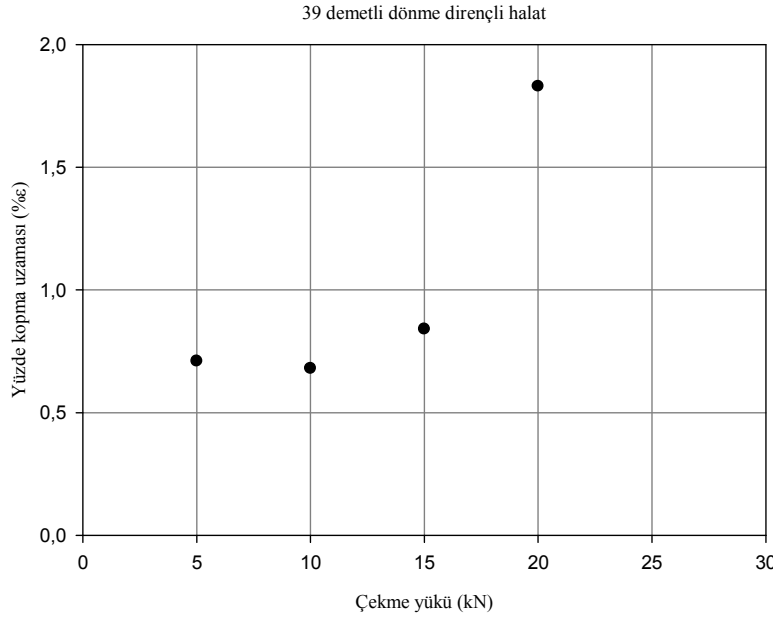
edilmiştir. Kopma halindeki halat ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte büyük oranda düşmektedir. Halat çekme yükü 0.5 tondan (5 kN), 1 tona (10 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %59.47 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 1.5 tona (15 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %30.26 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %40.79 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 0.5 tondan (5 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %83.26 oranında düşmüştür.



Şekil 6.24 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=100 mm).

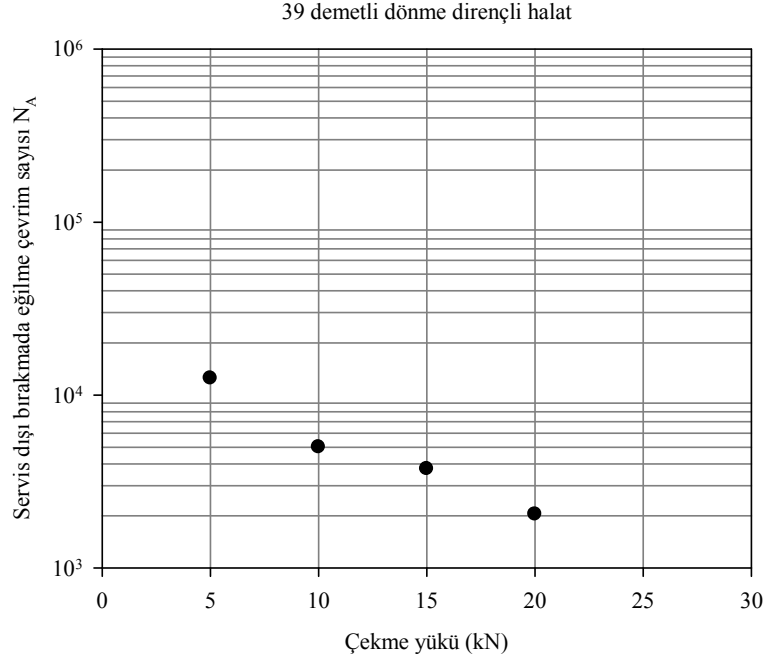
Şekil 6.25’de, 39 demetli dönme dirençli halatın, D=100 mm çapında makara kullanılması durumunda, yüzde kopma uzamasının çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Yüzde uzamaları gösteren eksen ve çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın en az bir demetinin koştığı andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, halat çekme yükünün artmasıyla birlikte yüzde kopma uzama değerleri de artmıştır. Halat çekme yükü 0.5 tondan 1 tona yükseltilmesiyle yüzde uzamanın hemen hemen aynı kalmaktadır. Kaldırılan yükün 1 tondan 1.5 tona yükseltilmesi neticesinde yüzde kopma uzaması 1.23 kat artmaktadır. Kaldırılan yükün 1.5 tondan 2 tona yükseltilmesi neticesinde yüzde kopma uzaması 2.17 kat artmaktadır. Kaldırılan yükün 0.5 tondan 2 tona yükseltilmesi neticesinde yüzde

kopma uzaması 2.57 kat artmaktadır. En yüksek yüzde kopma uzaması 2 ton yük kaldırıldığı durumda, 1.83 olarak tespit edilmiştir.



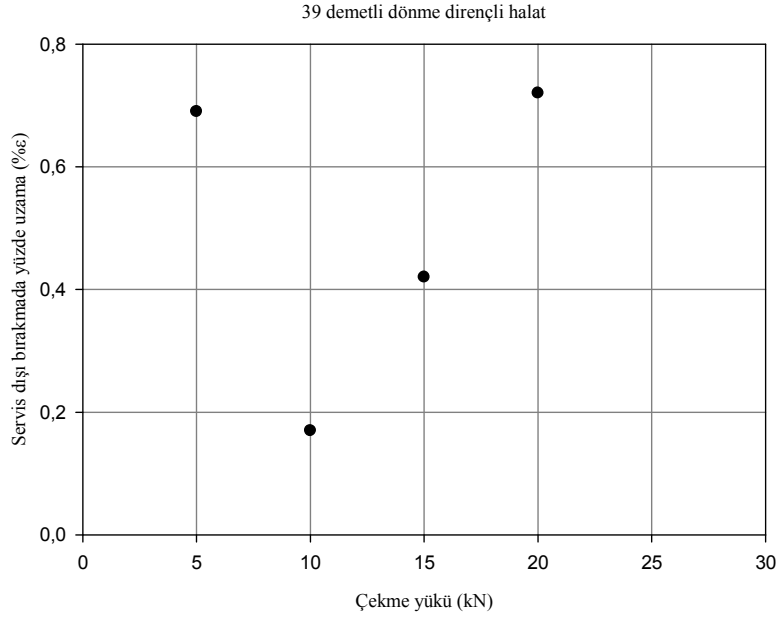
Şekil 6.25 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi (D=100 mm).

Şekil 6.26’da 39 demetli dönme dirençli halatın, D=100 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrünün çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Servis dışı bırakma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Servis dışı bırakma ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte büyük oranda düşmektedir. Halat çekme yükü 0.5 tondan (5 kN), 1 tona (10 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %60 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 1.5 tona (15 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %24.99 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (10 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %45.36 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 0.5 tondan (5 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %83.61 oranında düşmüştür.



Şekil 6.26 : Dönme dirençli halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi (D=100 mm).

Şekil 6.27’de, 39 demetli dönme dirençli halatın, D=100 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrüne eriştiğindeki yüzde uzamanın çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın servis dışı bırakma ömrüne eriştiği andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, yüzde uzama değerlerinin 4 farklı çekme yüküyle dengeli bir şekilde değiştiği görülmektedir. 4 farklı çekme yükü için tespit edilen kopma ömür değerleri oldukça düşük olduğundan, servis dışı bırakma ömürleri de çok düşük çevrimlerde kalmıştır. Bu nedenle, tel kırıkları oldukça düşük yüzde uzama değerlerinde oluşmaya başlamıştır. En yüksek yüzde uzaması 2 ton yük kaldırıldığı durumda, 0.72 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.27 : Dönme dirençli halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi ($D=100$ mm).

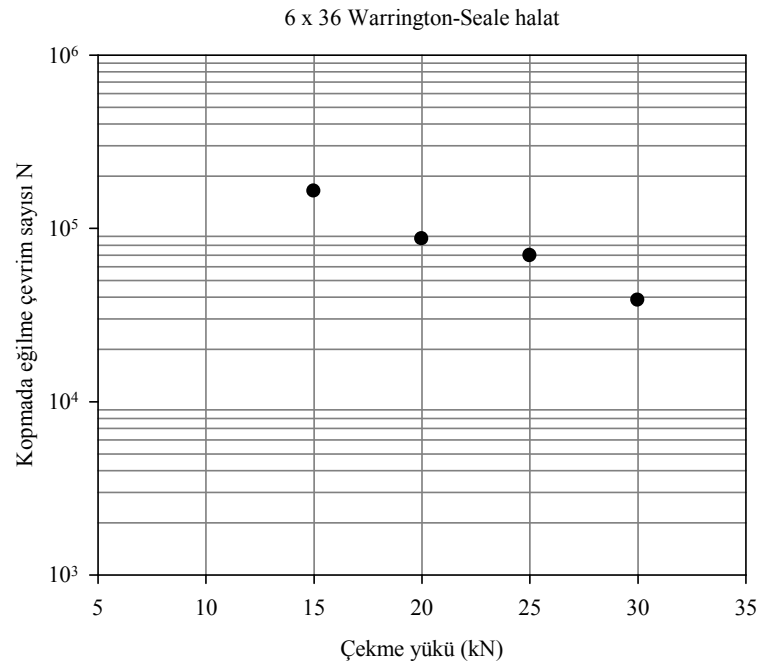
6 x 36 Warrington-Seale halat numunelerinin $D=250$ mm çapındaki makaralar ile kullanılması durumunda yapılan testler neticesinde elde edilen kopma ömrü (N), servis dışı bırakma (discard) ömrü (N_A) ve yüzde uzama değerleri ($\% \varepsilon$) bir arada Çizelge 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi ($D=250$ mm).

6 x 36 Warrington-Seale halat				
$D = 250$ mm ($D/d=25$)				
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	% Uzama	Discard Ömrü (N_A)	% Uzama
S=15 kN	163456	2.73	57702	0.53
S=20 kN	86792	1.95	34986	0.67
S=25 kN	69619	2.33	32608	0.60
S=30 kN	38505	2.25	25672	0.37

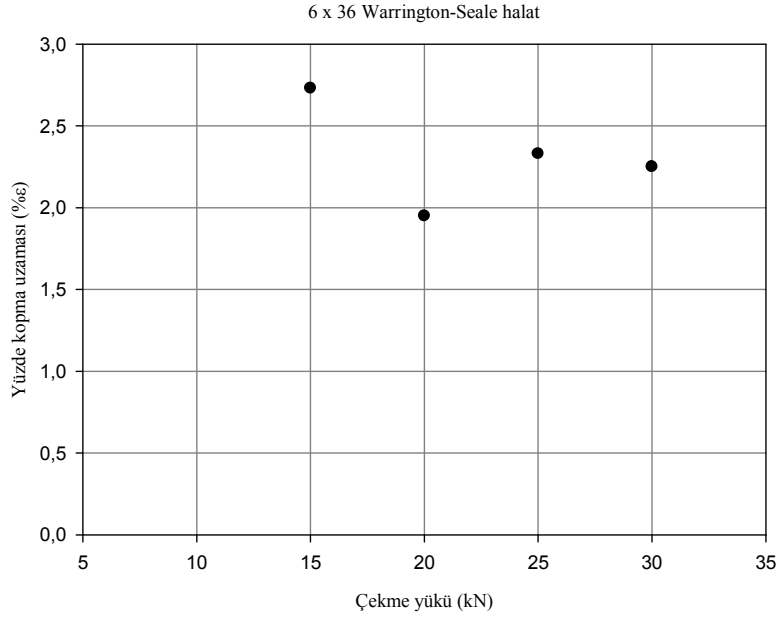
Şekil 6.28'de 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünün çekme yükü ile değişiminin tespit edilebilmesi için 4 farklı çekme yükünde ve $D=250$ mm çapında makara kullanılarak yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir. Kopma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. 10 mm çapındaki numuneler sırasıyla 15 kN, 20 kN, 25 kN ve 30 kN çekme

yükleriyle yüklenmiş ve bu çekme yüklerindeki kopma ömürleri tespit edilmiştir. Kopma halindeki halat ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte büyük oranda düşmektedir. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %46.9 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2 tondan (20 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %19.78 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2.5 tondan (25 kN), 3 tona (30 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %44.69 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 3 tona (30 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %76.44 oranında düşmüştür.



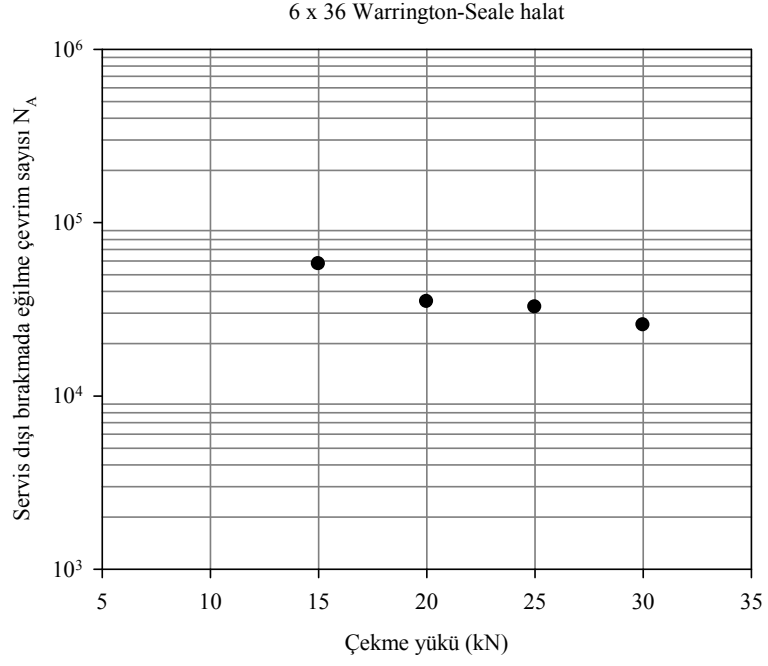
Şekil 6.28 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=250 mm).

Şekil 6.29’da 6 x 36 Warrington-Seale halatın, D=250 mm çapında makara kullanılması durumunda, yüzde kopma uzamasının çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Yüzde uzamaları gösteren eksen ve çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın en az bir demetinin koptuğu andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, yüzde kopma uzaması değerlerinin 4 farklı çekme yüküyle dengeli bir şekilde değiştiği görülmektedir. Kaldırılan yükün artması durumunda yüzde kopma uzaması göreceli olarak azalmıştır. En yüksek yüzde kopma uzaması 1.5 ton yük kaldırıldığı durumda, 2.73 olduğu tespit edilmiştir.



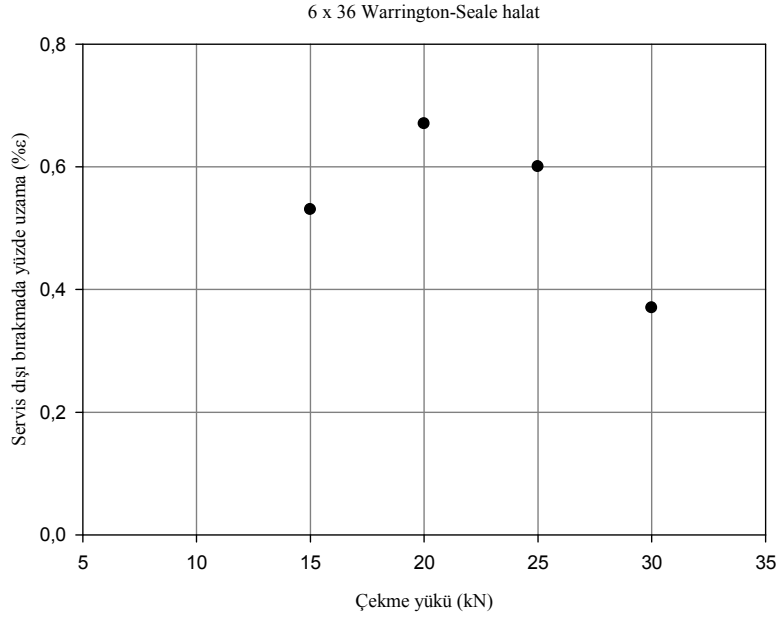
Şekil 6.29 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi (D=250 mm).

Şekil 6.30'da 6 x 36 Warrington-Seale halatın, D=250 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrünün çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Servis dışı bırakma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Servis dışı bırakma ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte düşmektedir. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %39.36 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2 tondan (20 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %6.79 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2.5 tondan (25 kN), 3 tona (30 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %21.27 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 3 tona (30 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %55.5 oranında düşmüştür.



Şekil 6.30 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi (D=250 mm).

Şekil 6.31’de, 6 x 36 Warrington-Seale halatın, D=250 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrüne eriştiğindeki yüzde uzamanın çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın servis dışı bırakma ömrüne eriştiği andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, yüzde uzama değerlerinin 4 farklı çekme yüküyle dengeli bir şekilde değiştiği görülmektedir. Kaldırılan yükün artması durumunda yüzde uzama göreceli olarak azalmıştır. En yüksek yüzde uzaması 2 ton yük kaldırıldığı durumda, 0.67 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.31 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi (D=250 mm).

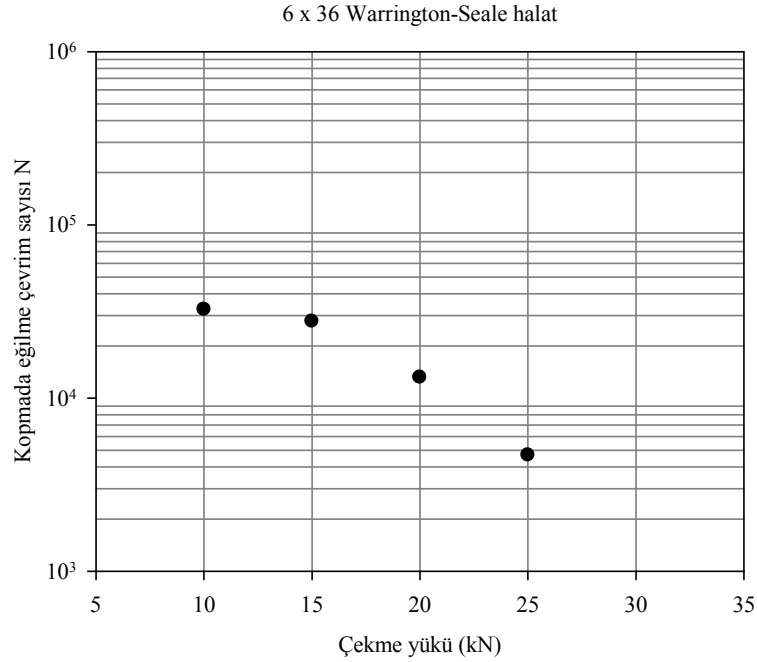
6 x 36 Warrington-Seale halat numunelerinin D=100 mm çapındaki makaralar ile kullanılması durumunda yapılan testler neticesinde elde edilen kopma ömrü (N), servis dışı bırakma (discard) ömrü (N_A) ve yüzde uzama değerleri ($\% \varepsilon$) bir arada Çizelge 6.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için halat ömrünün ve yüzde uzamanın çekme yüküyle değişimi (D=100 mm).

6 x 36 Warrington-Seale halat				
D = 100 mm (D/d=10)				
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	% Uzama	Discard Ömrü (N_A)	% Uzama
S=10 kN	32516	5.22	18503	1.16
S=15 kN	27774	4.07	13060	0.97
S=20 kN	13170	2.14	12038	1.21
S=25 kN	4684	3.51	3983	0.85

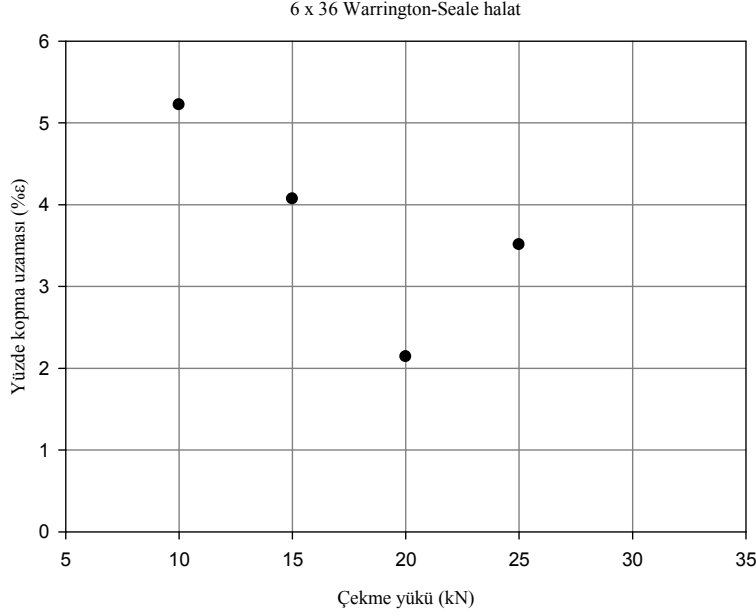
Şekil 6.32’de 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünün çekme yükü ile değişiminin tespit edilebilmesi için 4 farklı çekme yükünde ve D=100 mm çapında makara kullanılarak yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir. Kopma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. 10 mm çapındaki numuneler sırasıyla 10 kN, 15 kN, 20 kN ve 25 kN çekme yükleriyle yüklenmiş ve bu çekme yüklerindeki kopma ömürleri tespit edilmiştir.

Kopma halindeki halat ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte büyük oranda düşmektedir. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 1.5 tona (15 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %14.58 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %52.58 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2 tondan (20 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %64.43 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat kopma ömrü %85.59 oranında düşmüştür.



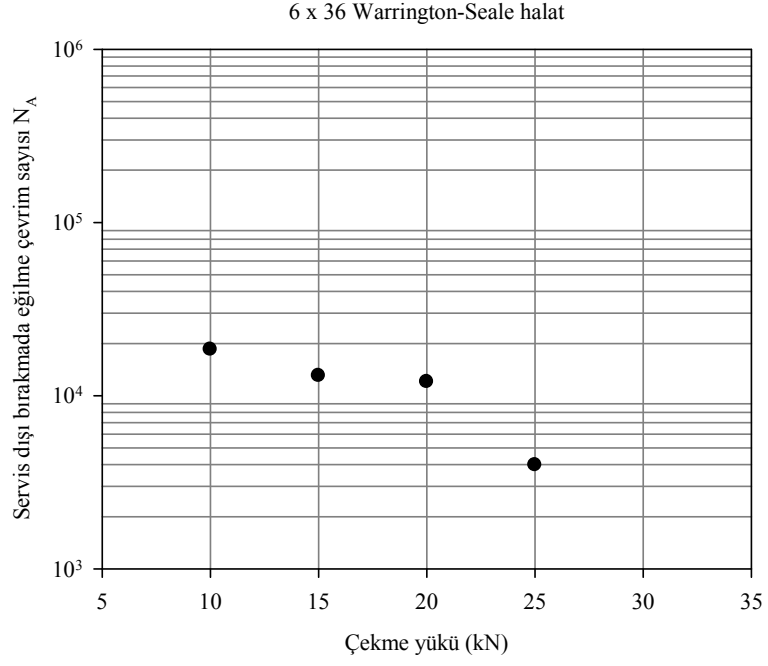
Şekil 6.32 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü-ömür ilişkisi (D=100 mm).

Şekil 6.33'de 6 x 36 Warrington-Seale halatın, D=100 mm çapında makara kullanılması durumunda, yüzde kopma uzamasının çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Yüzde uzamaları gösteren eksen ve çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın en az bir demetinin koptuğu andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, halat çekme yükü 1 tondan 1.5 tona yükseltilmesiyle yüzde uzama 1.28 kat azalmaktadır. Halat çekme yükü 1.5 tondan 2 tona yükseltilmesiyle yüzde uzama 1.9 kat azalmaktadır. Kaldırılan yükün 1 tondan 2 tona yükseltilmesi neticesinde yüzde uzama 2.43 kat azalmaktadır. Yük 2.5 tona yükseltildiğinde ise yüzde kopma uzaması artma eğilimi göstermektedir. Kaldırılan yükün artması durumunda yüzde kopma uzaması göreceli olarak azalmıştır. En yüksek yüzde kopma uzaması 1 ton yük kaldırıldığı durumda, 5.22 olduğu tespit edilmiştir.



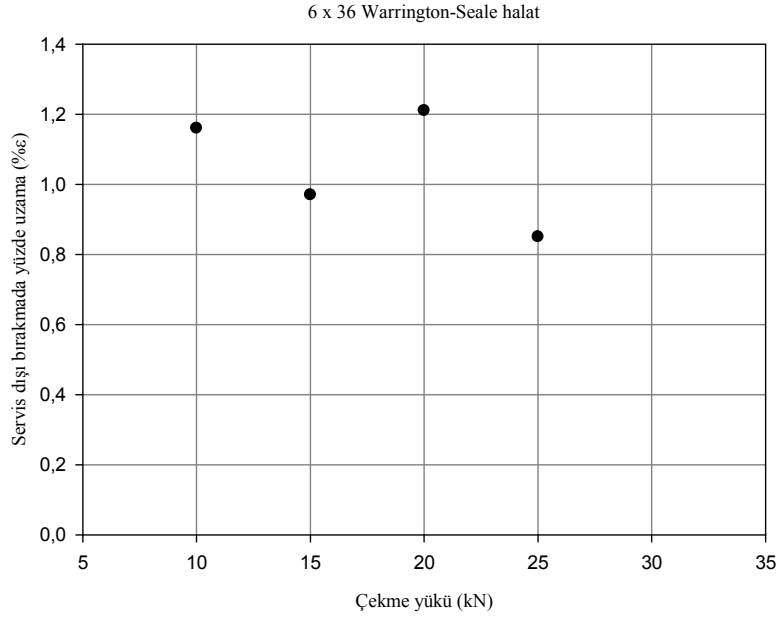
Şekil 6.33 : 6 x 36 WS halat için çekme yükü- yüzde kopma uzaması ilişkisi (D=100 mm).

Şekil 6.34’de 6 x 36 Warrington-Seale halatın, D=100 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrünün çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Servis dışı bırakma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Servis dışı bırakma ömrü, çekme yükünün artmasıyla birlikte düşmektedir. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 1.5 tona (15 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %29.41 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1.5 tondan (15 kN), 2 tona (20 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %7.82 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 2 tondan (20 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %66.91 oranında düşmüştür. Halat çekme yükü 1 tondan (10 kN), 2.5 tona (25 kN) yükseltilmesiyle halat servis dışı bırakma ömrü %78.47 oranında düşmüştür.



Şekil 6.34 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü- servis dışı bırakma ömrü ilişkisi (D=100 mm).

Şekil 6.35’de, 6 x 36 Warrington-Seale halatın, D=100 mm çapında makara kullanılması durumunda, servis dışı bırakma ömrüne eriştiğindeki yüzde uzamanın çekme yükü ile değişimi gösterilmiştir. Burada, yüzde uzama değerleri, verilen çekme yükünü taşıyan halatın servis dışı bırakma ömrüne eriştiği andaki yüzde uzama değerleridir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, yüzde uzama değerlerinin 4 farklı çekme yüküyle dengeli bir şekilde değiştiği görülmektedir. Kaldırılan yükün artması durumunda yüzde uzama göreceli olarak azalmıştır. En yüksek yüzde uzaması 2 ton yük kaldırıldığı durumda, 1.21 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.35 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için çekme yükü-servis dışı bırakmadaki yüzde uzama ilişkisi (D=100 mm).

