T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EMNİYET KEMERİ KONEKTÖRÜNÜN FARKLI DİNAMİK YÜKLEMELER ALTINDA YORULMA DAVRANIŞLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

UMUR SEZER SARITAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2021

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EMNİYET KEMERİ KONEKTÖRÜNÜN FARKLI DİNAMİK YÜKLEMELER ALTINDA YORULMA DAVRANIŞLARININ DENEYSEL İNCELENMESİ

UMUR SEZER SARITAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. FEVZİ BEDİR

GEBZE
2021

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE ATTITUDE OF THE SEAT BELT CONNECTOR UNDER DIFFERENT DYNAMIC LOADS

UMUR SEZER SARITAŞ

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. FEVZİ BEDİR

GEBZE

2021

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GTÜ FEN BİLİMLERİ Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29/01/2021 tarih ve 2021/05 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 08/02/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Umur Sezer SARITAŞ'ın tez çalışması Makine Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Fevzi BEDİR

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Recep ÖNLER

ÜYE : Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..…/……/…… tarih ve ……/…..... sayılı kararı.

ÖZET

Emniyet kemeri, sürücüyü veya araç yolcularını bir kaza anında veya ani frenleme sırasında oluşabilecek insan hayatını kötüye etkileyecek durumlara karşı korumak amacı ile tasarlanmış bir güvenlik donanımdır.

Bu tez çalışmasında emniyet kemerinde kullanılan halat ve braket parçasının montajı ile oluşan alt bileşen parçası olan konektör parçasının, çalışma ömrünü etkileyen farklı dinamik yüklemeler altında yorulma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Konektör parçası halatı, kullanım süresince çekme, eğilme ve burulma gerilmesine maruz kalmaktadır. Eğilme ve burulma gerilmesi etkisinde kalan konektör halatı dinamik yüklemeler sonucunda yorulmaya başlar. Gerekli incelemelerin yapılabilmesi için bir yorulma test düzeneği ihtiyaç doğmuş ve imalatı yapılmıştır. Farklı yorulma davranışları, test frekansı, çevrim sayısı, eğilme ve burulma açısı parametreleri ile yorulma deneyi yapılmıştır. Yorulma testi sonrası çıkan konektör numunelerinin, mekanik özelliklerini incelemek için çekme testi yapılmıştır. Çekme kuvveti dikkate alınarak Taguchi metodu ile farklı koşullardaki yorulma davranışı yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yorulma, Eğilme Yorulması, Eğilme Yorulması Test Cihazı, Çekme Deneyi, Çelik Tel Halat, Taguchi Metodu.

SUMMARY

Seat belt is a safety equipment designed to protect the driver or vehicle passengers against situations that may adversely affect human life in the event of an accident or during sudden braking.

In this thesis, the fatigue behavior of the connector part, which is the sub-component part formed by the assembly of the steel wire rope and bracket part used in the seat belt, under different dynamic loads affecting the working life was experimentally investigated. The connector wire rope is subjected to tensile, bending and torsional stress during use. The connector wire rope, which is under the effect of bending and torsional stress, starts to get tired as a result of dynamic loads. A fatigue test device was needed and manufactured in order to make the necessary examinations. Fatigue tests were carried out with different fatigue behaviors, test frequency, number of cycles, bending and torsion angle parameters. Tensile test was conducted to examine the mechanical properties of the connector samples obtained after the fatigue test. Fatigue behavior in different conditions was interpreted by Taguchi method considering the tensile force.

Keywords: Fatigue, Bending Fatigue, Bending Fatigue Testing Machine, Tensile Testing, Steel Wire Rope, Taguchi Method.

TEŞEKKÜR

Başta, bu tez çalışmasının oluşmasında bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof.Dr. Fevzi BEDİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmalarımda her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen CAVO OTOMOTİV TİCARET ve SANAYİ A.Ş. firmasına, çalışmalarım için bana zaman ayırarak, değerli düşüncelerini paylaşan tüm katkılarından dolayı çalışma arkadaşlarıma, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Arş. Gör. Erhan ÖZÇARE'ye teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam süresince her zaman yanımda olan, manevi desteklerini hissettiğim sevgili Berrin SUR'a, teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bugünlere gelebilmemde büyük emeği geçen, maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLOLAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	5
1.2. Literatür Taraması	7
2. TEMEL KAVRAMLAR	13
2.1. Emniyet Kemeri Çalışma Prensibi	13
2.1.1. Otomobilin Hareket Etmesiyle Tetiklenen Mekanizmalar	14
2.1.2. Kemerin Aniden Çekilmesiyle Tetiklenen Mekanizmalar	14
2.2. Konektör Üretim Metodu	16
2.2.1. Sac Hammaddesinden Braket Parçası Üretimi	16
2.2.2. Çelik Halat Kesim İşlemleri	18
2.2.3. Montaj İşlemleri	19
2.3. Braket Parçası	20
2.4. Çelik Halatlar	22
2.4.1. Çelik Halat Seçimi	22
2.4.2. Çelik Halat Özleri	23
2.4.3. Çelik Halat Demeti	24
2.4.4. Tek Operasyonlu Çelik Halatlar (Paralel Tel Sarımlı)	26

2.4.4.1. Standart Demetli Halatlar 26
2.4.4.2. Seale Demetli Halatlar 27
2.4.4.3. Warrington Demetli Halatlar 27
2.4.4.4. Filler Demetli Halatlar 28
2.4.4.5. Bileşik Paralel Demetli Halatlar 28
2.4.5. Çok Operasyonlu Çelik Halatlar (Cross Lay) 29
2.4.6. Çelik Tel Halat Yapısı Tanımlaması 30
2.4.7. Çelik Halat Grupları ve Genel Özellikleri 30
2.4.8. Çelik Tel Halat Büyüklükleri 31
2.4.8.1. Çelik Halat Anma Çapı (D) 31
2.4.8.2. Çelik Halat Anma Kesiti (Aa) 32
2.4.8.3. Çelik Halat Dolgu Faktörü (f) 33
2.4.8.4. Çelik Halat Metalik Kesit Alan Faktörü (C) 33
2.4.8.5. Çelik Halat Metalik Kesit Alanı (Am) 33
2.4.8.6. Çelik Halat Uzunluk Kütle Faktörü (W) 34
2.4.8.7. Çelik Halat Uzunluk Kütlesi (M) 34
2.4.8.8. En Küçük Kopma Kuvveti Faktörü (K) 34
2.4.8.9. En Küçük Kopma Kuvveti Faktörü ($Fmin$) 34
2.4.8.10. Çelik Halat Dayanım Sınırı (Rr) 35
2.4.9. Çelik Halat Ömrüne Etki Eden Parametreler 36
2.4.9.1. Çekme Yükü Ve Çaplar Oranı (Dd) 36
2.4.9.2. Eğilme Faktörü 38
2.4.9.3. Tel Anma Mukavemeti 38
2.4.9.4. Halat Yuvası 38
2.4.9.5. Halat Yuvası Malzemesi 39
2.4.9.6. Halat Çapı 40
2.4.9.7. Halat Tel Kalınlığı 42

2.4.9.8. Halat Türü 42
2.4.9.9. Halatın Yağlanması 42
2.4.9.10. Korozyon Etkisi 43
2.4.9.11. Halat Sarılma Açısı 44
2.4.9.12. Halatın Kenar Sapması 44
2.4.9.13. Halat Özü 45
2.4.9.14. Tambur Veya Makaraya Sarma Açısı 45
2.4.10. Feyrer Teorik Halat Ömür Kestirimi 46
2.4.11. Regresyon Analizi 48
2.4.11.1. Çoklu Regresyon Modeli 48
2.4.11.2. En Küçük Kareler Yöntemi İle Katsayıların Bulunması 48
2.4.12. Konektör Halatı Özellikleri 49
2.5. Yorulma Davranışı 50
2.5.1. Yorulma 50
2.5.2. Yorulma Performansını Etkileyen Faktörler 51
2.5.2.1. Parçanın Yüzeyi 51
2.5.2.2. Sıcaklık 52
2.5.2.3. Çevre Koşulları 52
2.5.2.4. Frekans 52
2.5.2.5. Çevrim Sayısı 52
2.5.2.6. Gerilme Koşulları 53
2.5.3. Yorulma Testi 53
2.5.4. Ortalama Gerilmenin Yorulma Mukavemetine Etkisi 54
2.5.5. Kapalı Döngü Yorulma Testleri 56
2.5.6. S/N Eğrileri (Wöhler) 56
2.5.7. Yorulma Deneyleri 58
2.5.7.1. Eksenel Gerilmeli Yorulma Deneyi 58

2.5.7.2. Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi 58
2.5.7.3. Burma Gerilmeli Yorulma Deneyi 59
2.5.7.4. Bileşik Gerilmeli Yorulma Deneyi 60
2.6. Konektör Yorulma Testleri 60
2.6.1. ATS 030 Test Standartları 60
2.6.1.1. Burulma Yorulma Testi 60
2.6.1.2. Boyuna Eğilme Yorulma Testi 61
2.6.1.3. Yanal Eğilme Yorulma Testi 62
2.6.2. TS33061870 Test Standartları 63
2.6.2.1. Alternatif Burulma Yorulma Testi 63
2.6.2.2. Statik Eğilme Yorulma Testi 64
2.6.2.3. Statik Mukavemet Testi 65
3. EĞİLME VE BURULMA YORULMASI TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI 66
3.1. Test Cihazı Motor Seçimi 67
3.2. Test Aparatlarının Tasarımı 69
3.2.1. Burulma Yorulması Test Aparatı Tasarımı 69
3.2.2. Boyuna Eğilme Yorulması Test Aparatı Tasarımı 70
3.2.3. Yanal Eğilme Yorulması Test Aparatı Tasarımı 72
3.2.4. Test Cihazı Detayı 73
3.3. Test Cihazı Otomasyon Sistemi 75
3.4. Test Cihazı Yazılımı 77
4. DENEYSEL ÇALIŞMA 81
4.1. Deneylerde Kullanılan Konektör Numunesi 81
4.2. Yorulma Deneyleri Test Parametreleri 82
4.3. Çekme Testleri 86
4.4. Deney Sonuçları 88

4.4.1. Yorulma Testi Yapılmamış Numunelerin Çekme Testi 89
4.4.2. Test Şartname Parametrelerine Göre Çekme Testi 91
4.4.3. Test frekansı Şartname Parametrelerine Göre Çekme Testi 95
4.4.4. Yorulma Davranışlarına Göre Çekme Testi 99
4.4.5. Eğilme-Burulma Açısı Parametrelerine Göre Çekme Testi 103
4.4.6. Çevrim Sayısı Parametrelerine Göre Çekme Testi 107
4.5. Taguchi Metodu Deney Sonuçları 112
5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER 115

KAYNAKLAR 122
ÖZGEÇMİŞ 124

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
G	:	Yer çekimi ivmesi (m/s2)
Hz	:	Frekans (Hertz)
F	:	Kuvvet (N)
Ø	:	Çap (mm)
σ	:	Gerilme (N/m²)
E	:	Elastisite modülü (N/m²)
h_w	:	Sarım adımı
α	:	Sarım açısı (°)
r_w	:	Tel sarım yarıçapı (mm)
A_a	:	Çelik halat anma kesit alanı (mm²)
f	:	Çelik halat dolgu faktörü
A_m	:	Çelik halat metalik kesit alanı (mm²)
C	:	Çelik halat metalik kesit alan faktörü
δ	:	Çelik halat tel çapı (mm)
W	:	Çelik halat uzunluk kütle faktörü
M	:	Çelik halat uzunluk kütlesi (mm²)
K	:	Kopma kuvvet faktörü
d	:	Çap (mm)
F_{min}	:	En küçük kopma kuvveti (N)
R_r	:	Halat dayanım sınırı (N/m²)
r	:	Yarıçap (mm)
σ_e	:	Eğilme gerilmesi (N/m²)
N	:	Halat kopma ömrü
S	:	Halat çekme kuvveti (N)
R_0	:	Tel anma dayanımı (N/m²)
l	:	Eğilme uzunluğu (mm)
f_N	:	Düzeltme faktörü
D	:	Tambur çapı (mm)

ε_i	:	Hata bileşeni
x_i	:	Özgül çekme yükü (N/m²)
y_i	:	Makara ile halat çap oranı
σ_a	:	Gerilme genliği (N/m²)
σ_t	:	Toplam gerilme (N/m²)
σ_m	:	Ortalama gerilme (N/m²)
σ_r	:	Gerilme dayanımı (N/m²)
R	:	Gerilme oranı
σ_{TU}	:	Statik çekme mukavemeti (N/m²)
L	:	Boşta kalan halat uzunluğu (mm)
$\pm$	:	Artı eksi yön
Nm	:	Tork (Newton metre)
σ	:	Standart sapma (N)
$\bar{x}$	:	Ortalama (N)
Al	:	Alüminyum
Zn	:	Çinko
3D	:	Üç boyutlu
FC	:	Lif öz
HMI	:	İnsan makine arayüzü
NCAP	:	Avrupa yeni araba değerlendirme programı
PA	:	Poliamid
PLC	:	Programlanabilir mantık derleyicisi
PP	:	Polipropilen
SW	:	Seale Warrington çelik halat

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
1.1:	Emniyet kemeri takılmamış NCAP testinde mankenin kaza anı.	1
1.2:	Nils Ivar Bohlin ve üç noktalı emniyet kemeri.	2
1.3:	Konektör parçası ve montaj bileşenleri.	4
1.4:	Halatın yorulma davranışının analitik değerler ile karşılaştırması.	8
1.5:	Gerilim ve bükme yorgunluğu test makinesini şematik gösterimi.	9
1.6:	Teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür sonuçları.	11
2.1:	Sarmal yay, emniyet kemeri şeridini gergin tutmak için makarayı çevirir.	13
2.2:	Otomobilin hareketiyle tetiklenen sistem.	14
2.3:	Kemerin hareketiyle tetiklenen sistem.	15
2.4:	Konektör braket prograsif kalıbı.	16
2.5:	Konektör braket üretimi.	17
2.6:	Braket ölçü kontrolü.	17
2.7:	Çelik tel halat bobini.	18
2.8:	Halat kesme makinesi.	19
2.9:	Konektör montaj makinesi.	20
2.10:	Prograsif kalıp istasyonları.	21
2.11:	Çelik halatın yapısı.	22
2.12:	Çelik halat öz çeşitleri.	23
2.13:	Halat demet geometrisi.	25
2.14:	Halatların sarım yönleri.	26
2.15:	Standart demetli halat.	27
2.16:	Seale demetli halat.	27
2.17:	Warrington demetli halat.	28
2.18:	Filler demetli halat.	28
2.19:	Warrington-Seale (WS) demet geometrisi.	29
2.20:	Seale-Filler (SF) demet geometrisi.	29
2.21:	Çok operasyonlu çelik halatın demet geometrisi.	30
2.22:	Çelik halat tanımlaması.	30
2.23:	Halat anma çapı ölçme metodu.	32
2.24:	Halat demet kesitleri.	32

2.25: 8x25 Filler halat ömrünün çap oranı ve çekme yükü ile ilişkisi. 37
2.26: Yarıçap oranlarının (r/d) halat ömrüne etkisi. 39
2.27: Polyamid tamburda farklı halat tiplerinin ömürleri. 40
2.28: Halat çapının halat ömrüne etkisi. 41
2.29: Halatın sarım açısı ile halat temas uzunluğunun halat ömrüne etkisi. 44
2.30: Halat kenar sapma açılarının halat ömrüne etkisi. 45
2.31: Halat sarma açısı. 46
2.32: Yorulma testlerinde sinüzoidal çevrim. 54
2.33: Metallerin yorulması için Goodman diyagramı. 55
2.34: Kapalı döngü testleri sinüsoidal yükleme tipleri. 56
2.35: Çelik tel halatın S/N eğrisi. 57
2.36: Eksenel gerilmeli yorulma test cihazı. 58
2.37: Düzlemsel eğme gerilmeli yorulma test cihazı. 59
2.38: Burulma test cihazı örneği. 59
2.39: Burulma yorulma test parametreleri. 61
2.40: Boyuna eğilme dayanıklılığı testi. 62
2.41: Yanal eğilme dayanıklılığı test parametreleri. 62
2.42: Alternatif burulma gerilmeli test parametreleri. 63
2.43: Statik eğilme testi. 64
2.44: Statik çektirme testi. 65
3.1: Konektör halatı yorulma davranışları. 66
3.2: Boşta halat uzunluğu 37.49 mm olan konektör. 67
3.3: Dinamometre ile halat bükme kuvvet değeri ölçümü. 68
3.4: Konektör burulma yorulması test aparatı (3D tasarım). 70
3.5: Konektör burulma yorulması test aparatı. 70
3.6: Konektör boyuna eğilme yorulması test aparatı (3D tasarım). 71
3.7: Konektör boyuna eğilme yorulması test aparatı. 71
3.8: Konektör yanal eğilme yorulması test aparatı (3D tasarım). 72
3.9: Konektör yanal eğilme yorulması test aparatı. 73
3.10: Eğilme bükülme yorulması test cihazı. 73
3.11: Konektör eğilme burulma yorulması test cihazının detay 3D görseli. 74
3.12: Test cihazı otomasyon sistemi. 76
3.13: Testi cihazı yazılımın ara yüzü. a) ana sayfa, b) manuel sayfası. 78
3.14: Motor tork değeri. 80

4.1: Deneylerde kullanılan konektörün görseli. 82
4.2: Yorulma deney planı şeması. 83
4.3: Yorulma deneyi sonrası konektör halatları. 86
4.4: Çekme test cihazı. a) test cihazı görseli, b) kalibrasyon sertifikası. 86
4.5: Çekme deneyi. 87
4.6: Gauss dağılımı. 89
4.7: Yorulma testi yapılmamış numunelerin çekme deneyi sonucu. 90
4.8: Şartnameye göre göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. 93
4.9: Şartnameye göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 94
4.10: Şartnameye göre göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 95
4.11: Test frekansına göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. 97
4.12: Test frekansına göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 98
4.13: Test frekansına göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 99
4.14: Yorulmaya göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. 101
4.15: Yorulmaya göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 102
4.16: Yorulmaya göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 103
4.17: Açıya göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. 105
4.18: Açıya göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 106
4.19: Açıya göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 107
4.20: Çevrim sayısına göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. 109
4.21: Çevrim sayısına göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 110
4.22: Çevrim sayısına göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. 111
4.23: Deney sonuçları ortalama kopma uzama karşılaştırma grafiği. 112
4.24: Taguchi metodu tüm parametrelerin halat ömrüne etkisi. 113
4.25: Burulma yorulması testi S/N oranı. 113
4.26: Boyuna eğilme yorulması testi S/N oranı. 114
4.27: Yanal eğilme yorulması testi S/N oranı. 114
5.1: ANOVA metodu ile yorulma davranışlarının etkisi. 118
5.2: Yorulma davranışı etkisi deneyi kutu grafiği sonucu. 118
5.3: ANOVA metodu ile kopan demet sayısı analizi. 120
5.4: Kopan demet sayısı kutu grafiği. 120

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa No:
1.1:	80 km/h hızla duvara çarpan bir otomobilde oluşabilecek durumlar.	3
1.2:	Tel Deney Sonuçları.	10
2.1:	S550MC marka sac çeliğin mekanik ve kimyasal özellikleri.	21
2.2:	Çelik halat özlerinin sınıflandırılması.	24
2.3:	Halat konstrüksiyonlarına bağlı genel özellikler.	31
2.4:	Bazı çelik halatlar için mukavemet hesaplarında kullanılan faktörler.	35
2.5:	Tel malzemesine bağlı halat dayanım sınırı.	36
2.6:	Önerilen ve minimum (D/d) çap oranları.	37
2.7:	Ortalama halat kopma ömrü için katsayılar.	47
2.8:	Çalışmada kullanılan halatın özellikleri.	50
2.9:	R değerine karşılık gelen yorulma yükü modları.	54
3.1:	Test cihazı adım motoru teknik özellikleri.	69
3.2:	Konektör eğilme burulma yorulması test cihazı özellikleri.	75
3.3:	Test cihazında kullanılan otomasyon sistemlerinin tanımı.	77
3.4:	Test cihazı yazılımın ara yüzü bileşenlerinin tanımı.	79
4.1:	Deneylerde kullanılan konektörün özellikleri.	82
4.2:	Tüm parametrelerin halat ömrüne etkisi - faktör ve seviye tablosu.	83
4.3:	Burulma yorulması testi faktör ve seviyeleri.	84
4.4:	Boyuna eğilme yorulması testi faktör ve seviyeleri.	84
4.5:	Yanal eğilme yorulması testi faktör ve seviyeleri.	84
4.6:	Konektör yorulma test planı çizelgesi.	85
4.7:	Konektör çekme testi hata modları.	87
4.8:	Yorulma testi yapılmamış numunelerin çekme testi sonuçları.	89
4.9:	Şartnameye göre göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.	92
4.10:	Test frekansına göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.	96
4.11:	Yorulmaya göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.	100
4.12:	Açı parametresine göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.	104
4.13:	Çevrim sayısına göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.	108
5.1:	Yorulma davranışları testi sonrası çekme deneyi sonuçları.	117
5.2:	Kopan demet sayısı.	119

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar otomobilde güvenlik denildiğinde akla gelen donanım emniyet kemerleri olmuştur. Emniyet kemeri, sürücüyü veya araç yolcularını herhangi bir kaza anında veya ani frenleme sırasında oluşabilecek insan sağlığını kötüye etkileyecek durumlara karşı tasarlanmış bir güvenlik ekipmanıdır. Araç hareket halindeyken, sürücü ve yolcular otomobil ile aynı hız ile hareket ederler. Aniden oluşabilecek kaza veya aracın hızını birden düşürebilecek unsurlarda, şoför ve yolcular, aracın durmadan önceki hızına sahip olacaklardır. Şekil 1.1'deki gibi emniyet kemeri, insanların kaza anında araçtan istemsiz olarak çıkmalarını veya otomobilin içerisinde oluşabilecek darbeleri önlemek için (özellikle ön cama çarpmasını) karşı bir kuvvet uygular. Böylece yolcuların üzerinde oluşabilecek G kuvvetini sönümlemiş olur. Bu önlemle beraber sürücünün ve yolcuların kaza anında güvenliği sağlanmış olunur. Bu durum Newton tarafından 1. hareket yasası olarak kabul edilen, eylemsizlik yani cisimlerin hareket durumlarını koruma eğilimleridir [1].

Şekil 1.1: Emniyet kemeri takılmamış NCAP testinde mankenin kaza anı.

Emniyet kemeri, ilk olarak 1903 yılında tarihte Gustave Liebau isimli Fransız mucidin tasarımı ile ortaya çıkmıştır. Patentini alan mucidin tasarımı otomobil dünyasında hem ekstra maliyet hem de yolcuların konforunu etkilediği için o yıllarda istenilen sonucu alamamıştır. 1930 yılında Amerika tıp birliği, otomobil üreticilerine emniyet kemerini modellerini araçlarında kullanmaları gerektiği konusunda uyarılarda

bulunuyordu. Ancak bu baskıların sonucu savaş sonrasında gerçekleşebildi. 1953'te Colorado Eyaleti Tıp Birliği, emniyet kemerlerinin bütün üretilen otomobillere yerleştirilmesi için bir bildiri yayınladı. 1955 yılında California eyaletinde ise araç kullanırken emniyet kemeri takma zorunluluğu getirildi. 1956 yılında ise Volvo otomobil firması, iki noktalı çapraz göğüs hizasına doğru takılan emniyet kemerini opsiyon olarak sunuldu. 1957 yılında ise bugünkü emniyet kemeri tokası olarak tanınan kilit mekanizması eklendi. Hemen ardından Chrysler otomobil firması sadece ön koltuklarda kullanılmak üzere iki noktalı emniyet kemerini isteğe bağlı olarak bazı modellerinde kullanılmak üzere halka sundu. Ford firması ise emniyet kemeri ve güvenliğin önemini 2 yıl süre boyunca reklamlarında konu almıştır. 1950 yıllarında Saab firmasının savaş uçakları ürettiği zamanda fırlatma koltuklarının mucidi olan Şekil 1.2'deki görseldeki İsveçli mühendis Nils Ivar Bohlin, Volvo firmasının yönetim kurulu başkanı Gunnar Engelu'nun bir kazada ölmesi sonrasında araç içi güvenliği konusuna yoğunlaştı ve 1958 yılında 3 noktalı emniyet kemerini geliştirip patentini aldı. Volvo firması 1959 yılından itibaren 3 noktalı kemeri standart donanım olarak sunan otomobil üreticisi olarak tarihe geçti. İlk olarak standart donanım olarak Volvo PV544 modelinde kullanılmıştır. Türkiye'de ise emniyet kemeri ile ilgili ilk çalışma 1986 yılında yapılmıştır. Zorunlu hale getirilmesi 1992 yılında gerçekleşmiştir. İcadının üzerinden 117 yıl geçen kazalarda hayati önem taşıyan emniyet kemeri, otomobillerde tüm sürücü ve yolcular için vazgeçilmesi mümkün olmayan en önemli güvenlik donanımı olarak yaşamımızda yer almaktadır [2].

Şekil 1.2: Nils Ivar Bohlin ve üç noktalı emniyet kemeri.

Araç içerisinde güvenliğin önemini vurgulamak amacıyla, sabit bir duvara 80 km/h hızla çarpan bir otomobildeki yaklaşık 0,15 saniye süren bir kaza sırasında gerçekleşebilecek olaylar örnek olarak aşağıdaki Tablo 1.1'de verilmiştir.

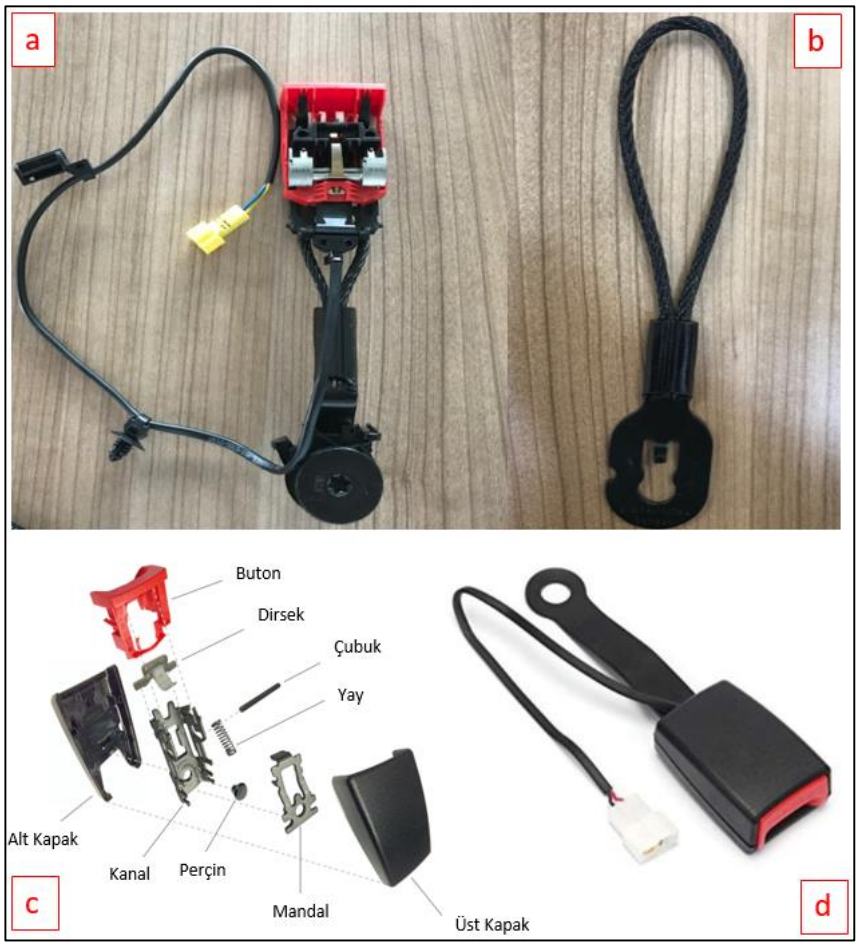
Tablo 1.1: 80 km/h hızla duvara çarpan bir otomobilde oluşabilecek durumlar.

Süre (s)	**Otomobil Kazası Sonrası Gerçekleşebilecek Olaylar**
0,026:	Ön tamponlar araca gömülür. Araç, ağırlığının 30 katı kadar bir kuvvetle frenlenir, taşıttaki yolcular kabin içerisinde 80 km/h hızla hareketlerine devam ederler.
0,039:	Sürücü, koltuğu ile birlikte 15 cm öne fırlamıştır.
0,044:	Sürücü, göğüs kafesiyle direksiyona çarpar.
0,050:	Taşıt ve içindekiler üzerine etkiyen yavaşlatıcı ivme, ~80 G (G: yerçekimi ivmesi, 9,81 m/s2) ye ulaşır, yani, taşıt ve içindekilerin üzerine, ağırlıklarının ~80 katı kadar kuvvetler etki etmektedir (Formula1 sürücüleri yaklaşık 3,5 G, pilotlar uçuş simülatörlerinde 6G, savaş şartlarında 8G ivme ekisinde kalırlar).
0,068:	Sürücü, ~9 tonluk bir kuvvetle gösterge paneline çarpar.
0,092:	Sürücü, yanındaki yolcu ile birlikte, aynı anda kafasını ön cama çarpar. Sürücünün yanındaki yolcu, bu çarpma sonucunda kafasından ölümcül bir yara alarak dışarıya fırlar.
0,100:	Direksiyon simidi tarafından tutulan sürücü, tekrar aracın içine düşer. O anda ölmüştür.
0,110:	Araç yavaşça geri çekilmeye başlar.
0,113:	Sürücünün arkasında oturan yolcu (emniyet kemeri yoksa), sürücünün seviyesine kadar yükselir ve kafasıyla ona sert bir darbe yaparken, aynı anda kendisi de ölümcül biçimde yaralanır.
0,150:	Cam ve çelik parçaları yere düşer, tekrar sessizlik egemen olur.
0,2 saniyeden daha kısa bir süre içerisinde her şey bitmektedir.	

Kaza sonunda ortaya çıkan enerji, ortalama 1 ton ağırlığındaki bir otomobili, yaklaşık 30 m yukarıya fırlatabilecek boyutlardadır [3].

Bu çalışmada ele alınan konu, Şekil 1.3'de gösterilen halat ve sac malzemelerin montajından oluşan emniyet kemerinin konektör parçasıdır. Bu parça emniyet kemeri sisteminde toka kilit mekanizmasını koltuğa ya da araç şasisine bağlantısını yapan kısımdır. Halatın bükülerek sac veya alüminyum hammaddelerinden üretilmiş braket parçaların içine krimpleme veya presleme işlemi sonucu montaj işlemi yapılır. Emniyet kemerinde uygulanan tepki kuvvetinin çoğu mesnet noktasından biri olan konektörün çelik halatı üzerinde sönümlenir. Halatın farklı dinamik stresler altında ve

kaza anında ortalama olarak 2000 daN mertebelerinde yüklemelere karşı dayanımı beklenen, araç ömrü boyunca (yaklaşık 15 yıl) sağlamlığının korunması beklenilmektedir. Bu sebeple yapacağımız çalışmalar konektör parçasının çelik halatın yorulması üzerinde olacaktır.



Şekil 1.3: Konektör parçası ve montaj bileşenleri. a) yarı montajlı durumu, b) konektör, c) toka kilidi bileşenleri ve d) montajlı hali.

Birçok malzeme, üzerine uygulanan çekme gerilmesinin altındaki tekrarlı gerilmeler ile devamlı yüke maruz kalmaktadır. Bu çevrimli yüklemeler bir süre sonra malzemeyi tek bir statik kuvvet ile mevcut dayanımının çok altındaki bir gerilme ile yapısal hasara uğramasına sebep olur. Bu tür hasarlara yorulma hasarı veya yorulma ömrü adı verilir. Kullanılacak alana göre parçanın yorulma özellikleri incelenmesi gerekmektedir. Malzemenin yorulma tayinini yapmak için genellikle s-n eğrisi (Wöhler eğrisi) kullanılmaktadır [4,5].

Bir malzemenin yorulma özelliklerinde kullanılan diğer bir veri ise dayanma sınırıdır. Dayanma sınırı, kırılmanın veya kopmanın olmadığı gerilmenin altındaki

gerilmedir. Dayanma sınırına ulaşmak için gereken tekrarlı yüklerin çevrim sayıları malzeme cinsine göre çeşitlilik göstermektedir [4].

Yorulma deneylerinde sonuçların hassasiyeti çok önemlidir. Deney sonuçların istatiksel olarak güvenilirliğini arttırmak amacı ile deney numunelerin sayısının yüksek olması gerekmektedir. Fakat yapılacak deney numune adedi, deney süresini etkilediği için optimum seviyede numune adedi belirlemek gerekmektedir [4,5].

Çelik tel halatların uygulama sırasında maruz kaldığı yorulmaya etken yüklemeler genel olarak ikiye ayrılabilir. Birincisi köprülerde kullanılan çelik halatlar gibi sürekli maruz kaldığı çekme yorulması, ikincisi ise asansör, vinçlerde kullanılan çelik halatların statik çekme kuvveti altında makaraları çevrelemesinden (Bending over Sheave) kaynaklı üzerinde oluşan tekrarlı bükme ve eğilme yorulmasıdır. Bu yorulmalar sebebiyle çalışan halatlar sınırlı bir ömre sahiptir ve ömür tayini yapmak insan ve çalışma güvenliği açısından çok önemlidir [6].

Çelik tel halatlarda istenilen çalışma ömrünü belirlemek için birçok hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Çelik halatlarda yorulma mukavemetinin etkisi ile halat ömrü azalacağı için halatlarda doğru seçim yapmak çok önemlidir [7].

Bir ürünün veya bir aracın tasarlandıktan sonra ömür tayini yapmak amacı ile uygulama alanında testlerinin yapılması hem zaman alan hem de maliyeti yüksek olan geleneksel bir yöntemdir. Zaman ve maliyeti makul seviyelere indirmek amacı ile çalışma koşullarını simüle etmesi için ömür test cihazları yapılmaktadır. Bu ömür test cihazlarının görevi uygulama parçalarının tekrarlı yorulma yükleri karşısında davranışlarını gözlemlemek ve ömür tayini yapmaktır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Emniyet kemeri kaza anında oluşan tepki kuvvetini sönümlemek ve yolcuların güvenliğini korumak amaçlı kullanılır. İnsan hayatını doğrudan etkilediği için emniyet kemeri ve alt montaj parçaları otomotiv sektöründe A seviye (kritik seviye) güvenlik ekipmanı olarak tanımlanmaktadır. Otomotiv üretici firmaların, A seviye güvenlik parçalarından en büyük beklentisi; araç ömrü boyunca beklenen çalışma koşulları altında ekipmanın insan hayatını olası tehlikelere karşı koruması ve tehlikeye sebebiyet vermemesidir. Otomotiv üretici firmalar arasında artan rekabetin ardından ikinci beklentisi ise yüksek kalite ve düşük maliyet olmuştur. Bu kapsamda emniyet

kemeri ve ilişkili parçalarının beklentileri karşılamak amacı ile dar sınır koşullarında üretilmesine sebebiyet vermiştir.