6.5.2.1 Donandt yükü

Donandt, çok sayıda tel halat eğilme yorulma testi gerçekleştirerek, halat çekme yükünün belirli bir değeri aştığında, halatın kopma ömrünün büyük oranda düştüğünü tespit etmiştir. Bu nedenle kopma ömrünün büyük oranda düşmeye başladığı çekme yükü limit değerine Donandt yükü denir. Çekme yükünün halat ömrüne etkisinin anlatıldığı bu bölümde ayrıca Donandt yükü, bu çalışmada kullanılan her iki halat tipi için hesaplanacak ve deneylerde kullanılan çekme yüklerinin, Donandt yükünü aşp aşmadığı kontrol edilecektir. Halat tipi, çapı, minimum kopma yükü gibi özelliklere dayanarak tespit edilen Donandt yükü üzerinde bir çekme yüküyle halatı çalıştırmak halatın ömrünü büyük oranda düşürecektir. Bu bakımdan, bu tez çalışmasında Donandt yükü açıklanmalıdır. Donandt yükü üzerindeki yüklerle çelik tel halat çalıştırıldığında daha fazla tel kesitinde akma dayanımı aşılır ve bu da halat ömründe büyük oranda düşüşe neden olur. Halatın düz yönde eğildiği durumda Donandt yükü, $S_{D,sim}$ şeklinde simgelenir. Halatın ters yönde eğildiği durumda, Donandt yükü, $S_{D,rev}$ şeklinde simgelenir. Halatın düz yönde eğildiği durumda Donandt yükünün değeri (6.3) eşliğinde gösterilmiştir [15].

$$S_{D,sim} = q_0 \cdot F_{min} + q_1 \cdot \frac{d}{D} \cdot F_{min} \quad (6.3)$$

Burada, q_0 ve q_1 , halat konstrüksiyonuna bağlı, Donandt yükünün hesaplanmasında kullanılan sabitleri, F_{\min} ise kN biriminde, minimum halat kopma yüküdür. Halatın ters yönde eğildiği durumda elbette ki Donandt yükünün değeri düz eğilmadaki duruma göre düşer. Halatın ters yönde eğildiği durumda Donandt yükünün değeri (6.4) eşitliğinde gösterilmiştir [15].

$$S_{D,rev} = (q_0 - 0.035).F_{\min} + (q_1 - 0.25). \frac{d}{D}.F_{\min} \quad (6.4)$$

Farklı halat konstrüksiyonları için q_i sabitleri Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 : Donandt yükünü hesaplamak için q_i sabitleri [15].

Halat		q_0				q_1
		Ortalama Donandt yükü için		%95 kesinlikte halatların en fazla %1’inin küçük olabileceği Donandt yükü için		
		\bar{S}_D	S_{D1}	S_{D1}	S_{D1}	
		sZ	zZ	sZ	zZ	
*FC	6 x 19	0.787	0.824	0.619	0.656	-4.10
	8 x 19	0.796	0.826	0.624	0.654	-4.20
	6 x 36	0.781	0.798	0.608	0.625	-4.20
	8 x 36	0.782	0.782	0.605	0.605	-4.30
*WRC	6 x 19	0.809	0.849	0.653	0.693	-3.77
	8 x 19	0.852	0.886	0.686	0.719	-4.02
	6 x 36	0.802	0.821	0.642	0.661	-3.86
	8 x 36	0.835	0.835	0.664	0.664	-4.12
*WSC	18 x 7	0.693	0.693	0.492	0.492	-3.02
	34 x 7	0.715	0.715	0.537	0.537	-3.34

* FC: lif özlü halat, WRC: tel halat özlü halat, WSC: tel demet özlü halat

Bu tez çalışmasında kullanılan 39 demetli dönme dirençli halat ve 6 x 36 Warrington-Seale halat konstrüksiyonları için ortalama Donandt yükü ve %95 kesinlikte halatların en fazla %1’inin küçük olabileceği Donandt yükü hesaplanmıştır. 39 demetli dönme dirençli halat, 34x7 dönme dirençli halat sınıfında

değerlendirilebilir. Her iki halat konstrüksiyonu için (6.3) ve (6.4) eşitlikleri kullanılarak hesaplanan Donandt yükleri Çizelge 6.9’da bir arada gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 : Deneysel çalışmalarda kullanılan halat konstrüksiyonları için Donandt yükleri.

Halat		Ortalama Donandt yükü (kN)	%95 kesinlikte halatların en fazla %1’inin küçük olabileceği Donandt yükü (kN)	Makara çapı, D (mm)
Düz eğilme durumunda	39 demetli dönme dirençli halat	55.9	38.8	250
	6 x 36 WS halat	45.5	34.3	250
Ters eğilme durumunda	39 demetli dönme dirençli halat	51.6	34.4	250
	6 x 36 WS halat	42.4	31.1	250
Düz eğilme durumunda	39 demetli dönme dirençli halat	36.6	19.5	100
	6 x 36 WS halat	29.2	18	100
Ters eğilme durumunda	39 demetli dönme dirençli halat	30.8	13.7	100
	6 x 36 WS halat	25	13.7	100

%95 kesinlikte halatların en fazla %1’inin küçük olabileceği Donandt yükü, emniyet için halat çekme yükü limit değeri olarak kullanılmalıdır. Fakat bazı durumlarda çekme yükünün ortalama Donandt yüküne erişmesi tehlike arz etmez [15].

Yapılan deneysel çalışmalarda, 39 demetli dönme dirençli halat, D= 100 mm çapında makara kullanılması durumunda, bir testte S=20 kN çekme yükü kullanılmıştır. Bu durumda halat çekme yükü, S_{D1} yükünü (19.5 kN) aşmış olduğundan halat ömrü büyük oranda düşmüştür. Ayrıca bu çekme yükündeki yüzde kopma uzaması da oldukça artmıştır (%1.83).

Yapılan deneysel çalışmalarda, 6 x 36 Warrington-Seale halat, D= 100 mm çapında makara kullanılması durumunda, iki testte S=20 kN ve S=25 kN çekme yükleri kullanılmıştır. Bu durumda halat çekme yükleri, S_{D1} yükünü (18 kN) aşmış olduğundan halat ömrü büyük oranda düşmüştür. Bu çekme yüklerindeki yüzde kopma uzamalarında belirgin bir artış olmamıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan çekme yükleri, her durum için, ortalama Donandt yükleriyle karşılaştırıldığında daha düşüktür.

6.5.3 Makara çapının halat ömrüne etkisi

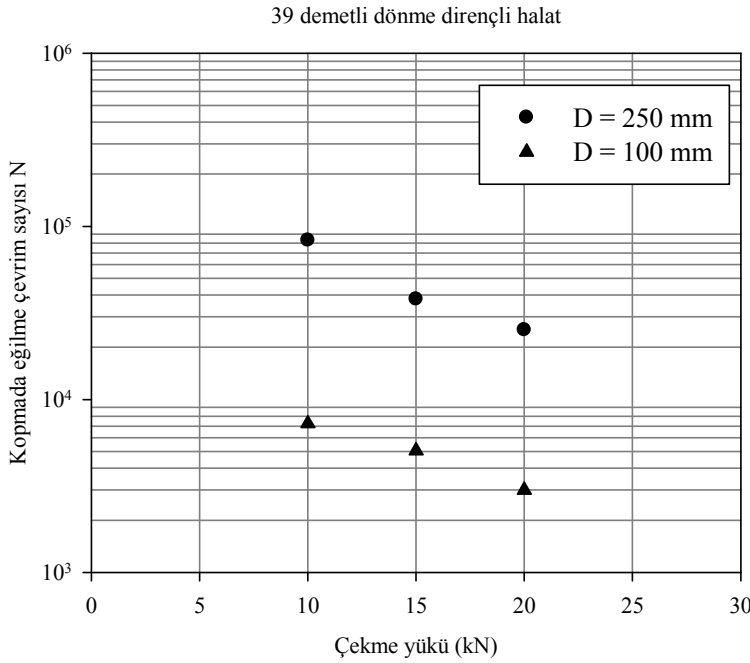
Halat ömrüne etki eden parametrelerden biri de halatların işletme esnasında beraberce kullanıldığı makaranın çapıdır. Makara çapının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için Bölüm 6.5.2’de elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Bu çalışmada, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’de gösterilen D=250 mm ve D=100 mm çapa sahip iki farklı makara kullanılarak makara çapının halat ömrüne etkisi tespit edilmiştir. Karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşmak için, 39 demetli dönme dirençli halat numuneleri için 10 kN, 15 kN ve 20 kN çekme yükleri ve 6 x 36 Warrington-Seale halat numuneleri için 15 kN, 20 kN ve 25 kN çekme yükleri her iki makara çapında da kullanılmış ve böylelikle çekme yükleri sabit tutularak makara çapının halat ömrüne etkisi tespit edilmiştir. Bu bölümde sadece kullanılan makara çapıyla halat kopma ömrünün nasıl değiştiği gösterilmiş olup, servis dışı bırakma ömrünün makara çapıyla değişimine değinilmemiştir.

Çizelge 6.10’da 39 demetli dönme dirençli halatın D=250 mm ve D=100 mm çaplarına sahip makaralarla birlikte çalıştırılması durumundaki halat ömürleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.10 : 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünün makara çapıyla değişimi.

39 demetli dönme dirençli halat			
D = 250 mm (D/d=25)		D = 100 mm (D/d=10)	
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)
S=10 kN	82859	S=10 kN	7256
S=15 kN	38013	S=15 kN	5060
S=20 kN	25202	S=20 kN	2996

Şekil 6.36'da 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünün beraberce kullanıldığı makara çapıyla değişiminin tespit edilebilmesi için 3 farklı çekme yükünde ve D=250 mm ve D=100 mm çaplarındaki makaralar kullanılarak yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir. Kopma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Halat ömrü, makara çapının azalmasıyla şiddetli bir şekilde düşmektedir. Çekme yükünün 1 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat D=250 mm çapındaki makara yerine D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığında halat kopma ömrü %91.24 oranında düşmektedir. Çekme yükünün 1.5 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat D=250 mm çapındaki makara yerine D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığında halat kopma ömrü %86.68 oranında düşmektedir. Çekme yükünün 2 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat D=250 mm çapındaki makara yerine D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığında halat kopma ömrü %88.11 oranında düşmektedir.



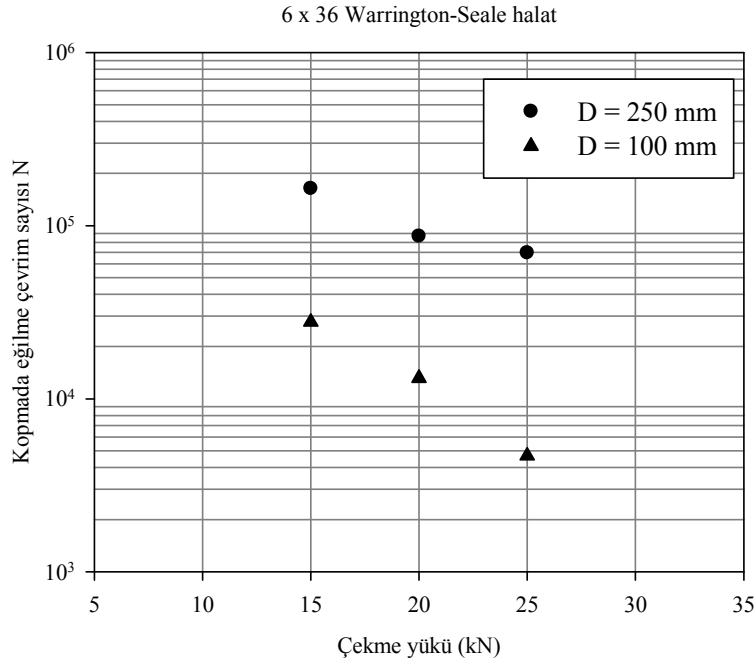
Şekil 6.36 : 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünün makara çapıyla değişimi.

Çizelge 6.11'de 6 x 36 Warrington-Seale halatın D=250 mm ve D=100 mm çaplarına sahip makaralarla birlikte çalıştırılması durumundaki halat ömürleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.11 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünün makara çapıyla değişimi.

6 x 36 Warrington-Seale halat			
D = 250 mm (D/d=25)		D = 100 mm (D/d=10)	
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)
S=15 kN	163456	S=15 kN	27774
S=20 kN	86792	S=20 kN	13170
S=25 kN	69619	S=25 kN	4684

Şekil 6.37’de 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünün beraberce kullanıldığı makara çapıyla değişiminin tespit edilebilmesi için 3 farklı çekme yükünde ve D= 250 mm ve D=100 mm çaplarındaki makaralar kullanılarak yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir. Kopma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir. Halat ömrü, makara çapının azalmasıyla büyük oranda düşmektedir. Çekme yükünün 1.5 ton olduğu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat D=250 mm çapındaki makara yerine D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığında halat kopma ömrü %83 oranında düşmektedir. Çekme yükünün 2 ton olduğu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat D=250 mm çapındaki makara yerine D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığında halat kopma ömrü %84.82 oranında düşmektedir. Çekme yükünün 2.5 ton olduğu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat D=250 mm çapındaki makara yerine D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığında halat kopma ömrü %93.27 oranında düşmektedir.



Şekil 6.37 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünün makara çapıyla değişimi.

Bu çalışmada kullanılan her iki halat numunesiyle yapılan eğilme yorulması testleri neticesinde, D=250 mm ve D=100 mm çaplarında makaralar kullanılarak elde edilen yüzde kopma uzamaları değerlerinin de değiştiği görülmektedir. 39 demetli dönme dirençli halat için Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5’de verilen test sonuçlarına bakıldığında, çekme yükünün 1 ton olduğu durumda, halat D=250 mm çapındaki makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 1.33, D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 0.68’dir. Çekme yükünün 1.5 ton olduğu durumda, halat D=250 mm çapındaki makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 2.2, D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 0.84’dür. Çekme yükünün 2 ton olduğu durumda, halat D=250 mm çapındaki makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 3.99, D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 1.83’dür. Yüzde kopma uzamaları, 3 farklı çekme yükü kullanılması durumunda elde edilen sonuçlara bakıldığında, aynı çekme yükünde daha küçük çaplı makara kullanılması durumunda yüzde kopma uzama değerleri düşmüştür.

6 x 36 Warrington-Seale halat için Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7’de verilen test sonuçlarına bakıldığında, çekme yükünün 1.5 ton olduğu durumda, halat D=250 mm çapındaki makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 2.73, D=100 mm çapında makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 4.07’dir. Çekme

yükünün 2 ton olduğu durumda, halat $D=250$ mm çapındaki makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 1.95, $D=100$ mm çapında makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 2.14'dür. Çekme yükünün 2.5 ton olduğu durumda, halat $D=250$ mm çapındaki makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 2.33, $D=100$ mm çapında makara ile çalıştırıldığındaki yüzde kopma uzaması 3.51'dir. Yüzde kopma uzamaları, 3 farklı çekme yükü kullanılması durumunda elde edilen sonuçlara bakıldığında, aynı çekme yükünde daha küçük çaplı makara kullanılması durumunda yüzde kopma uzama değerleri yükselmiştir. 39 demetli dönme dirençli halatta kullanılan makara çapının düşmesiyle yüzde kopma uzaması düşerken, 6 x 36 Warrington-Seale halat kullanılmasında tam tersi olarak yüzde kopma uzaması, aynı çekme yükünde, daha küçük çaplı makara kullanılması durumunda artmıştır. Bu nedenle, 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre, makara çapındaki değişimden, yüzde kopma uzaması bakımından daha fazla etkilenmektedir. Kullanılan makara çapının düşmesi durumunda, 6 x 36 Warrington-Seale halatın yüzde kopma uzaması değerlerinin sistem tasarımında göz önünde bulundurulması tavsiye edilir.

6.5.4 Halat tipinin halat ömrüne etkisi

Halat ömrüne etki eden parametrelerden diğeri de halatın sahip olduğu kompozisyonun tipidir. Halat tipinin halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için Bölüm 6.5.2'de elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Bu bölümde çıkarılan sonuçlar dönme dirençli halatlar ve demetli halatlar için genelleştirilebilir. Karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşmak için, $D=250$ mm çaplı makara kullanılması durumunda her iki halat konstrüksiyonu için 15 kN, 20 kN ve 25 kN çekme yükleri ve $D=100$ mm çaplı makara kullanılması durumunda her iki halat konstrüksiyonu için 10 kN, 15 kN ve 20 kN çekme yükleri kullanılmış ve böylelikle çekme yükleri sabit tutularak halat tipinin halat ömrüne etkisi tespit edilmiştir. Bu bölümde sadece kullanılan halatın tipi ile halat kopma ömrünün nasıl değiştiği gösterilmiş olup, servis dışı bırakma ömrünün kullanılan halat tipi ile değişimine değinilmemiştir.

Çizelge 6.12'de bu tez çalışmasında kullanılan iki farklı tipteki halatın, $D=250$ mm ve $D=100$ mm çaplarına sahip makaralarla birlikte çalıştırılması durumundaki, halat tipine bağlı halat ömründeki değişimler gösterilmiştir.

Çizelge 6.12 : Halat ömrünün halat tipi ile değişimi.

39 demetli dönme dirençli halat			
D = 250 mm		D = 100 mm	
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)
S=15 kN	38013	S=10 kN	7256
S=20 kN	25202	S=15 kN	5060
S=25 kN	11377	S=20 kN	2996

6 x 36 Warrington-Seale halat			
D = 250 mm		D = 100 mm	
Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)	Çekme yükü	İşletme Ömrü (N)
S=15 kN	163456	S=10 kN	32516
S=20 kN	86792	S=15 kN	27774
S=25 kN	69619	S=20 kN	13170

Şekil 6.38’de halat kopma ömrünün halat tipi ile değişimi, D=250 mm ve D=100 mm çaplarına sahip makaralar kullanıldığı durum için gösterilmiştir. Kopma ömürlerini gösteren eksen logaritmik ölçekte çekme yüklerini gösteren eksen metrik ölçekte çizilmiştir.

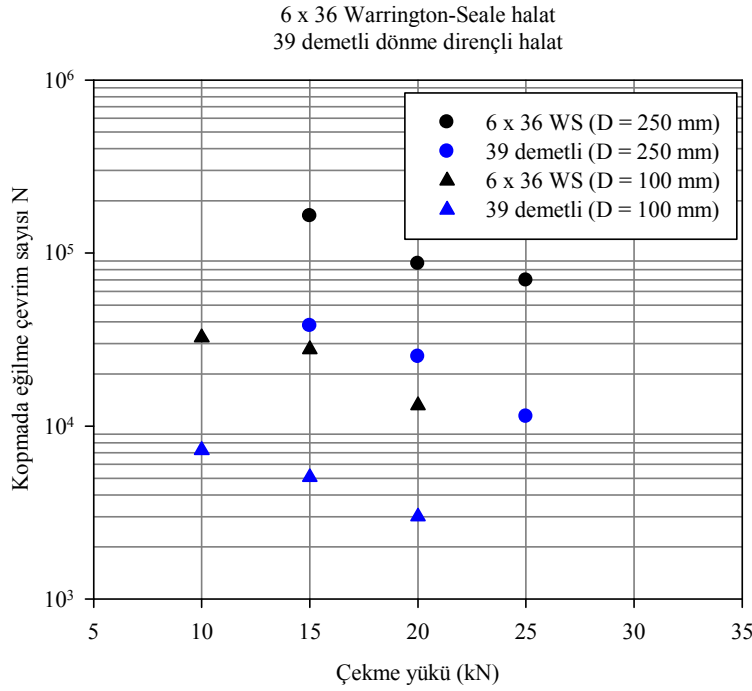
Çap oranı $D/d = 25$ iken,

- S= 15 kN için, 39 demetli dönme dirençli halatın çalışma ömrü 38013 çevrim ve yüzde kopma uzaması 2.20, 6x36 WS halatın çalışma ömrü ise 163456 çevrim ve yüzde kopma uzaması 2.73’tür. Bu sonuçlara göre bu çekme yükünde, 6x36 WS halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 4.3 kat daha fazla işletmede daha uzun süre çalıştırılabilir.
- S= 20 kN için, 39 demetli dönme dirençli halatın çalışma ömrü 25202 çevrim ve yüzde kopma uzaması 3.99, 6x36 WS halatın çalışma ömrü ise 86792 çevrim ve yüzde kopma uzaması 1.95’tir. Bu sonuçlara göre bu çekme yükünde, 6x36 WS halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 3.44 kat daha fazla işletmede daha uzun süre çalıştırılabilir.
- S= 25 kN için, 39 demetli dönme dirençli halatın çalışma ömrü 11377 çevrim ve yüzde kopma uzaması 1.24, 6x36 WS halatın çalışma ömrü ise 69619 çevrim ve yüzde kopma uzaması 2.33’tür. Bu sonuçlara göre bu çekme yükünde, 6x36 WS halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 6.11 kat daha fazla işletmede daha uzun süre çalıştırılabilir.

Çap oranı $D/d = 10$ iken,

- $S = 10$ kN için, 39 demetli dönme dirençli halatın çalışma ömrü 7256 çevrim ve yüzde kopma uzaması 0.68, 6x36 WS halatın çalışma ömrü ise 32516 çevrim ve yüzde kopma uzaması 5.22'dir. Bu sonuçlara göre bu çekme yükünde, 6x36 WS halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 4.48 kat daha fazla işletmede daha uzun süre çalıştırılabilir.
- $S = 15$ kN için, 39 demetli dönme dirençli halatın çalışma ömrü 5060 çevrim ve yüzde kopma uzaması 0.84, 6x36 WS halatın çalışma ömrü ise 27774 çevrim ve yüzde kopma uzaması 4.07'dir. Bu sonuçlara göre bu çekme yükünde, 6x36 WS halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 5.48 kat daha fazla işletmede daha uzun süre çalıştırılabilir.
- $S = 20$ kN için, 39 demetli dönme dirençli halatın çalışma ömrü 2996 çevrim ve yüzde kopma uzaması 1.83, 6x36 WS halatın çalışma ömrü ise 13170 çevrim ve yüzde kopma uzaması 2.14'tür. Bu sonuçlara göre bu çekme yükünde, 6x36 WS halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 4.39 kat daha fazla işletmede daha uzun süre çalıştırılabilir.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, 6 x 36 WS halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre üstün bir ömre sahiptir. Burada, bir genelleştirme yaparak, demetli halatların (geleneksel, dönme dirençsiz halatlar) kopma ömürlerinin, dönme dirençli halatların ömründen daha büyük olacağını söyleyebiliriz. Fakat dönme dirençli halatların, dönmeye karşı serbest uç bağlantılarıyla da çalışabilmeleri, aynı çapta daha büyük metalik kesit alanı sağlayarak daha büyük minimum kopya yüküne sahip olmaları ve çok kademedeki ve çok sayıda demete sahip olmaları nedeniyle demet kopmalarının geleneksel demetli halatlara göre daha emniyetli oluşları nedeniyle özellikle vinçlerde sıklıkla kullanılırlar.

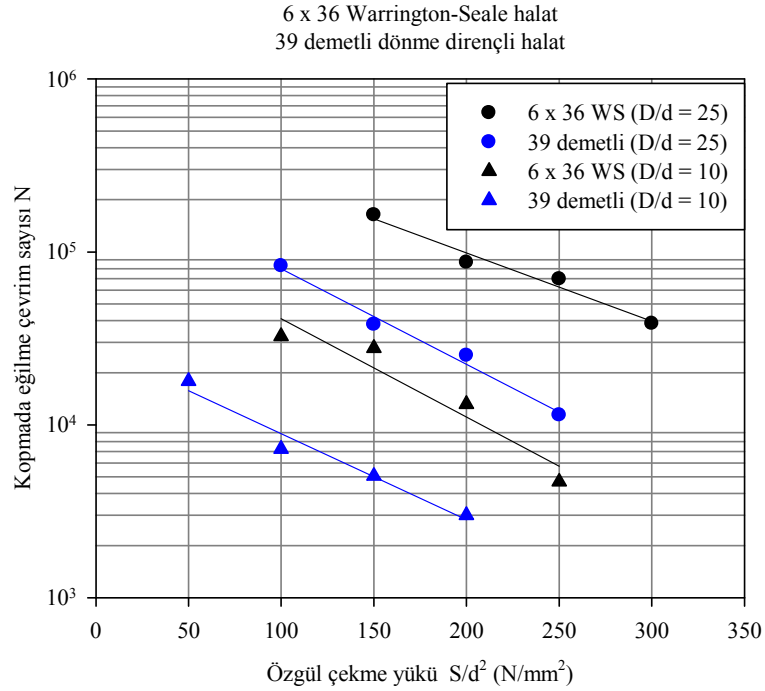


Şekil 6.38 : Halat ömrünün halat tipi ile değişimi.

Çekme yükü global formda özgül çekme yükü, S/d^2 (N/mm^2) olarak da literatürde gösterilmektedir. Özgül çekme yükü, çekme yükü S 'in, nominal halat çapı d 'nin karesine oranı olarak tanımlanır. Böylelikle çekme yükü ve halat nominal çapı gibi halat ömrüne etki eden iki faktör, tek bir faktör olarak göz önünde bulundurulabilir. Ayrıca, kullanılan makara çapıyla, halat çapının tek bir faktör olarak ele alınabilmesi için de literatürde bu iki çapın oranı olan çap oranı D/d kullanılmaktadır. Böylelikle, bu çalışmada, belirli çaplarda makaralar kullanılarak, belirli çekme yüklerinde ve 10 mm çapındaki halatlar kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar, özgül çekme yükü S/d^2 ve çap oranı D/d kullanılarak iki farklı halat tipi için genelleştirilmiştir. Örneğin, bu çalışmada yapılan bir deneyde, 10 mm çapında 6 x 36 Warrington Seale halat, 15 kN çekme yüküyle yüklenmiş ve 250 mm çapında makara kullanılmıştır. Burada elde edilen sonuç, sadece, bu halatın, belirtilen çekme yüküyle, belirtilen makara çapında kullanılması durumunda geçerli olacaktır. Fakat, özgül çekme yükü ve çap oranı değerlerini kullanarak bu sonucu genelleştirebiliriz. 10 mm çapında halat ifadesi yerine makara çapını da dikkate alarak çap oranı $D/d = 25$ diyeceğiz ve çekme yükü yerine halat çapını da dikkate alarak özgül çekme yükü $S/d^2 = 150$ diyeceğiz. Böylelikle, 16 mm çapında 6 x 36 Warrington-Seale halat, 400 mm çapında makara ve 38.4 kN çekme yükü ile çalıştırıldığında da bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçtan yararlanılabilecektir. Bu nedenle, elde edilen sonuçların özgül çekme yükü ve çap oranları kullanılarak bir arada verilmesi, bu iki halat tipinin transport

sisteminde kullanılması durumunda, halatın ömrünün kullanıcılar tarafından yaklaşık olarak kestirilebilmelerine olanak sağlayacaktır.

Şekil 6.39'da 39 demetli dönme dirençli halatın ve 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömürlerinin özgül çekme yükü ve çap oranıyla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 6.39 : Halat ömrünün özgül çekme yükü ve çap oranı ile değişimi.

6.5.5 Dönme hızının halat ömrüne etkisi

Bu çalışmada deneysel çalışmalar için kullanılan test makinesinin maksimum dönme hızı 2750 devir/saat'tir. 250 mm çapında makara kullanılması durumunda maksimum 2750 devir/saat dönme hızı, 100 mm çapında makara kullanılması durumunda maksimum 2500 devir/saat dönme hızı test makinesinin emniyetli çalışmasının temini için kullanılmıştır. Diğer parametrelerin halat ömrüne etkilerinin tespiti için yapılan testlerde 1250 devir/saat dönme hızı kullanılmıştır. Deney teçhizatındaki devir ayar düğmesi kullanılarak test esnasındaki dönme hızları 1000, 1500, 2000, 2500 ve 2750 devir/saat olacak şekilde değiştirilerek halat üzerindeki sıcaklık değişimleri, Şekil 6.40'da gösterilen, $-20^{\circ}C$ derece ile $650^{\circ}C$ arasındaki sıcaklıkları ölçebilen toleransı $\pm 2\%$ olan Flir T-Serisi modelinde termal kamera kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 6.40 : Flir T-Serisi termal kamera.