Bu tez çalışmasında emniyet kemerinde kullanılan alt montaj parçası olan konektör parçasının çalışma ömrünü etkileyen farklı dinamik yüklemeler altında yorulma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Konektör parçasının kullanım süresince yorulmayı etkileyen gerilmeleri belirlenip, parça üzerinde etkisi gözlemlenmiştir. Bu gerilmeleri oluşturan faktörler çekme, eğilme ve burulma gerilmesidir. Eğilme ve burulma gerilmesi etkisinde kalan konektör halatı dinamik(tekrarlı) yüklemeler sonucunda yorulmaya başlar. Bunun sonucunda çekme mukavemetinin altında oluşan gerilmelerde halatın kopma riski artar [4,5]. Konektör parçasının çalışma prensibini simüle etmek ve parça üzerinde oluşan eğilme ve burulma gerilmesinin etkilerini yorumlamak amacı ile bir yorulma test düzeneği ihtiyaç doğmuş ve imalatı yapılmıştır. Farklı yorulma davranışları, test frekansı, çevrim sayısı, eğilme ve burulma açısı parametrelerinin, konektör parçasının halatı üzerinde mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Tez çalışmanın giriş bölümünde parça ile ilgili özet bilgiler verilmiş olup, literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümde mevcut uygulamalar araştırılarak konektör parçasının bileşenlerin tanıtımları yapılmış, farklı halat tipleri ve halat üzerine gelen yük çeşitleri tanıtılmış, yorulma davranışları ve emniyet kemeri üzerinde uygulanan farklı dinamik davranışları konu alan testler araştırılmış, deney düzeneğinde yapılacak testler ile ilgili bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen deney düzeneği tanıtılmış, kullanılan malzemeler ve motor hakkında bilgiler verilmiş, test cihazının senaryosu, dokunmatik panel arayüzü ve otomasyonu anlatılmıştır. Son bölümde yapılan deney düzeneğinde konektör parçasının halatı üzerinde yorulma testlerinin yapılması anlatılmış ve halat ömrünü etkileyen faktörler bulgular üzerinde yorumlanmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında yapılan araştırmalar ve gerçekleştirilen deneyler, mevcut ve yeni konektör tasarım çalışmalarının ve çelik halat kullanılan sistemlerin geliştirilmesinde bir model olması amaçlanmıştır. Yorulma davranışlarının halat ömrü ve kuvvet dayanımına etkisi analiz edilip, parametrelere göre seçilecek halat tiplerinin belirlenmesinde kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Akabinde üretici firmanın çekme mukavemeti arttırma, üretimde hurda sayısını azaltma hedeflerini gerçekleştirmek amacı ile bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın literatürlerde yapılan çalışmalarla benzerliği, eğilme ve burulma yorulma testlerinden sonra statik

mukavemet testleri yapılması ve yorulma testlerinde benzer parametrelerin kullanılmasıdır. Araştırılan literatürlerde, genellikle halatların kasnak üzerinde eğilme yorulma (Bending over Sheave) testleri yapılmıştır. Tez çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farkı ise, halat üzerinde yapılan eğilme ve burulma yorulma testlerinin (Bending – Torsion Fatigue) farklı metotlar ile uygulanmasıdır. Eğilme ve burulma testlerinde uygulanan test metodunun literatüre katkısı olduğu düşünülmektedir.

1.2. Literatür Taraması

Uzun yıllardır araştırmacılar, malzemelerin yorulma davranışlarını incelemek, ömür tayini yapabilmek ve malzemelerin dayanımları arttırmak için birçok önemli çalışmalara imza atmışlardır.

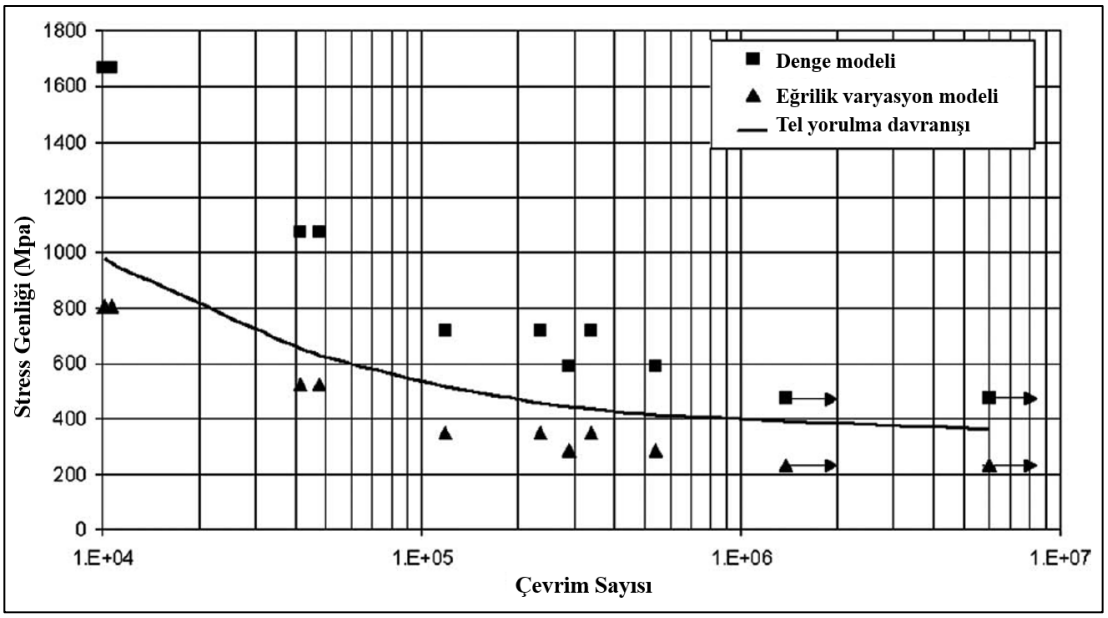
Sung Ho Kim ve çalışma arkadaşları, asansörlerde kullanılan çelik tel halatlarının, halat ve kasnak arasındaki sürtünmeden kaynaklanan gerilme stresi ve bükülme stresinin tekrarlanan streslerle kopabilir olduğunu çalışmalarında deneysel olarak incelemişlerdir. Çelik tel halat tasarımının, halatın kuvvet değerlerini etkilediği bilinmektedir. Tel halat çapı, çekme kuvveti gibi parametrelerin kopma mukavemeti ve tel halat ömrü üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Tel koptuğu zaman biriken bükme yorgunluğunun, kırılma direncini hızla azalttığı, tel halat ömrünün azalmasında da önemli bir faktör olduğu deneylerinde gözlemlemiştirler [8].

Richard C. Wang ve David E. Shapiro liderliğindeki ABD Maden Bürosu, yaptıkları çalışmada, iki adet 32 mm çapında 6x27H düzleştirilmiş çelik tel halatı, 285 kN ve 347 kN sabit yüklerde ve 2.5 ve 2 güvenlik faktörlerinde eğilme ve burulma yorgunluğunu testleri yapmıştırlar. Bu testlerin ardından, halat bozulması ve halat kopma mukavemeti arasındaki ilişkiyi belirlemek için çekme mukavemeti testleri yapılmıştır. Her iki halat numunesi için çekme testlerinden, mukavemet kaybının kopma geriliminin azalması ile ilişkili olduğu bulunmuştur [9].

M.Torkar ve B.Arzensek, bir vincin, kopmuş olan çok telli çelik halatının hasar analiz çalışmalarını yapmışlardır. Çelik tellerin halattaki kırılışı, halat yorgunluğunun göstergesidir. Halat tel yüzeylerinde, halatın çalışırken yorulması sırasında, çatlakların yayılımı için başlangıç bölgesi olarak görülen dekarburize çatlaklarının hareketini gözlemlemiştirler. Vakada, çelik tel halatın hasarına sebep olan ana nedenlerin, yorulma ve halatın bakım konusunda zayıf kalması olduğunu düşünmektedirler [10].

D.G. Wang ve arkadaşları, hasar görmüş çelik halatların aşınma yorulmasını, sonlu elemanlar analizi ile incelemişlerdir. Aşınma derinliğinin ve halatların birbirlerine temas yükünün, gerilme dağılımları üzerindeki etkisini çalışmalarında konu almışlardır. Aynı zamanda, çelik halatın tellerinde çatlakların başladığı noktaların, aşınmış tellerin temas yüzeyleri üzerindeki etkisini de sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Çalışma sonunda, artan aşınma derinliği ve temas yükünün farklı gerilim dağılımlarına neden olduğunu ve sürtünme yüzeylerinde çatlak oluşumunu hızlandırdığını göstermektedir [11].

M. Giglio ve A. Manes bir çelik halatın iç ve dış tellerindeki stres durumunu tahmin etmek için kullanılan iki farklı analitik denklemler ile karşılaştırmalı deney bu çalışmada yapılmıştır. Özellikle eksenel kuvvet ve eğilme momenti için bir model tasarlamak için halat sarım açısı ve yönü, hadde yüksekliği gibi parametrelerle farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Şekil 1.4'deki grafikte yapılan tekrarlı yükleme deney çalışmaları ve analitik sonuçlar ile elde edilen yorulma ömrü tahmininde yakın sonuçlar sağlamıştır. Eksenel kuvvet ve eğilme momenti çalışma koşullarına maruz kalan bir çelik halatın ömrünü tahmin etmek mümkün olmuştur [12].

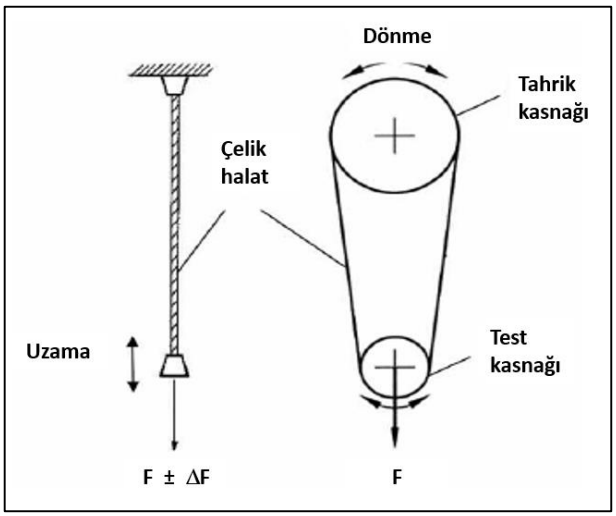


Şekil 1.4: Halatın yorulma davranışının analitik değerler ile karşılaştırması.

D.K. Zhang ve arkadaşları, çelik halatlarda aşındırma testlerinden sonra yıpranmış telleri, test makinesinde yorulma testine tabi tutmuşlardır. Araştırma sonucunda Şekil 1.5'deki grafikte görüldüğü gibi çelik halatların aşınma derinliği,

artan çevrimler ve temas yükleri ile arttığını göstermiştir. Aşınma ve yorulma mekanizmaları, aşınma izleri ve çatlak kesitlerinin SEM morfolojileri ile analiz edilmiştir. Temas yükleri arttığında, yıpranmış tel yüzeylerinde gövde aşınma tipi olan abrazyon ortaya çıkmıştır [13].

Y.A Onur ve C. E Imrak dönme hızının, dönmeye dayanıklı ve dayanıklı olmayan çelik halatların eğilme yorulma ömrü üzerindeki etkisini belirlemek için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Kasnak çaplarının ısı değişiklikleri ve eğilme yorulma ömrü üzerindeki etkisini elde etmek için Şekil 1.5'deki şemada belirtilen test cihazı tasarlayıp, imalatını yapmışlardır. Deney çalışmasında farklı çaplarda iki kasnak kullanılmıştır. Test sonucunda dönme hızının, bükülme yorgunluğuna maruz kalan çelik tel halat ömrünü etkilediğini göstermektedir [14].



Şekil 1.5: Gerilim ve bükme yorgunluğu test makinesini şematik gösterimi.

J. Zhang ve arkadaşları, çelik tel halatların değişken yorulma parametreleri ile eğilme gerilmesini, değişken stres altındaki aşınma-yorulma davranışlarını, yorulma test cihazı yaparak, deneysel incelemişlerdir. Her iki temas eden telin toplam aşınma derinliği, farklı halat tipleri ve farklı kasnak çaplarında hesaplamaları yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi, test sonuçlarını doğrulamak için halat ile sürtünme kasnağı arasındaki üç boyutlu temas davranışlarını analiz etmek için kullanılmıştır. Test sonucunda çekirdek ve dış teller arasındaki tribo-yorgunluk hasarı, dış tel ile sürtünme kasnağı arasındakilerden daha büyük çıkmıştır. Çelik telin toplam aşınma derinliği artan kasnak çapıyla birlikte azalmaktadır. Sonlu elemanlar analizi ile karşılaşmalı

olarak test sonucunda temas ve hasar yerleri test sonuçlarıyla tam olarak örtüşmektedir [15].

Dan Zhao ve ekip arkadaşları, büyük çelik halat numunesi (Ø40mm 6 × 31 SW FC) kullanarak, küçük numune boyutlarında çelik halatların yorulma ömrünü tahmin etmek için gri teorisine dayalı bir model oluşturup yorulma testi yapmışlardır. Yorulma testi sonucunda elde edilen gerilim-ömür eğrisi ile kümülatif hasar teorisinden elde edilen veriler birleştirilerek yorulma ömrü tahmini için veri dizini oluşturulmuştur. Elde edilen veriler ile ADAMS programında analizi yapılıp, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, tek ve birleşik yükleme koşullarında küçük numunede yorulma ömrünü tahmin etmede yüksek doğruluğa sahip olduğunu ve bu yöntemin etkinliğini kanıtladığını göstermektedir [16].

Öztürk Kösemen, yüksek lisans tezinde yaptığı çalışmada halat konstrüksyon yapısının çekme kuvvetine etkisini araştırıp deneysel olarak sunmuştur. Tablo 1.2'de üç farklı çelik halat numunesi ile yapılan deneyin sonucu çelik halat üreticisinin değerlerini ile karşılaştırılmıştır [7].

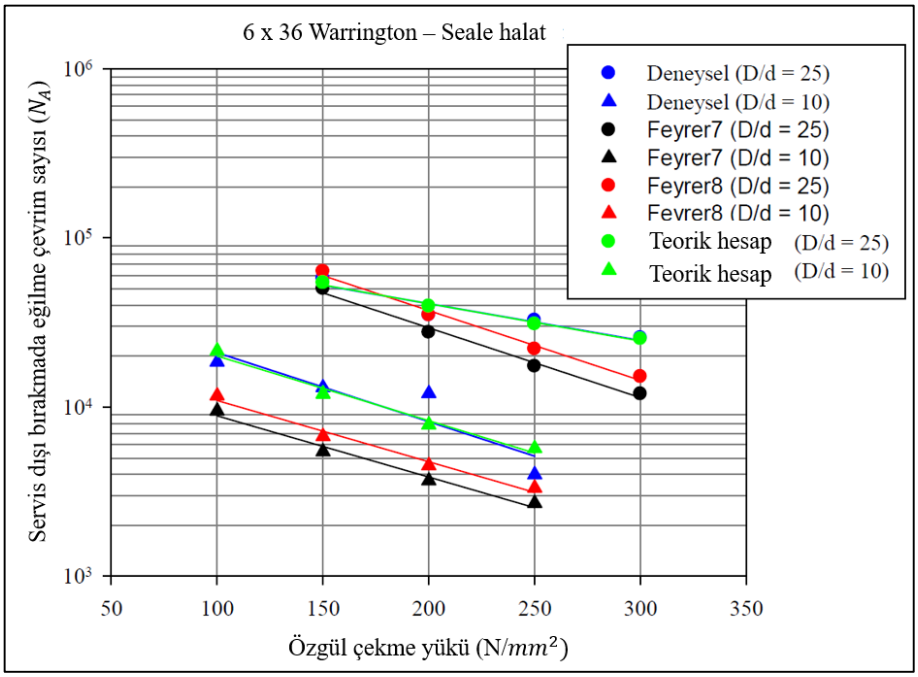
Tablo 1.2: Tel Deney Sonuçları.

Halat Türleri	**σ(*N/mm²*)**	**F(*N*)**	**E(*N/mm²*)**
Ø 10 6x7 Halat Teli δ = 1,02 mm	2010,95	1643,2	196000
Ø 10 6x7 Halat Teli δ = 1,1 mm	1927,95	1832,19	196000
Ø 8 6x7 Halat Teli δ = 0,82 mm	1999,94	1056,1	196000
Ø 8 6x7 Halat Teli δ = 0,92 mm	1963,11	1305	196000
Ø 8 6x37 Halat Teli δ = 0,4 mm	1688,78	212,219	196000

Ali Semih Anıl, yüksek lisans tezinde yaptığı çalışmada, basit çelik tel demetinin yorulma analizi bir sonlu elemanlar analizi yazılımı olan ANSYS ile temas durumu, sınır şartları ve malzeme tanımlayarak gerçekleştirmiştir. Costello'nun eksenel yük altındaki basit çelik tel demetin davranışı ile ilgili oluşturduğu denklemler temel alınarak sonlu elemanlar analizi sonuçları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak sonlu elemanlar analizi ile yorulma ömrüne etki eden değişkenlerin incelenmesi basit demet modeli esas alınarak olanaklı görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma basit demet modeli ve daha karmaşık demet modelleri için yorulma ömrü ve buna etki eden değişkenlerin belirlenmesinde bir aşama sayılabilir [17].

Yusuf Aytaç Onur, makalesinde yaptığı çalışmada, eğilen ve burulan helisel ince çubukların genel teorisi incelenmiş ve bu teori kullanılarak halat demetleri için denge denklemleri oluşturmuştur. Statik yüklü bir halat demeti için örnek bir uygulama incelenmiştir. Halat demetini oluşturan merkez tel ve dış tellerde oluşan birim şekil değiştirmeler ve gerilmeler hesap edilmiş ve sunulmuştur. Merkez telin toplam yükün %15,58'ini, dış tellerin ise %84,42'sini taşıdığı tespit edilmiştir[18].

Yusuf Aytaç Onur, doktora tez çalışmasında, numune olarak çapı 10 mm olan 6 x 36 Warrington-Seale çelik halatı kullanarak, halatların eğilme yorulma ömürlerine etki eden parametreleri, teorik ve deneysel olarak incelemiştir. 250 mm ve 100 mm çapında iki farklı makara kullanarak halatları eğilme yorulma testlerini yapıp daha sonra dört farklı çekme yükünde çektirme deneylerini yapmıştır. Şekil 1.6'da teorik halat kopma ömrü ve halatın servis dışı kalma ömür değerlerini hesaplamak için Feyrer denklemleri kullanılmıştır ve deneysel çalışma sonucu karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma literatür verileri ile karşılaştırılması yapılmış, halat kusurları ve oluşan hasarların halat ömrüne etkisini incelenmiştir [6].



Şekil 1.6: Teorik ve deneysel halat servis dışı bırakma ömür sonuçları.

Muhammer Er, yüksek lisans tezinde alüminyum alaşımlarının yükleme ve gerilme faktörlerinin etkisiyle oluşan tekrarlı gerilmelerin eğilme-yorulma davranışlarına etkisini incelemek amacı ile test cihazı tasarlayıp, imalatını yapmıştır.

S-N diyagramı oluşturularak deneysel verilerden alınan bilgilerle yorulma sınırları tespit edilmiştir. Daha sonra deney sonuçlarını istatistiksel olarak değerlendirmek amacı ile iki parametreli Weibull dağılımı kullanmıştır [4].

Raif Sakin, doktora çalışmasında cam-fiber katkılı polyester kompozit malzemelerin eğilme yorulma davranışını izlemek için test cihazı tasarlayıp imalatını yapmıştır. Bu test cihazında rüzgâr türbin kanatlarında kullanılan kompozit malzemeler frekans değerlerine göre gerilme değerleri ayarlanıp test edilmiştir. Elde edilen deneysel veriler Wöhler eğrileri kullanılarak karşılaştırılmaları yapılmıştır [5].

Dünyada öncü yolcu güvenliği sistemleri üreticisi olan iki firma, emniyet kemerleri üzerinde birçok test yapmaktadır. Bu testler araçların çalışma ömrü boyunca güvenlik parçalarının yorulma davranışı üzerinedir. Emniyet kemeri parçalarının test çalışmalarında sırası ile korozyon, klimatik çevrim, yorulma ve çekme testi yapılmaktadır. Parçanın 3 eksende eğilme ve burulma testleri belirli frekanslarda ve açıda yapılarak ürünlerin çalışma koşulları simüle edilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda araçta kullanılacak parçaların, yorulma koşulları ve kaza anında oluşabilecek anlık kuvvete karşı dayanımları test edilmiş olmaktadır[19,20].

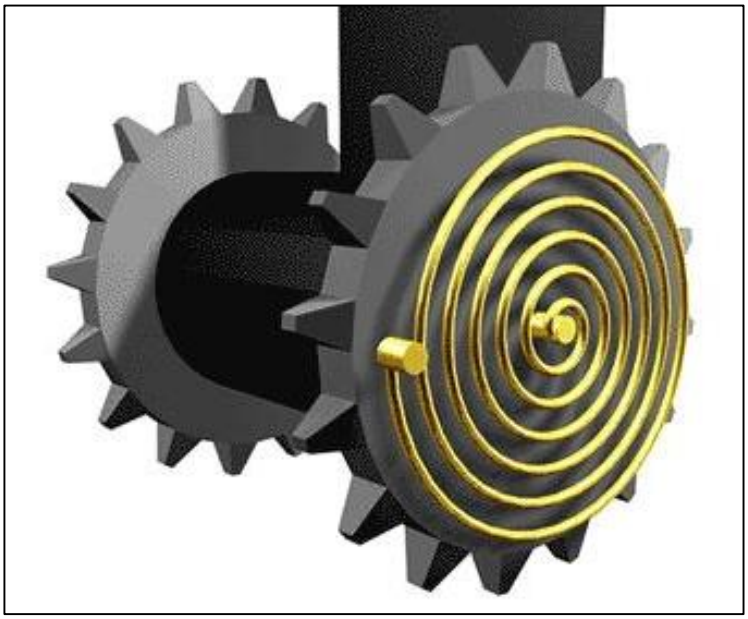
Nazlı Yiğit, yüksek lisans çalışmasında otomotiv sektöründe üretim verimliliğini arttırmak, hurda sayısını azaltmak için Altı Sigma çalışması yapmıştır. Üretimde altı sigma metodolojisi ile 3.1 olan kalite seviyesini 5.2'ye çıkartmıştır. Çalışmanın analizini Minitab programında Taguchi ve ANOVA metotları kullanılmıştır [25].

Literatürde yapılan çalışmalar kapsamında malzemelerin yorulma davranışlarına etki eden parametreler için bir ömür test cihazı hazırlanıp deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir ortak özelliği de yorulma testleri sonunda statik mukavemet testlerinin yapılması ve yorulma ömrüne etki eden etmenlerin istatistik programları yardımı ile karşılaştırmaların yapılmasıdır. Çelik tel halatların kullanım alanları çok geniş olduğundan dolayı her çalışma kendine has yorulma ömrüne etki eden parametreleri seçmiştir. Bu sebeple bu çalışmada üç farklı eğilme yorulma davranışının test frekansı, çevrim sayısı ve eğilme- burulma açı parametreleri ile bir araya getirilmiş yorulma ömür testleri gerçekleşmiştir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Emniyet Kemeri Çalışma Prensibi

Güvenlik elamanı olan emniyet kemeri sisteminde, yolcuyu saran kemer, bir tarafı sabit iken diğer tarafı retraktör denilen kemeri geri toparlayan bir mekanizmaya bağlıdır. Kemer şeridinin ucu, retraktör mekanizmasının göbeğindeki makaraya montajlanmıştır. Makaranın dönmesi ya da tork kuvveti uygulaması için bir zemberek yay bulunmaktadır. Şekil 2.1'deki gibi zemberek yayı kurulduktan sonra makarayı çevirerek gevşek olan kemer şeridini makaraya dolamaya başlar ve kemer şeridi geriye toparlanır.



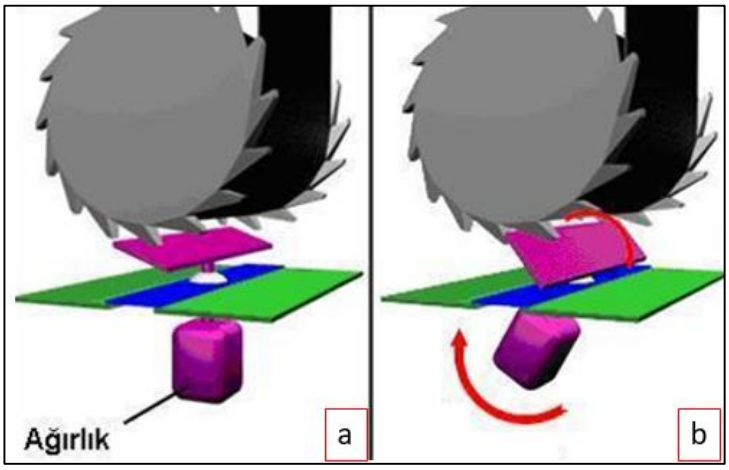
Şekil 2.1: Sarmal yay, emniyet kemeri şeridini gergin tutmak için makarayı çevirir.

Emniyet kemeri şeridini çekildiğinde, makara ve zemberek yayı saat yönünün tersinde dönmeye başlar. Dönmeye başlayan makara, aynı anda zemberek yayı da açmaya çalışır. Zemberek yayı eski haline dönmek ister ve makaranın dönme hareketine karşı bir moment uygular. Kemer şeridi çektikten sonra serbest bırakıldığında, gerilmiş olan yay, makarayı saat yönünde çevirerek kemeri geri toplamaya çalışır. Retraktör mekanizması aynı zamanda kaza anında kemerin

gevşememesi için makaranın dönmesini engelleyen bir kilitleme sistemine sahiptir. Araçlarda en çok kullanılan iki tür kilitleme sistemi vardır:

2.1.1. Otomobilin Hareket Etmesiyle Tetiklenen Mekanizmalar

Bu tür mekanizmalarda otomobilin aniden yavaşlaması ile retraktör mekanizması kilitlenir. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi kilit mekanizması, merkezkaç kuvvetinin etkisi ile çalışmaktadır.



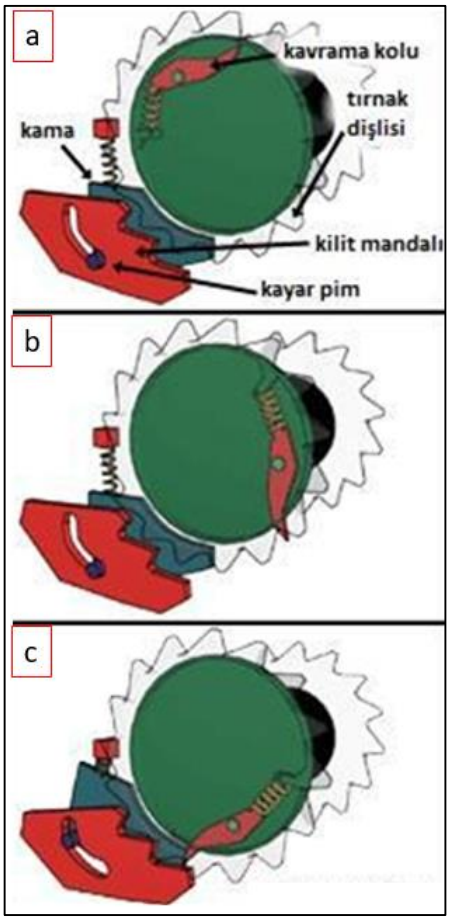
Şekil 2.2: Otomobilin hareketiyle tetiklenen sistem. a) sarkaç, b) merkezkaç etkisi.

Bu çalışma prensibini tetikleyen en büyük etken belirli bir ağırlıkta olan sarkaç elemanıdır. Otomobil, aniden yavaşlaması ya da durması halinde atalet momenti etkisiyle sarkaç araç ekseni ile aynı doğrultuda hareket eder. Bu sırada sarkacın ucundaki tırnaklı parça ile makaranın yanlarında bulunan dişliler birbirine geçer. Bu sayede makaranın saat yönünün tersi yönünde hareketi engellenmiş olur. Emniyet kemeri kayışı, aracın ani frenleme ya da çarpma sırasında serbest kalmadan yolcuyu sımsıkı koltuğa sabitlemiş olur. Otomobil durduğunda veya normal seyrinde gittiğinde sarkaç normal konumuna döner ve mandal serbest kalır.

2.1.2. Kemerin Aniden Çekilmesiyle Tetiklenen Mekanizmalar

Bu tür mekanizmaların çalışma prensibi ise emniyet kemeri kayışının aniden çekilmesiyle retraktör makarasının kilitlenmesidir. Çoğu mekanizmalarda, tetikleyici

etken kuvvet makaranın dönüş hızıdır. Şekil 2.3'de bu tasarımın şeması yer gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Kemerin hareketiyle tetiklenen sistem. a) kavrama kolu, b) merkezkaç etkisi, c) mandalın dişliyi kilitlemesi.

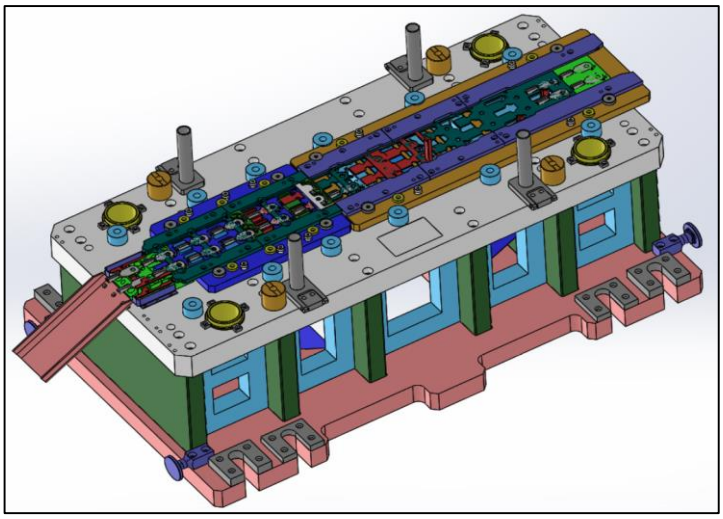
Bu konfigürasyonda tetikleyici eleman, merkezkaç (santrifüjlü) debriyajdır. Merkezkaç debriyajı retraktör makarasına montaj yapılmış ağırlıklı dönen manivela sistemidir. Makaranın yavaş dönmesi ile manivela kolunun bir ucuna takılmış yay ile mevcut konumunu korumaya devam eder. Kayış hızlı çekildiğinde ise, makara daha hızlı döneceği için merkezkaç kuvvetinin etkisiyle manivelanın ağır bölümü makaradan dışarıya doğru savrulmak ister. Manivela kolu, retraktör gövdesindeki monte edilen ek parçayı tetikler. Bu ek parça dönen makara sisteme belirli bir dairesel hareket yapan pim aracılığı ile bağlıdır. Ek parça, mandaldaki slot içerisinde pimin sola doğru hareket etmesi ile slot boyunca hareket eder. Daha sonra mandal, makara dişlilerine kilitlenerek makaranın saat yönünün tersine göre dönmesini engellemiş olur [21].

2.2. Konektör Üretim Metodu

Konektör parçasının üretiminde kullanılan 2 temel malzeme vardır. Bunlar halat ve braket parçası denilen genellikle sac veya alüminyumdan üretilmiş halatı tutmaya yarayan parçalardır. Her araca hizmet eden bu parça araçların modeline, referans çevre parça tasarımına, üretim maliyetine, istenilen dayanım kuvvetine, montaj noktaları gibi birçok parametreye göre üretim metodu ve kullanılan malzeme değişiklik göstermektedir. En yaygın üretim metodu, braket parçasının sac malzemeden üretilmiş ve halatın kaynak ile kesilip montajlandığı durumdur.

2.2.1. Sac Hammaddesinden Braket Parçası Üretimi

Üretim adedi olarak proje süresince milyon adetleri bulan konektör parçasının braket kısmı sac metal prograsif kalıplarında üretilmektedir. Sac metal prograsif kalıp denilen sistem, sac metal şeridi kopmadan şekillendirme, kesme, bükme operasyonları boyunca elde edilen sac metal üreten kalıplarıdır. Prograsif kalıplarda önemli olan malzemeden fazlaca istifade etmek, üretim süresini kısaltmak ve ölçü hassasiyetini maksimuma çıkarmaktır. Şekil 2.4'te konektör braket parçasının prograsif kalıbı aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.4: Konektör braket prograsif kalıbı.

İlk olarak satın alınan yüksek dayanımlı, sıcak haddelenmiş, soğuk şekillendirilen sac çelik levhalar rulo halinde tedarik edilir. Sac rulolar presin sürücüsü tarafından (pres besleme sistemi) rulodaki levhaları kalıbın içerisine sürmeye başlar. İçeri sürülen sac levhalar Şekil 2.5'teki KLP hidrolik H tipi 600 ton preste kullanılan kalıbın tek baskısı ile delik delme, bükme ve çevre kesme aynı anda çıkartmaktadır.

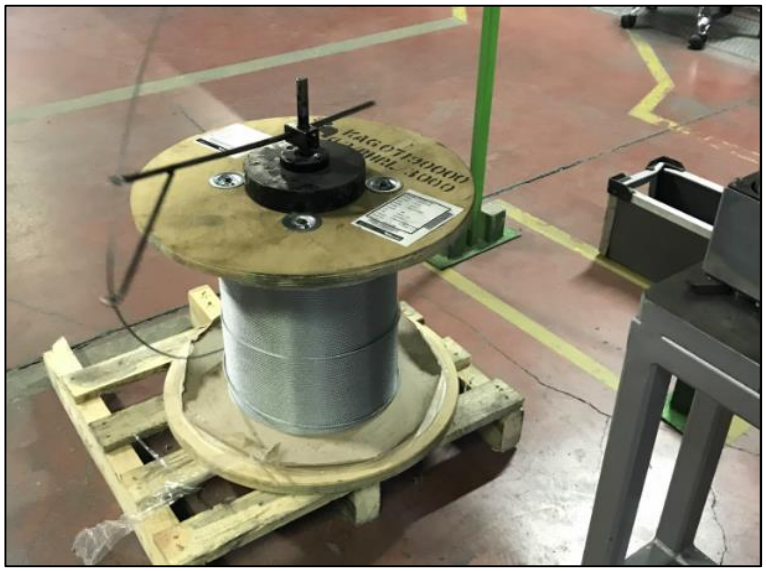
Şekil 2.5: Konektör braket üretimi. a) sac rulo, b) 600 ton pres, c) prograsif kalıp.