39 demetli dönme dirençli halat numuneleri kullanılarak farklı dönme hızlarında halat üzerinde oluşan sıcaklıklar Çizelge 6.13’de gösterilmiştir. Burada, çekme yükü, iki testte de 15 kN olarak seçilmiş ve sabit olarak tutulmuştur.

Çizelge 6.13 : 39 demetli dönme dirençli halat için dönme hızına bağlı sıcaklık değişimleri.

Dönme hızı (dev/h)	Sıcaklık (°C)	Oda sıcaklığı (°C)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
1000	28.3	24.4	15	250
1500	29.6	24.4	15	250
2000	31.5	24.4	15	250
2500	32.5	24.4	15	250
2750	36	24.4	15	250
1000	58.3	24.3	15	100
1500	71.2	24.3	15	100
2000	81	24.3	15	100
2500	93	24.3	15	100

Çizelge 6.13’den de kolayca görülebileceği gibi, halat üzerinde oluşan sıcaklıklar dönme hızının arttırılmasıyla artmıştır. 250 mm çapında makara kullanıldığı durumda dönme hızı 1000 dev/h olursa halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 28.3°C iken, dönme hızı 2750 dev/h olduğu durumda halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 7.7°C artarak 36°C olmuştur. 100 mm çapında makara kullanıldığı durumda dönme

hızı 1000 dev/h olursa halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 58.3°C iken, dönme hızı 2500 dev/h olduğu durumda halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 34.7°C artarak 93°C olmuştur. Makara çapının küçülmesi ile aynı dönme hızında halat üzerinde oluşan sıcaklıklar büyük oranda artmıştır. Bu çalışmada, kurşun ağırlıklı alaşım TEGO-VG3 adlı halat ucu döküm alaşımı kullanılarak halat uç bağlantıları sağlanmıştır. Bu tip malzeme kullanılarak yapılan uç bağlantılarında, standartta [39] belirtilen sıcaklık sınırlarının aşılmaması güvenlik için istenmektedir. Kullanılan uç bağlantısı için belirtilen sıcaklık aralığı -45°C ile 80°C 'dir. Bu nedenle, halat uç bağlantısı göz önünde bulundurulduğunda, 39 demetli dönme dirençli halat 15 kN çekme yüküyle yüklendiği ve 100 mm çapında makara ile birlikte kullanıldığı durumda, 2000 dev/h dönme hızının üzerinde bir hızda çalıştırılmamalıdır. Burada, oda sıcaklığının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Oda sıcaklığının düşük olduğu durumda dönme hızında küçük bir artış sağlanabilir.

6 x 36 Warrington-Seale halat numuneleri kullanılarak farklı dönme hızlarında halat üzerinde oluşan sıcaklıklar Çizelge 6.14'de gösterilmiştir. Burada, iki testte çekme yükü 15 kN olarak, bir testte ise 20 kN olarak seçilmiştir. Bunun nedeni, çekme yükünün artırılmasıyla halat üzerinde oluşan sıcaklığın dönme hızıyla değişimlerinin tespit edilmesidir.

Çizelge 6.14 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için dönme hızına bağlı sıcaklık değişimleri.

Dönme hızı (dev/h)	Sıcaklık (°C)	Oda sıcaklığı (°C)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
1000	27.7	23.5	15	250
1500	28.5	23.5	15	250
2000	29.6	23.5	15	250
2500	30.4	23.5	15	250
2750	32.3	23.5	15	250
1000	50.1	22.5	15	100
1500	65.2	22.5	15	100
2000	79.5	22.5	15	100
2500	95	22.5	15	100
1000	51	22.1	20	100
1500	69	22.1	20	100
2000	88.5	22.1	20	100
2500	109	22.1	20	100

Çizelge 6.14'den de kolayca görülebileceği gibi, halat üzerinde oluşan sıcaklıklar dönme hızının arttırılmasıyla artmıştır. 250 mm çapında makara kullanıldığı durumda dönme hızı 1000 dev/h olursa halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 27.7°C iken, dönme hızı 2750 dev/h olduğu durumda halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 4.6°C artarak 32.3°C olmuştur. 100 mm çapında makara kullanıldığı durumda dönme hızı 1000 dev/h olursa halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 50.1°C iken, dönme hızı 2500 dev/h olduğu durumda halat üzerinde meydana gelen sıcaklık 44.9°C artarak 95°C olmuştur. Makara çapının küçülmesi ile aynı dönme hızında halat üzerinde oluşan sıcaklıklar büyük oranda artmıştır. Halat uç bağlantısı göz önünde bulundurulduğunda, 6 x 36 Warrington-Seale halat 15 kN çekme yüküyle yüklendiği ve 100 mm çapında makara ile birlikte kullanıldığı durumda, 2000 dev/h dönme hızının üzerinde bir hızda çalıştırılmamalıdır. Burada, oda sıcaklığının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Oda sıcaklığının düşük olduğu durumda dönme hızında küçük bir artış sağlanabilir. Bu çalışmada, çekme yükünün arttırılmasıyla dönme hızına bağlı halat üzerindeki sıcaklık değişimleri de ölçülmüştür. Çekme yükünün 15 kN yerine 20 kN olduğu durumda 1000 ve 1500 dev/h dönme hızlarında halat üzerindeki sıcaklıklar hemen hemen aynı kalmaktadır. Fakat dönme hızının

2000 ve 2500 dev/h olduğu durumda halat üzerindeki sıcaklıklarda belirgin bir artış meydana gelmiştir. Çekme yükünün 20 kN, kullanılan makara çapının 100 mm olduğu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat, 2500 dev/h dönme hızı ile çalıştırıldığında halat üzerindeki sıcaklık 109°C olmuştur.

Sonuç olarak, dönme hızının, halat uç bağlantısında kullanılan malzeme ve kullanılan halat yağlayıcısının cinsi dikkate alınarak belirli sınır değer üzerinde seçilmemesi gerektiği söylenebilir.

Dönme hızının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan deneysel çalışmalar sonunda elde edilen sonuçlar Çizelge 6.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.15 : Halat ömrünün dönme hızıyla değişimi.

Dönme hızı / halat tipi	Halat kopma ömrü <i>N</i> (çevrim)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
39 demetli dönme dirençli halat:			
1250 dev/h	38013	15	250
2750 dev/h	32917	15	250
1250 dev/h	5060	15	100
2500 dev/h	3060	15	100
6 x 36 Warrington-Seale halat:			
1250 dev/h	163456	15	250
2750 dev/h	140407	15	250
1250 dev/h	27774	15	100
2500 dev/h	22663	15	100
1250 dev/h	13170	20	100
2500 dev/h	10216	20	100

Çizelge 6.15’de görüldüğü gibi, dönme hızının arttırılması sonucunda halat ömrü düşmüştür. Burada, 1250 dev/h dönme hızının kullanılması sonucu elde edilen halat ömür değerleri çekme yükünün halat ömrüne etkisinin açıklandığı bölümden alınmıştır. 2750 dev/h ve 2500 dev/h dönme hızları, eğilme yorulması deney teçhizatının emniyetli şekilde çalışması için kullanılan sınır değerlerdir ve bu çalışmada deney teçhizatı, belirtilen dönme hızlarında çalıştırılarak dönme hızının halat ömrüne etkisinin tespiti yapılmıştır.

39 demetli dönme dirençli halat numunesi kullanılarak yapılan testler sonunda elde edilen sonuçlara bakıldığında, 250 mm çapında makara kullanıldığı, çekme yükünün

15 kN olduğu durumda, halat 1250 dev/h yerine 2750 dev/h dönme hızında çalıştırıldığında halat ömrü %13.4 oranında düşmüştür. 100 mm çapında makara kullanıldığı, çekme yükünün 15 kN olduğu durumda, halat 1250 dev/h yerine 2500 dev/h dönme hızında çalıştırıldığında halat ömrü %39.52 oranında düşmüştür.

6 x 36 Warrington-Seale halat numunesi kullanılarak yapılan testler sonunda elde edilen sonuçlara bakıldığında, 250 mm çapında makara kullanıldığı, çekme yükünün 15 kN olduğu durumda, halat 1250 dev/h yerine 2750 dev/h dönme hızında çalıştırıldığında halat ömrü %14.1 oranında düşmüştür. 100 mm çapında makara kullanıldığı, çekme yükünün 15 kN olduğu durumda, halat 1250 dev/h yerine 2500 dev/h dönme hızında çalıştırıldığında halat ömrü %18.4 oranında düşmüştür. 100 mm çapında makara kullanıldığı, çekme yükünün 20 kN olduğu durumda, halat 1250 dev/h yerine 2500 dev/h dönme hızında çalıştırıldığında halat ömrü %22.42 oranında düşmüştür.

6.5.6 Halat kusurları ve hasarlarının halat ömrüne etkileri

Bu bölümde, halatların çalıştırılmaları sırasında meydana gelen aşınma, iç ve dış tel kırıkları gibi parametrelerin yanı sıra halatın imalatı sırasında veya yanlış kullanımı nedeniyle oluşan yetersiz yağlanma sorunu ve halatın kangal üzerinden açılması veya işletmeye alınışındaki yanlışlıklar nedeniyle oluşan bükülmenin halat ömrüne etkilerinin tespiti için yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen deney sonuçları açıklanmıştır. Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi için halat numuneleri üzerinde bu hasarlar yaratılmıştır. Öncelikle, halat numuneleri üzerinde bu tip hasarların, kusurların yaratılması için yapılan işlemler açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar, halat üzerinde bu hasarların yaratılması için yapılan işlemler açıklandıktan sonra, hem ilgili bölümde hem de bir arada toplanarak grafik olarak bölüm sonunda gösterilmiştir.

Halatta yaratılan bozulmaların, hasarsız aynı halatla da ömür değerlerinin karşılaştırılabilmesi için, S=15 kN çekme yükü, D=250 mm makara çapı, 39 demetli dönme dirençli halat için; S=25 kN çekme yükü, D=250 mm makara çapı 6x36 Warrington-Seale halat için, sabit tutulmuştur.

6.5.6.1 Yağlamanın halat ömrüne etkisi

Yağlamanın halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için bu çalışmada, kusursuz bir şekilde yağlanmış her iki tipteki halat numuneleri üzerinde bazı işlemler uygulanarak yağlayıcıları uzaklaştırılmıştır. Yetersiz yağlanmış hale getirilen bu halat numuneleri ile kusursuz bir şekilde yağlanmış aynı tip halat numuneleri kullanılarak elde edilen test sonuçları karşılaştırılmış ve yağlamanın halat ömrüne etki oranı tespit edilmiştir. Halatın yağsız kalması, ya imalatı sırasında yapılan hatalar nedeniyle ya da yanlış çevre koşullarında, yanlış tip halatın kullanılması durumunda oluşabilir. Ayrıca, halatın çalıştırıldığı bölgedeki sıcaklık, halatın yağlayıcısının damlama noktasından daha büyük sıcaklıkta olduğu zamanda yağ, halat içinden akabilir ve halat yağsız kalabilir.

Halat üzerindeki yağın giderilmesi için ilk olarak halat numunesi, petrol vb. temizleyici içerisine batırılır ve bir süre bekletilir. Daha sonra halat, petrol içerisinden çıkarılarak yüzeyinden, Şekil 6.41'de gösterildiği gibi bir tel fırça kullanılarak kalan yağ uzaklaştırılır.



Şekil 6.41 : Halat yüzeyindeki yağın tel fırça ile uzaklaştırılması.

Bu işlemde sadece halat yüzeyindeki yağlayıcı uzaklaştırılmıştır. Halatın iç kademelerindeki halat yağlayıcısının da uzaklaştırılması için Şekil 6.42'de gösterilen Bandelin Sonorex SuperRK 514 BH model ultrasonik temizleme cihazı kullanılmıştır. Halat numunesi bu ultrasonik temizleme cihazı içindeki hazneye yerleştirilir ve cihaz 50°C sıcaklıkta 10 dakika süre ile çalıştırılır.



Şekil 6.42 : Bandelin Sonorex SuperRK 514 BH model ultrasonik temizleme cihazı.

Bu işlem sonunda yağı giderilen halat numuneleri, hava tabancası kullanılarak içerisinde kalan kalıntı yağdan arındırılır. Böylelikle, yetersiz yağlayıcıya sahip halat numuneleri hazırlanmış olur. Şekil 6.43a'da kusursuz bir 39 demetli dönme dirençli halat numunesi (üstte) ile yetersiz yağlayıcı 39 demetli dönme dirençli halat numunesi (altta), Şekil 6.43b'de ise kusursuz bir 6 x 36 Warrington-Seale halat numunesi (üstte) ile yetersiz yağlayıcı 6 x 36 Warrington-Seale halat numunesi (altta) gösterilmiştir.



(a) 39 demetli dönme dirençli halat



(b) 6 x 36 Warrington-Seale halat

Şekil 6.43 : Yetersiz yağlayıcı halat numuneleri.

Çizelge 6.16’da halat yağlayıcısının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.16 : Yağlamanın halat ömrüne etkisi.

Halat	Parametre	Halat kopma ömrü N (çevrim)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
39 demetli dönme dirençli halat	Hasarsız	38013	15	250
39 demetli dönme dirençli halat	Yetersiz yağlanmış	20008	15	250
6 x 36 WS halat	Hasarsız	69619	25	250
6 x 36 WS halat	Yetersiz yağlanmış	34806	25	250

Çizelge 6.16’daki sonuçlara baktığımızda, yetersiz yağlanmış 39 demetli dönme dirençli halatın ömrü, düzgün yağlanmış aynı halatın ömrüne göre %47,36 oranında düşmüştür. Yetersiz yağlanmış 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrü, düzgün yağlanmış aynı halatın ömrüne göre %50 oranında düşmüştür.

6.5.6.2 Tel kırıklarının halat ömrüne etkisi

Bu çalışmada, iç ve dış tel kırıklarının halat ömrüne etkileri de incelenmiştir. İç tel kırıkları 39 demetli dönme dirençli halat numunelerinde, dış tel kırıkları ise 6 x 36 Warrington-Seale halat numunelerinde yaratılmıştır. Bunun nedeni, dönem dirençli halatların konstrüksiyonları gereği dış demet kademesinin, bir altındaki demet kademesinin tam tersi yönünde sarılmaları nedeniyle temas noktalarında, paralel sarımlı halatlardaki (6 x 36 Warrington-Seale) gibi çizgisel bir temas olmayıp, noktasal temasın olmasıdır. Dönme dirençli halatlarda dış demet kademesinde herhangi bir hasar görülmesi dahi hasar mekanizmasının alt kademelerde başlaması muhtemeldir. Bu nedenle uygulamada maruz kalınan hasar mekanizmaları gözönünde bulundurulmuştur.

Dış tel kırıkları, 6 x 36 Warrington-Seale halat numunelerinde oluşturulmuştur. Tel kırıkları, Şekil 6.44a’da gösterildiği gibi bir demette 6 adet ve Şekil 6.44b’de gösterildiği gibi her bir demette 2 adet olmak üzere toplam 3 demette 6 tel kırığı keskin uçlu pense kullanılarak yaratılmıştır.



(a) 1 x 6 dış tel kırığı



(b) 3 x 2 dış tel kırığı

Şekil 6.44 : 6 x 36 Warrington-Seale halattaki dış tel kırıkları.

İç tel kırıkları, 39 demetli dönme dirençli halat numunelerinde, bu tip halatlara özgü hasar mekanizması göz önünde bulundurularak ikinci demet kademesinde oluşturulmuştur. İç tel kırıkları Şekil 6.45’de gösterilen el tipi küçük taşlı taşlama makinesi kullanılarak yaratılmıştır.



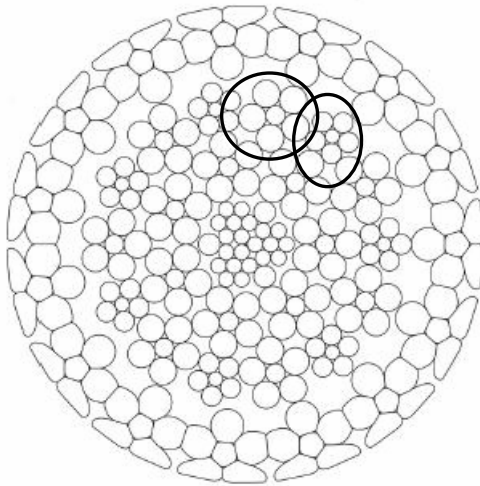
Şekil 6.45 : İç tel kırıklarının yaratılması için kullanılan küçük taşlı taşlama makinesi.

39 demetli dönme dirençli halat numunelerinde iç kademedeki tel kırıklarının yaratılabilmesi için halatın her iki ucunun mengenelerle sıkıştırılması ve halatın her iki bölümünün ters yönde döndürülmesi gereklidir. Bu işlemlerin yapılması sonucu belli uzunlukta döndürülen ve iç kademesi görülen 39 demetli dönme dirençli halat numunesi Şekil 6.46’da gösterilmiştir.

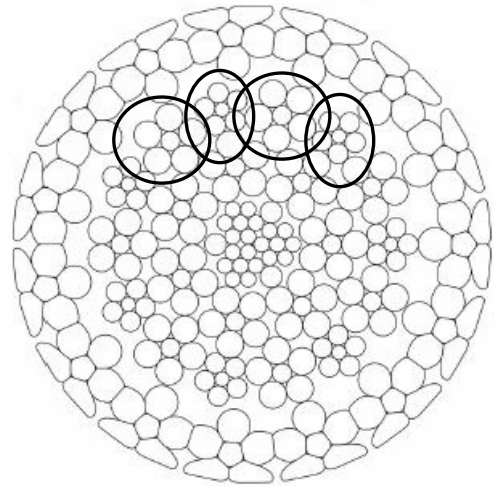


Şekil 6.46 : İç tel kırıklarının yaratılabilmesi için belirli uzunluğu açılan halat numunesi.

İç tel kırıkları, ikinci demet kademesinde Şekil 6.47a’da gösterilen birbirine bitişik 2 demetin ve Şekil 6.47b’de gösterilen birbirine bitişik 4 demetin, el tipi küçük taşlı taşlama makinesi kullanılarak kesilmesiyle yaratılmıştır.



(a) 2 iç demet kırığı



(b) 4 iç demet kırığı

Şekil 6.47 : İç demet kırıklarının yaratıldığı demetler.

Çizelge 6.17’de 6 x 36 Warrington-Seale halatta dış tel kırıklarının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.17 : 6 x 36 Warrington-Seale halatta dış tel kırıklarının halat ömrüne etkisi.

Halat	Parametre	Halat kopma ömrü N (çevrim)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
6 x 36 WS halat	Hasarsız	69619	25	250
6 x 36 WS halat	1 x 6 dış tel kırığı	56586	25	250
6 x 36 WS halat	3 x 2 dış tel kırığı	28731	25	250

Çizelge 6.17’de görüldüğü gibi dış tel kırıklarının halat ömrüne etkisi büyüktür. 1 dış demette 6 adet tel kırığının oluşması durumunda halat ömrü %18.72 oranında düşmüştür. 3 dış demette her bir demette 2 adet olmak üzere toplam yine 6 adet tel kırığının oluşması durumunda halat ömrü %58.73 oranında düşmüştür. Dış tel kırık sayıları her iki durumda da 6 adet olmasına rağmen elde edilen sonuçlarda büyük fark vardır. Bu nedenle, tel kırıklarının, yük taşıyan dış demetlerdeki dağılımının da halat ömrünü etkilediği söylenebilir.

Yazarlar [6], yaptıkları çalışmada, 6 x 25 Filler çelik özlü (IWRC), 1960 MPa tel anma dayanımına sahip, 19 mm çapında, sağ çapraz sarım halat numuneleri üzerinde 3 x 2 dış tel kırığı yaratarak bu parametrenin halat ömrüne etkisini incelemişlerdir. Testte kullandıkları özgül çekme yükü $S/d^2 = 151.44 \text{ N/mm}^2$, çap oranı $D/d = 18$, eğilme uzunluğu 150 milimetredir. Bu parametreleri kullanarak yaptıkları test neticesinde halat ömrünün yaklaşık %15 oranında düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu oran, hasarsız aynı halatta, yaptıkları 4 adet testten elde ettikleri en büyük halat ömür değeri kullanılarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.18’de 39 demetli dönme dirençli halatta iç tel kırıklarının halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan testlerin sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.18 : 39 demetli dönme dirençli halatta iç tel kırıklarının halat ömrüne etkisi.

Halat	Parametre	Halat kopma ömrü N (çevrim)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
39 demetli dönme dirençli halat	Hasarsız	38013	15	250
39 demetli dönme dirençli halat	2 iç demet kırığı	23581	15	250
39 demetli dönme dirençli halat	4 iç demet kırığı	15006	15	250

Çizelge 6.18’de görüldüğü gibi iç tel kırıklarının halat ömrüne etkisi büyüktür. 2 adet iç demet kırığının oluşması durumunda halat ömrü %37.96 oranında düşmüştür. 4 adet iç demet kırığının oluşması durumunda halat ömrü %60.52 oranında düşmüştür.

Yazarlar [6], yaptıkları çalışmada, 34x7 tel demet özlü (WSC), 1960 MPa tel anma dayanımına sahip, 19 mm çapında, kompakt, dönme dirençli halat numuneleri üzerinde birbirine bitişik 4 iç demet kırığı yaratarak bu parametrenin halat ömrüne etkisini incelemişlerdir. Testte kullandıkları özgül çekme yükü $S/d^2 = 180 \text{ N/mm}^2$, çap oranı $D/d = 18$, eğilme uzunluğu 150 milimetredir. Bu parametreleri kullanarak yaptıkları test neticesinde halat ömrünün yaklaşık %31 oranında düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu oran, hasarsız aynı halatta, yaptıkları 2 adet testten elde ettikleri en büyük halat ömür değeri kullanılarak tespit edilmiştir.

6.5.6.3 Bükülmenin halat ömrüne etkisi

Bu çalışmada, bükülmenin halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için her iki halat numunesi 35° bükülmüştür. Çelik tel halatlarda bükülme, halatın tamburdan yanlış şekilde açılmasından, halatın işletmeye alınışındaki yanlış işlemler vb. nedenlerden dolayı oluşur. Her iki halat numunesindeki bükülmenin açılmal olarak ölçülmesi için universal bevel protractor kullanılmıştır. Şekil 6.48’de 35° bükülmüş 39 demetli dönme dirençli halat numunesi gösterilmiştir.

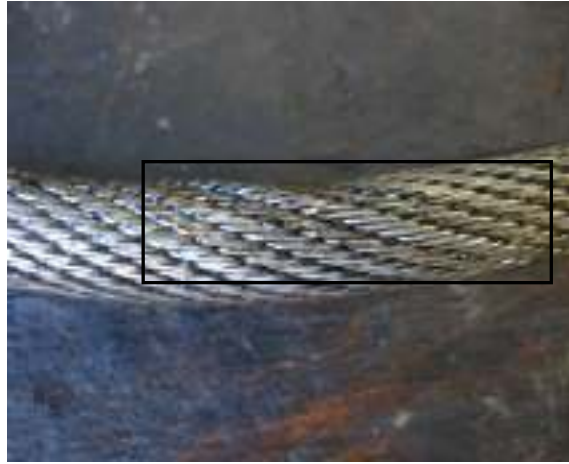


Şekil 6.48 : 35° bükülmüş 39 demetli dönme dirençli halat.

39 demetli dönme dirençli halat numunesi üzerinde oluşturulan 35° bükülmeden sonra Şekil 6.49a’da gösterildiği gibi bükülme bölgesinde 2 dış demetin ezildiği ve Şekil 6.49b’de gösterildiği gibi 1 dış demetin gevşediği gözlemlenmiştir.



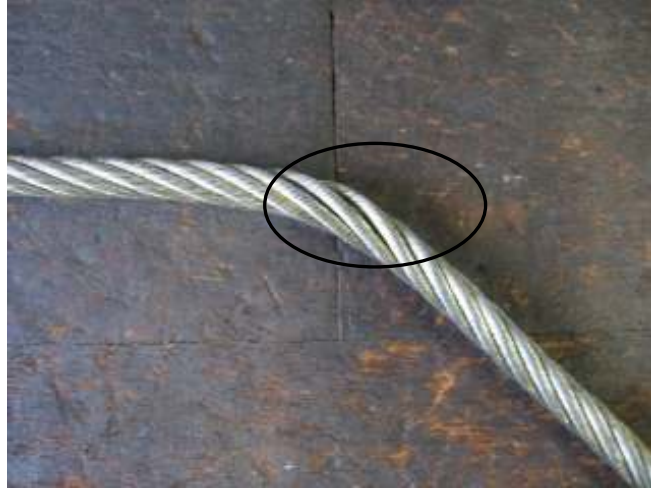
(a) 2 dış demette ezilme



(b) 1 dış demette gevşeme

Şekil 6.49 : 39 demetli dönme dirençli halatta 35° bükülme nedeniyle oluşan hasarlar.

Şekil 6.50’de 35° bükülmüş 6 x 36 Warrington-Seale halat numunesi gösterilmiştir.



Şekil 6.50 : 35° bükülmüş 6 x 36 Warrington-Seale halat.

6 x 36 Warrington-Seale halat numunesi üzerinde oluşturulan 35° bükülmeden sonra Şekil 6.50’de gösterildiği gibi bükülme bölgesinde 2 dış demetin gevşediği gözlemlenmiştir.

Bükülmenin halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan eğilme yorulması testleri neticesinde her iki halat konstrüksiyonu için elde edilen test sonuçları Çizelge 6.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.19 : Bükülmenin halat ömrüne etkisi.

Halat	Parametre	Halat kopma ömrü N (çevrim)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
39 demetli dönme dirençli halat	Hasarsız	38013	15	250
39 demetli dönme dirençli halat	35° bükülmüş	27121	15	250
6 x 36 WS halat	Hasarsız	69619	25	250
6 x 36 WS halat	35° bükülmüş	63843	25	250

Çizelge 6.19’da görüldüğü gibi bükülme halat ömrüne etki etmektedir. 39 demetli dönme dirençli halatta 35° bükülmenin oluşması durumunda halat ömrü %28.65 oranında düşmüştür. 6 x 36 Warrington-Seale halatta 35° bükülmenin oluşması durumunda halat ömrü %8.29 oranında düşmüştür. Deneysel sonuçlara baktığımızda 39 demetli dönme dirençli halatların bükülmeye karşı daha hassas olduğu ve bu tip

halat konstrüksiyonlarının bükülmesi durumunda demetli halat konstrüksiyonlarına göre daha fazla ömür kaybına uğrayacağı söylenebilir.

6.5.6.4 Aşınmanın halat ömrüne etkisi

Bu çalışmada, abrasif aşınmanın halat ömrüne etkileri de incelenmiştir. Abrasif aşınma, çelik tel halatların makaralarla birlikte çalıştırıldıkları durumda halatın makaralarla temas ettiği eğilme bölgesindeki yüzeyinden malzemenin ihraç olması şeklinde ortaya çıkar. Abrasif aşınmanın halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için 6 x 36 Warrington-Seale halat numunelerinde, bir tarafından 0.2 mm derinlikte ve $15d$ ve $30d$ (d , halat çapı) boylarında Şekil 6.51’de gösterilen el tipi taşlama makinesi kullanılarak düz yüzeyler oluşturulmuştur. Halat numunesinde 0.2 mm derinliğinde düz yüzey oluşturmak için, halat dış demet yüzeyinden itibaren 0.2 mm derinlik kumpas yardımıyla ölçülüp halat eksenine boyunca işaretlenmiş, halat numunesi, mengeneyle, işaretlenen bu derinlik mesafesi mengene yüzeyinden dışarı kalacak şekilde yerleştirilmiş ve bu derinlik, ilk önce 150 mm boyunda halat yüzeyinden uzaklaştırılmıştır. Sonrasında aynı işlemler tekrarlanarak yeni bir halat numunesi 300 mm boyunda taşlanmıştır. Halat numunelerinin 0.2 mm aşındırılması durumunda, halat metalik kesit alanında %4 oranında kayıp olmuştur.