Kalıptan çıkan braket parçaları belirli frekanslar ile Şekil 2.6'da gösterildiği gibi mastar veya kumpas gibi ölçüm kontrol aletleri ile teknik resme göre kontrolleri yapılır üretim akışı takip edilir.

Şekil 2.6: Braket ölçü kontrolü. a) konektör braket, b) mastar, c) teknik resim.

2.2.2. Çelik Halat Kesim İşlemleri

Şekil 2.7'deki gibi sipariş edilen çelik tel halatlar makaralara sarılı halde gelmektedir. Bobinlere sarılı halatlar eğer deniz aşırı ülkelerden gelmiş ise halatların üzerine paslanmaya karşı özel bir kimyasal kullanılmaktadır. 3 ay gibi termin sürelerine istinaden konteyner ile taşınan halatlar korozyona maruz kalır. Ø6 mm çapın altındaki halatlar Kore ve Çin gibi Uzakdoğu ülkelerinde seri üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde ise yaygın olarak Ø6 mm çap ve üstü çelik halatlar üretilmektedir.

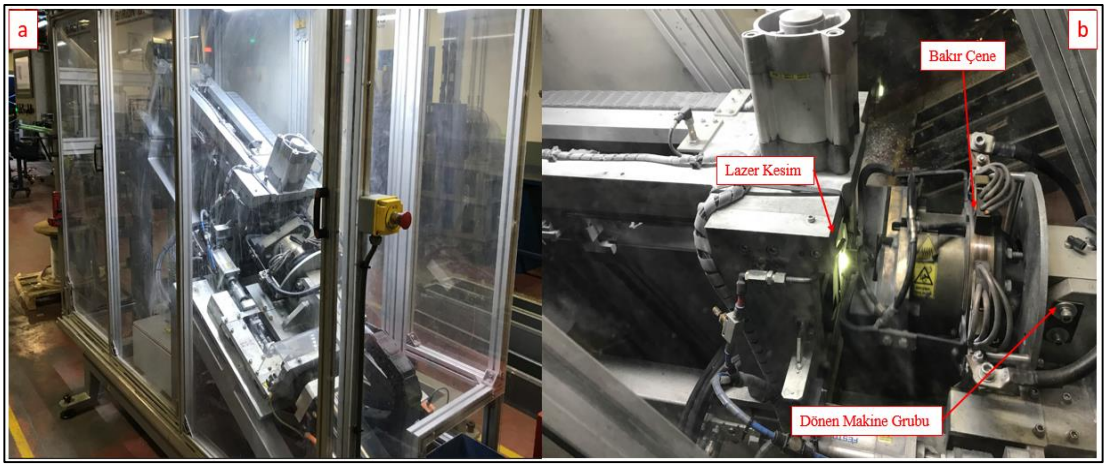


Şekil 2.7: Çelik tel halat bobini.

Daha sonra halat bobini, özel olarak tasarlanıp imalatı yapılmış olan halat kesme makinesinin besleme bölgesine konumlandırılır ve halatın ucu makinenin sürücüsüne takılır. Geleneksel olarak seri üretimde halat kesme işlemi iki türlü yapılır. İlk olarak bir sürücü ile çekilen çelik halat belirlenen kurs boyuna geldikten sonra kaynak yardımı ile kesilir. Ağzı keskin bakırlara belirli bir akım verilerek koparma işlemi yapılır. İkinci olarak testere ile kesme yöntemidir. Bu yöntemde müşterilerin ve son kullanıcıların istemeyeceği çapak ve tel atma problemleri gözlemlenmektedir.

Çelik halatlarda kalite problemlerinin önüne geçmek için Şekil 2.8'deki özel olarak üretim makinesi tasarlanıp, imalatı yapılmıştır. Bu makinede sürücü yardımı ile halat makinenin içine sürülür. Belirlenen halat kesim boyunu makine sensörler yardımı ile ayarlar. Halatın ucu bakırdan yapılmış çene yardımı ile tutunur. Halat kesimi için lazer ışın belirlenen kesim bölgesine atış yaparken, bakır çenenin zincir sistemi ile

bağlı olduğu servo motor dönmeye başlar. Halat lazer yardımı ile kesilirken halatın ucu üç tur olacak şekilde bükülür ve tellerin ucu birbirine kaynar. Böylece halatta çapak ve tel atma gibi problemin önüne geçilmiş olur.



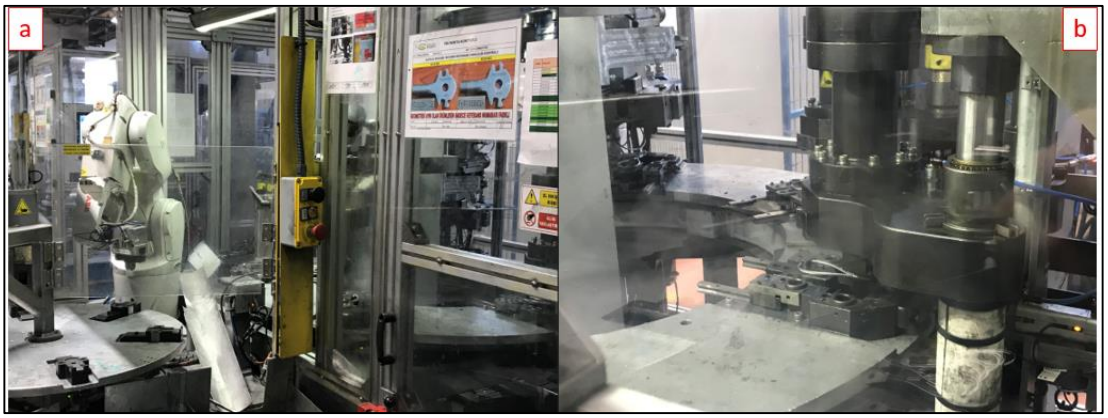
Şekil 2.8: Halat kesme makinesi. a) makine dış görünüşü, b) döndürerek lazer kesim.

2.2.3. Montaj İşlemleri

Üretilen braket parçaları ve halatlar montajlanmak üzere montaj istasyonuna getirilir. Daha önceden braket ve halat montajı üç operasyonda gerçekleşirken, proses sürelerinin ve üretim maliyetin fazla olmasından, verimliliğin düşük olmasından dolayı yarı otomasyon sistemine ihtiyaç doğulmuştur. Şekil 2.9'da belirtilen sistemde insan yardımı ile montaj fikstürlerine yerleştirilen halat ve braket 3 farklı operasyonda montajlama işlemi gerçekleştirilir.

Bu operasyonlar krimpleme (etraflıca presleme işlemi) , halat ön germe ve %100 kontrol işlemleridir. Ortalama olarak 13kN kuvvet ile krimplendikten sonra halata 12 kN kuvvet ile ön gerilme yükü verilir. Bu ön gerilme yükü ile hem halat montaj formuna kavuşur hem de ön kontroller gerçekleştirilir. Daha sonra halat dönüklük

açısı, halat uç çıkma mesafesi, boy kontrolü ve ezme yüksekliği kontrolleri %100 kontrol istasyonunda gerçekleştirilir.

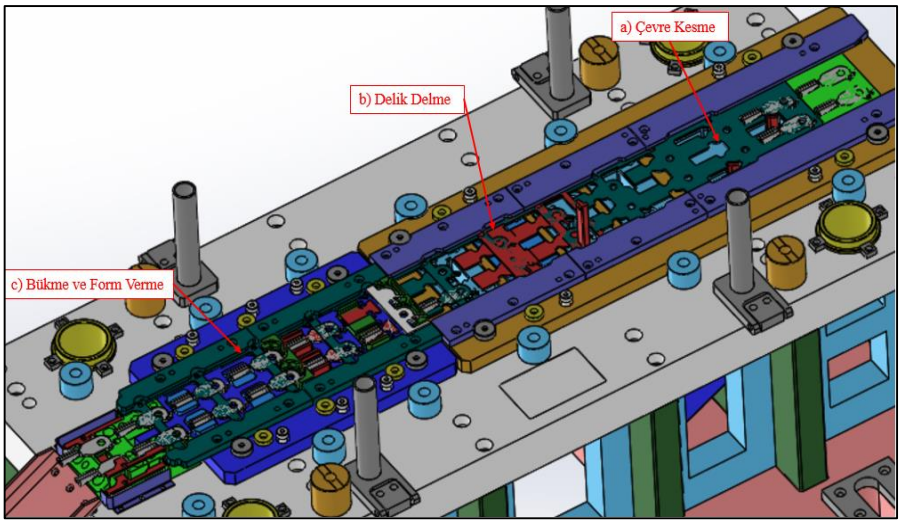


Şekil 2.9: Konektör montaj makinesi. a) makine dış görünüşü b) krimpleme istasyonu.

Montaj işlemi bittikten sonra belirli frekanslarla teknik resme göre ölçü kontroller yapılır. Daha sonra parçanın korozyona dayanımı artması amacı ile kataforez kaplama işlemi yapılır.

2.3. Braket Parçası

Emniyet kemeri konektörün braket parçası sac çelik hammaddesinden oluşmaktadır. 3 mm kalınlığında yüksek dayanımlı, sıcak haddelenmiş, soğuk şekillendirilen çeliğin prograsif kalıpta plastik şekil verme ile istenilen tasarıma uygun hale getirilerek bu parça meydana gelmektedir. Şekil 2.10' da belirtilen prograsif kalıbın 3D datasında ilk işlem olarak sac parça üzerinde delikler delinir. Bu delikler pivot denilen çelik pimler yardımıyla diğer istasyonlara taşıma işlemi görür. Sırası ile çevre kesme, delik delme, bükme ve form verme işlemleri yapılır.



Şekil 2.10: Prograsif kalıp istasyonları. a) çevre kesme, b) delik delme, c) form verme.

Bu çalışmada konektörün braket parçasının hammaddesi S550MC marka sacı kullanılmıştır. Otomotiv sektöründe genel olarak kullanılan bu çelik türü, bükme ve kesme özelliklerinin yanı sıra ve tüm standart yöntemlerle kaynaklanabilen bir yapıya sahiptir. S550MC, EN 10149-2 standartlarını karşılamaktadır. Aynı zamanda çift sertifikalı olarak EN 1090 standartlarını da karşılamaktadır [22].

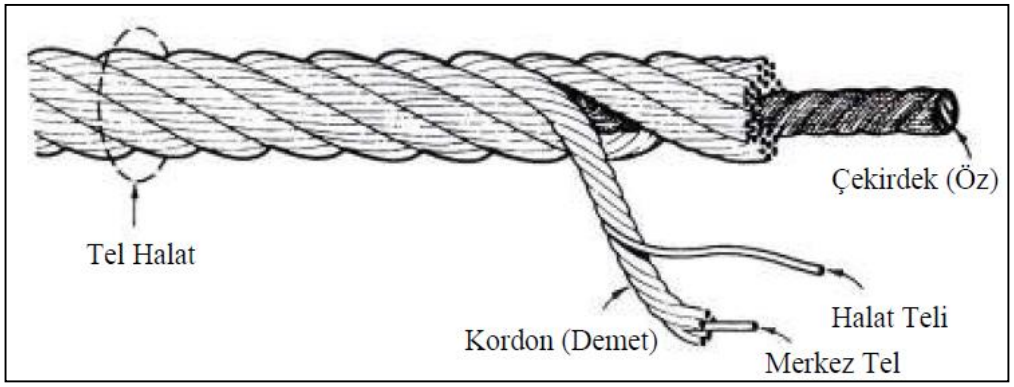
S550 MC hammaddesinin mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 2.1'deki gibidir.

Tablo 2.1: S550MC marka sac çeliğin mekanik ve kimyasal özellikleri.

Mekanik Özellikler					
Kalınlık (mm)	Akma Mukavemeti (min Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Uzama A_{80} (min%)	Uzama A_5 (min%)	90°'lik bükme için min iç bükme yarıçapı
2.00-3.00	550	600-760	14	17	0.6 xt
3.01-6.00	550	600-761	-	17	1.0 xt
6.01-12.80	550	600-762	-	17	1.2 xt
A80 = Kalınlık <3,00 mm olan değerler için bir geçerlidir. A5 = Kalınlık ≥ 3,00 mm olan değerler için bir geçerlidir.					
Kimyasal Özellikler					
C (max%)	Si (max%)	Mn (max%)	P (max%)	S (max%)	Al (max%)
0.12	0.21	1.80	0.025	0.010	0.015
Nb (max%)	V (max%)	Ti (max%)			
0.09	0.2	0.15			

2.4. Çelik Halatlar

Çelik halatlar, çelik telli ya da lifli özün etrafına helisel şekilde birkaç kat sarılmasıyla oluşan birçok halat demetlerinden meydana gelen yapı elemanıdır. Halatın merkezinde yer alan "öz" adı verilen çekirdek bulunur. Halat veya halat demetlerinin oluşturulmasında büyük rol oynamaktadır. Küçük çaplı çelik tellerin öz etrafında bir veya birden fazla sıralı halde belirli kurallar çerçevesinde sarılması ile elde edilen halatın bir alt elemanına "demet" adı verilmektedir. Birden fazla demetin öz etrafında istenilen özelliklere göre belirli kurallar çerçevesinde sarılması ile halatlar oluşur. Şekil 2.11'de halat yapısını gösteren görsel belirtilmiştir [6].



Şekil 2.11: Çelik halatın yapısı.

2.4.1. Çelik Halat Seçimi

Her uygulamada en iyi çelik tel halatı seçebilmek için, yapılacak iş için gerekli performans karakteristiklerinin bilinmesi ve bu iş için gerekli olan özellikleri optimum seviyede taşıyan bir tel halatın tasarlanmış olması gereklidir. Tel halatlarda aşağıdaki üç karakteristik, tel halat kompozisyonu değiştirilerek değiştirilebilir:

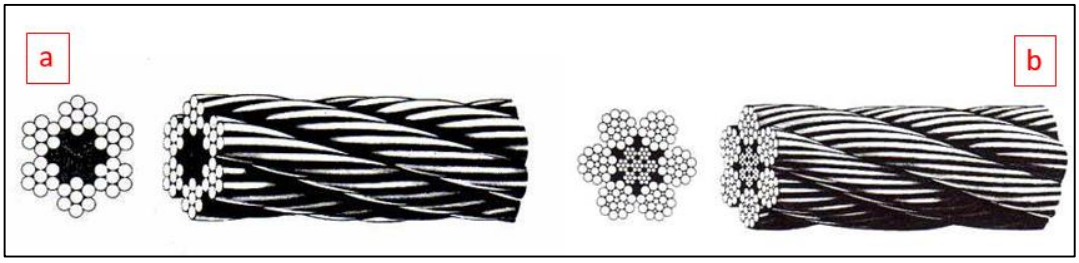
Mukavemet: Tel halat çapının, tek tellerin çekme mukavemetinin ve kesitteki çelik içeriğinin arttırılmasıyla (teller arasında hava boşluklarının azaltılmasıyla) veya çelik öz kullanılarak mukavemet arttırılabilir.

Eğilip, bükülebilme: Daha fazla ve daha küçük çaplı tel kullanılarak, tek tellerin çekme mukavemetinin azalmasıyla veya lif öz kullanılmasıyla arttırılabilir.

Sağlamlık: Bir başka deyişle fiziksel hasara direnç, daha az ve daha büyük çaplı tel kullanılarak, çelik öz kullanılarak veya dış hasar kaynaklarına maruz kalan çelik alanın arttırılmasıyla arttırılabilir. Galvaniz vb. kaplamalar korozyona direnci arttırmak için kullanılabilir.

2.4.2. Çelik Halat Özleri

Çelik halatlardan lif ve çelik olmak üzere iki tip öz çeşidi kullanılır. Lif öz genellikle manila, sisal ve hint keneviri (jut) ve şimdilerde daha çok tercih edilen sentetik lifler (polymid, polyetilen, polypropilen vb.) kullanılır. Fakat sentetik liflerde camsı geçiş sıcaklığı aşan sıcaklık koşullarında bozulmaya başlarlar. Bu sebeple yüksek sıcaklık içeren çalışma koşullarında çalışamazlar. Çelik öz ise, aynı halat demeti gibi bir çelik tel üzerine çelik tellerin sarılarak oluşturulan merkez demetidir. Bu demet genellikle 7 telli, 7 demetten yapılmış bağımsız halat olarak tanımlanabilir. Şekil 2.12'de çelik ve lif özlü halat tipleri için örnek görsel verilmiştir [6,17].



Şekil 2.12: Çelik halat öz çeşitleri. a) 6x7 lif özlü halat, b) 6x21 çelik özlü halat.

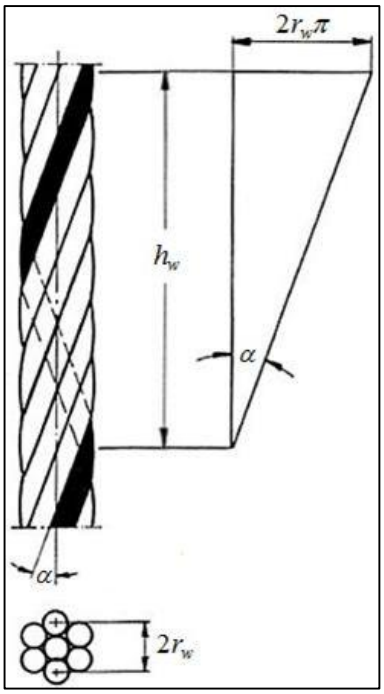
Çelik halat özlerinin sınıflandırılması aşağıdaki Tablo 2.2'de gösterilmiştir [6,17].