Şekil 6.51 : Abrasif aşınma için kullanılan el tipi taşlama makinesi.

Şekil 6.52’de aşındırılmış bir 6 x 36 Warrington-Seale halat numunesi gösterilmiştir. Aşınma boyunda, her bir demette 4 adet telin aşınmadan etkilendiği görülmüştür.



Şekil 6.52 : Abrasif aşınmış 6 x 36 Warrington-Seale halat.

Abrasif aşınmanın halat ömrüne etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan eğilme yorulması testleri neticesinde 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen test sonuçları Çizelge 6.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.20 : Abrasif aşınmanın halat ömrüne etkisi.

Halat	Parametre	Halat kopma ömrü <i>N</i> (çevrim)	Çekme yükü (kN)	Makara çapı (mm)
6 x 36 WS halat	Hasarsız	69619	25	250
6 x 36 WS halat	0.2 mm derinlik ve 150 mm boyda	63440	25	250
6 x 36 WS halat	0.2 mm derinlik ve 300 mm boyda	37435	25	250

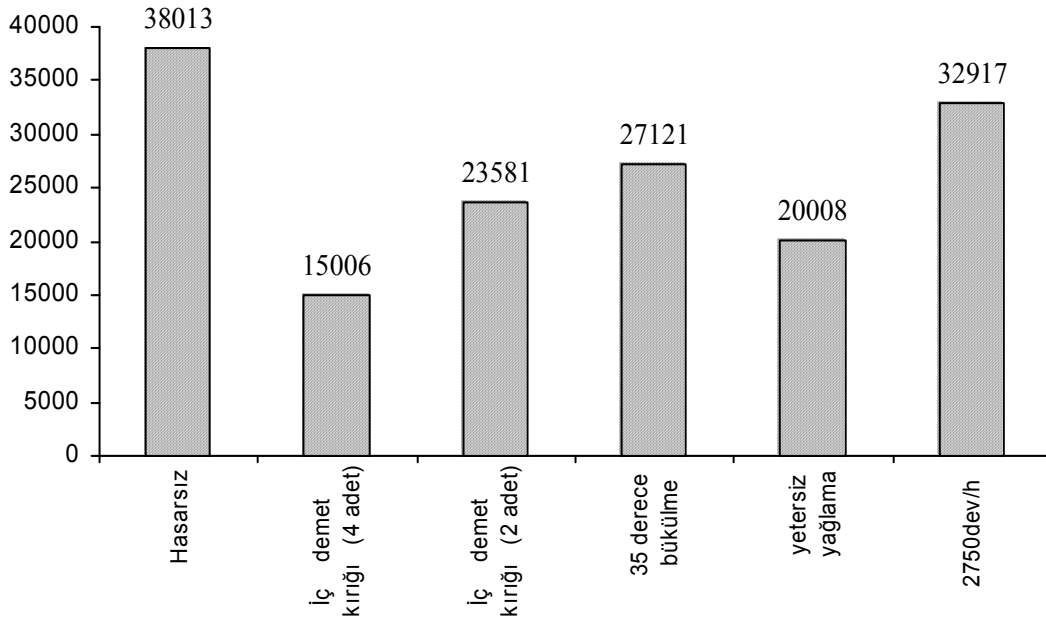
Çizelge 6.20’de görüldüğü gibi abrasif aşınma halat ömrüne etki etmektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halatta 0.2 mm derinlikte ve 150 mm boyundaki aşınmanın varlığı durumunda halat ömrü %8.87 oranında düşmüştür. 6 x 36 Warrington-Seale halatta 0.2 mm derinlikte ve 300 mm boyundaki aşınmanın varlığı durumunda halat ömrü %46.22 oranında düşmüştür. Deneysel sonuçlara baktığımızda abrasif aşınmaya maruz halat boyundaki artış ile halat ömrü büyük oranda düşmektedir.

Yazarlar [6], yaptıkları çalışmada, 6 x 25 Filler çelik özlü (IWRC), 1960 MPa tel anma dayanımına sahip, 19 mm çapında, sağ çapraz sarım halat numuneleri üzerinde

0.3 mm derinliğinde aşınma yaratarak bu parametrenin halat ömrüne etkisini incelemiştir. Testte kullandıkları özgül çekme yükü $S/d^2 = 151.44 \text{ N/mm}^2$, çap oranı $D/d = 18$, eğilme uzunluğu 150 milimetredir. Bu parametreleri kullanarak yaptıkları test neticesinde halat ömrünün yaklaşık %17 oranında düştüğünü tespit etmişlerdir. Bu oran, hasarsız aynı halatta, yaptıkları 4 adet testten elde ettikleri en büyük halat ömür değeri kullanılarak tespit edilmiştir.

Farklı kusur ve hasar türlerinde yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde elde edilen deneysel sonuçlar yukarıda açıklanmıştır. Her tipteki hasarlar her iki halat numunesi için yaratılmamıştır. Her iki halat tipi için, uygulama alanlarında, işletme esnasında oluşabilecek en uygun hasar türleri göz önünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında 10 milimetre çapa sahip her iki halat için belirtilen kusur ve hasarlar, eğilme yorulma ömrüne büyük oranda etki etmektedir.

39 demetli dönme dirençli halat için mevcut kusur ve hasar tipleri için elde edilen deneysel halat eğilme yorulma ömür sonuçları bir arada Şekil 6.53'de gösterilmiştir.

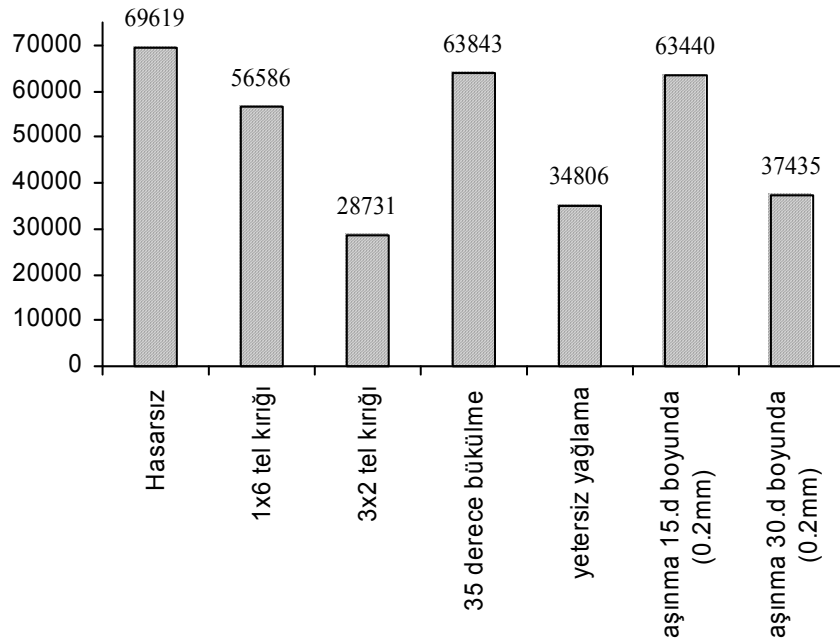


Şekil 6.53 : 39 demetli dönme dirençli halat için farklı tip kusur ve hasarların halat ömrüne etkisi.

Şekil 6.53'de görüldüğü gibi 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünü en çok düşüren hasar türü 4 adet iç demet kırığının varlığıdır. Bu hasarın oluşması durumunda halat ömrü %60.52 oranında azalmıştır. Önceki bölümlerde açıklandığı gibi bu tip dönme dirençli halatlarda, tel kırıkları ilk olarak iç demet kademelerinde başlayabilmektedir. Bu durumda, iç tel kırıklarının halat ömrüne etkisinin oldukça

fazla olduğu tespit edildiğinden, tahribatsız muayene ile iç tel kırıklarının tespiti oldukça önemli olacaktır. Aynı şekilde 2 adet demet kırığının varlığında halat ömrü %37.96 oranında azalmıştır. 39 demetli dönme dirençli halatın ömrünü düşüren en önemli ikinci parametre ise yetersiz yağlamanın varlığıdır. Yetersiz yağlama bir halat kusurudur. Bu durum ya halat imalatçısı tarafından yapılan halatın imalatı esnasındaki hatalar nedeniyle ya da yanlış çevre koşullarında, yanlış tip halatın kullanılması durumunda oluşabilir. Yetersiz yağlanmış 39 demetli dönme dirençli halatın ömrü, kusursuz bir şekilde yağlanmış aynı halatın ömrüne göre %47.36 oranında azalmıştır. Şekil 6.53’de elde edilen deneysel sonuçlara bakıldığında halat ömrüne en az etki eden halat hasar türü, 35° bükülmedir. Dönme hızının halat ömrüne etkisi de aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Dönme hızı 1250 dev/h iken halat ömrü 38013 olmakta, dönme hızının 2750 dev/h olduğu durumda ise halat ömrü 1250 dev/h dönme hızındaki duruma göre %13.40 oranında azalmıştır.

6 x 36 Warrington-Seale halat için mevcut kusur ve hasar tipleri için elde edilen deneysel halat eğilme yorulma ömür sonuçları bir arada Şekil 6.54’de gösterilmiştir.



Şekil 6.54 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için farklı tip kusur ve hasarların halat ömrüne etkisi.

Şekil 6.54’de görüldüğü gibi 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünü en çok düşüren hasar türü 3 x 2 adet dış tel kırığının varlığıdır. Bu hasarın oluşması durumunda halat ömrü %58.73 oranında azalmıştır. Aynı zamanda 1 x 6 adet dış tel kırığının varlığında halat ömrü %18.72 oranında azalmıştır. Dış tel kırık sayıları her iki durumda da 6 adet olmasına rağmen elde edilen sonuçlarda büyük fark vardır. Bu nedenle, tel kırıklarının, yük taşıyan dış demetlerdeki dağılımının da halat ömrünü etkilediği söylenebilir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünü düşüren en önemli ikinci parametre ise yetersiz yağlamanın varlığıdır. Yetersiz yağlanmış 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrü, kusursuz bir şekilde yağlanmış aynı halatın ömrüne göre %50 oranında azalmıştır. 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrünü düşüren en önemli üçüncü parametre ise 0.2 mm derinlikte ve 300 milimetre boyunda abrasif aşınmanın halat yüzeyindeki varlığıdır. Bu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halatın ömrü %46.22 oranında azalmıştır. Aynı zamanda, 0.2 mm derinlikte ve 150 milimetre boyunda abrasif aşınmanın varlığında halat ömrü %8.87 oranında azalmıştır. Abrasif aşınmanın halat ömrüne etkisinin tespiti için yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlara bakıldığında halat ömrü abrasif aşınmış halat boyunun artmasıyla büyük oranda azalmaktadır. Şekil 6.54’de elde edilen deneysel sonuçlara bakıldığında halat ömrüne en az etki eden halat hasar türü, 35° bükülmedir.

7. TEORİK HALAT ÖMÜR KESTİRİMİ

Çelik tel halatlar, uygulama alanlarının büyük bir çoğunluğunda sabit bir yükü, makara ve tamburlar üzerinde sarılarak kaldırıp indirirler. Halatlar makaralar üzerinde birlikte çalıştırıldığında, halat ve halatı oluşturan teller düz halden eğri hale gelmekte ve geri dönüşte eğri halden düz hale gelmektedir. Bu nedenle, halatlar sabit bir çekme yükü taşısa bile işletme esnasındaki hareketi nedeniyle tekrarlı bir eğilme hareketine ve sonucunda yorulmaya maruz kalırlar. Bu nedenle, makaralar üzerinde çalışan tel halatlar her zaman sonlu bir ömre sahiptir ve ömür değerleri, tel halat eğilme yorulması deney teçhizatı kullanılarak tespit edilebilir. Bu bölümde, Prof. Feyrer'in [15], yaptığı çok sayıda eğilme yorulması testleri sonucu deneysel olarak tespit ettiği halat kopma ömrü ve servis dışı bırakma ömrü değerlerini kullanarak, teorik olarak halat ömrünün kestirilebilmesi için, elde ettiği denklemler açıklanacak ve kullanılacaktır. Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlarla, Feyrer'in teorik halat ömür kestirimi denklemi kullanılarak elde edilen teorik sonuçlar karşılaştırılacaktır. Ayrıca, deneysel çalışmadan elde edilen test sonuçları göz önünde bulundurularak teorik ömür kestiriminde kullanılmak üzere her bir halat konstrüksiyonu için yeni bir denklem türetilecektir.

7.1 Feyrer'in Teorik Halat Ömür Kestirimi

Prof. Feyrer [15], işletmelerde yaygın olarak kullanılan farklı tipteki halat konstrüksiyonlarını kullanarak yaptığı çok sayıda eğilme yorulması testleri neticesinde elde ettiği halat kopma ömrü ve servis dışı bırakma ömrü değerlerini, regresyon hesaplamaları yaparak belirli tiplerdeki halat konstrüksiyonları için teorik olarak kestirilmesine olanak veren genelleştirilmiş denklemler oluşturmuştur. Feyrer, ilk olarak, halat ömrünün, sabit çekme yükü (veya özgül çekme yükü S/d^2) ve çap oranının (D/d) bir fonksiyonu olarak ele almış ve bunları üç bağımsız değişken olarak denklem (7.1)'de gösterildiği şekilde halat ömrü ile ilişkilendirmiştir.

$$\log(N) = a_0 + a_1 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) + a_2 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) + a_4 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (7.1)$$

Denklem (7.1)'de gösterilen teorik halat ömür denkleminde a_i katsayıları, yapılan halat eğilme yorulması testleri ile elde edilen sonuçların regresyon analizi yapılarak değerlendirilmesi sonucu elde edilir ve halat kopma ömrü N ve servis dışı bırakma ömrü N_A sonuçlarının teorik olarak tespitinde kullanılır. Bu denklemdeki a_i katsayılarının tespitini yapabilmek için Feyrer, farklı özgül çekme yüklerini ve çap oranlarını kullanarak çok sayıda halat eğilme yorulması testi yapmıştır.

Feyrer, daha sonra, halat çapı, tel anma dayanımı ve halatın makara üzerindeki eğilme uzunluğunun da, halat ömrüne etkisini tespit edebilmek için farklı çap ve tel anma mukavemetindeki halatların farklı eğilme uzunluklarında eğilme yorulması testlerini gerçekleştirmiş ve Denklem (7.2)'de gösterilen ve denklem (7.1)'den daha fazla parametrenin dahil edildiği teorik halat ömür denklemini tespit etmiştir.

$$\begin{aligned} \log(N) = & b_0 + b_1 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) - 0.4 \cdot b_1 \cdot \log\left(\frac{R_0}{1770}\right) + b_2 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) + b_3 \cdot \log(d) \\ & + b_4 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) - 0.4 \cdot b_4 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \cdot \log\left(\frac{R_0}{1770}\right) + \frac{1}{b_5 + \log\left(\frac{l}{d}\right)} \end{aligned} \quad (7.2)$$

Denklem (7.1) ve denklem (7.2)'de; d , nominal halat çapı (mm); D , makara çapı (mm); S , halat çekme yükü (N); R_0 , tel anma dayanımı (N/mm²); l , eğilme uzunluğudur (mm) ($l > 15d$ için). Denklem (7.2)'deki b_0 , b_1 , b_2 ve b_4 katsayıları ortalama halat kopma ömrünün teorik kestirimi için Çizelge 7.1'den, servis dışı bırakma ömrünün teorik kestirimi için Çizelge 7.2'den okunur. Diğer katsayılar, tablodan okunan katsayı değerlerinin denklem takımı (7.3)'de yerine konulmasıyla tayin edilir.

$$b_0 = a_0 + 0.32 \cdot \log(16) - \frac{1}{b_5 + \log(60)} \quad (\text{ortama çevrim sayısı } \bar{N}, \text{ hesabı için}$$

geçerlidir)

$$b_1 = a_1$$

$$b_2 = a_2 \quad (7.3)$$

$$b_3 = -0.32$$

$$b_4 = a_4$$

$b_5 = 1.2$ (ortama çevrim sayısı \bar{N} , hesabı için geçerlidir)

Çizelge 7.1 : Ortalama halat kopma ömrünün teorik kestirimi için kullanılan katsayılar [15].

Tel halat		\bar{N} için b_0		b_1	b_2	b_4	\bar{N} için b_5
		sZ	zZ				
Seale 6 x 19	FC	-1.900	-1.677	1.280	8.562	-2.625	1.2
Filler 8 x (19 + 6F)	FC	-1.679	-1.456	1.280	8.562	-2.625	1.2
Warrington 8 x 19	FC	-1.679	-1.456	1.280	8.562	-2.625	1.2
Warr.-Seale 8 x 36	FC	0.858	0.966	0.096	7.078	-1.920	1.2
Seale 6 x 19	IWRC	-1.723	-1.663	1.290	8.149	-2.440	1.2
Filler 8 x (19 + 6F)	IWRC	-1.635	-1.575	1.290	8.149	-2.440	1.2
Warrington 8 x 19	IWRC	-1.635	-1.575	1.290	8.149	-2.440	1.2
Warr.-Seale 8 x 36	IWRC	1.327	1.381	0.029	6.241	-1.613	1.2
18 x 7		-2.492		1.566	9.084	-2.811	1.2
34 x 7		-1.014		1.351	7.652	-2.485	1.2

Çizelge 7.2 : Ortalama halat servis dışı bırakma ömrünün teorik kestirimi için kullanılan katsayılar [15].

Tel halat		\bar{N}_A için b_0		b_1	b_2	b_4	\bar{N}_A için b_5
		sZ	zZ				
Seale 6 x 19	FC	-2.611	-1.677	1.887	8.567	-2.894	1.2
Filler 8 x (19 + 6F)	FC	-2.476	-1.456	1.887	8.567	-2.894	1.2
Warrington 8 x 19	FC	-2.476	-1.456	1.887	8.567	-2.894	1.2
Warr.-Seale 8 x 36	FC	-1.302	0.966	1.322	8.070	-2.649	1.2
Seale 6 x 19	IWRC	-2.148	-1.663	1.588	8.056	-2.577	1.2
Filler 8 x (19 + 6F)	IWRC	-2.015	-1.575	1.588	8.056	-2.577	1.2
Warrington 8 x 19	IWRC	-2.015	-1.575	1.588	8.056	-2.577	1.2
Warr.-Seale 8 x 36	IWRC	0.633	1.381	0.377	6.232	-1.750	1.2
18 x 7		-2.772		1.834	8.991	-2.948	1.2
34 x 7		-1.383		1.619	7.559	-2.622	1.2

Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de sıralanan b_i katsayıları ve denklem (7.2), birkaç milyon eğilme çevrimi için ve tel halatın testten önce iyi bir şekilde viskoz yağ veya vazelin ile yağlandığı, yiv yarıçapının $r = 0.53d$ olduğu çelik makaraların kullanıldığı, kenar sapmasının olmadığı ve halatın kuru ortamda çalıştırıldığı durumlar için geçerlidir.

Ayrıca tablolarda FC, lif özlü halatı; IWRC, bağımsız çelik tel özlü halatı ifade etmektedir.

Teorik halat kopma ömrü N , halatın en az bir demetinin koptuğu andaki eğilme çevrim sayısını ifade etmektedir. Bu bölümde hesaplanan teorik servis dışı bırakma ömrü N_A , $30d$ veya $6d$ halat referans boylarındaki tel kırık sayılarının standartta [12] belirtilen tel kırık sayıları yerine Feyrer tarafından verilen hesap sonucu bulunan tel kırık sayılarına ulaştığı andaki eğilme çevrim sayısını ifade etmektedir.

7.2 Servis Dışı Bırakmak İçin Gerekli Tel Kırık Sayısının Tespiti

Makaralar üzerinde çalışan çelik tel halatlar her zaman sınırlı bir işletme ömrüne sahiptirler. Değişken gerilmeler ve artan aşınmalar, tel kırıklarının artmasına yol açmaktadır. Referans uzunlukta meydana gelen tel kırık sayıları tel halatlar için en önemli servis dışı bırakma kriteridir. Feyrer, yukarıda belirtilen çok sayıda eğilme yorulması testini gerçekleştirirken $L = 30d$ referans boyunda oluşan tel kırık sayılarını da gözlemlemiştir. Burada, farklı halat konstrüksiyonları kullanılarak, testlerde tespit edilen tel kırık sayılarından yararlanılarak regresyon hesaplamaları yapılmış ve halatı yaklaşık olarak servis dışı bırakmak için, $L = 30d$ referans boyunda gerekli tel kırık sayılarını (B_{A30}) veren, (7.4)'de gösterilen denklem oluşturulmuştur [15].

$$B_{A30} = g_0 - g_1 \left(\frac{S}{d^2} \right)^2 - g_2 \left(\frac{D}{d} \right)^2 - g_3 \left(\frac{S}{d^2} \right)^2 \left(\frac{d}{D} \right)^2 \quad (7.4)$$

Denklem (7.4)'de; d , halat çapı (mm); D , makara çapı (mm); S , halat çekme yüküdür (N). Küçük referans uzunluğu, $L = 6d$ boyunda halatı servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayısı (B_{A6}), tel kırıkların yoğunlaşmasını tespit etmek için kullanılır ve denklem (7.5) ile hesaplanır.

$$B_{A6} = 0.5.B_{A30} \quad (7.5)$$

Denklem (7.4)'de belirtilen g_i katsayıları, farklı halat konstrüksiyonları için Çizelge 7.3'de gösterilmiştir. Feyrer tarafından verilen bu denklemler kullanılarak elde edilen servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayıları, günümüzde tel halat muayenesinde kullanılan standartta [12] belirtilen tel kırık sayılarından farklı olmaktadır. Bu

nedenle, teorik ve deneysel olarak elde edilen servis dışı bırakma ömür sonuçlarının karşılaştırılmasında, teorik servis dışı bırakma ömür sonuçlarının tespitinde kullanılan tel kırık sayılarının belirtilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, halatı servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayıları, Feyrer denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 7.3 : Servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayısının hesabı için sabitler [15].

Halat		g ₀	g ₁	g ₂	g ₃
Filler Warr. Seale	FC-8 x 19-sZ ^{a,b} zZ ^{b,c}	18	0.000174	1550	0.026
	WRC-8 x 19-sZ ^{a,b} zZ ^{b,c}	33.3	0.000184	1830	0.0447
Warr.-Seale	FC-8 x 36-sZ ^{a,b} zZ ^{b,c}	29	0.000271	2400	0.0403
	WRC-8 x 36-sZ ^{a,b} zZ ^{b,c}	44.5	0.000222	2200	0.0536
18 x 7 ^{b,c}		14	0.000160	-350	0.0350
34 x 7 ^{b,c}		20	0.000230	-500	0.0500

^aGörülebilir tel kırıkları

^bManyetik yöntemle tespit edilen tel kırıkları

^cGözönünde bulundurulan tel halat için eğilme yorulması testi ile tespit edilen görülebilir tel kırık sayısı, hesaplanan tel kırık sayısının yarısı olarak alınır.

39 demetli dönme dirençli halatı ve 6 x 36 Warrington-Seale halatı servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayıları denklem (7.4) kullanılarak tespit edilebilir. Çizelge 7.4’de servis dışı bırakmak için gerekli tel kırık sayıları, hem ilgili standartta gösterildiği haliyle hem de Feyrer denklemi kullanılarak elde edildiği haliyle gösterilmiştir.

Çizelge 7.4 : Servis dışı bırakmak için kullanılan tel kırık sayıları.

Halat	Özgül çekme yükü (S/d^2) (N/mm^2)	Çap oranı (D/d)	Görülebilir kırık tel sayısı (Standard) $30d$ boyunda	Görülebilir kırık tel sayısı (Feyrer) $30d$ boyunda
39 demetli	100	25	4	8
39 demetli	150	25	4	6
39 demetli	200	25	4	4
39 demetli	250	25	4	1
39 demetli	50	10	4	11
39 demetli	100	10	4	8
39 demetli	150	10	4	4
39 demetli	200	10	4	-
6 x 36 WS	150	25	14	25
6 x 36 WS	200	25	14	21
6 x 36 WS	250	25	14	16
6 x 36 WS	300	25	14	9
6 x 36 WS	100	10	14	11
6 x 36 WS	150	10	14	4
6 x 36 WS	200	10	14	-
6 x 36 WS	250	10	14	-

Çizelge 7.4’de gösterilen, Feyrer denklemi kullanılarak elde edilen görülebilir kırık tel sayılarının sonuçları bir alt tam sayıya yuvarlatılmıştır. 39 demetli dönme dirençli halat için sonuçlar, görülebilir kırık tel sayısı dikkate alındığı için hesaplanan değer yarısı alınıp bir alt tam sayıya yuvarlatılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan halat numunelerimizin $1E_m$, $1D_m$, $1C_m$, $1B_m$, $1A_m$ tipi işletme gruplarında çalıştırıldığı kabulü yapılmış olup ilgili standartta bu işletme grubuna bağlı görülebilir tel kırık sayıları servis dışı bırakma kriteri olarak alınmıştır. Feyrer’in denkleminde halatın çalıştırıldığı işletme grubu ayırımı yapılmamıştır. Çizelge 7.4’de verilen servis dışı bırakmak için kullanılan tel kırık sayıları $30d$ referans boyunda görülebilen tel kırık sayılarıdır. Ayrıca, daha küçük $6d$ referans boyundaki görülebilir tel kırık sayıları da servis dışı bırakmak için bir kriter olup bu boydaki görülebilir tel kırık sayıları Çizelge 7.4’de belirtilen görülebilir kırık tel sayılarının yarısına ulaştığı anda halat servis dışı bırakılmalıdır.

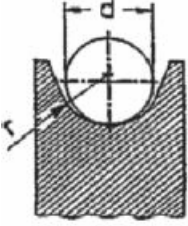
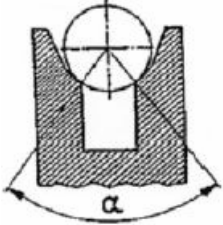
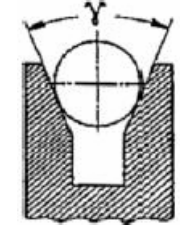
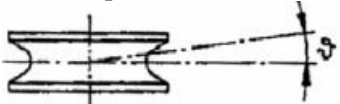
7.3 Feyrer'in Düzeltilmiş Teorik Halat Ömür Kestirimi

Feyrer'in teorik halat ömür kestirim denklemi Bölüm 7.1'de açıklandığı gibi belirli makara yiv geometrisi ve malzemesi için, yağlamanın tam olduğu, kenar sapmasının olmadığı durumda geçerlidir. Bu nedenle, farklı makara yiv geometrileri ve malzemelerinin kullanıldığı, halatın yağsız olduğu, kenar sapmasının varlığında ve Çizelge 7.1'de belirtilen halat konstrüksiyonlarından başka halatların kullanılacağı durumlarda Feyrer'in teorik halat ömür kestirim denkleminden elde edilecek halat kopma ömrü veya servis dışı bırakma ömrü değerleri düzeltilmelidir.

Denklem (7.2) ile verilen Feyrer'in teorik halat ömür kestirim denklemi f_{Ni} faktörleri kullanılarak farklı parametrelerin kullanıldığı durumlar için düzeltilir. Çizelge 7.5'de gösterilen faktörler göz önünde bulundurularak teorik halat ömür değerleri, denklem (7.6) kullanılarak düzeltilir [15].

$$N_{cor} = N \cdot f_{N1} \cdot f_{N2} \cdot f_{N3} \cdot f_{N4} \quad (7.6)$$

Çizelge 7.5 : Düzeltme faktörleri f_N [15].

Halat yağlanması:			
halat iyi bir şekilde yağlanmış			$f_{N1} = 1.0$
halat yağsız			$f_{N1} = 0.2$
Halat konstrüksiyonu:		öz	8 demet
-Lif öz		FC	$f_{N2} = 1.0$
-Çelik öz		IWRC	$f_{N2} = 1.0$
		PWRC	$f_{N2} = 1.86$
		ESWRC	$f_{N2} = 2.05$
		EFWRC	$f_{N2} = 1.06$
Makara yivi:		yiv yarıçapı	$r/d = 0.53$
-Çelik yuvarlak yiv			$f_{N3} = 1.00$
			$r/d = 0.55$
			$f_{N3} = 0.79$
			$r/d = 0.60$
			$f_{N3} = 0.66$
			$r/d = 0.70$
			$f_{N3} = 0.54$
			$r/d = 0.80$
			$f_{N3} = 0.51$
			$r/d = 1.00$
			$f_{N3} = 0.48$
-Alttan kesilmiş yiv		alttan kesme açısı	$\alpha = 75^\circ$
			$f_{N3} = 0.40$
			$\alpha = 80^\circ$
			$f_{N3} = 0.33$
			$\alpha = 85^\circ$
			$f_{N3} = 0.26$
			$\alpha = 90^\circ$
			$f_{N3} = 0.20$
			$\alpha = 95^\circ$
			$f_{N3} = 0.15$
			$\alpha = 100^\circ$
			$f_{N3} = 0.10$
			$\alpha = 105^\circ$
			$f_{N3} = 0.066$
-V profilli yiv		açı	$\gamma = 35^\circ$
			$f_{N3} = 0.054$
			$\gamma = 36^\circ$
			$f_{N3} = 0.066$
			$\gamma = 38^\circ$
			$f_{N3} = 0.095$
			$\gamma = 40^\circ$
			$f_{N3} = 0.14$
			$\gamma = 42^\circ$
			$f_{N3} = 0.18$
			$\gamma = 45^\circ$
			$f_{N3} = 0.25$
-Plastik yuvarlak yiv			$f_{N3} = 8.37N_{st}^{-0.124}$
veya			$f_{N3} = 0.75 + 0.36 \frac{S/d^2}{D/d} - 0.023 \left(\frac{S/d^2}{D/d} \right)$
Kenar sapması:			
			$f_{N4} = 1 - (0.00863 + 0.00243 \cdot (D/d)) \cdot \theta - 0.00103 \theta^2$
(kenar sapma açısı derece olarak alınır)			

Çizelge 7.5’de, PWRC, paralel çelik demet özü; ESWRC, katı polimer kaplı tel halat özü; EFWRC, elyaf kaplı tel halat özü ifade etmektedir. f_{N1} faktörü halat yağlamasının durumuna göre seçilir. f_{N2} faktörü kullanılacak halat konstrüksiyonuna göre seçilir. Örneğin 6 demetli özel halat özüne sahip bir halatın teorik ömür

kestirimi için bu düzeltme katsayısı kullanılarak teorik halat ömrü düzeltilir. f_{N3} faktörü halatlarla birlikte kullanılacak makaranın, yivinin geometrisi ve malzemesi gözönünde bulundurulması için kullanılır. f_{N4} faktörü kenar sapmasının varlığı durumunda kullanılır. Çizelge 7.5’de gösterilen düzeltme faktörleri düz eğilme yorulması testlerinde kullanılabilir. Bu yüzden, bu faktörler yalnızca halatların düz eğilme yorulma çevrim sayısının hesaplanması durumunda geçerlidir [15].

7.4 39 Demetli Dönme Dirençli Halatın Teorik Ömür Kestirimi

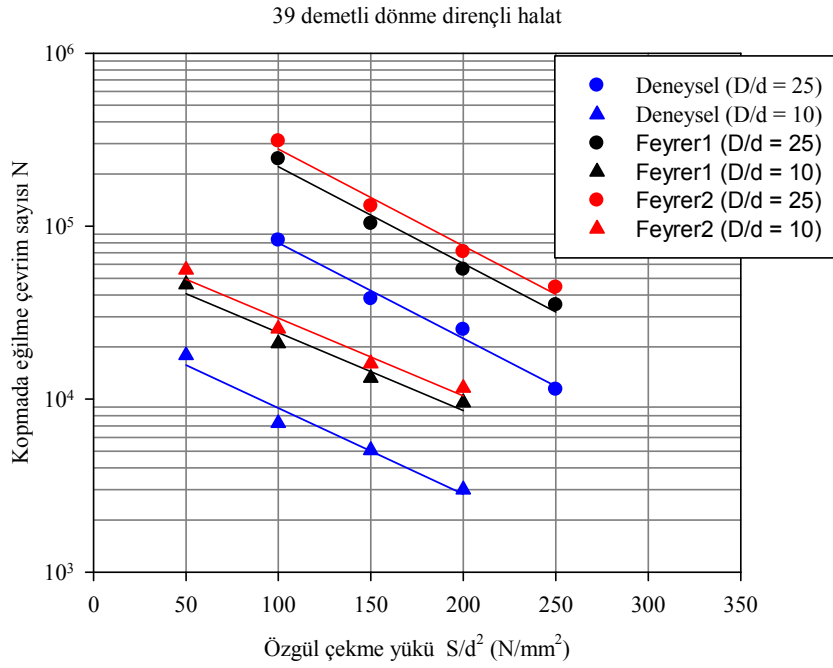
39 demetli dönme dirençli halatın, teorik kopma ömrünün ve teorik servis dışı bırakma ömrünün kestirimi denklem (7.1) ve denklem (7.2) kullanılarak yapılmıştır. Eğilme yorulması testleri için tam yağlanmış halat numuneleri ve yuvarlak yivli çelik makalar ($r/d = 0.53$) ve $60d$ eğilme uzunluğu kullanılmıştır. Ayrıca, kenar sapması yoktur. Bu nedenle teorik halat ömür kestirim denklemleri, herhangi bir düzeltme olmaksızın hesaplanır. Elde edilen teorik halat ömür kestirim sonuçları 39 demetli dönme dirençli halat için Çizelge 7.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm^2)	D/d	$R_0/1770$	l/d	N_{teo1} (çevrim)	N_{teo2} (çevrim)
100	25	1.1073	60	244497	309497
150	25	1.1073	60	103384	130868
200	25	1.1073	60	56133	71056
250	25	1.1073	60	34953	44246
50	10	1.1073	60	45919	55877
100	10	1.1073	60	20941	25460
150	10	1.1073	60	13212	16075
200	10	1.1073	60	9549	11601

Çizelge 7.6’da farklı özgül çekme yükleri ve çap oranları kullanılarak yapılan teorik halat ömür kestirim sonuçları gösterilmiştir. N_{teo1} sonuçları denklem (7.1) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı durumdaki teorik halat ömür değerlerini göstermektedir. N_{teo2} sonuçları denklem (7.2) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik halat ömür değerlerini göstermektedir.

Şekil 7.1’de 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen deneysel sonuçlarla, teorik olarak elde edilen iki farklı ömür sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel halat ömür değerleri.

Şekil 7.1’de Feyrer1 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.6’da gösterilen N_{teo1} teorik halat ömür değerlerini, Feyrer2 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.6’da gösterilen N_{teo2} teorik halat ömür değerlerini göstermektedir.

Teorik ve deneysel elde edilen sonuçların karşılaştırması için elde edilen sonuçlar ve bunların oranları bir arada Çizelge 7.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.7 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm ²)	D/d	R_0 /1770	l/d	N_{teo1} (çevrim)	N_{teo2} (çevrim)	N_{test} (çevrim)	N_{test}/ N_{teo1}	N_{test}/ N_{teo2}
100	25	1.1073	60	244497	309497	82859	0.339	0.268
150	25	1.1073	60	103384	130868	38013	0.368	0.29
200	25	1.1073	60	56133	71056	25202	0.449	0.355
250	25	1.1073	60	34953	44246	11377	0.325	0.257
50	10	1.1073	60	45919	55877	17906	0.39	0.32
100	10	1.1073	60	20941	25460	7256	0.346	0.285
150	10	1.1073	60	13212	16075	5060	0.383	0.315
200	10	1.1073	60	9549	11601	2996	0.314	0.258

Şekil 7.1 ve Çizelge 7.7’den görüldüğü gibi her iki teorik ömür sonuçları, deneysel sonuçlardan oldukça farklıdır. Elde edilen sonuçlara baktığımızda, 39 demetli dönme dirençli halatlar 34 x 7 dönme dirençli halatlara göre daha üstün minimum kopma yüküne sahip olması ve daha küçük çaplı ve daha çok sayıda demetten meydana gelmelerine rağmen halat ömürlerinin çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Feyrer’in teorik ömür kestirim denklemleri 39 demetli dönme dirençli halat için kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar vermemektedir.

Deneysel olarak elde edilen halat ömür sonuçlarının (N_{test}), denklem (7.1) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları (N_{teo1}) oranlarına baktığımızda, bu oranların 0.314 ila 0.449 arasında kaldığı görülmüştür. Burada, bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması alınarak, kabul edilebilir hata ile teorik ömür değerleri düzeltilebilir. Yani, denklem (7.1) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları 0.381 katsayısıyla çarpılarak elde edilecek yeni sonuçlar 39 demetli dönme dirençli halat için kullanılabilir sonuçlar verebilecektir. Sonuç olarak, 39 demetli dönme dirençli halat için Feyrer’in denklemi (7.1) kullanılarak elde edilen teorik halat ömür değerleri (N_{teo1}), doğru sonuçlar vermemiş olup, tespit edilen ömür değerleri 0.381 ile çarpılarak yaklaşık sonuçlar elde edilebilir. Denklem (7.7), 39 demetli dönme dirençli halatın, halat çapı, tel anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı durumdaki teorik kopma ömrünün tespit edilebilmesi için verilen düzeltilmiş teorik halat kopma ömür denklemini göstermektedir.

$$\log(N) = 0.381.[-1.063 + 1.351.\log\left(\frac{S}{d^2}\right) + 7.652.\log\left(\frac{D}{d}\right) - 2.485.\log\left(\frac{S}{d^2}\right).\log\left(\frac{D}{d}\right)] \quad (7.7)$$

Deneyisel olarak elde edilen halat ömür sonuçlarının (N_{test}), denklem (7.2) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları (N_{teo2}) oranlarına baktığımızda, bu oranların 0.257 ile 0.355 arasında kaldığı görülmüştür. Burada, bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması alınarak, kabul edilebilir hata ile teorik ömür değerleri düzeltilebilir. Yani, denklem (7.2) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları 0.306 katsayısıyla çarpılarak elde edilecek yeni sonuçlar 39 demetli dönme dirençli halat için kullanılabilir sonuçlar verebilecektir. Sonuç olarak, 39 demetli dönme dirençli halat için Feyrer'in denklemi (7.2) kullanılarak elde edilen teorik halat ömür değerleri (N_{teo2}), doğru sonuçlar vermemiş olup, tespit edilen ömür değerleri 0.306 ile çarpılarak yaklaşık sonuçlar elde edilebilir. Denklem (7.8), 39 demetli dönme dirençli halatın, halat çapı, tel anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik kopma ömrünün tespit edilebilmesi için verilen düzeltilmiş teorik halat kopma ömür denklemini göstermektedir.

$$\log(N) = 0.306.[-1.014 + 1.351.\log\left(\frac{S}{d^2}\right) - 0.5404.\log\left(\frac{R_0}{1770}\right) + 7.652.\log\left(\frac{D}{d}\right) - 0.32.\log(d) - 2.485.\log\left(\frac{S}{d^2}\right).\log\left(\frac{D}{d}\right) + 0.994.\log\left(\frac{D}{d}\right).\log\left(\frac{R_0}{1770}\right)] \quad (7.8)$$

$$\frac{1}{1.2 + \log\left(\frac{l}{d}\right)}$$

İç demet kırıklarına sahip 39 demetli dönme dirençli halat numuneleri için, halatın metalik kesit alanındaki azalma oranı kullanılarak teorik halat ömür kestirimi değeri düzeltilebilir.

Halat metalik kesit alanındaki azalmaya bağlı olarak aynı eğilme yorulması test yükünde, geride kalan tellerde taşınan yük artacaktır. Bu durumda, teorik halat ömür kestirimi için kullanılacak denklemlerde S çekme yükü artırılarak iç demet kırıklarının varlığı durumundaki halat ömrü kestirilecektir [6].

39 demetli dönme dirençli halatın metalik kesit alanı, dolgu faktörünün halat nominal çapı kullanılarak elde edilen alanla çarpılması sonucu bulunur. 39 demetli dönme dirençli halatın metalik kesit alanı 56.07 mm^2 olarak bulunur. 2 adet iç demet kırığının varlığında, kalıntı metalik alan hesaplanır. Burada, 1 adet demette bulunan 5 adet telin çapı 0.4 mm iken diğer demette bulunan 5 adet telin çapı 0.6 mm'dir. Bu demetleri teşkil eden merkez teller alüminyum teller olup yük taşımada herhangi bir etkisi olmadığından, belirtilen çaplardaki tellerin metalik alanı hesaplanır ve halatın toplam metalik alanından çıkarılarak kalıntı metalik alan tespit edilir. Halatın toplam metalik alanının, kalıntı metalik alana bölünmesiyle elde edilen oran ile halat çekme yükü çarpılarak, kalıntı metalik alanın taşıyacağı çekme yükü artırılır ve böylece hasarlı halatın da teorik ömür kestirimi yapılabilir.

İç demet kırıklarına sahip 39 demetli dönme dirençli halat numuneleri için elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar bir arada Çizelge 7.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.8 : İç demet kırıklarına sahip 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları.

Halat	S/d^2 (N/mm^2)	D/d	R_0 /1770	l/d	N_{teo1} (çevrim)	N_{teo2} (çevrim)	N_{test} (çevrim)	$N_{\text{test}}/$ N_{teo1}	$N_{\text{test}}/$ N_{teo2}
Hasarsız	150	25	1.1073	60	103384	130868	38013	0.368	0.29
2 iç demet kırığı	155.7	25	1.1073	60	95514	120906	23581	0.247	0.195
4 iç demet kırığı	161.85	25	1.1073	60	87973	111361	15006	0.171	0.135

Çizelge 7.8'de görüldüğü gibi her iki teorik ömür sonuçları, deneysel sonuçlardan oldukça farklıdır.

Deneysel olarak elde edilen halat ömür sonuçlarının (N_{test}), denklem (7.1) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları (N_{teo1}) oranlarına baktığımızda, bu oranların 0.247 ve 0.171 olduğu görülmüştür. Burada, bu iki oran değerlerinin ortalaması alınarak kabul edilebilir hata ile teorik ömür değerleri düzeltilebilir. Yani, denklem (7.1) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları 0.209 katsayısıyla çarpılarak elde edilecek yeni sonuçlar 39 demetli dönme dirençli halat için kullanılabilir sonuçlar verebilecektir. Sonuç olarak, 39 demetli dönme dirençli halat için Feyrer'in denklemi (7.1) kullanılarak elde edilen teorik halat ömür değerleri (N_{teo1}), doğru sonuçlar vermemiş olup, tespit edilen ömür değerleri 0.209 ile çarpılarak yaklaşık sonuçlar elde edilebilir.

Deneysel olarak elde edilen halat ömür sonuçlarının (N_{test}), denklem (7.2) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları (N_{teo2}) oranlarına baktığımızda, bu oranların 0.195 ve 0.135 olduğu görülmüştür. Burada, bu iki oran değerlerinin ortalaması alınarak kabul edilebilir hata ile teorik ömür değerleri düzeltiler. Yani, denklem (7.2) kullanılarak hesaplanan teorik halat ömür sonuçları 0.165 katsayısıyla çarpılarak elde edilecek yeni sonuçlar 39 demetli dönme dirençli halat için kullanılabilir sonuçlar verebilecektir. Sonuç olarak, 39 demetli dönme dirençli halat için Feyrer'in denklemi (7.2) kullanılarak elde edilen teorik halat ömür değerleri (N_{teo2}), doğru sonuçlar vermemiş olup, tespit edilen ömür değerleri 0.165 ile çarpılarak yaklaşık sonuçlar elde edilebilir.

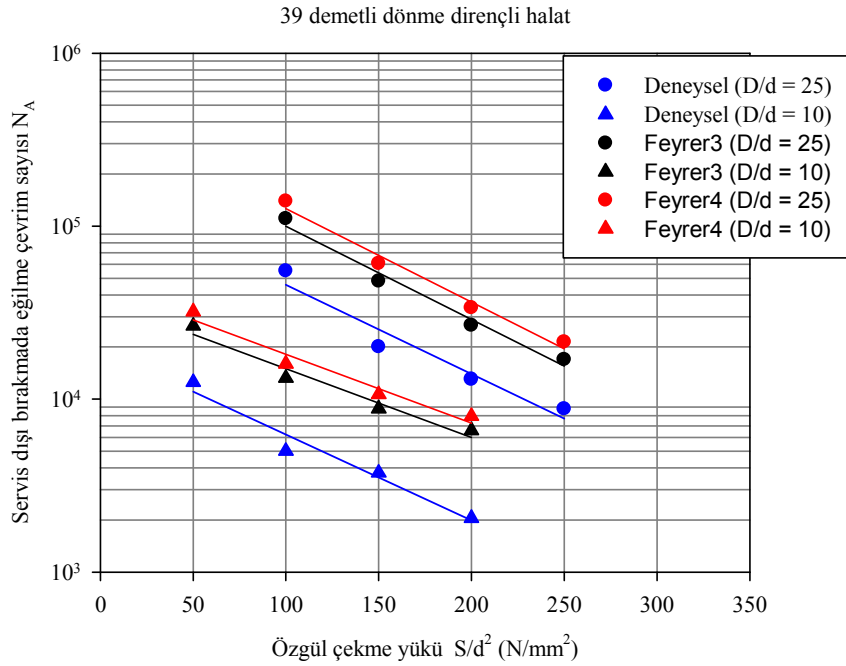
39 demetli dönme dirençli halatın, teorik servis dışı bırakma ömrünün kestirimi, denklem (7.1) ve denklem (7.2) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür kestirim sonuçları 39 demetli dönme dirençli halat için Çizelge 7.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.9 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm^2)	D/d	$R_0/1770$	l/d	N_{teo3} (çevrim)	N_{teo4} (çevrim)
100	25	1.1073	60	110212	139077
150	25	1.1073	60	48070	60660
200	25	1.1073	60	26681	33669
250	25	1.1073	60	16900	21326
50	10	1.1073	60	26485	32024
100	10	1.1073	60	13212	15978
150	10	1.1073	60	8790	10639
200	10	1.1073	60	6591	7972

Çizelge 7.9'da N_{teo3} sonuçları denklem (7.1) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı durumdaki teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir. N_{teo4} sonuçları denklem (7.2) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir. Şekil 7.2'de 39 demetli dönme dirençli

halat için elde edilen deneysel sonuçlarla, teorik olarak elde edilen iki farklı servis dışı bırakma ömür sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 7.2 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür değerleri.

Şekil 7.2’de Feyrer3 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.9’da gösterilen N_{teo3} teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini, Feyrer4 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.9’da gösterilen N_{teo4} teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir. Teorik ve deneysel elde edilen sonuçların karşılaştırması için elde edilen sonuçlar bir arada Çizelge 7.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 7.10 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm ²)	D/d	R_0 /1770	l/d	N_{teo3} (çevrim)	N_{teo4} (çevrim)	$N_A(test)$ (çevrim)	$N_A(test)/$ N_{teo3}	$N_A(test)/$ N_{teo4}
100	25	1.1073	60	110212	139077	55014	0.499	0.396
150	25	1.1073	60	48070	60660	20003	0.416	0.330
200	25	1.1073	60	26681	33669	13006	0.487	0.386
250	25	1.1073	60	16900	21326	8756	0.518	0.411
50	10	1.1073	60	26485	32024	12508	0.472	0.391
100	10	1.1073	60	13212	15978	5002	0.379	0.313
150	10	1.1073	60	8790	10639	3752	0.427	0.353
200	10	1.1073	60	6591	7972	2050	0.311	0.257

Şekil 7.2 ve Çizelge 7.10'dan görüldüğü gibi her iki teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları, deneysel sonuçlardan oldukça farklıdır. Feyrer'in teorik servis dışı bırakma ömür kestirim denklemleri 39 demetli dönme dirençli halat için kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar vermemektedir. Teorik servis dışı bırakma ömür sonuçlarının hesaplanmasında, referans tel kırık sayılarının, mevcut standartta [12] belirtilen tel kırık sayıları yerine Çizelge 7.4'de verilen tel kırık sayılarının kullanılması da elde edilen sonuçlardaki sapmada etkili olmaktadır.

Deneysel olarak elde edilen halat servis dışı bırakma ömür sonuçlarının ($N_A(\text{test})$), denklem (7.1) kullanılarak hesaplanan teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları (N_{teo3}) oranlarına baktığımızda, bu oranların 0.311 ile 0.518 arasında kaldığı görülmüştür. Burada, bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması alınarak, kabul edilebilir hata ile teorik servis dışı bırakma ömür değerleri düzeltilebilir. Yani, denklem (7.1) kullanılarak hesaplanan teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları 0.414 katsayısıyla çarpılarak elde edilecek yeni sonuçlar 39 demetli dönme dirençli halat için kullanılabilir sonuçlar verebilecektir. Sonuç olarak, 39 demetli dönme dirençli halat için Feyrer'in denklemi (7.1) kullanılarak elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür değerleri (N_{teo3}), doğru sonuçlar vermemiş olup, tespit edilen servis dışı bırakma ömür değerleri 0.414 ile çarpılarak yaklaşık doğru sonuçlar elde edilebilir. Denklem (7.9), 39 demetli dönme dirençli halatın, halat çapı, tel anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı durumdaki teorik servis dışı bırakma ömrünün tespit edilebilmesi için verilen düzeltilmiş teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemini göstermektedir.

$$\log(N_A) = 0.414.[-1.432 + 1.619.\log\left(\frac{S}{d^2}\right) + 7.559.\log\left(\frac{D}{d}\right) - 2.622.\log\left(\frac{S}{d^2}\right).\log\left(\frac{D}{d}\right)] \quad (7.9)$$

Deneysel olarak elde edilen halat servis dışı bırakma ömür sonuçlarının ($N_A(\text{test})$), denklem (7.2) kullanılarak hesaplanan teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları (N_{teo4}) oranlarına baktığımızda, bu oranların 0.257 ile 0.411 arasında kaldığı görülmüştür. Burada, bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması alınarak, kabul edilebilir hata ile teorik servis dışı bırakma ömür değerleri

düzeltilir. Yani, denklem (7.2) kullanılarak hesaplanan teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları 0.334 katsayısıyla çarpılarak elde edilecek yeni sonuçlar 39 demetli dönme dirençli halat için kullanılabilir sonuçlar verebilecektir. Sonuç olarak, 39 demetli dönme dirençli halat için Feyrer'in denklemi (7.2) kullanılarak elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür değerleri (N_{teo4}), doğru sonuçlar vermemiş olup, tespit edilen ömür değerleri 0.334 ile çarpılarak yaklaşık, kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar elde edilebilir. Denklem (7.10), 39 demetli dönme dirençli halatın, halat çapı, tel anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik servis dışı bırakma ömrünün tespit edilebilmesi için verilen düzeltilmiş teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemini göstermektedir.

$$\begin{aligned} \log(N_A) = & 0.334.[-1.383 + 1.619.\log\left(\frac{S}{d^2}\right) - 0.6476.\log\left(\frac{R_0}{1770}\right) \\ & + 7.559.\log\left(\frac{D}{d}\right) - 0.32.\log(d) - 2.622.\log\left(\frac{S}{d^2}\right).\log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (7.10) \\ & + 1.0488.\log\left(\frac{D}{d}\right).\log\left(\frac{R_0}{1770}\right) + \frac{1}{1.2 + \log\left(\frac{l}{d}\right)}] \end{aligned}$$

39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak, regresyon analizi yapılacaktır. Regresyon analizi sonraki bölümde açıklanmıştır.

7.5 6 x 36 Warrington-Seale Halatın Teorik Ömür Kestirimi

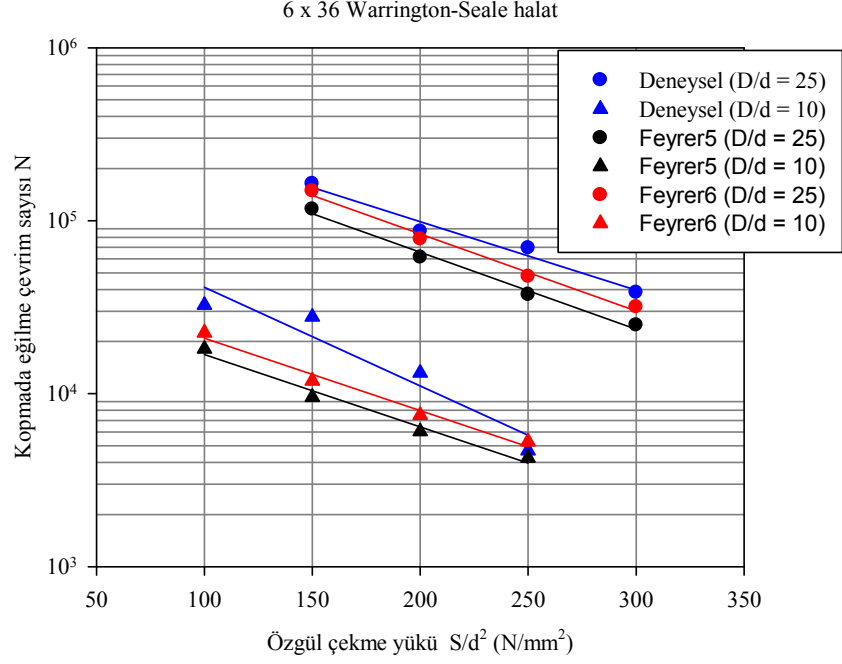
6 x 36 Warrington-Seale halatın, teorik kopma ömrünün ve teorik servis dışı bırakma ömrünün kestirimi denklem (7.1) ve denklem (7.2) kullanılarak yapılmıştır. Eğilme yorulması testleri için tam yağlanmış halat numuneleri ve yuvarlak yivli çelik makaralar ($r/d = 0.53$) ve $60d$ eğilme uzunluğu kullanılmıştır. Ayrıca, kenar sapması yoktur. 6 demetli 6 x 36 Warrington-Seale halat için Çizelge 7.5'de gösterilen düzeltme faktörlerine baktığımızda, 6 demetli çelik özlü (IWRC) halat kullanıldığı durumda $f_{N2} = 0.81$ olmaktadır ve diğer düzeltme faktörleri ise 1 olmaktadır. Bu nedenle teorik halat ömür kestirim denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar, 0.81 katsayısı ile çarpılarak düzeltilmiştir. Elde edilen teorik halat ömür kestirim sonuçları 6 x 36 Warrington-Seale halat için Çizelge 7.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.11 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm ²)	D/d	$R_0/1770$	l/d	N_{teo5} (çevrim)	N_{teo6} (çevrim)
150	25	1.1073	60	116500	148400
200	25	1.1073	60	61410	78240
250	25	1.1073	60	37370	47610
300	25	1.1073	60	24900	31730
100	10	1.1073	60	18133	22510
150	10	1.1073	60	9538	11840
200	10	1.1073	60	6046	7507
250	10	1.1073	60	4250	5272

Çizelge 7.11’de farklı özgül çekme yükleri ve çap oranları kullanılarak yapılan teorik halat ömür kestirim sonuçları gösterilmiştir. N_{teo5} sonuçları denklem (7.1) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı durumdaki teorik halat ömür değerlerini göstermektedir. N_{teo6} sonuçları denklem (7.2) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik halat ömür değerlerini göstermektedir.