Tablo 2.2: Çelik halat özlerinin sınıflandırılması.

Tek Katlı Halatlarda Öz Çeşitlerinin Dağılımı		**Sembol**
Lif Öz	Lif öz	FC
	Doğal lif öz	NFC
	Sentetik lif öz	SFC
	Katı polimer öz	SPC
Çelik Öz	Çelik öz	WC
	Çelik demet öz	WSC
	Çelik halat öz	IWRC
	Çelik halat öz (sıkıştırılmış demet)	IWRC(K)
	Polimer kaplı çelik halat öz	EPIWRC
	Lif kaplı çelik halat öz	EFWRC
	Katı polimer kaplı çelik halat öz	ESWRC
Çelik Öz (Paralel Kapalı)	Paralel çelik halat öz	PWRC
	Paralel çelik halat öz (sıkıştırılmış demet)	PWRC(K)
Çok Demetli Halatlarda (dönme dirençli) Öz Çeşitlerinin Dağılımı		**Sembol**
Merkez eleman	Lif merkez	FC
	Demet merkez	WSC
	Sıkıştırılmış demet merkez	KWSC

2.4.3. Çelik Halat Demeti

Bir öz etrafına birden fazla katmanlı helisel şeklinde sarılmış çelik tellerin oluşturduğu tellerin bütününe "halat demeti" adı verilir. Demet ekseni boyunca, çelik tellerin oluşturduğu helisel demetin çizdiği belirli bir yolun ölçülen kısmına "demet adımı", demet ekseni ile tellerin sarım yönü arasında kalan açıya "sarım açısı" adı verilir. Aşağıdaki Şekil 2.13'de halatın geometrisi üzerinde demet açısı, adımı ve sarım ile ilgili kavramlar gösterilmiştir [17].



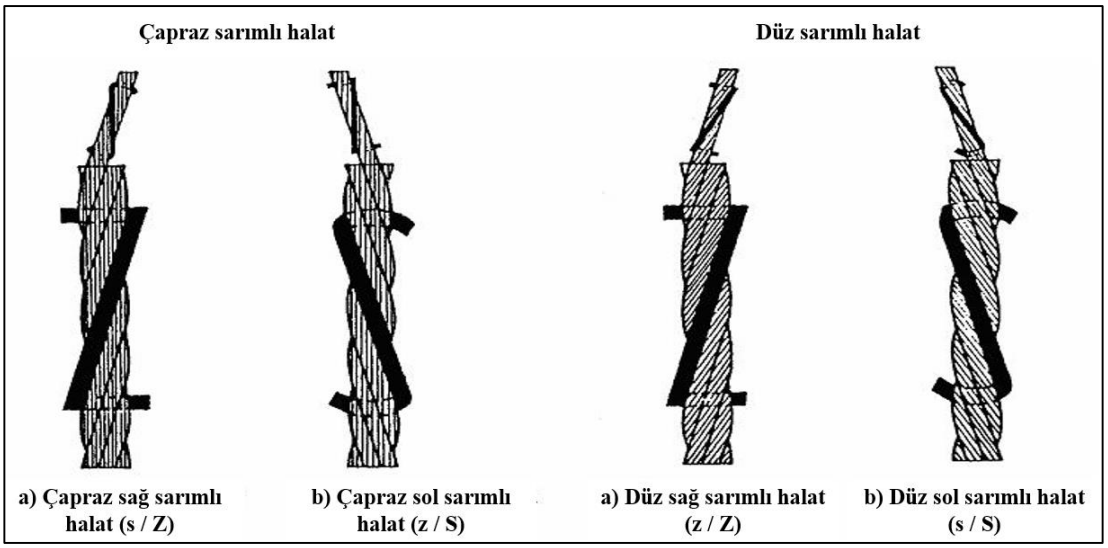
Şekil 2.13: Halat demet geometrisi.

Telin bir tam tur öz etrafında sarılması ile yaptığı demet uzunluğuna tel sarım uzunluğu (h_w) denilir. Tel sarım açısı (α) ve tel sarım yarıçapı (r_w) aşağıdaki Denklem 2.1'de verilmiştir. [17].

$$\tan \alpha = \frac{2\pi r_w}{h_w} \tag{2.1}$$

Halat demetlerinin birçok örme şekilleri vardır. Bu örme şekilleri birçok farklı kompozisyonlarda yapılarak sarım yönüne göre ve tellerin düzenleme duruma göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmalar:

- Demeti meydana getiren tellerin düzeni: Tellerin düzenlenmesi küçük harfle gösterilir. Tellerin düzenlenişi "z" ve "s" harflerine benzediği için bu tür sınıflandırma yapılmıştır. Eğer teller sağa doğru bu şekilde sarılmış ise "z", sola doğru sarılmış ise "s" ile gösterilir.
- Demetlerin sarım yönü: Halat demetlerin sarılış yönü eğer sağa doğru ise "Z", sola doğru ise "S" tanımlamaları ile gösterilir. Halat sarım yönleri aşağıdaki Şekil 2.14'de belirtilmiştir [6,17].



Şekil 2.14: Halatların sarım yönleri.

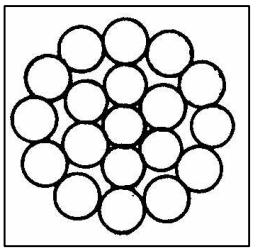
Dış demetlerin tellerinin sarım yönü halat demetlerinin sarım yönüne ters olan demetli halatlara "çapraz sarımlı", demet dış kat tellerinin sarım yönü halat demetlerinin sarım yönüyle aynı olan demetli halatlara "düz sarımlı" halatlar adı verilir. Halatın yarısı çapraz sarımlı, yarısı düz sarımlı olmak üzere dış demetlerin sarım yönünün sol ve sağ olarak değiştiği halat çeşidine "değişken sarımlı" , spiral bir halatta tellerin, demetli bir halatta demetlerin en az bir katının diğer katların tersi yönünde sarılmasına "karşı sarımlı" halat adı verilir [6,17].

2.4.4. Tek Operasyonlu Çelik Halatlar (Paralel Tel Sarımlı)

Halat demetlerindeki tellerin hepsinin aynı yönde paralel bir şekilde tek operasyonda örülmesidir. Bu tür halatlar örüm şekillerine birçok çeşide ayrılır:

2.4.4.1. Standart Demetli Halatlar

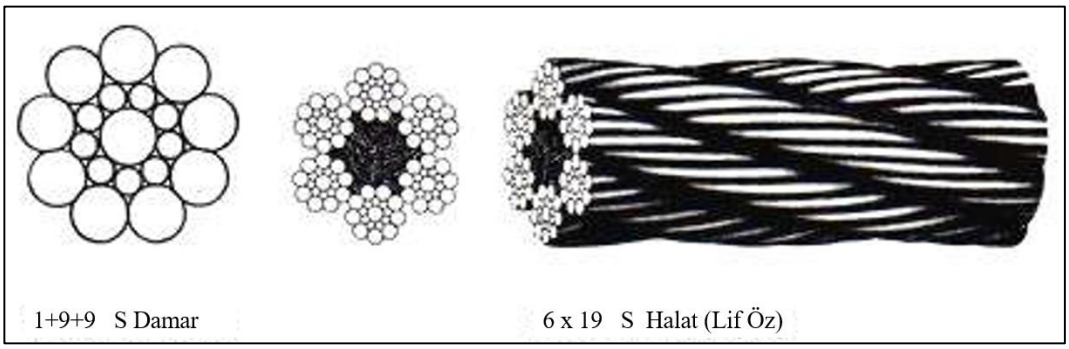
Şekil 2.15'de gösterildiği gibi demetteki bütün teller eşit çapa ve aynı sarım açısına sahiptir [6].



Şekil 2.15: Standart demetli halat.

2.4.4.2. Seale Demetli Halatlar

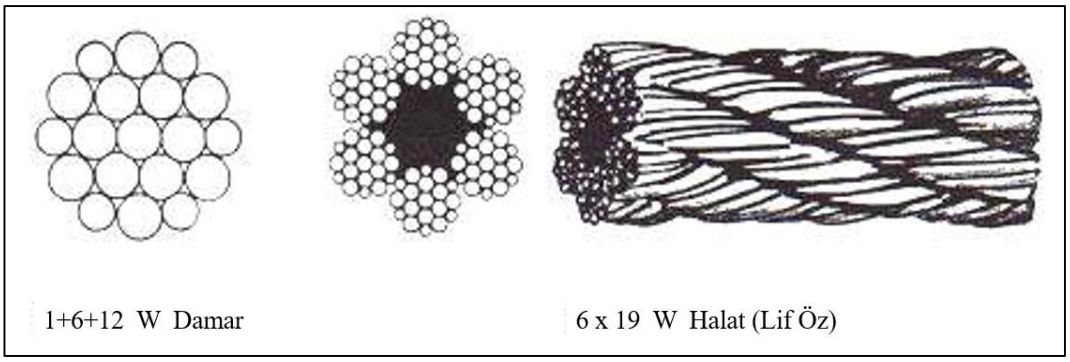
Seale demette (S) tellerin oluşturmuş yapı merkezden dışa doğru 1+9+9 şeklinde sıralanmıştır. Şekil 2.16'da belirtildiği gibi özün üzerinde paralel olarak iki kat tel sarılmıştır ve aynı sayıda olan iç ve dış tellerin çaplarında farklılık göstermektedir [17].



Şekil 2.16: Seale demetli halat.

2.4.4.3. Warrington Demetli Halatlar

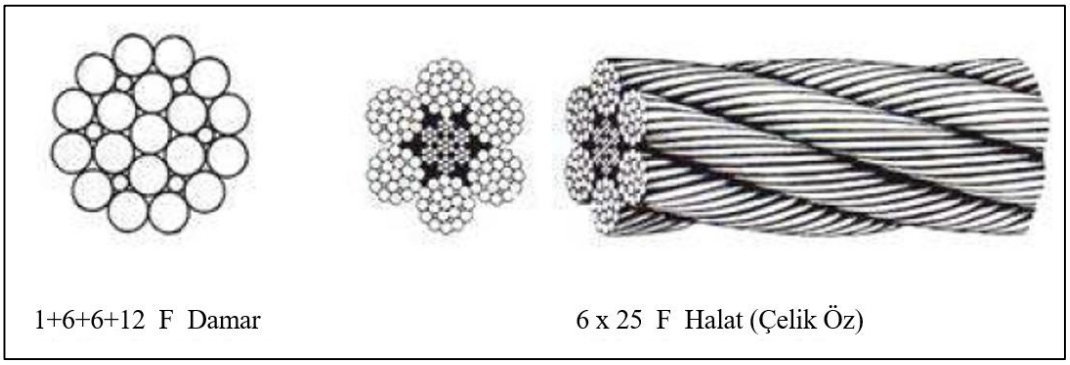
Warrington demette (W) dış katmandaki teller biri küçük diğeri büyük çapta olacak şekilde sıralanmıştır. Şekil 2.17'da tel dizilimi 1+6+12 şeklinde olan paralel sarımlı Warrington demet yapısı gösterilmiştir [17].



Şekil 2.17: Warrington demetli halat.

2.4.4.4. Filler Demetli Halatlar

Filler demette (F) tel katmaların arasındaki kılcal boşlukları doldurmak için dolgu tellerini kullanılır. Şekil 2.18'de tel dizilimi 1+6+6+12 şeklinde olan paralel sarımlı Filler demet yapısı belirtilmiştir [17].

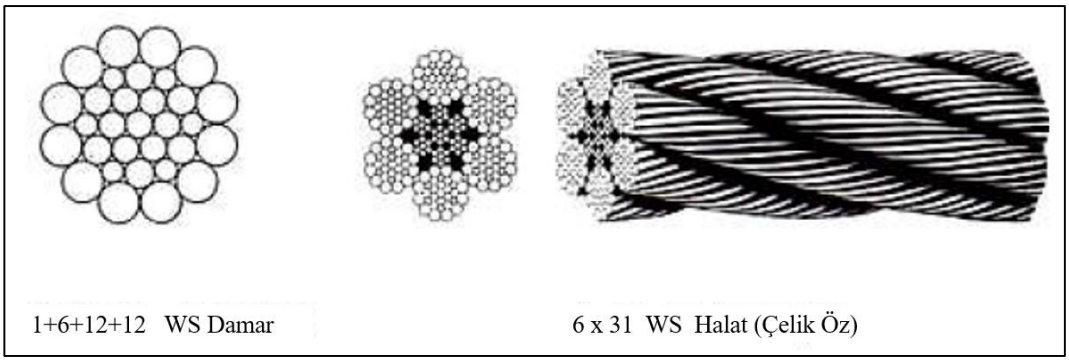


Şekil 2.18: Filler demetli halat.

2.4.4.5. Bileşik Paralel Demetli Halatlar

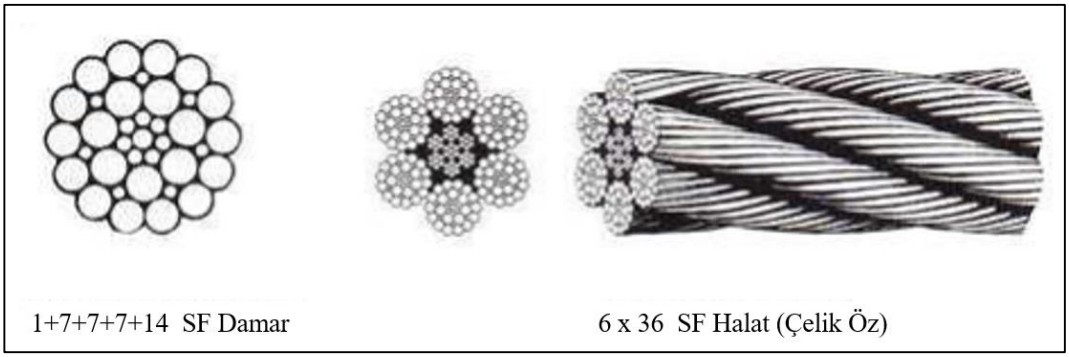
Filler, Seale ve Warrington gibi demet çeşitlerinin kombinasyonu ile oluşan paralel sarımlı halatlardır. Genellikle iki katmanlı olan çelik halatlar bileşik demetli halatlarda üç veya daha fazla katmandan oluşmaktadır [17]. Yaygın olarak kullanılan bileşik demetli halatlar:

- Warrington-Seale (WS) demet: İç ve orta tel katmanları Warrington demet, orta ve dış katmanları ise Seale demet oluşturur. Şekil 2.19'da 1+7+14+14 tel diziliminde olan Warrington-Seale demet geometrisi gösterilmiştir [17].



Şekil 2.19: Warrington-Seale (WS) demet geometrisi.

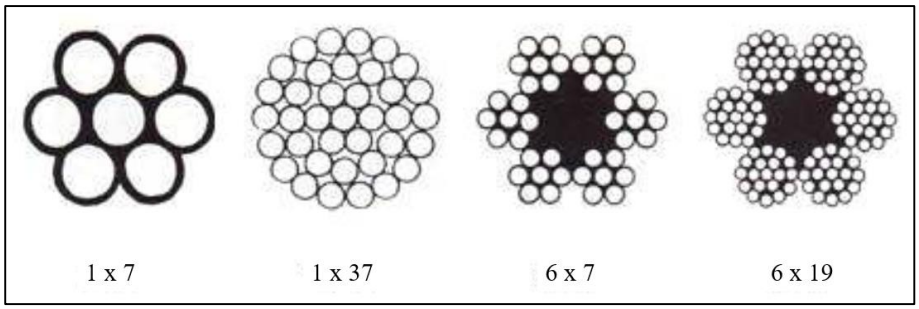
- Seale-Filler (SF) demet: Dış katman teller Seale demetten oluşan alt katmanlardaki boşlukları ise aynı sayıda, aynı çaptaki dolgu telleri olan Filler demetler tarafından oluşan demetlerdir. Şekil 2.20'de 1+7+7+7+14 dizilimde olan Seale-Filler demet geometrisi gösterilmiştir [17].



Şekil 2.20: Seale-Filler (SF) demet geometrisi.

2.4.5. Çok Operasyonlu Çelik Halatlar (Cross Lay)

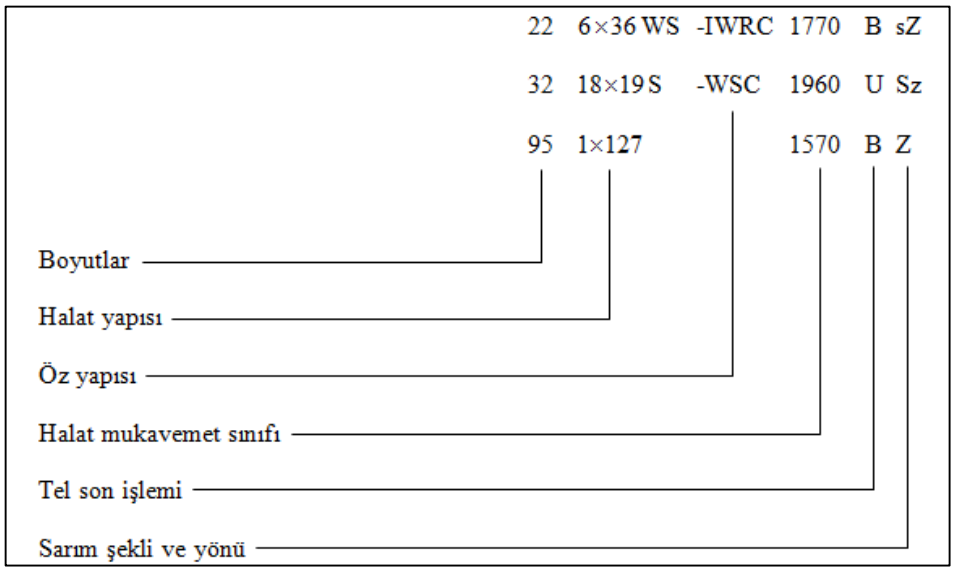
Halat demetlerindeki tüm katmandaki teller aynı açıda ve yönde örülür. Bu sebeple her katmanın ayrı katsayıya sahip demetler ile imalatı gerçekleşir. Şekil 2.21' de bu kompozisyonlara örnek 1x7, 1x37, 6x7, 6x19 telli halatların geometrisi gösterilmiştir [6].