Şekil 7.3’de 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen deneysel sonuçlarla, teorik olarak elde edilen iki farklı ömür sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 7.3 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel halat ömür değerleri.

Şekil 7.3’de Feyrer5 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.11’de gösterilen N_{teo5} teorik halat ömür değerlerini, Feyrer6 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.11’de gösterilen N_{teo6} teorik halat ömür değerlerini göstermektedir.

Teorik ve deneysel elde edilen sonuçların karşılaştırması için elde edilen sonuçlar bir arada Çizelge 7.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.12 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm ²)	D/d	$R_0/1770$	l/d	N_{teo5} (çevrim)	N_{teo6} (çevrim)	N_{test} (çevrim)	N_{test}/N_{teo5}	N_{test}/N_{teo6}
150	25	1.1073	60	116500	148400	163456	1.403	1.101
200	25	1.1073	60	61410	78240	86792	1.413	1.109
250	25	1.1073	60	37370	47610	69619	1.863	1.462
300	25	1.1073	60	24900	31730	38505	1.546	1.214
100	10	1.1073	60	18133	22510	32516	1.793	1.445
150	10	1.1073	60	9538	11840	27774	2.912	2.346
200	10	1.1073	60	6046	7507	13170	2.178	1.754
250	10	1.1073	60	4250	5272	4684	1.102	0.888

Şekil 7.3 ve Çizelge 7.12’den görüldüğü gibi denklem (7.2) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik halat ömür

değerleri (N_{teo6}) daha doğru sonuçlar vermiştir. Çap oranı $D/d = 25$ olduğu durumdaki teorik halat ömür değerleri (N_{teo6}), çap oranı $D/d = 10$ olduğu durumdaki halat ömür değerlerine göre daha doğru sonuçlar vermektedir. Teorik olarak kestirilen halat ömür sonuçları, deneysel elde edilen halat ömür sonuçlarından (N_{test}), $S/d^2 = 250$ ve $D/d = 10$ olduğu durum hariç her parametre için daha küçük olmaktadır. Bu nedenle, kullanılan teorik halat ömür denklemleri, 6 x 36 Warrington-Seale halatlar için güvenlik gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda kabul edilebilir hata ile kullanılabilirler. Deneysel elde edilen halat ömür sonuçlarının, her iki teorik halat ömür kestirim denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlara oranları kullanılarak da teorik halat ömür kestirim sonuçları düzeltilebilir. Örneğin, 16 mm çapında, 1960 MPa tel anma dayanımında, 6 x 36 Warrington-Seale halat 400 mm çapındaki makaralarla beraber kullanıldığı ve çekme yükünün 38.4 kN olduğu durumdaki halat ömrünün tespiti için denklem (7.1) ve $S/d^2 = 150$ ve $D/d = 25$ parametreleri kullanılarak elde edilen N_{teo5} teorik halat ömür değeri, 116500 çevrim, 1.403 oranında büyütülerek kopma ömrü kestirilebilir. Aynı şekilde aynı parametreler ile denklem (7.2) kullanıldığı durumda da elde edilen teorik halat ömür sonuçları (N_{teo6}) kabul edilebilir hata ile benzer sonuçları vermektedir. Bu bakımdan, bu çalışmada, elde edilen deneysel ve teorik halat kopma ömür sonuçları ve deneysel ve teorik halat ömür sonuçlarının oranları, kullanıcılar açısından çok değerli bilgiler içermektedir.

Abrasif aşınmış ve dış tel kırıklarına sahip 6 x 36 Warrington-Seale halat numuneleri için, halatın metalik kesit alanındaki azalma oranı kullanılarak teorik halat ömür kestirimi değeri düzeltilebilir.

Halat metalik kesit alanındaki azalmaya bağlı olarak aynı eğilme yorulması test yükünde, geride kalan tellerde taşınan yük artacaktır. Bu durumda, teorik halat ömür kestirimi için kullanılacak denklemlerde S çekme yükü arttırılarak dış tel kırıklarının veya abrasif aşınmanın varlığı durumundaki halat ömrü kestirilecektir [6].

6 x 36 Warrington-Seale halatın metalik kesit alanı, dolgu faktörünün halat nominal çapı kullanılarak elde edilen alanla çarpılması sonucu bulunur. 6 x 36 Warrington-Seale halatın metalik kesit alanı 45.55 mm^2 olarak bulunur. Abrasif aşınmanın ve tel kırıklarının varlığında, kalıntı metalik alanlar hesaplanır. Burada, 0.2 mm abrasif aşınmış yüzeyin varlığında ki halat çapının düşüşü göz önünde bulundurularak kalıntı metalik alan hesaplanır. Aynı şekilde 1 demette 6 tel kırığının ve 3 demette

ikişer tel kırığının varlığındaki kalıntı metalik alan hesaplanır. Kırılan her bir tel çapı 0.55 milimetre olup 6 tel kırığının varlığındaki metalik alan tespit edilir ve halatın toplam metalik alanından, bulunan alan çıkartılarak kalıntı metalik alan hesaplanır. Halatın toplam metalik alanının, kalıntı metalik alana bölünmesiyle elde edilen oran ile halat çekme yükü çarpılarak, kalıntı metalik alanın taşıyacağı çekme yükü artırılır ve böylece hasarlı halatın da teorik ömür kestirimi yapılabilir.

Abrasif aşınmış ve dış tel kırıklarına sahip 6 x 36 Warrington-Seale halat numuneleri için, elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar bir arada Çizelge 7.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.13 : Abrasif aşınmış ve dış tel kırıklarına sahip 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel ömür sonuçları.

Halat	S/d^2 (N/mm ²)	D/d	R_0 /1770	l/d	N_{teo5} (çevrim)	N_{teo6} (çevrim)	N_{test} (çevrim)	$N_{test}/$ N_{teo5}	$N_{test}/$ N_{teo6}
Hasarsız	250	25	1.1073	60	37370	47610	69619	1.863	1.462
Abrasif aşınmış	260.25	25	1.1073	60	34170	43540	63440 (37435)	1.857 (1.096)	1.457 (0.86)
1 x 6 tel kırığı	258	25	1.1073	60	34840	44390	56586	1.624	1.275
3 x 2 tel kırığı	258	25	1.1073	60	34840	44390	28731	0.825	0.647

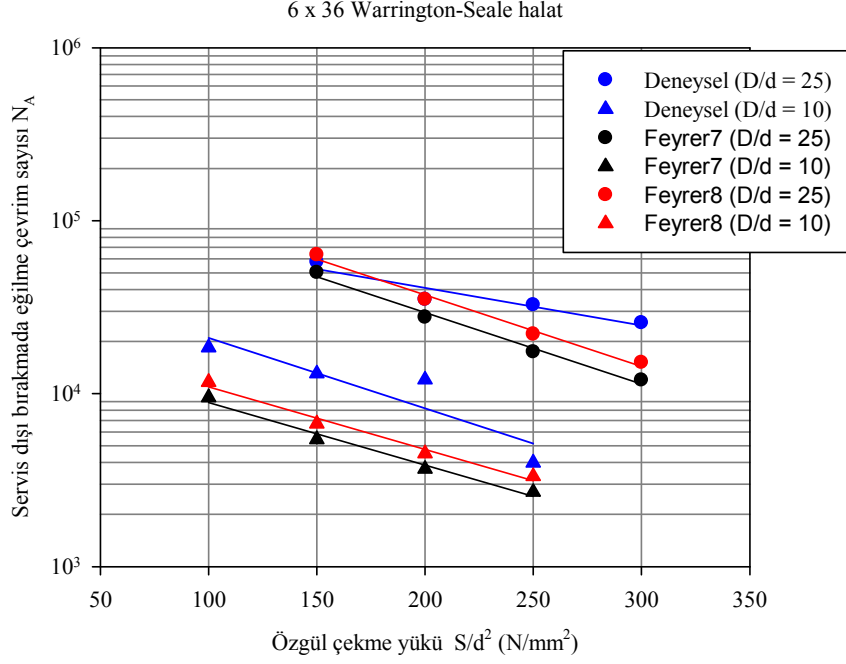
Çizelge 7.13’de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen halat ömür sonuçlarının (N_{test}), teorik olarak elde edilen halat ömür sonuçları (N_{teo5} ve N_{teo6}) oranlarına baktığımızda, abrasif aşınmanın varlığı durumunda, parantez içinde gösterilen aşınma boyunun $30d$ olduğu durumdaki teorik ömür sonucu, aşınma boyunun $15d$ olduğu durumdakine göre daha doğru olmaktadır. Aynı şekilde tel kırıklarının 3 x 2 şeklinde olması durumundaki teorik ömür sonucu, tel kırıklarının 1 x 6 şeklinde olması durumdakine göre daha doğru olmaktadır. Burada, deneysel olarak elde edilen halat ömür sonuçlarının teorik olarak elde edilen halat ömür sonuçlarına oranları kullanılarak teorik olarak kestirilen halat ömür sonuçları düzeltilebilir.

6 x 36 Warrington-Seale halatın, teorik servis dışı bırakma ömrünün kestirimi denklem (7.1) ve denklem (7.2) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür kestirim sonuçları 6 x 36 Warrington-Seale halat için Çizelge 7.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.14 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm ²)	D/d	$R_0/1770$	l/d	N_{teo7} (çevrim)	N_{teo8} (çevrim)
150	25	1.1073	60	50150	63490
200	25	1.1073	60	27650	35010
250	25	1.1073	60	17420	22060
300	25	1.1073	60	11950	15130
100	10	1.1073	60	9494	11680
150	10	1.1073	60	5438	6696
200	10	1.1073	60	3668	4511
250	10	1.1073	60	2700	3321

Çizelge 7.14’de N_{teo7} sonuçları denklem (7.1) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı durumdaki teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir. N_{teo8} sonuçları denklem (7.2) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir. Şekil 7.4’de 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen deneysel sonuçlarla, teorik olarak elde edilen iki farklı servis dışı bırakma ömür sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 7.4 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür değerleri.

Şekil 7.4’de Feyrer7 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.14’de gösterilen N_{teo7} teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini, Feyrer8 için gösterilen sonuçlar Çizelge 7.14’de gösterilen N_{teo8} teorik servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir. Teorik ve deneysel elde edilen sonuçların karşılaştırması için elde edilen sonuçlar bir arada Çizelge 7.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.15 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm ²)	D/d	R_0 /1770	l/d	N_{teo7} (çevrim)	N_{teo8} (çevrim)	$N_A(test)$ (çevrim)	$N_A(test)/$ N_{teo7}	$N_A(test)/$ N_{teo8}
150	25	1.1073	60	50150	63490	57702	1.151	0.909
200	25	1.1073	60	27650	35010	34986	1.265	0.999
250	25	1.1073	60	17420	22060	32608	1.872	1.478
300	25	1.1073	60	11950	15130	25672	2.148	1.697
100	10	1.1073	60	9494	11680	18503	1.949	1.584
150	10	1.1073	60	5438	6696	13060	2.402	1.95
200	10	1.1073	60	3668	4511	12038	3.282	2.669
250	10	1.1073	60	2700	3321	3983	1.475	1.199

Şekil 7.4 ve Çizelge 7.15’den görüldüğü gibi denklem (7.2) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme

uzunluğunun etkilerinin de göz önünde bulundurulduğu durumdaki teorik halat servis dışı bırakma ömür değerleri (N_{teo8}) daha doğru sonuçlar vermiştir. Çap oranı $D/d = 25$ olduğu durumdaki teorik halat servis dışı bırakma ömür değerleri (N_{teo8}), çap oranı $D/d = 10$ olduğu durumdaki halat servis dışı bırakma ömür değerlerine göre daha doğru sonuçlar vermektedir. Denklem (7.1) kullanılarak elde edilen, halat çapı, halat teli anma mukavemeti ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğunun etkilerinin göz önünde bulundurulmadığı durumdaki teorik halat servis dışı bırakma ömür değerleri (N_{teo7}), her parametre için, deneysel sonuçlardan daha küçük olmaktadır. Her iki teorik halat servis dışı bırakma ömür değerlerine bakıldığında bu sonuçlar kabul edilebilir hata ile kullanılabilirler. Ayrıca, teorik servis dışı bırakma ömür sonuçlarının hesaplanmasında, referans tel kırık sayılarının, mevcut standartta [12] belirtilen tel kırık sayıları yerine Çizelge 7.4’de verilen tel kırık sayılarının kullanılması da elde edilen sonuçlardaki sapmada etkili olmaktadır. Örneğin, $S/d^2 = 150$ ve $D/d = 10$ olduğu ve 6 x 36 Warrington-Seale halatın 1E_m, 1D_m, 1C_m, 1B_m, 1A_m tipi işletme gruplarında çalıştırıldığı durumda, mevcut standartta $30d$ referans boyunda görülebilir tel kırık sayısı 14 olduğunda halat servis dışı bırakılması gereklidir, fakat teorik servis dışı bırakma ömür hesaplamalarında aynı referans boyunda, 4 tel kırığının varlığı durumundaki halatın servis dışı bırakma ömrü hesaplanmıştır. Bu bakımdan, bu parametrelerde, teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki fark büyümüştür. Deneysel elde edilen halat servis dışı bırakma ömür sonuçlarının ($N_A(test)$), her iki teorik halat servis dışı bırakma ömür kestirim denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlara oranları kullanılarak da teorik halat servis dışı bırakma ömür kestirim sonuçları düzeltilebilir. Bu bakımdan, bu çalışmada, elde edilen deneysel ve teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları ve deneysel ve teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçlarının oranları, kullanıcılar açısından çok değerli bilgiler içermektedir.

8. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizinin temelinde, üzerinde çalışılan bir veri ile bu veriye etki eden faktör (ya da faktörler) arasında bir ilişki bulunup bulunmadığını araştırmak ve bir ilişkiden söz edilebiliyorsa bunu matematiksel olarak ifade edebilmek, yani fonksiyonel ifadesini sağlamak yatmaktadır [40]. Halat ömrünün (N), özgül çekme yükü (S/d^2) ve çap oranı (D/d) parametrelerine bağlı olarak değişiminin teorik olarak kestirilebilmesi için, daha önce yapılan teorik çalışmalar [15] göz önüne alınarak, bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar için regresyon analizi uygulanmıştır. Halat ömrüne etki eden birden fazla parametre bulunduğu için, çalışmada çoklu regresyon modeli kurulmuştur. Eğri uyarlamak için en ideal ve en güvenilir yöntem olarak kabul edilen en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Regresyon analizi sonucu elde edilen yaklaşık halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür sonuçlarıyla deneysel olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

8.1 Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli

Değişkenin iki veya daha fazla bağımsız değişkenlere bağlı oluşuna göre, regresyon analizi, “çoklu regresyon” olarak isimlendirilir. Regresyon analizinde değişkenler, bağımsız değişken ve bağımlı değişken olmak üzere iki kısımda sınıflandırılır. Genellikle, bağımsız değişken X ile, bağımlı değişkeni de Y ile gösterilir. Bağımsız değişkenler, daha önceden bilindiği kabul edilen, ölçülmüş, gözlenmiş, derlenmiş sayısal değerlerdir. Bağımlı değişken ise bir sonuç olarak ortaya çıkan (ya da en azından bağımsız değişkene bağlı olarak değer aldığına inandığımız) sayısal değerlerdir [40]. Çoklu regresyon analizi, bağımlı değişkenin (Y), birden fazla bağımsız değişkene (X) bağlı olarak değiştiği durumda kullanılır. Bu çalışmada bağımlı değişken halat ömrüdür ve bağımsız değişkenler özgül çekme yükü, çap oranı ve bunların çarpımıdır. Bu nedenle daha önce yapılan teorik çalışmalara bağlı kalınarak [15] denklem (7.1)’den yararlanılmış ve elde edilen deneysel verilerin logaritması alınarak çalışmada çoklu doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır. Bu modelin genel formu denklem (8.1)’de gösterilmiştir.

$$\log(N_i) = a_0 + a_1 \cdot \log(x_i) + a_2 \cdot \log(y_i) + a_3 \cdot \log(x_i) \cdot \log(y_i) + \varepsilon_i \quad (8.1)$$

Burada; x_i ile gösterilen terim özgül çekme yükünü (S/d^2), y_i ile gösterilen terim çap oranını (D/d) ifade etmektedir. ε_i , hata bileşenlerini, a_i katsayıları ise en küçük kareler yöntemiyle bulunacak deneysel sonuçlara bağlı katsayıları göstermektedir.

Denklem (8.1)'de kolaylık olması bakımından önce bazı parametrelerin gösterilişi değiştirilmiştir. İleri ki hesaplamalarda, $\log(x_i) = x_i$ olarak, $\log(y_i) = y_i$ olarak ve $\log(x_i) \cdot \log(y_i) = z_i$ olarak alınacaktır. Bu nedenle denklem (8.1), denklem (8.2) haline gelir.

$$\log(N_i) = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot y_i + a_3 \cdot z_i + \varepsilon_i \quad (8.2)$$

8.2 En Küçük Kareler Yöntemiyle Sabitlerin Bulunması

Birçok mühendislik problemlerinde deneysel çalışma sonucu elde edilen veya incelenen veriler noktasal verilerdir. Parametrelerden birine karşılık bir değer ölçülmüş veya verilmiştir [41]. En küçük kareler yöntemi, bu noktasal veriler arasından geçen ve bu noktaların eğilim çizgisine olan uzaklıklarının yani hataların (ε_i) karelerinin toplamının en küçük olduğu eğilim çizgisinin çizilmesine olanak sağlayan yöntemdir [40]. En küçük kareler ilkesine göre, hataların karelerinin toplamı denklem (8.3)'de gösterildiği gibi minimum olmalıdır.

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2 = \text{minimum} \quad (8.3)$$

En küçük kareler yöntemine göre bu ifadeyi minimum yapmak için denklem (8.2)'de ε_i terimi çekilerek denklem (8.3)'de yerine konur ve denklem (8.4)'de gösterilen denklem takımında belirtilen ilk denklem elde edilir. Bu ilk denklemde eşitliğin sağ tarafının minimum olabilmesi için, denklemin sabitlere göre kısmi türevleri alınarak sifıra eşitlenmelidir. O zaman hata değeri minimum olur [42].

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n [\log(N_i) - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot y_i - a_3 \cdot z_i]^2 = \text{minimum}$$

$$\frac{\partial \varepsilon_i^2}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n [\log(N_i) - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot y_i - a_3 \cdot z_i] = 0$$

$$\frac{\partial \varepsilon_i^2}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_i \cdot [\log(N_i) - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot y_i - a_3 \cdot z_i] = 0 \quad (8.4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_i^2}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n y_i \cdot [\log(N_i) - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot y_i - a_3 \cdot z_i] = 0$$

$$\frac{\partial \varepsilon_i^2}{\partial a_3} = -2 \sum_{i=1}^n z_i \cdot [\log(N_i) - a_0 - a_1 \cdot x_i - a_2 \cdot y_i - a_3 \cdot z_i] = 0$$

Denklem (8.4) yeniden düzenlenirse denklem (8.5)'de gösterilen denklem takımı elde edilir.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \log(N_i) &= a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n z_i \\ \sum_{i=1}^n x_i \cdot \log(N_i) &= a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot z_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \cdot \log(N_i) &= a_0 \cdot \sum_{i=1}^n y_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i \\ \sum_{i=1}^n z_i \cdot \log(N_i) &= a_0 \cdot \sum_{i=1}^n z_i + a_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot z_i + a_2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i + a_3 \cdot \sum_{i=1}^n z_i^2 \end{aligned} \quad (8.5)$$

Denklem takımı (8.5)'de ilk denklemde gösterilen n, deney adedini göstermektedir. Denklem takımı (8.5)'de N_i , x_i , y_i ve z_i terimlerini içeren ardışık toplama işlemleri yapılarak dört bilinmeyenli (a_0 , a_1 , a_2 , a_3) dört denklem takımı elde edilir. Denklem sistemi çözülerek sabitler elde edilir.

Bu çalışmada kullanılan her iki halat konstrüksiyonu için, farklı özgül çekme yükleri ve farklı çap oranları göz önünde bulundurularak deneysel olarak elde edilen halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür sonuçları, yukarıda belirtilen en küçük kareler yöntemi yaklaşımıyla değerlendirilerek, denklem (8.6)'da belirtilen ve deneysel çalışmalarla elde edilen verilere bağlı a_0 , a_1 , a_2 , a_3 sabitleri bulunabilir. Böylece, her iki halat konstrüksiyonunun halat kopma ömrü ve servis dışı bırakma ömrünün tespiti regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat ömür denklemleri yardımıyla kolaylıkla yaklaşık hesaplanabilme olanağı mümkün olacaktır.

$$\log(N) = a_0 + a_1 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) + a_2 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) + a_3 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (8.6)$$

8.3 39 Demetli Dönme Dirençli Halat İçin Regresyon Analizi

39 demetli dönme dirençli halat için farklı özgül çekme yüklerinde ve çap oranlarında yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde elde edilen halat kopma ömrü ve servis dışı bırakma ömrü değerleri kullanılarak, a_0 , a_1 , a_2 , a_3 sabitleri, en küçük kareler yöntemi yardımıyla elde edilen denklem takımının çözümü yapılarak elde edilecektir. Bunun için ilk olarak özgül çekme yükleri, çap oranları ve halat kopma ömrü değerlerinin logaritmaları bulunmalıdır. Çizelge 8.1'de 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü için elde edilen deneysel verilerin logaritmik değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 : 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü için elde edilen logaritmik değerler.

$\log(N_i)$	x_i	y_i	z_i
4.918	2	1.398	2.796
4.580	2.176	1.398	3.042
4.401	2.301	1.398	3.217
4.056	2.398	1.398	3.352
4.253	1.699	1	1.699
3.861	2	1	2
3.704	2.176	1	2.176
3.477	2.301	1	2.301

Çizelge 8.1'de gösterilen x_i değerleri yapılan 8 adet testteki $\log\left(\frac{S}{d^2}\right)$ değerlerini, y_i değerleri yapılan 8 adet testteki $\log\left(\frac{D}{d}\right)$ değerlerini, z_i değerleri yapılan 8 adet testteki $\log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right)$ değerlerini göstermektedir. Çözüm için önce, denklem (8.5)'de belirtilen x_i , y_i ve z_i terimlerini içeren ardışık toplamaların hesaplanması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2 : 39 demetli dönme dirençli halatın teorik kopma ömür kestirimi için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.

$\sum x_i$	$\sum y_i$	$\sum z_i$	$\sum x_i^2$	$\sum y_i^2$	$\sum z_i^2$
17.051	9.592	20.583	36.69616	11.81762	55.57255
$\sum x_i \cdot y_i$	$\sum x_i \cdot z_i$	$\sum y_i \cdot z_i$	$\sum \log(N_i)$	$\sum x_i \cdot \log(N_i)$	$\sum y_i \cdot \log(N_i)$
20.58325	44.56798	25.52099	33.25	70.6634	40.39609
$\sum z_i \cdot \log(N_i)$					
86.44515					

Çizelge 8.2’de gösterilen değerler, denklem (8.5)’de gösterilen denklem takımında yerlerine koyularak dört bilinmeyenli dört denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımı çözüldüğünde $a_0 = -0.3858$, $a_1 = 0.7995$, $a_2 = 6.7573$, $a_3 = -2.046$ olarak bulunur. 39 demetli dönme dirençli halatın teorik olarak kopma ömür kestirim denklemi,

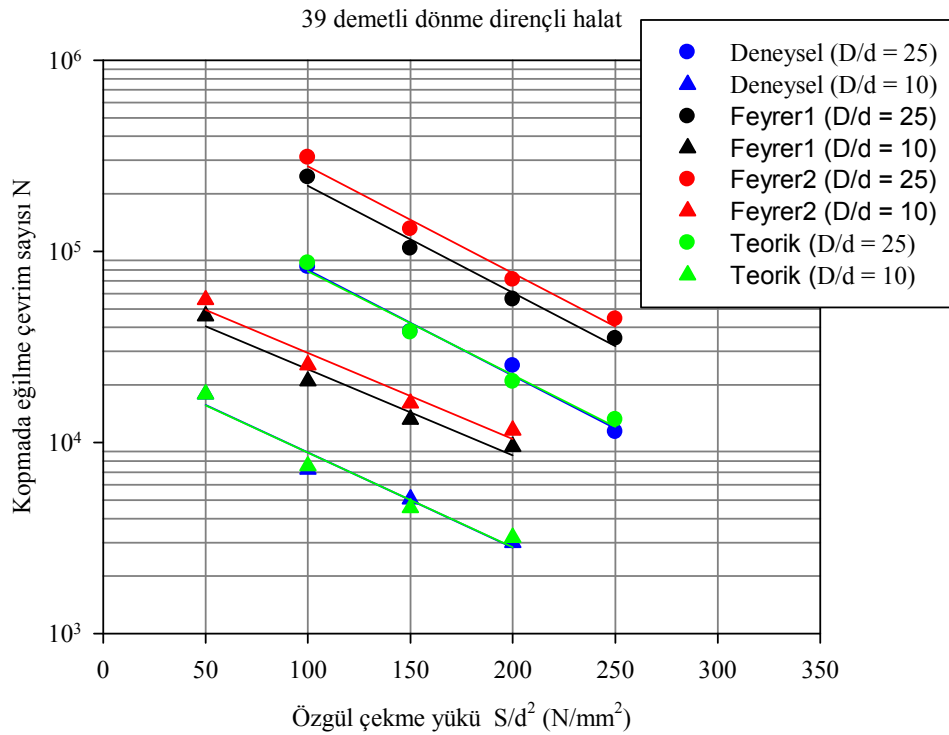
$$\log(N) = -0.3858 + 0.7995 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) + 6.7573 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) - 2.046 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (8.7)$$

olarak elde edilir. Denklem (8.7) kullanılarak, farklı özgül çekme yükleri ve çap oranları için elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçları ve deneysel sonuçlar Çizelge 8.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.3 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm^2)	D/d	N_{teorik} (çevrim)	$N_{deneysel}$
100	25	86896	82859
150	25	37757	38013
200	25	20844	25202
250	25	13182	11377
50	10	17947	17906
100	10	7550	7256
150	10	4560	5060
200	10	3184	2996

39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen tüm teorik kopma ömür sonuçları ve deneysel sonuçlar bir arada Şekil 8.1’de gösterilmiştir.



Şekil 8.1 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış).

Şekil 8.1’de Feyrer1 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo1} teorik halat kopma ömür değerlerini, Feyrer2 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo2} teorik halat kopma ömür değerlerini göstermektedir.

Verilen teorik modelin geçerliliğini kanıtlamak için kullanılan bir yol, belirleyicilik katsayısının (r^2) hesaplanmasıdır. Belirleyicilik katsayısı, toplam değişimin % kaçının kurulan regresyon modeli ile açıklanabildiğini göstermektedir. 1'e yakın değerler bulunması regresyon modelinin uygun olduğunu göstermektedir. y_i değerlerine sahip bir veri takımında, bu değerlerin regresyon modeline bağlı tahmin edilen f_i değerleri vardır. Burada, y_i değerleri gözlemlenen değerleri ve f_i değerleri ise regresyon modeli kullanılarak elde edilen kestirim değerleri olarak adlandırılırlar. Belirleyicilik katsayısı (r^2), denklem (8.8)'de gösterildiği gibi açıklanan veri değişiminin (kurulan regresyon modeli ile açıklanan veri değişimi), toplam veri değişimine (toplam gözlemlenen veri değişimi) oranıdır [43].

$$r^2 = \frac{\sum (f_i - \bar{f})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (8.8)$$

Burada, \bar{f} regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat ömür kestirim denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat ömür değerlerinin ortalamasını, \bar{y} deneysel olarak elde edilen halat ömür değerlerinin ortalamasını göstermektedir.

Belirleyicilik katsayısı hesap edildikten sonra bu değer karekökü alınarak korelasyon katsayısı da (r) bulunabilir. Korelasyon katsayısı, gözlenen verilerle, uyarlanan en küçük kareler doğrusu arasında iyi bir uyumun olup olmadığının belirlenmesi için kullanılır [42]. Korelasyon katsayısı daima -1 ila +1 değerleri arasında değerler alır. $r = +1$ olması durumunda pozitif yönde mükemmel bir ilişki söz konusudur. $r = -1$ olması durumunda da negatif yönde mükemmel bir ilişki söz konusudur.

Belirleyicilik katsayısının hesaplanmasında, Çizelge 8.3'de gösterilen regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat kopma ömür değerleri ile deneysel halat kopma ömür değerlerinin logaritmik değerleri kullanılmıştır. 39 demetli dönme dirençli halat için regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat kopma ömür denkleminin güvenilirliğinin tespiti için denklem (8.8) kullanılarak elde edilen belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.991$ olarak tespit edilmiştir. Böylelikle, toplam değişimin %99.1'inin, regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat kopma ömür denklemini kullanıldığı durumda açıklanabileceği görülmüştür. Sonuç olarak, teorik

halat kopma ömür denkleminin oldukça güvenilir sonuçlar vereceği söylenebilir. Ayrıca korelasyon katsayısı $r = -0.995$ olarak tespit edilmiştir. Burada bulunan negatif değer, deney sonuçlarının azalan yönde olduğunu vurgulamak için kullanılmaktadır. Bulunan korelasyon katsayısı göz önünde bulundurulduğunda, teorik ve deneysel sonuçlar arasında güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.

39 demetli dönme dirençli halatın teorik servis dışı bırakma ömrünün tespiti için de yukarıda açıklanan regresyon analizi yapılmıştır. Teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemini olarak denklem (8.9) kullanılmıştır. Çizelge 8.4’de 39 demetli dönme dirençli halatın servis dışı bırakma ömrü için elde edilen deneysel verilerin logaritmik değerleri gösterilmiştir.

$$\log(N_{A_i}) = a_0 + a_1 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) + a_2 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) + a_3 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (8.9)$$

Çizelge 8.4 : 39 demetli dönme dirençli halatın servis dışı bırakma ömrü için elde edilen logaritmik değerler.

$\log(N_{A_i})$	x_i	y_i	z_i
4.740	2	1.398	2.796
4.301	2.176	1.398	3.042
4.114	2.301	1.398	3.217
3.942	2.398	1.398	3.352
4.097	1.699	1	1.699
3.669	2	1	2
3.574	2.176	1	2.176
3.311	2.301	1	2.301

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen logaritmik değerler, denklem (8.5)’in çözümünde kullanılmıştır. Bunun için önce denklem (8.5)’de belirtilen x_i , y_i ve z_i terimlerini içeren ardışık toplamın hesaplanması yapılmıştır. Denklem (8.5)’deki $\log(N_i)$ değerleri $\log(N_{A_i})$ olarak değiştirilmiştir. Çizelge 8.5’de elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 8.5 : 39 demetli dönme dirençli halatın teorik servis dışı bırakma ömür kestirimi için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.

$\sum x_i$	$\sum y_i$	$\sum z_i$	$\sum x_i^2$	$\sum y_i^2$	$\sum z_i^2$
17.051	9.592	20.583	36.69616	11.81762	55.57255
$\sum x_i \cdot y_i$	$\sum x_i \cdot z_i$	$\sum y_i \cdot z_i$	$\sum \log(N_{A_i})$	$\sum x_i \cdot \log(N_{A_i})$	$\sum y_i \cdot \log(N_{A_i})$
20.58325	44.56798	25.52099	31.748	67.45264	38.55261
$\sum z_i \cdot \log(N_{A_i})$					
82.47944					

Çizelge 8.5’de gösterilen 39 demetli dönme dirençli halatın servis dışı bırakma ömrünün teorik olarak tespiti için, hesaplanan ardışık toplam değerleri denklem (8.5)’de verilen denklem takımında yerlerine koyularak dört bilinmeyenli dört denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımı çözüldüğünde $a_0 = -0.0825$, $a_1 = 0.6543$, $a_2 = 6.2671$, $a_3 = -1.8881$ olarak bulunur. 39 demetli dönme dirençli halatın teorik olarak servis dışı bırakma ömür kestirim denklemi (8.10)’daki hale gelir.

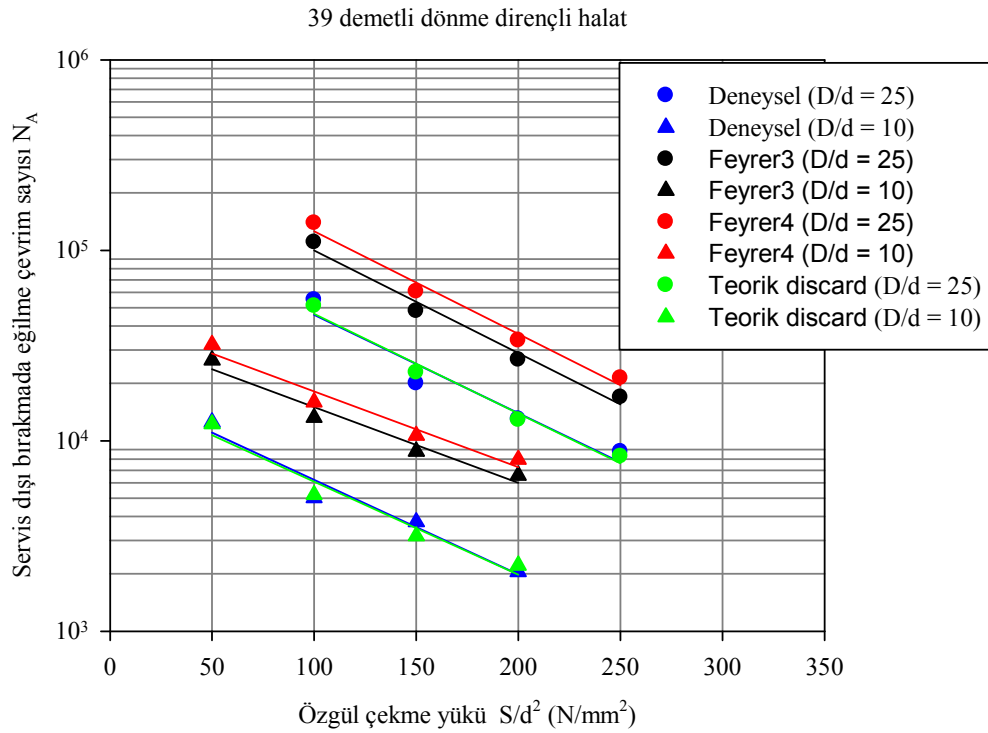
$$\log(N_{A_i}) = -0.0825 + 0.6543 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) + 6.2671 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) - 1.8881 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (8.10)$$

Denklem (8.10) kullanılarak farklı özgül çekme yükleri ve çap oranları için elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları ve deneysel sonuçlar Çizelge 8.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 8.6 : 39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm^2)	D/d	$N_{A,teorik}$ (çevrim)	$N_{deneysel}$
100	25	51050	55014
150	25	22855	20003
200	25	12882	13006
250	25	8298	8756
50	10	12246	12508
100	10	5211	5002
150	10	3162	3752
200	10	2218	2050

39 demetli dönme dirençli halat için elde edilen tüm teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları ve deneysel sonuçlar bir arada Şekil 8.2’de gösterilmiştir.



Şekil 8.2 : 39 demetli dönme dirençli halat için teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış).

Şekil 8.2’de Feyrer3 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo3} teorik halat servis dışı bırakma ömür değerlerini, Feyrer4 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo4} teorik halat servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir.

Belirleyicilik katsayısının hesaplanmasında, Çizelge 8.6'da gösterilen regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür değerleri ile deneysel halat servis dışı bırakma ömür değerlerinin logaritmik değerleri kullanılmıştır. 39 demetli dönme dirençli halat için regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür denkleminin güvenilirliğinin tespiti için denklem (8.8) kullanılarak elde edilen belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.989$ olarak tespit edilmiştir. Böylelikle, toplam değişimin %98.9'unun, regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemini kullanıldığı durumda açıklanabileceği görülmüştür. Bu sonuçla teorik halat servis dışı bırakma ömür denkleminin oldukça güvenilir sonuçlar vereceği söylenebilir. Ayrıca korelasyon katsayısı $r = -0.994$ olarak tespit edilmiştir. Burada bulunan negatif değer, deney sonuçlarının azalan yönde olduğunu vurgulamak için kullanılmaktadır. Bulunan korelasyon katsayısı göz önüne alındığında, teorik ve deneysel sonuçlar arasında güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.

8.4 6 x 36 Warrington-Seale Halat İçin Regresyon Analizi

6 x 36 Warrington-Seale halat için farklı özgül çekme yüklerinde ve çap oranlarında yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde elde edilen halat kopma ömrü ve servis dışı bırakma ömrü değerleri kullanılarak, a_0 , a_1 , a_2 , a_3 sabitleri, en küçük kareler yöntemi yardımıyla elde edilen denklem takımının çözümü yapılarak elde edilecektir. Bunun için ilk olarak özgül çekme yükleri, çap oranları ve halat kopma ömrü değerlerinin logaritmaları bulunmalıdır. Çizelge 8.7'de 6 x 36 Warrington-Seale halatın halat kopma ömrü için elde edilen deneysel verilerin logaritmik değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 8.7 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü için elde edilen logaritmik değerler.

$\log(N_i)$	x_i	y_i	z_i
5.213	2.176	1.398	3.042
4.938	2.301	1.398	3.216
4.842	2.398	1.398	3.352
4.585	2.477	1.398	3.462
4.512	2	1	2
4.443	2.176	1	2.176
4.119	2.301	1	2.301
3.670	2.398	1	2.398

Çizelge 8.7’de gösterilen x_i değerleri yapılan 8 adet testteki $\log\left(\frac{S}{d^2}\right)$ değerlerini, y_i değerleri yapılan 8 adet testteki $\log\left(\frac{D}{d}\right)$ değerlerini, z_i değerleri yapılan 8 adet testteki $\log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right)$ değerlerini göstermektedir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bu logaritmik değerler kullanılarak, önce denklem (8.5)’de belirtilen x_i, y_i ve z_i terimlerini içeren ardışık toplamlar hesaplanmış ve Çizelge 8.8’de elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 8.8 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın teorik kopma ömür kestirimi için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.

$\sum x_i$	$\sum y_i$	$\sum z_i$	$\sum x_i^2$	$\sum y_i^2$	$\sum z_i^2$
18.227	9.592	21.947	41.69549	11.81762	62.59775
$\sum x_i \cdot y_i$	$\sum x_i \cdot z_i$	$\sum y_i \cdot z_i$	$\sum \log(N_i)$	$\sum x_i \cdot \log(N_i)$	$\sum y_i \cdot \log(N_i)$
21.9491	50.41286	27.14966	36.322	82.64443	44.11404
$\sum z_i \cdot \log(N_i)$					
100.8127					

Sonra, Çizelge 8.8’de gösterilen 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrünün teorik olarak tespiti için belirlenen değerler denklem (8.5)’de gösterilen denklem takımında yerlerine koyularak dört bilinmeyenli dört denklem takımı elde edilir. Bu

denklem takımı çözüldüğünde $a_0 = 6.7674$, $a_1 = -2.2308$, $a_2 = 1.941$, $a_3 = 0.1925$ olarak bulunur. 6 x 36 Warrington-Seale halatın teorik kopma ömür kestirim denklemi (8.11)'deki hale gelir.

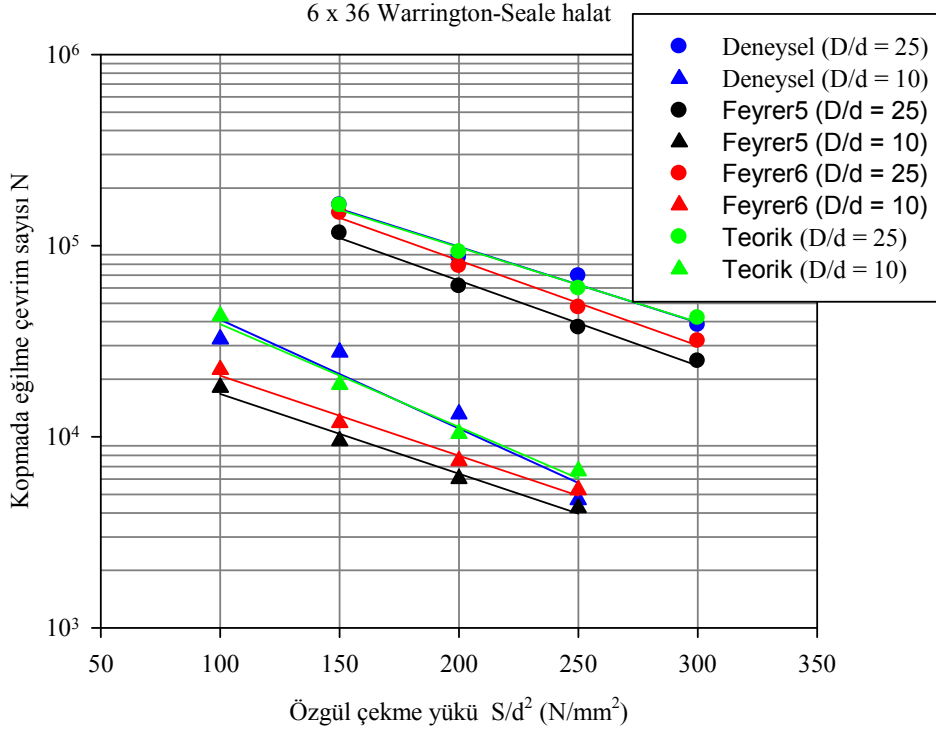
$$\log(N) = 6.7674 - 2.2308 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) + 1.941 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) + 0.1925 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (8.11)$$

Denklem (8.11) kullanılarak farklı özgül çekme yükleri ve çap oranları için elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçları ile deneysel sonuçlar Çizelge 8.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 8.9 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları.

S/d ² (N/mm ²)	D/d	N _{teorik} (çevrim)	N _{deneysel}
150	25	162929	163456
200	25	92682	86792
250	25	59841	69619
300	25	41879	38505
100	10	42854	32516
150	10	18749	27774
200	10	10423	13170
250	10	6622	4684

6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen tüm teorik kopma ömür sonuçları ve deneysel sonuçlar bir arada Şekil 8.3'de gösterilmiştir.



Şekil 8.3 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel kopma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış).

Şekil 8.3’de Feyrer5 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo5} teorik halat kopma ömür değerlerini, Feyrer6 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo6} teorik halat kopma ömür değerlerini göstermektedir.

Belirleyicilik katsayısının hesaplanmasında, Çizelge 8.9’da verilen regresyon analizi sonucu elde edilen teorik kopma ömür değerleri ile deneysel halat kopma ömür değerlerinin logaritmik değerleri kullanılmıştır. 6 x 36 Warrington-Seale halat için regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat kopma ömür denkleminin güvenilirliğinin tespiti için denklem (8.8) kullanılarak elde edilen belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.95$ olarak bulunmuştur. Böylece, toplam değişimin %95’inin, regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat kopma ömür denklemini kullanıldığı durumda açıklanabileceği görülmüştür. Bu sonuçla teorik kopma ömür denkleminin oldukça güvenilir sonuçlar vereceği söylenebilir. Ayrıca korelasyon katsayısı $r = -0.974$ olarak tespit edilmiştir. Burada bulunan negatif değer, deney sonuçlarının azalan yönde olduğunu vurgulamak için kullanılmaktadır. Bulunan korelasyon katsayısı göz önüne alındığında, teorik ve deneysel sonuçlar arasında güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.

6 x 36 Warrington-Seale halatın teorik servis dışı bırakma ömrünün tespiti için de yukarıda açıklanan regresyon analizi yapılmıştır. Teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemi olarak denklem (8.9) kullanılmıştır. Çizelge 8.10'da 6 x 36 Warrington-Seale halatın servis dışı bırakma ömrü için elde edilen deneysel verilerin logaritmik değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 8.10 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın servis dışı bırakma ömrü için elde edilen logaritmik değerler.

$\log(N_{A_i})$	x_i	y_i	z_i
4.761	2.176	1.398	3.042
4.543	2.301	1.398	3.216
4.513	2.398	1.398	3.352
4.409	2.477	1.398	3.462
4.267	2	1	2
4.116	2.176	1	2.176
4.080	2.301	1	2.301
3.600	2.398	1	2.398

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bu logaritmik değerler kullanılarak, önce denklem (8.5)'de belirtilen x_i , y_i ve z_i terimlerini içeren ardışık toplamlar hesaplanmış ve Çizelge 8.11'de elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Denklem (8.5)'deki $\log(N_i)$ değerleri $\log(N_{A_i})$ olarak değiştirilmiştir.

Çizelge 8.11 : 6 x 36 Warrington-Seale halatın servis dışı bırakma ömrü için hesaplanan ardışık toplam sonuçları.

$\sum x_i$	$\sum y_i$	$\sum z_i$	$\sum x_i^2$	$\sum y_i^2$	$\sum z_i^2$
18.227	9.592	21.947	41.69549	11.81762	62.59775
$\sum x_i \cdot y_i$	$\sum x_i \cdot z_i$	$\sum y_i \cdot z_i$	$\sum \log(N_{A_i})$	$\sum x_i \cdot \log(N_{A_i})$	$\sum y_i \cdot \log(N_{A_i})$
21.9491	50.41286	27.14966	34.289	78.06794	41.54295
$\sum z_i \cdot \log(N_{A_i})$					
94.99608					

Çizelge 8.11’de verilen değerler, denklem (8.5)’de gösterilen denklem takımında yerlerine koyularak dört bilinmeyenli dört denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımı çözüldüğünde $a_0 = 7.4996$, $a_1 = -2.3317$, $a_2 = -0.2643$, $a_3 = 0.8806$ olarak bulunur. 6 x 36 Warrington-Seale halatın teorik servis dışı bırakma ömür kestirim denklemini (8.12)’deki hale gelir.

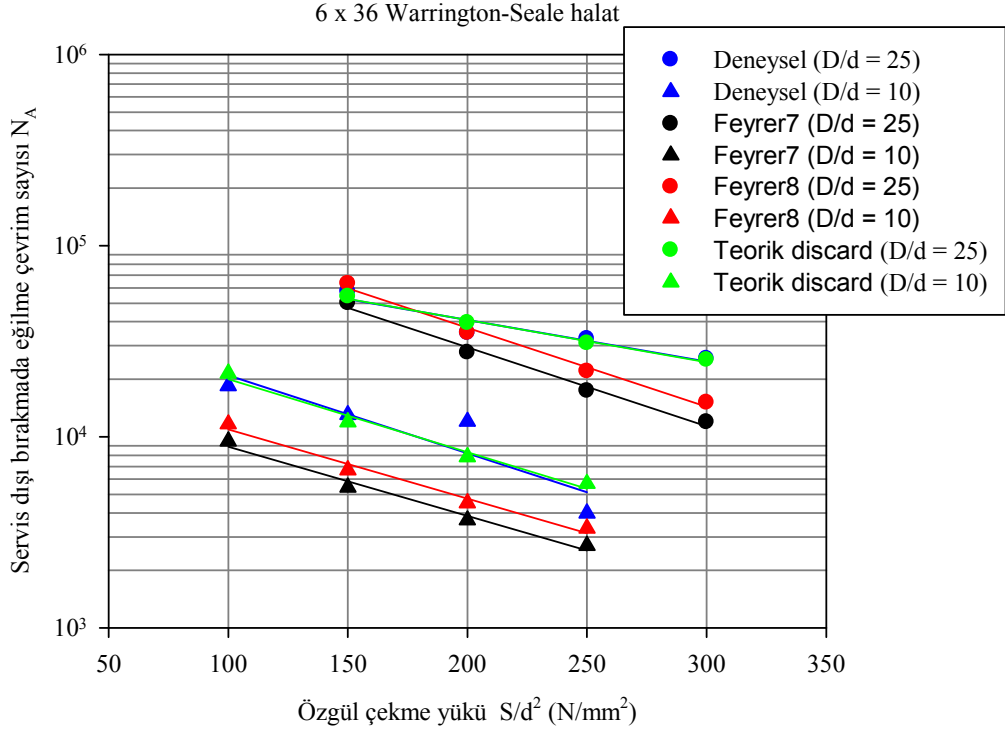
$$\log(N_A) = 7.4996 - 2.3317 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) - 0.2643 \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) + 0.8806 \cdot \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right) \quad (8.12)$$

Denklem (8.12) kullanılarak farklı özgül çekme yükleri ve çap oranları için elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları ve deneysel sonuçlar Çizelge 8.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.12 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen teorik ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları.

S/d^2 (N/mm ²)	D/d	$N_{A,teorik}$ (çevrim)	$N_{deneysel}$
150	25	54325	57702
200	25	39536	34986
250	25	30902	32608
300	25	25292	25672
100	10	21527	18503
150	10	11967	13060
200	10	7870	12038
250	10	5701	3983

6 x 36 Warrington-Seale halat için elde edilen tüm teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları ve deneysel sonuçlar bir arada Şekil 8.4’de gösterilmiştir.



Şekil 8.4 : 6 x 36 Warrington-Seale halat için teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür sonuçları (regresyon analizi yapılmış).

Şekil 8.4’de Feyrer7 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo7} teorik halat servis dışı bırakma ömür değerlerini, Feyrer8 için gösterilen sonuçlar daha önceki bölümde gösterilen N_{teo8} teorik halat servis dışı bırakma ömür değerlerini göstermektedir.

Belirleyicilik katsayısının hesaplanmasında, Çizelge 8.12’de verilen regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür değerleri ile deneysel halat servis dışı bırakma ömür değerlerinin logaritmik değerleri kullanılmıştır. 6 x 36 Warrington-Seale halat için regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür denkleminin güvenilirliğinin tespiti için denklem (8.8) kullanılarak elde edilen belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.924$ olarak bulunmuştur. Böylece, toplam değişimin %92.4’ünün, regresyon analizi sonucu elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür denkleminin kullanıldığı durumda açıklanabileceği görülmüştür. Bu sonuçla teorik servis dışı bırakma ömür denkleminin oldukça güvenilir sonuçlar vereceği söylenebilir. Ayrıca korelasyon katsayısı $r = -0.961$ olarak tespit edilmiştir. Burada bulunan negatif değer, deney sonuçlarının azalan yönde olduğunu vurgulamak için kullanılmaktadır. Bulunan korelasyon katsayısı göz önünde alındığında, teorik ve deneysel sonuçlar arasında güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.

9. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1. Çekme yükünün (S) artmasıyla birlikte eğilme yorulmasına maruz 39 demetli dönme dirençli halatın ve 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü (N) ve servis dışı bırakma ömrü (N_A) büyük oranda düşmektedir: Çekme yükünün 1.5 tondan 2.5 tona yükseltilmesi durumunda 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 38013 çevrimden 11377 çevrime, servis dışı bırakma ömrü 20003 çevrimden 8756 çevrime düşmektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 163456 çevrimden 69619 çevrime, servis dışı bırakma ömrü 57702 çevrimden 32608 çevrime düşmektedir. Bu durumda, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü %70.07 oranında, servis dışı bırakma ömrü %56.22 oranında düşmektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü %57.40 oranında, servis dışı bırakma ömrü %43.48 oranında düşmektedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında 39 demetli dönme dirençli halat, 6 x 36 Warrington-Seale halata göre çekme yükünün artmasıyla birlikte halat kopma ömrünü ve servis dışı bırakma ömrünü daha yüksek oranda kaybetmektedir.
2. Kullanılan makaranın çapının (D) azalmasıyla birlikte eğilme yorulmasına maruz 39 demetli dönme dirençli halatın ve 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü ve servis dışı bırakma ömrü büyük oranda düşmektedir: Çekme yükünün 1.5 ton olduğu, 250 milimetre çapında makara kullanmak yerine 100 milimetre çapında makara kullanıldığı durumda 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 38013 çevrimden 5060 çevrime, servis dışı bırakma ömrü 20003 çevrimden 3752 çevrime düşmektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 163456 çevrimden 27774 çevrime, servis dışı bırakma ömrü 57702 çevrimden 13060 çevrime düşmektedir. Çekme yükünün 2 ton olduğu, 250 milimetre çapında makara kullanmak yerine 100 milimetre çapında makara kullanıldığı durumda 39 demetli dönme dirençli halatın

kopma ömrü 25202 çevrimden 2996 çevrime, servis dışı bırakma ömrü 13006 çevrimden 2050 çevrime düşmektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 86792 çevrimden 13170 çevrime, servis dışı bırakma ömrü 34986 çevrimden 12038 çevrime düşmektedir. Bu durumda, çekme yükünün 1.5 ton olduğu durumda 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü %86.68 oranında, servis dışı bırakma ömrü %81.24 oranında düşmektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü %83 oranında, servis dışı bırakma ömrü %77.36 oranında düşmektedir. Çekme yükünün 2 ton olduğu durumda 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü %88.11 oranında, servis dışı bırakma ömrü %84.23 oranında düşmektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü %84.82 oranında, servis dışı bırakma ömrü %65.59 oranında düşmektedir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında 39 demetli dönme dirençli halat, 6 x 36 Warrington-Seale halata göre her iki çekme yükünde 250 milimetre çapında makara kullanmak yerine 100 milimetre çapında makara kullanıldığı durumda halat kopma ömrünü ve servis dışı bırakma ömrünü daha yüksek oranda kaybetmektedir.

3. Eğilme yorulmasına maruz 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü ve servis dışı bırakma ömrü, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömründen ve servis dışı bırakma ömründen her çekme yükünde ve çap oranı göz önünde bulundurulduğunda oldukça yüksektir: Çap oranı (D/d) 25 ve çekme yükünün 1.5 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 38013 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 20003 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 163456 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 57702 çevrimdir. Bu durumda, kopma ömürlerine bakıldığında, 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 4.3 kat daha uzun süre işletmede çalıştırılabilir. Çap oranı (D/d) 25 ve çekme yükünün 2 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 25202 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 13006 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 86792 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 34986 çevrimdir. Bu durumda, kopma ömürlerine bakıldığında 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 3.44 kat daha uzun süre işletmede çalıştırılabilir. Çap oranı (D/d) 25 ve çekme yükünün 2.5 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 11377 çevrim,

servis dışı bırakma ömrü 8756 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 69619 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 32608 çevrimdir. Bu durumda, kopma ömürlerine bakıldığında 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 6.11 kat daha uzun süre işletmede çalıştırılabilir. Çap oranı 10 ve çekme yükünün 1 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 7256 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 5002 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 32516 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 18503 çevrimdir. Bu durumda, kopma ömürlerine bakıldığında, 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 4.48 kat daha uzun süre işletmede çalıştırılabilir. Çap oranı 10 ve çekme yükünün 1.5 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 5060 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 3752 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 27774 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 13060 çevrimdir. Bu durumda, kopma ömürlerine bakıldığında, 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 5.48 kat daha uzun süre işletmede çalıştırılabilir. Çap oranı 10 ve çekme yükünün 2 ton olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 2996 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 2050 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 13170 çevrim, servis dışı bırakma ömrü 12038 çevrimdir. Bu durumda, kopma ömürlerine bakıldığında, 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre 4.39 kat daha uzun süre işletmede çalıştırılabilir.