Şekil 2.21: Çok operasyonlu çelik halatın demet geometrisi.

2.4.6. Çelik Tel Halat Yapısı Tanımlaması

Çelik halatları sınıflandırırken halat çapına, halat yapısına, öz yapısına, mukavemet sınıfına, halat telinin son işlemine ve sarım şekline göre tanımlanır. Bu tanımlama Şekil 2.22'deki görselde örnek ile açıklanmıştır [17].



Şekil 2.22: Çelik halat tanımlaması.

2.4.7. Çelik Halat Grupları ve Genel Özellikleri

Tablo 2.3'de bazı halat konstrüksiyonlarına göre genel özellikler belirtilmiştir [6].

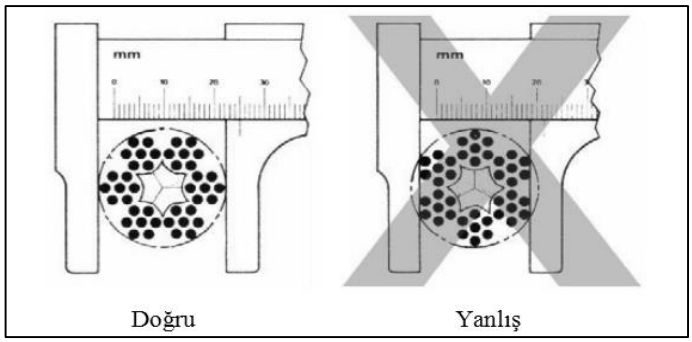
Tablo 2.3: Halat konstrüksiyonlarına bağlı genel özellikler.

Halat Grubu	Genel Özellikler
6 x 7	Kalın tellerinden dolayı “kaba örüm” şeklinde nitelendirilebilir. Aşınma, yıpranmaların önemli olduğu sürtünmeli yerlerde tercih edilirler.
6 x 19	Bir çok yerde kullanılır. Esneklik ve aynı zamanda aşınmaya karsı dayanımları yüksektir.
6 x 25 Filler	6x19 alt grubudur. Dolgu telleri iyi bir destekleme görevi yapar ve demetlerin daha dengeli kalmasını sağlar.
6 x 19 Warrington	6x19 alt grubudur. 6x25 Filler’den daha az ancak 6x21 Filler’den daha esnektir.
6 x 21 Filler	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.
6 x 19 Seale	En tanınmış Seale tipi halatlardır. Aşınmaya karsı dayanımları ve ezilme mukavemetleri 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.

2.4.8. Çelik Tel Halat Büyüklükleri

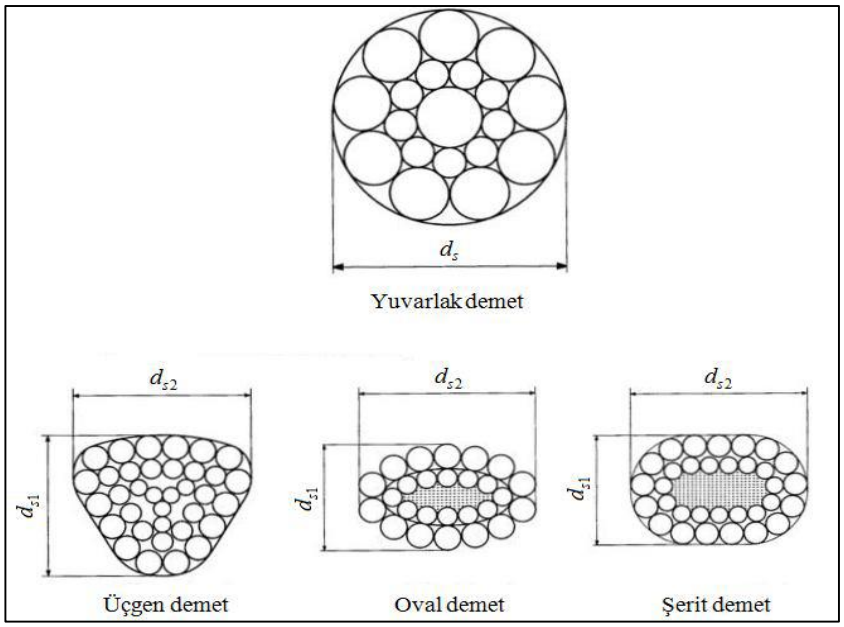
2.4.8.1. Çelik Halat Anma Çapı (D)

Şekil 2.23’de belirtilen bir kumpas yardım ile düzgün bir şekilde bir eksene sabitlenmiş halatın en az iki noktadan temas edecek şekilde ölçme sonucu ortaya çıkan değerdir. Bu ölçme metodunu halatın bir metre aralık ile birkaç farklı yerden ölçüm yapıp ortalamasının alınması gerekmektedir. Halat boyunca anma çapı değişiklik gösterebilir [17].



Şekil 2.23: Halat anma çapı ölçme metodu.

Halat demetleri birçok kompozisyonda değişiklik gösterebilir. Demet kesitleri yuvarlak, üçgen, oval ve şerit şeklinde kesitlere sahiptir. Bu kesitlere göre anma çapları alınırken Şekil 2.24'de gösterilen iki farklı büyüklük değerleri dikkatte alınmalıdır [17].



Şekil 2.24: Halat demet kesitleri.

2.4.8.2. Çelik Halat Anma Kesiti (A_a)

Çelik halatlarda anma çapında olduğu gibi belirli bir halat eksenine karşı dik bir şekilde hesaplanan kesit alanıdır. Anma kesit alanı formülü aşağıdaki Denklem 2.2'de yer verilmiştir [17].

$$A_a = \frac{\pi d^2}{4} \tag{2.2}$$

2.4.8.3. Çelik Halat Dolgu Faktörü (f)

Çelik halatta kullanılan bütün tellerin metalik alanları toplamının halat anma kesiti alanına **(A_a)** bölünmesi ile elde edilen değerdir. Denklem 2.3'de ifade edilmiştir [17].

$$f = \frac{A_m}{A_a} \tag{2.3}$$

2.4.8.4. Çelik Halat Metalik Kesit Alan Faktörü (C)

Çelik halat dolgu faktörü ile metalik kesit alanının hesaplanması ile ortaya çıkan büyüklüktür. Bu faktör Denklem 2.4'de ifade edilmiştir [17].

$$C = f\frac{\pi}{4} \tag{2.4}$$

2.4.8.5. Çelik Halat Metalik Kesit Alanı (A_m)

Çelik halat metalik kesit alan faktörü (C) ile halat anma çapının karesinin (d^2) çarpımı ile elde edilen faktördür. Denklem 2.5'deki formül ile elde edilir [17].

$$A_m = Cd^2 \tag{2.5}$$

Ayrıca, bu faktör Denklem 2.6'daki bütün tellerin metalik kesit alanlarının toplamı ile elde edilebilmektedir [17].

$$A_m = \frac{\pi}{4}\sum_1^n \delta^2 \tag{2.6}$$

Bu formülde belirtilen " δ " halat tel çapıdır [17].

2.4.8.6. Çelik Halat Uzunluk Kütle Faktörü (W)

Çelik halatın elemanlarının (halat özü, dolgu malzemesi, kaplama vs.) kütlelerinin değerleri ile oluşan bir faktördür [17].

2.4.8.7. Çelik Halat Uzunluk Kütlesi (M)

Halat uzunluk kütle değeri (W) ile halat anma çapının karesi (d^2) ile çarpımı sonucu elde edilen değerdir. Denklem 2.7'deki formül ile elde edilir [17].

$$M = Wd^2 \tag{2.7}$$

2.4.8.8. En Küçük Kopma Kuvveti Faktörü (K)

Çelik halatlarda sınıflandırma için kullanılan faktördür. Denklem 2.8'deki formül ile elde edilir [17].

$$K = \frac{\pi}{4} f\ k \tag{2.8}$$

Formülde yer alan "f " halat dolgu ve " k" ise büküm kayıp faktörüdür. Büküm kayıp faktörü, toplam kopma kuvvet ile en küçük kopma kuvveti arasındaki orandır. Bu faktör halat standartlarında halat sınıflarına ve yapım şekline göre yer verilir [17].

2.4.8.9. En Küçük Kopma Kuvveti Faktörü (F_{min})

Çelik halatın çekme dayanımı testi sırasında halatın kopmadan önceki dayanabileceği en küçük kuvvet değeri veya halattaki tüm tellerin dayanabileceği kopma kuvvetlerinin toplamı ile elde edilen değerdir. Denklem 2.9'deki formül ile elde edilir [17].

$$F_{min} = d^2 R_r K \tag{2.9}$$

Bu formülde "d" (mm) halat çapı, "R_r" (N/mm^2) ise halatın dayanım (kopma) sınırını ve "K" değeri de en küçük kopma kuvvet faktörüdür [17].

Tablo 2.4'de çelik halatlarda mukavemet hesabı yaparken kullanılan faktörlerin EN 12385-2 standardına göre değerleri belirtilmiştir. Bu değerler belirli standartlardaki çelik halatların deneysel çalışma sonucunda elde edilen değerlerdir. [23].

Tablo 2.4: Bazı çelik halatlar için mukavemet hesaplarında kullanılan faktörler.

Halat cinsi	Sınıf	**Lif özlü veya lif merkezli halatlar**			**Çelik özlü veya çelik demet merkezli halatlar**					
		Anma uzunluk kütle faktörü	Anma metalik kesit alan faktörü	En küçük kopma kuvveti faktörü	Anma uzunluk kütle faktörü		Anma metalik kesit alan faktörü		En küçük kopma kuvveti faktörü	
		W1	C1	K1	W2	W3	C2	C3	K2	K3
Tek kat yuvarlak demetli halat	6x7	0,345	0,369	0,332	0,384	0,384	0,432	0,432	0,359	
	8x7	0,327	0,335	0,291	0,391		0,439		0,359	
	6x19	0,359	0,384	0,330	0,400		0,449		0,356	
	8x19	0,340	0,349	0,293	0,407		0,457		0,356	
	6x36	0,367	0,393	0,330	0,409		0,460		0,356	
	8x36	0,348	0,357	0,293	0,417		0,468		0,356	
	6x35	0,352	0,337	0,317	0,392		0,441		0,345	
	6x19	0,346	0,357	0,307		0,381		0,418	0,332	0,362
	6x37	0,346	0,357	0,295	0,381	0,381	0,418	0,418	0,319	0,346
Dönme dirençli halat	18x7	0,382		0,328		0,401		0,433		0,328
	34x7	0,390		0,318		0,401		0,428		0,318
	35x7					0,454		0,48		0,350

2.4.8.10. Çelik Halat Dayanım Sınırı (R_r)

Çelik halatın çekme dayanımı testleri sonucunda uygulanan kuvvet etkisine dayanabileceği ve halatın anma dayanımını etkileyen büyüklüktür [17]. Bu değere göre çelik tel imalatında kullanılan malzemeler belirli standartlara uygun olması gerekir [24]. Tel halat yapımında kullanılan bazı malzemelerin dayanım sınırları Tablo 2.5' de verilmiştir.

Tablo 2.5: Tel malzemesine bağlı halat dayanım sınırı.

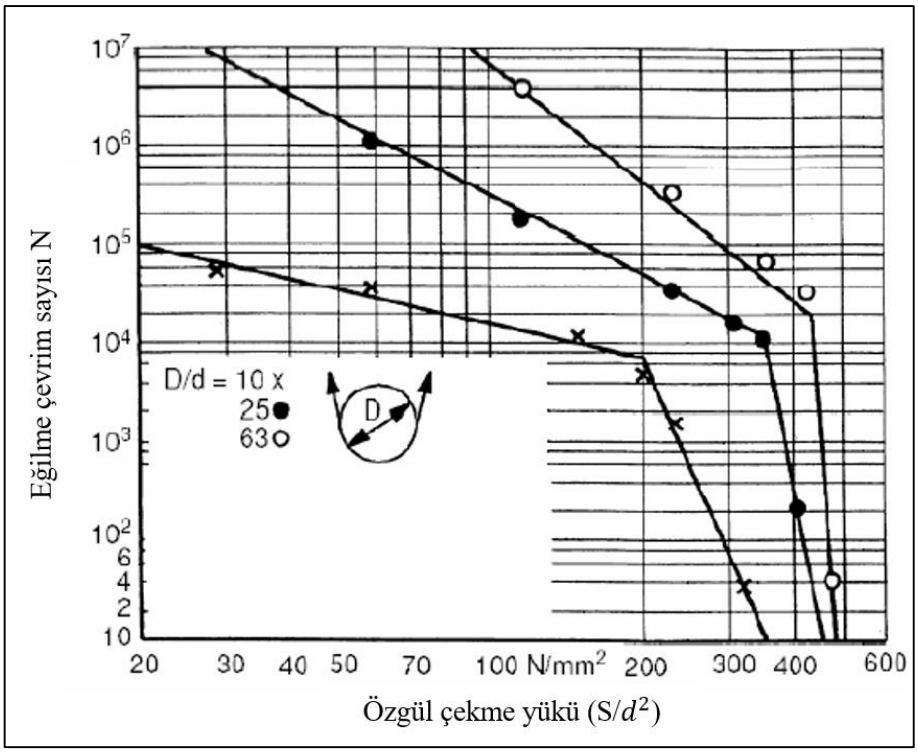
Halat Dayanım Sınırı (R_r)	**Tel Malzemesinin Çekme Dayanımı (N/mm^2)**
1770	1570-1960
1960	1770-2160
2160	1960-2160

2.4.9. Çelik Halat Ömrüne Etki Eden Parametreler

Çelik halatlarda uygun çalışma koşullarında beklenen halat ömrü boyunca istenilen işi emniyetli bir şekilde yapabilmeleri amacı ile o işe en uygun halat tipinin seçilmesi gerekir. Bu sebepten yapılacak iş için halatın ömrünü etkileyen faktörlerin iyi tespit edilmesi gerekmektedir [6].

2.4.9.1. Çekme Yükü Ve Çaplar Oranı (D/d)

Çelik halatların ömrüne etki eden önemli faktörlerden ikisi, çekme yükü (S) ve halatın sarıldığı makaranın çapının halat çapına oranı (D/d) olmaktadır. Çelik halatın ömrü, halata uygulanan çekme kuvvetinin karesi ile ters orantılıdır. Makara çapının halatı çapına oranının (D/d) artması ile halat ömrünün artması sağlanır. Makara çapının küçük olması halat üzerinde kesme gerilmesinin artmasına sebebiyet olur. Bu durum halatın dayanımını azaltır[6]. Şekil 2.25'de 16 mm çapında 8 x 25 Filler tipi anma dayanımı 1650 N/mm^2 olan bir çelik halatın "D/d" çap oranı ve çekme yükünün (S/d^2) ilişkisi belirtilmiştir [6].



Şekil 2.25: 8x25 Filler halat ömrünün çap oranı ve çekme yükü ile ilişkisi.

Tablo 2.6'da bazı halat kompozisyonlarına göre önerilen çap oranları ve minimum çap oranları verilmiştir.

Tablo 2.6: Önerilen ve minimum (D/d) çap oranları.

Kompozisyon	**Önerilen D/d çap oranı**	**Minumum 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

2.4.9.2. Eğilme Faktörü

Çelik halatın belirli bir düzlemdeki konumundan belirli bir açıda eğik konuma getirip, tekrardan eski haline gelmesi ile oluşan gerilimlerin tamamına "eğilme" adı verilir. Çelik halatlar ne kadar çok eğilme faktörlerine maruz kalırsa halat ömrü bir o kadar azalır. Normal koşullarda bir kez eğilme davranışına maruz kalan halatın ömrünün, iki kez eğilme davranışına maruz kalan halatın ömrüne göre iki kat daha fazla ömre sahiptir. Çevrim sayısı halat ömrüne etkisi oldukça fazladır. Aynı zamanda makara ile halat çapının oranı eğilme faktöründe oldukça önemli bir yere sahiptir. Makara çapı, yaklaşık olarak halat çapından en az 2.5 kat büyük seçilmesi gerekmektedir. Araştırmalara göre halat ömrünü 18 kat arttırdığı yöndedir. Makara üzerinde çalışan halatın çalışma yönü oldukça önemlidir. Eğilme yönü halatın çalışma yönünün tersinde ise halatı 2 ile 7 kat arasında daha fazla yorulmaya maruz kalır.