4. Yüzde kopma uzama değerleri ($\% \epsilon$), eğilme yorulmasına maruz halat tipinin ve kullanılan makaranın çapının değişmesiyle birlikte değişmektedir: 6 x 36 Warrington-Seale halat, 39 demetli dönme dirençli halata göre daha fazla kopma uzaması göstermektedir. 6 x 36 Warrington-Seale halat, en yüksek yüzde kopma uzamasını ($\%5.22$) çap oranı 10 ve çekme yükünün 1 ton olduğu durumda gösterirken, 39 demetli dönme dirençli halat, en yüksek yüzde kopma uzamasını ($\%3.99$) çap oranı 25 ve çekme yükünün 2 ton olması durumunda göstermiştir. Kullanılan makara çapının 250 milimetre yerine 100 milimetre olması durumunda, yani daha küçük çaplı makaranın kullanılması durumunda, 39 demetli dönme dirençli halattaki yüzde kopma

uzama değerleri azalırken, 6 x 36 Warrington-Seale halattaki yüzde kopma uzama değerleri artmaktadır.

5. Eğilme yorulmasına maruz halat üzerinde oluşan sıcaklık dönme hızının artmasıyla, kullanılan makara çapının azalmasıyla ve çekme yükünün artmasıyla artmaktadır: Çekme yükünün 1.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat 1000 devir/saat dönme hızında çalıştırıldığında halat üzerindeki sıcaklık 28.3°C (oda sıcaklığı 24.4°C) iken dönme hızı 2500 devir/saat'e yükseltildiğinde halat üzerindeki sıcaklık 32.5°C olmaktadır. Sıcaklık artışı 4.2°C'dir. Aynı çekme yükü ve makara çapında, 6 x 36 Warrington-Seale halat 1000 devir/saat dönme hızında çalıştırıldığında halat üzerindeki sıcaklık 27.7 °C (oda sıcaklığı 23.5°C) iken dönme hızı 2500 devir/saat'e yükseltildiğinde halat üzerindeki sıcaklık 30.4°C olmaktadır. Sıcaklık artışı 2.7°C'dir. Çekme yükünün 1.5 ton, kullanılan makara çapının 100 milimetre olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat 1000 devir/saat dönme hızında çalıştırıldığında halat üzerindeki sıcaklık 58.3°C (oda sıcaklığı 24.3°C) iken dönme hızı 2500 devir/saat'e yükseltildiğinde halat üzerindeki sıcaklık 93°C olmaktadır. Sıcaklık artışı 34.7°C'dir. Aynı çekme yükü ve makara çapında, 6 x 36 Warrington-Seale halat 1000 devir/saat dönme hızında çalıştırıldığında halat üzerindeki sıcaklık 50.1 °C (oda sıcaklığı 22.5°C) iken dönme hızı 2500 devir/saat'e yükseltildiğinde halat üzerindeki sıcaklık 95°C olmaktadır. Sıcaklık artışı 44.9°C'dir. Çekme yükünün 2 ton, kullanılan makara çapının 100 milimetre olduğu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat 1000 devir/saat dönme hızında çalıştırıldığında halat üzerindeki sıcaklık 51°C (oda sıcaklığı 22.1°C) iken dönme hızı 2500 devir/saat'e yükseltildiğinde halat üzerindeki sıcaklık 109°C olmaktadır. Sıcaklık artışı 58°C'dir. Halat tipinin, dönme hızına bağlı sıcaklık değişimine etkisinin fazla olmadığı söylenebilir.
6. Eğilme yorulmasına maruz halat uç bağlantısında kullanılan malzemenin cinsi, halatın dönme hızını kısıtlayan bir parametredir: Bu çalışmada, kurşun ağırlıklı alaşım TEGO-VG3 adlı halat ucu döküm alaşımı kullanılarak halat uç bağlantıları sağlanmıştır. Bu tip malzeme kullanılarak yapılan uç bağlantılarında, mevcut standartta [39] belirtilen sıcaklık sınırlarının

aşılması güvenlik için istenmektedir. Kullanılan uç bağlantısı için belirtilen sıcaklık aralığı -45°C ile 80°C 'dir. Bu nedenle, halat uç bağlantısı göz önünde bulundurulduğunda, 39 demetli dönme dirençli halat 15 kN çekme yüküyle yüklendiği ve 100 mm çapında makara ile birlikte kullanıldığı durumda, 2000 dev/saat dönme hızının üzerinde bir hızda çalıştırılmamalıdır. Aynı durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat 15 kN çekme yüküyle yüklendiği ve 100 mm çapında makara ile birlikte kullanıldığı durumda, 2000 dev/saat dönme hızının üzerinde bir hızda çalıştırılmamalıdır. Burada, oda sıcaklığının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Oda sıcaklığının düşük olduğu durumda dönme hızında küçük bir artış sağlanabilir.

7. Dönme hızının artmasıyla halat eğilme yorulma ömrü azalmaktadır: Çekme yükünün 1.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat 1250 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 38013 çevrim, 2750 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 32917 çevrimdir. 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü bu durumda %13.4 oranında düşmüştür. Aynı çekme yükü ve makara çapında, 6 x 36 Warrington-Seale halat 1250 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 163456 çevrim, 2750 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 140407 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü bu durumda %14.1 oranında düşmüştür. Çekme yükünün 1.5 ton, kullanılan makara çapının 100 milimetre olduğu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat 1250 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 5060 çevrim, 2500 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 3060 çevrimdir. 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü bu durumda %39.52 oranında düşmüştür. Aynı çekme yükü ve makara çapında, 6 x 36 Warrington-Seale halat 1250 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 27774 çevrim, 2500 devir/saat dönme hızıyla çalıştırıldığında kopma ömrü 22663 çevrimdir. 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü bu durumda %18.4 oranında düşmüştür. Daha küçük çaplı makaranın kullanılması ve dönme hızının artırılması, her iki halat konstrüksiyonu için elde edilen halat kopma ömrü düşüşlerini arttırıcı bir etki yapmaktadır.

8. Yağlama, halat eğilme yorulma ömrüne büyük oranda etki eder: Çekme yükünün 1.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, düzgün yağlanmış 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 38013 çevrim, yetersiz yağlanmış aynı halatın kopma ömrü 20008 çevrimdir. Bu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat eğer yetersiz yağlanmışsa halat kopma ömrü %47.36 oranında düşmektedir. Çekme yükünün 2.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, düzgün yağlanmış 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 69619 çevrim, yetersiz yağlanmış aynı halatın kopma ömrü 34806 çevrimdir. Bu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat eğer yetersiz yağlanmışsa halat kopma ömrü %50 oranında düşmektedir. Her iki halat konstrüksiyonu için elde edilen sonuçlara bakıldığında yetersiz yağlamanın varlığında halat kopma ömrü hemen hemen yarıya düşmektedir.
9. Dış demetlerde, dış tel kırıklarının oluşması durumunda 6 x 36 Warrington-Seale halatın eğilme yorulma ömrü önemli oranda düşmektedir: Çekme yükünün 2.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, hasarsız 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 69619 çevrim, bir dış demette 6 adet dış tel kırığının olması durumunda aynı halatın kopma ömrü 56586 çevrim ve üç demette her bir demette ikişer olmak üzere 6 adet dış tel kırığının olması durumunda aynı halatın kopma ömrü 28731 çevrimdir. 1 dış demette 6 adet tel kırığının oluşması durumunda halat kopma ömrü %18.72 oranında düşmüştür. 3 dış demette her bir demette 2 adet olmak üzere toplam yine 6 adet tel kırığının oluşması durumunda halat kopma ömrü %58.73 oranında düşmüştür. Dış tel kırık sayıları her iki durumda da 6 adet olmasına rağmen elde edilen sonuçlarda büyük fark vardır. Bu nedenle, tel kırıklarının, yük taşıyan dış demetlerdeki dağılımının da halat kopma ömrünü etkilediği söylenebilir.
10. İç demetlerde, iç demet kırıklarının oluşması durumunda 39 demetli dönme dirençli halatın eğilme yorulma ömrü önemli oranda düşmektedir: Çekme yükünün 1.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, hasarsız 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 38013 çevrim, 2 iç demet kırığının oluşması durumunda aynı halatın kopma ömrü 23581 çevrim, 4 iç demet kırığının oluşması durumunda aynı halatın kopma ömrü 15006

çevrimdir. 2 iç demetin kırığının oluşması durumunda halat kopma ömrü %37.96 oranında düşmüştür. 4 iç demetin kırığının oluşması durumunda halat kopma ömrü %60.52 oranında düşmüştür.

- 11.** Bükülme, halat eğilme yorulma ömrünü düşürmektedir: Çekme yükünün 1.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, hasarsız 39 demetli dönme dirençli halatın kopma ömrü 38013 çevrim, 35° bükülmenin oluşması durumunda aynı halatın kopma ömrü 27121 çevrimdir. Bu durumda, 39 demetli dönme dirençli halat eğer 35° bükülmüş ve işletmeye alınmışsa kopma ömrü %28.65 oranında düşmektedir. Çekme yükünün 2.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, hasarsız 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 69619 çevrim, 35° bükülmenin oluşması durumunda aynı halatın kopma ömrü 63843 çevrimdir. Bu durumda, 6 x 36 Warrington-Seale halat eğer 35° bükülmüş ve işletmeye alınmışsa kopma ömrü %8.29 oranında düşmektedir. Deneysel sonuçlara bakıldığında 39 demetli dönme dirençli halatın bükülmeye karşı daha hassas olduğu ve bu tip halat konstrüksiyonlarının bükülmesi durumunda demetli halat konstrüksiyonlarına göre daha fazla ömür kaybına uğrayacağı söylenebilir.
- 12.** Abrasif aşınma ve abrasif aşınma boyunun artması 6 x 36 Warrington-Seale halatın eğilme yorulma ömrünü düşürmektedir: Çekme yükünün 2.5 ton, kullanılan makara çapının 250 milimetre olduğu durumda, hasarsız 6 x 36 Warrington-Seale halatın kopma ömrü 69619 çevrim, halatın bir yüzeyinde 0.2 milimetre derinliğinde ve 150 milimetre boyunda abrasif aşınmanın varlığında kopma ömrü 63440 çevrim, halatın bir yüzeyinde 0.2 milimetre derinliğinde ve 300 milimetre boyunda abrasif aşınmanın varlığında ise kopma ömrü 37435 çevrimdir. Bu durumda, 0.2 milimetre derinliğinde ve 150 milimetre boyunda abrasif aşınmanın varlığında halat kopma ömrü %8.87 oranında, 0.2 milimetre derinliğinde ve 300 milimetre boyunda abrasif aşınmanın varlığında halat kopma ömrü %46.22 oranında düşmektedir. Deneysel sonuçlara bakıldığında abrasif aşınma boyunda halat eğilme yorulma ömrüne büyük oranda etki etmektedir.
- 13.** 39 demetli dönme dirençli halat için, 4 adet iç demet kırığı, 2 adet iç demet kırığı, 35° bükülme, yetersiz yağlama ve 2750 devir/saat dönme hızıyla

çalıştırma gibi halat ömrüne etki eden parametrelerin etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde bu tipteki halatın eğilme yorulma ömrünü en fazla düşüren parametre 4 adet iç demet kırığının varlığıdır. Bu durumda 39 demeli dönme dirençli halatın eğilme yorulma ömrü %60.52 oranında düşmüştür. Bu tip dönme dirençli halatlarda, tel kırıkları ilk olarak iç demet kademelerinde başlayabilmektedir. Bu durumda, iç tel kırıklarının halat ömrüne etkisinin oldukça fazla olduğu tespit edildiğinden, tahribatsız muayene ile iç tel kırıklarının tespiti oldukça önemli olacaktır. 39 demeli dönme dirençli halatın eğilme yorulma ömrüne yukarıda belirtilen parametrelerden en az etki eden parametre ise dönme hızının 2750 devir/saat'e çıkarılmasıdır.

14. 6 x 36 Warrington-Seale halat için, 1 x 6 adet dış tel kırığı, 3 x 2 adet dış tel kırığı, 35° bükülme, yetersiz yağlama ve 0.2 milimetre derinliğinde, 150 milimetre boyunda ve 0.2 milimetre derinliğinde, 300 milimetre boyunda abrasif aşınmanın varlığı gibi halat ömrüne etki eden parametrelerin etkisinin tespit edilebilmesi için yapılan eğilme yorulma testleri neticesinde bu tipteki halatın eğilme yorulma ömrünü en fazla düşüren parametre 3 x 2 adet dış tel kırığının varlığıdır. Bu durumda 6 x 36 Warrington-Seale halatın eğilme yorulma ömrü %58.73 oranında düşmüştür. 6 x 36 Warrington-Seale halatın eğilme yorulma ömrüne yukarıda belirtilen parametrelerden en az etki eden parametre ise 35° bükülmenin oluşmasıdır.

15. 39 demetli dönme dirençli halat için, Feyrer'in, özgül çekme yükü (S/d^2) ve çap oranı (D/d) parametrelerini göz önünde bulundurarak önerdiği teorik halat kopma ömür denklemi kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle deneysel olarak elde edilen sonuçların, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçlarına oranları kullanılarak Feyrer'in teorik halat kopma ömür denklemi düzeltilebilir. Bu oranlara baktığımızda değerlerin 0.314 ila 0.449 arasında kaldığı görülmüştür. Burada, bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması (0.381) alınıp, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçlarıyla çarpılarak, kabul edilebilir hata ile teorik halat kopma ömür sonuçları düzeltilebilir.

16. 39 demetli dönme dirençli halat için, Feyrer'in, özgül çekme yükü (S/d^2), çap oranı (D/d), halat çapı (d), halat teli anma mukavemeti (R_0) ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğu (l) parametrelerini göz önünde bulundurarak önerdiği teorik halat kopma ömür denklemi kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle deneysel olarak elde edilen sonuçların, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçlarına oranları kullanılarak Feyrer'in teorik halat kopma ömür denklemi düzeltilebilir. Bu oranlara baktığımızda değerlerin 0.257 ile 0.355 arasında kaldığı görülmüştür. Burada, bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması (0.306) alınıp, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçlarıyla çarpılarak, kabul edilebilir hata ile teorik halat kopma ömür sonuçları düzeltilebilir.
17. 39 demetli dönme dirençli halat için, Feyrer'in, özgül çekme yükü (S/d^2) ve çap oranı (D/d) parametrelerini göz önünde bulundurarak önerdiği teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemi kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle deneysel olarak elde edilen sonuçların, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçlarına oranları kullanılarak Feyrer'in teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemi düzeltilebilir. Bu oranlara baktığımızda değerlerin 0.311 ile 0.518 arasında kaldığı görülmüştür. Burada, bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması (0.414) alınıp, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür sonuçlarıyla çarpılarak, kabul edilebilir hata ile teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları düzeltilebilir.
18. 39 demetli dönme dirençli halat için, Feyrer'in, özgül çekme yükü (S/d^2), çap oranı (D/d), halat çapı (d), halat teli anma mukavemeti (R_0) ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğu (l) parametrelerini göz önünde bulundurarak önerdiği teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemi kabul edilebilir hata ile doğru sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle deneysel olarak elde edilen sonuçların, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçlarına oranları kullanılarak Feyrer'in teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemi düzeltilebilir. Bu oranlara baktığımızda değerlerin 0.257 ile 0.411 arasında kaldığı görülmüştür. Burada,

bu iki minimum ve maksimum oran değerlerinin ortalaması (0.334) alınıp, Feyrer'in denklemi kullanılarak elde edilen teorik servis dışı bırakma ömür sonuçlarıyla çarpılarak , kabul edilebilir hata ile teorik halat servis dışı bırakma ömür sonuçları düzeltilebilir.

19. 6 x 36 Warrington-Seale halat için, Feyrer'in, özgül çekme yükü (S/d^2), çap oranı (D/d), halat teli anma mukavemeti (R_0) ve halatın makaralar üzerindeki eğilme uzunluğu (l) parametrelerini göz önünde bulundurarak önerdiği teorik halat kopma ömür denklemi ve servis dışı bırakma ömür denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçları ve servis dışı bırakma ömür sonuçları, özgül çekme yükü (S/d^2), çap oranı (D/d) parametrelerini göz önünde bulundurarak önerdiği teorik halat kopma ömür denklemi ve servis dışı bırakma ömür denklemi kullanılarak elde edilen teorik halat kopma ömür sonuçlarından ve servis dışı bırakma ömür sonuçlarından, deneysel elde edilen teorik halat kopma ömür ve servis dışı bırakma ömür sonuçlarıyla karşılaştırıldığında daha doğru sonuçlar vermektedir. Feyrer'in servis dışı bırakma ömrünün hesaplanması için tel kırık sayılarını, standartta belirtilen değerler yerine hesap sonucu önerdiği tel kırık sayılarını kullanması nedeniyle teorik servis dışı bırakma ömür sonuçlarındaki sapma teorik halat kopma ömür sonuçlarından daha fazla olmaktadır.

20. 39 demetli dönme dirençli halat için, deneysel kopma ömür test sonuçları ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan regresyon analizi neticesinde, belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.991$ ve korelasyon katsayısı $r = -0.995$ olan yeni bir teorik halat kopma ömür denklemi sunulmuştur. Bulunan belirleyicilik katsayısı gözönünde bulundurulduğunda sunulan teorik halat kopma ömür denkleminin oldukça güvenilir sonuçlar vereceği ve bulunan korelasyon katsayısı göz önünde bulundurulduğunda, teorik kopma ömür sonuçları ve deneysel kopma ömür sonuçları arasında güçlü bir ilişki olduğu saptanmıştır.

21. 39 demetli dönme dirençli halat için, deneysel servis dışı bırakma ömür test sonuçları ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan regresyon analizi neticesinde, belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.989$ ve korelasyon katsayısı $r = -0.994$ olan yeni bir teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemi sunulmuştur. Bulunan belirleyicilik katsayısı gözönünde bulundurulduğunda sunulan teorik halat servis dışı bırakma ömür denkleminin oldukça güvenilir

sonuçlar vereceği ve bulunan korelasyon katsayısı göz önünde bulundurulduğunda, teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları ve deneysel servis dışı bırakma ömür sonuçları arasında güçlü bir ilişki olduğu saptanmıştır.

22. 6 x 36 Warrington-Seale halat için, deneysel kopma ömür test sonuçları ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan regresyon analizi neticesinde, belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.95$ ve korelasyon katsayısı $r = -0.974$ olan yeni bir teorik halat kopma ömür denklemi sunulmuştur. Bulunan belirleyicilik katsayısı gözönünde bulundurulduğunda sunulan teorik halat kopma ömür denkleminin oldukça güvenilir sonuçlar vereceği ve bulunan korelasyon katsayısı göz önünde bulundurulduğunda, teorik kopma ömür sonuçları ve deneysel kopma ömür sonuçları arasında güçlü bir ilişki olduğu saptanmıştır.

23. 6 x 36 Warrington-Seale halat için, deneysel servis dışı bırakma ömür test sonuçları ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan regresyon analizi neticesinde, belirleyicilik katsayısı $r^2 = 0.924$ ve korelasyon katsayısı $r = -0.961$ olan yeni bir teorik halat servis dışı bırakma ömür denklemi sunulmuştur. Bulunan belirleyicilik katsayısı gözönünde bulundurulduğunda sunulan teorik halat servis dışı bırakma ömür denkleminin oldukça güvenilir sonuçlar vereceği ve bulunan korelasyon katsayısı göz önünde bulundurulduğunda, teorik servis dışı bırakma ömür sonuçları ve deneysel servis dışı bırakma mr sonuçları arasında güçlü bir ilişki olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Gibson, P. T., White, F. G., Schalit, L.A., Thomas, R. E., Cote, R. W. ve Cress, H. A.**, 1974. A study of parameters that influence wire rope fatigue life, *Battelle-Columbus Laboratories Technical Report*, **N00024-72-C-5427**, Long Beach Research Facility, CA.
- [2] **Bartels, J. R., McKewan, W. M. ve Miscoe, A. J.**, 1992. Bending fatigue tests 2 and 3 on 2-Inch 6 x 25 fiber core wire rope, *US Department of the Interior, Bureau of Mines Report of Investigations*, **RI-9429**, Pittsburgh, PA.
- [3] **Chaplin, C. R. ve Potts, A. E.**, 1991. Wire rope offshore- a critical review of wire rope endurance research affecting offshore applications, *Health & Safety Executive, Offshore Technology Report*, **OTH 91 341**, London.
- [4] **Verreet, R.**, 1998. Calculating the service life of running steel wire ropes, *Casar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany.
- [5] **Suh, J. I. ve Chang, S. P.**, 2000. Experimental study on fatigue behaviour of wire ropes, *International Journal of Fatigue*, **22(4)**, pp. 339-347.
- [6] **Ridge, I. M. L., Chaplin, C. R., ve Zheng, J.**, 2001. Effect of Degradation and Impaired Quality on Wire Rope Bending Over Sheave Fatigue Endurance, *Journal of Engineering Failure Analysis*, Vol. **8**, pp. 173-187.
- [7] **Chaplin, C. R., Ridge, I. M. L., ve Zheng, J.**, 1999. Rope degradation and damage, *Health & Safety Executive, Offshore Technology Report*, **OTO 1999 033**, London.
- [8] **Gibson, P. T.**, 2001. Chapter 8: Operational characteristics of ropes and cables, *Handbook of Oceanographic Winch, Wire and Cable Technology*, USA.
- [9] **Torkar, M. ve Arzensek, B.**, 2002. Failure of crane wire rope, *Journal of Engineering Failure Analysis*, Vol. **9**, pp. 227-233.
- [10] **Giglio, M. ve Manes, A.**, 2003. Bending fatigue tests on a metallic wire rope for aircraft rescue hoist, *Journal of Engineering Failure Analysis*, Vol. **10**, 223-235.
- [11] **Verreet, R.**, 2004. Inspection of steel wire ropes, *Casar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany.
- [12] **TS ISO 4309**, 1999. Vinçler-Tel Halatlar-Muayene ve Hizmet Dışı Bırakma İçin Uygulama Kuralları, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.

- [13] **DIN 15020-2**, 1974. Lifting Appliances; Principles Relating to Rope Drives; Supervision During Operation, *Deutsches Institut für Normung*, Germany.
- [14] **Schönherr, S.**, 2005. Influence of the fleet angle on the service life of wire ropes running over sheaves, *PhD thesis*, Stuttgart University, Germany.
- [15] **Feyrer, K.**, 2007. *Wire ropes: tension, endurance, reliability*, Springer Berlin Heidelberg New York.
- [16] **Gorbatov, E. K., Klekovkina, N. A., Saltuk, V. N., Fogel, V., Barsukov, V. K., Barsukov, E.V., Kadochnikov, N. P., Makarova, E. V. ve Kurashov, D. A.**, 2007. Steel rope with longer service life and improved quality, *Journal of Metallurgist*, Vol. **51**, 279-283.
- [17] **Wirerope Works, Inc.**, Bethlehem elevator rope technical bulletin 9, 2008.
- [18] **Cürgül, İ.**, 1995. *Transport tekniği cilt I*, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, İzmit.
- [19] **Cookes Limited**, 2007. Wire rope handbook, Auckland, New Zealand.
- [20] **Demirsoy, M.**, 1991. *Transport tekniği-kaldırma makinaları cilt I*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [21] **Url-1** <<http://www.adivarcelikhalat.com>>, alındığı tarih 12.01.2010.
- [22] **Url-2** <<http://www.redaelliwireropes.com>>, alındığı tarih 19.08.2009.
- [23] **Url-3** <<http://www.invetionfactory.com>>, alındığı tarih 03.07.2008.
- [24] **Verreet, R.**, 2004. Special wire ropes-technical documentation, *Casar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany.
- [25] **TS EN 12385-2**, 2005. Çelik Tel Halatlar-Güvenlik-Bölüm 2: Tarifler, Kısa Gösteriliş ve Sınıflandırma, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- [26] **Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş.**, 1999. Çelik halat ürün kataloğu, İzmit.
- [27] **Verreet, R.**, 2002. Steel wire ropes for cranes- problems and solutions, *Casar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany.
- [28] **Ernst, H.**, 1973. *Kaldırma makinaları*, Fon Matbaası, Ankara.
- [29] **Turner, J. E. ve Barnes, C.**, 2002. Lubrication basics for wire ropes, *Machinery Lubrication Magazine*, Vol. **4**.
- [30] **TS EN 12385-3**, 2005. Çelik Tel Halatlar-Güvenlik-Bölüm 3: Kullanım ve Bakım Bilgileri, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- [31] **Industrias Electromecanicas GH, S.A.**, 2001. Instructions manual wire rope hoist, Beasain, Spain.
- [32] **Verreet, R. ve Ridge, I.**, 2005. Wire rope forensics, *Casar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany.
- [33] **Yetiştiren H., Zeren A. ve Feyzullahoğlu E.**, 2007. Taşıma tekniği ekipmanlarının bakımında kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri, *Mühendis ve Makina*, **48(571)**, s. 17-24.
- [34] **İmrak, C. E. ve Fetvacı, M. C.**, 2004. Krenlerin (vinçlerin) periyodik koruyucu bakım esasları, *Mühendis ve Makina*, **45(538)**, s. 34-40.

- [35] **Verreet, R. ve Lindsay, W.**, 1996. Wire rope inspection and examination, *Caspar Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report*, Kirkel, Germany.
- [36] **Southwest Wire Rope Inc.**, 2008. Tecnicl data manual, Houston, Texas.
- [37] **Url-4** <<http://www.alpind.com>>, alındığı tarih 02.09.2008.
- [38] **Url-5** <<http://www.hanessupply.com>>, alındığı tarih 04.12.2008.
- [39] **TS EN 13411-4+A1**, 2009. Çelik Tel Halatlar İçin Sonlandırıcılar-Güvenlik-Bölüm 4: Metal ve Reçine İle Soketleme, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
- [40] **Gürkaş, H.**, 2008. Regresyon, korelasyon, trend, *İstatistik*, Lisans Yayıncılık, İstanbul.
- [41] **Uzun, İ.**, 1998. *Nümerik Analiz*, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- [42] **Onur, İ.**, 1999. *Mühendislikte nümerik analize giriş*, Filiz Kitabevi, İstanbul.
- [43] **McClave, J. T. ve Sincich, T.**, 2003. *Statistics Ninth Edition*, Prentice-Hall, Inc., NJ.

ÖZGEÇMİŞ



- Ad Soyad** : Yusuf Aytaç ONUR
- Doğum Yeri ve Tarihi** : İzmit - 1982
- Lisans Üniversite** : Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi., Makina Mühendisliği Bölümü - 2003.
- Yüksek Lisans Üniversite** : İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enst., Makina Müh. A.B.D., Konstrüksiyon Programı - 2006.

Yayın Listesi:

- **Onur, Y. A.**, İmrak, C. E., 2010: The Influence of Rotation Speed On the Bending Fatigue Lifetime of Steel Wire Ropes, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C-Journal of Mechanical Engineering Science, article in press, DOI : 10.1243/09544062JMES2275, ISSN: 0954-4062.
- **Onur, Y. A.**, İmrak, C. E., 2010: Strain Measurement of Stranded Rope Subjected to Bending Over Sheave Fatigue, 16th International Conference “Investigation, Production and Use of Steel Wire Ropes, Conveyors and Hoisting Machines”, VVaPOL 2010 Proceedings, 21-24 September 2010, Podbanske, Slovakia.