Halat eğilme yönü çalışma yönüne düz bir şekilde ise, ters eğilmeye göre 1.5 ile 4 kat arasında halat ömrü daha fazladır. Bu kavramların sonucunda uygulama alanı ters yönde eğilmesi gereken halatlarda, halat ömrünü arttırmak için makara çapının arttırılması veya uygulanan çekme yükünün azaltılması gerekir [6].

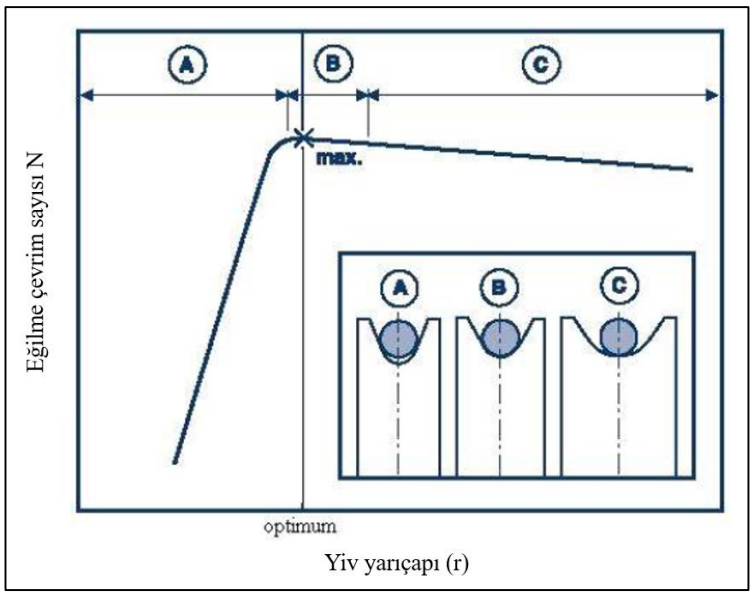
2.4.9.3. Tel Anma Mukavemeti

Çelik halatlarda kullanılan tellerin yük ve çaplarının aynı olduğu durumda tel mukavemetinin 1370 N/mm^2'den 1570 N/mm^2' ye çıkartılması kopmaya karşı direnç artar. Fakat halat yorulma ömründe artış düşüktür. Halat tel mukavemetinin 1570 N/mm^2'den 1770 N/mm^2'ye arttırıldığımda kopmaya karşı direnç daha fazla olur. Fakat daha yüksek değerlere çıkıldığında (1950 N/mm^2 ve üzeri) halat çalışma ömrünün azaldığı gözlemlenmiştir [6].

2.4.9.4. Halat Yuvası

Çelik halatın makara veya tamburun yatağına ne kadar iyi yerleşir ise halatın ömrü fazla olur. Tamburun halatın geçtiği yatağın (yiv) dip yarıçapı (r), çelik halat yarıçapından (d/2) büyük olduğunda, halat yatağa iyi bir şekilde oturamayacağı için az sayıda temas noktaları halatı tutmaya çalışacaktır. Bu sebepten dolayı halat telleri

üzerindeki basınç fazla olur. Bunun sonucunda halat ezilmeye başlar ve halat kesiti oval bir yapı şeklini alır. Halat kesit şeklinden halatın zorlanmalar hakkında yorum yapılabilir. Halat kesiti şekli dairesel figüre ne kadar yakın ise halat zorlanmaları bir o kadar azdır ve halat ömrü fazladır. Çelik halat ömrü, yiv çapı (r) ile halat çapının (d) oranının artması ile düşmektedir. En uzun halat ömrü ise " $r = 0.53d$ "oranı ile sağlanabilir. Şekil 2.26' da tambur veya makara yatağının dairesel kesitte olduğu durumdaki halat ömrü ile yatak (yiv) yarıçapının ilişkisi belirtilmiştir [6].

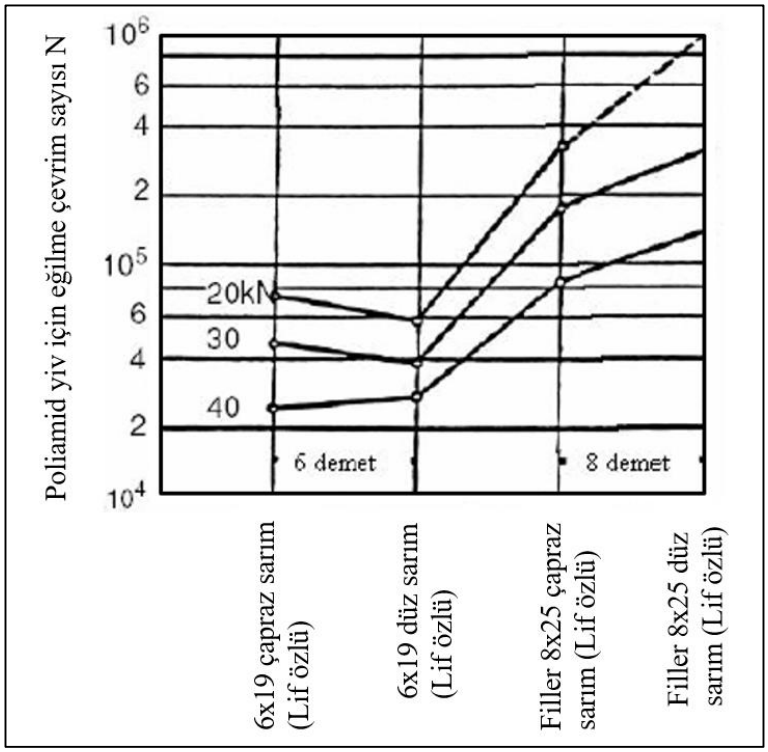


Şekil 2.26: Yarıçap oranlarının (r/d) halat ömrüne etkisi.

B, tam olarak "r = 0.53d" oranını veren yiv dibi yarıçapı değerinde bir yiv geometrisi ifade etmektedir. A'da bu oran daha düşük (r< 0,53d) . C'de daha büyük oran vardır. (r> 0,53d). Şekil 2.26'da görüldüğü gibi halat ömrü "r = 0.53d" oranı sağlandığında en yüksektir. Yiv dibi yarıçapı bu orana göre arttıkça veya azaldıkça halat ömrü düşmektedir.

2.4.9.5. Halat Yuvası Malzemesi

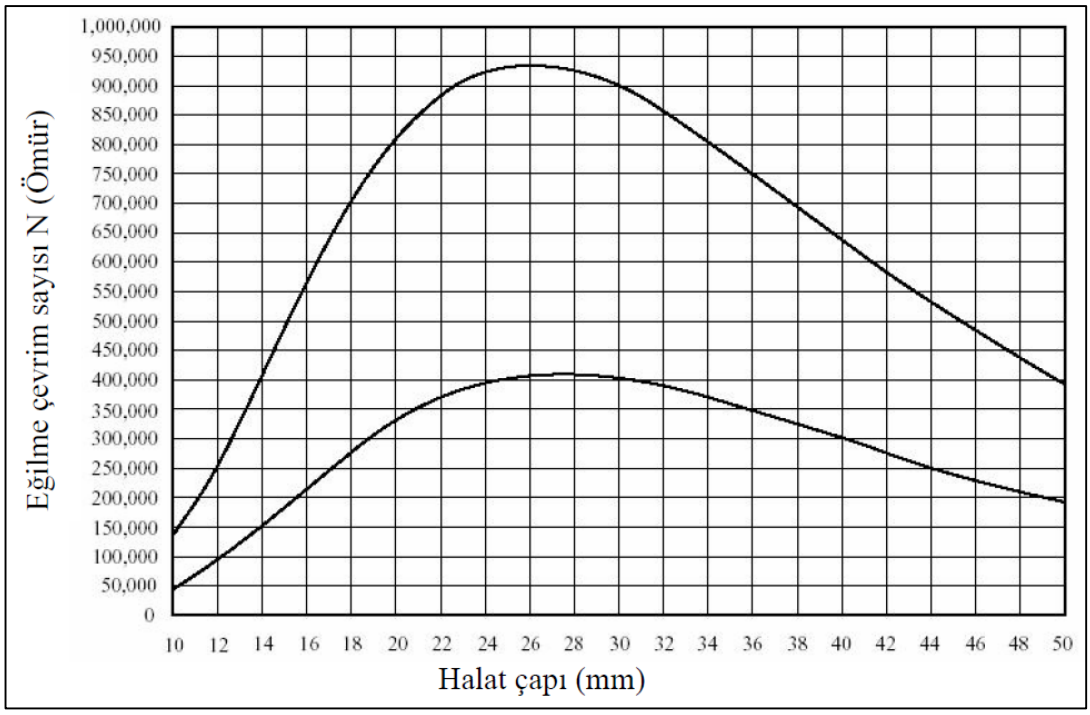
Halatın sarıldığı makara veya tambur yuvasının malzeme sertliği, halatınkinden daha az (daha düşük elastisite modülü) ise zamanla yatak deforme olup, halatın ömründe artış gözlemlenir. Şekil 2.27' de üç farklı çekme yükünün uygulandığı dört farklı halatın eğilme yorulma deneyinde halat yatağının malzemesi polyamid kullanıldığında halat ömründe artış gözlenmiştir [6].



Şekil 2.27: Polyamid tamburda farklı halat tiplerinin ömürleri.

2.4.9.6. Halat Çapı

Genel olarak halatın çapının artmasıyla mukavemetin attığı gibi halat ömrü de artmaktadır. Fakat belirli bir halat çapından sonra halat ömrü maksimuma yaklaşır ve ardından düşmeye başlar. Şekil 2.28'de belirli özellikteki farklı çaplardaki halatların ömür grafiği gösterilmiştir [6].



Şekil 2.28: Halat çapının halat ömrüne etkisi.

Şekil 2.28'deki grafikte iki eğri gözükmektedir. Bu eğrilerden üstteki olan halatın komple kopması koşulları altında, alttaki eğri ise halat işletmeden alınma koşullarına göre elde edilmiştir. İstenilen koşullarda halat ömrünün maksimum olması için gereken en önemli özelliklerden biri uygun halat çapıdır. Şekil 2.28'deki grafikte gerçekleşen olaylar; işletmeden alınma halatın çapı 10 mm olduğunda, yaklaşık olarak halat ömrü 50.000 çevrimdir. Halatın sarıldığı tambur veya makaranın çapı 600 mm olduğunda, makara ve halat çap oranı (D/d) 60 olmaktadır. Halat çap oranları uygun olmasına karşın 40kN yükleme için oldukça halat çapı ince kalmaktadır. Çapı 20 mm olan halatta ise, halat ömrü 340,000 çevrim sayısına ulaşmaktadır. Halat ömrü çapı 10 mm olan halatın neredeyse 7 katı büyüklüğündedir. Makara-halat çapı oranın (D/d) 30'a düşmesi normal şartlarda iyi bir durum değildir fakat çekme yükünün uygulandığı kesit alanı 4 kat artması halatın ömrünü de arttırmıştır. Halat çapı 40 mm olduğunda halat ömrü 300.000 çevrim sayısına düşmüştür. Bu durum çap emniyet faktörüne göre çapı 10 mm olan halattan 16 kat daha emniyetli olmaktadır. Bir yandan makara-halat çap oranının (D/d) 15'e düştüğü dikkate alınmalıdır. Her iki eğride maksimum halat ömrü elde edilen halat çaplarında eğilme faktörünün ve çekme gerilmesinin etkisi düşüktür[6]. Sonuç olarak; halat çapı seçilirken eğilme mukavemeti için (D/d) oranı ve çekme gerilme mukavemeti için d çapı optimum seviyede seçilmelidir.

2.4.9.7. Halat Tel Kalınlığı

Halatın tambura, makaraya veya bobine sarılması ile üzerinde eğilme gerilmesi oluştur. Bu gerilme teorik olarak Denklem 2.10'daki formül ile elde edilmektedir [6].

$$\sigma_e = \delta E/D \tag{2.10}$$

Bu formülde geçen etkenler; "δ" tel çapını, "E" halatın elastisite modülünü, "D" ise makara çapıdır. Birçok deneyden elde edilen verilere göre, ince telli halatların basma ve çekme dirençleri düşük olduğundan kalın telli halatlara göre dayanımları düşüktür. Makaranın yiv yarıçapı düştükçe, ince telli halatlara yüklenen gerilme artacağından kalın telli halatlar bu koşullara karşı daha dirençlidir [6].

2.4.9.8. Halat Türü

Halatın dış telleri, iç halat katmanlarının üzerine sıkıca oturmasıyla çapraz temas noktalarının oluşturmuş olduğu basıncı ve eğilme zorlanmalarına daha dirençli olurlar. Bu sebepten paralel sarımlı halatların, halat ömrü daha uzundur. Dönme dirençli halatların ise diğer halatlara göre daha az ömre sahiptir. Halatın oluşumunda iç tellerin birbirlerine sarılması ile iç gerilmeler oluşur. Bu iç gerilmeler halatın ömrünü etkilemektedir. Halattan kesit alındığında bu iç gerilmelerden kaynaklı olarak halat iç teller dışarı doğru saçılmaya başlar. Halat imalatında uygun metodun seçilmesiyle halat iç telleri üzerindeki gerilmeler kalktığında halatın ömrü diğer halatlara göre fazla ömürlü olmaktadır. Bunun için halat telleri üzerinde ön şekillendirme metodu ile iç gerilmeler giderilebilir [6].

2.4.9.9. Halatın Yağlanması

Halatlar üzerinde kullanılan yağlayıcıların amacı halat tellerinin veya demetlerin kendi aralarındaki ve halat ile tambur arasındaki sürtünmeyi en az seviyeye getirmektedir. Aşınma bilindiği üzere halat ömrü üzerinde olumsuz etkisi vardır. Yağlanmış halatın, eğme deneylerinde yağlanmamış halata göre %20'ye kadar halat ömrünün arttığı gözlenmiştir. Yağlayıcıların aynı zamanda korozyona karşı koruma

özelliği de vardır. Birçok uzak doğu ülkelerinden gelen halatların üzerinde korozyona karşı halatların direncinin artması amacı ile yağlayıcı kullanılır. Genel olarak yağlayıcılar ikiye ayrılır [6]:

- Nüfuz eden yağlar: Halatın demetlerini korumak için ve halatı yağlamak için kalın bir tabaka oluşturan, aynı zamanda halatın özüne kadar nüfus edip çalışma sırasında daha sonradan buharlaşan petrol solvent türlerinde yağlardır.
- Astar yağları: Halatın yüzeyine nüfus ederek halatın yüzeysel aşınmalara karşı koruyan, aynı zamanda nem, tuz gibi korozyon gibi dış etkenlere karşı halat direncini arttıran yağlardır [6].

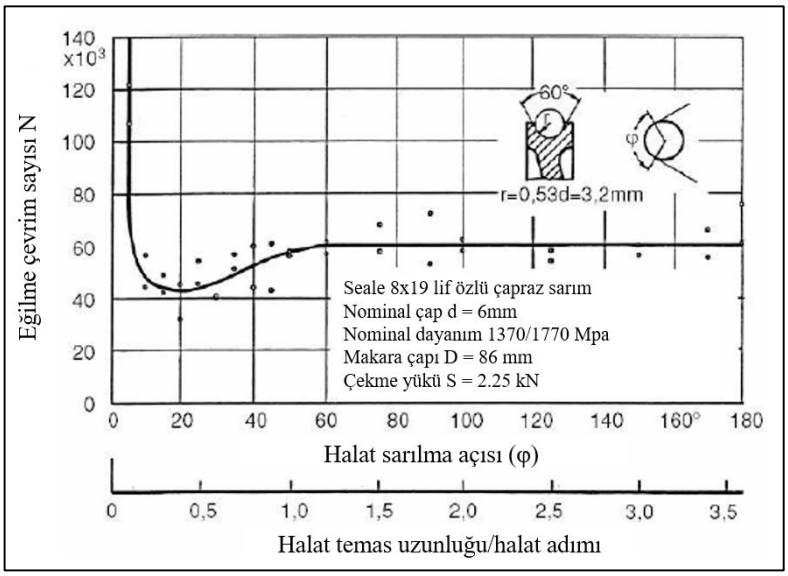
Emniyet kemeri halatları için, normalde yağsız olarak sipariş edilen halatların üretim prosesleri sırasında tellerdeki iç sürtünmeyi azaltmak için tedarikçi bazında kullanılan yağlar; Elaskon Sku Fluid, L-HM 46 / KunLun, Form Clean, Rustop P-390T, Lubratech Class 1100 markalardır. Yağ Kullanıldığında yağ ISO 4346'ya uygun olmalıdır.

2.4.9.10. Korozyon Etkisi

Çelik malzemelerden oluşan halat telleri, çevre şartlarında korozyona uğrarlar. Korozyonun halat ömrünü azaltıldığı bilindiği gibi, korozyona karşı önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu durum için en iyi önlem, halatın galvaniz ile kaplanmasıdır. Korozyona maruz kalan halatlarda, metalik alanın azalması, halatın kopma dayanımının azalmasına sebebiyet olur. Korozyonun diğer bir etkisi ise, halatta kırılan tellerin yol açtığı yorulma etkisini de hızlandırmasıdır. Korozyonun, halatın elastisitesi üzerinde de etkisi vardır. Halatı gevrekleştirir daha kolay kopmasına neden olur. Korozyondan halatları korumada diğer bir yöntem çinko veya çinko alaşımların (Zn95/Al5) halat üzerinde kaplama olarak kullanılmasıdır. Çok telli küçük tel kalınlığına sahip halatlar, az telli büyük tel kalınlığına sahip halatlara göre daha kolay korozyona uğrarlar [6].

2.4.9.11. Halat Sarılma Açısı

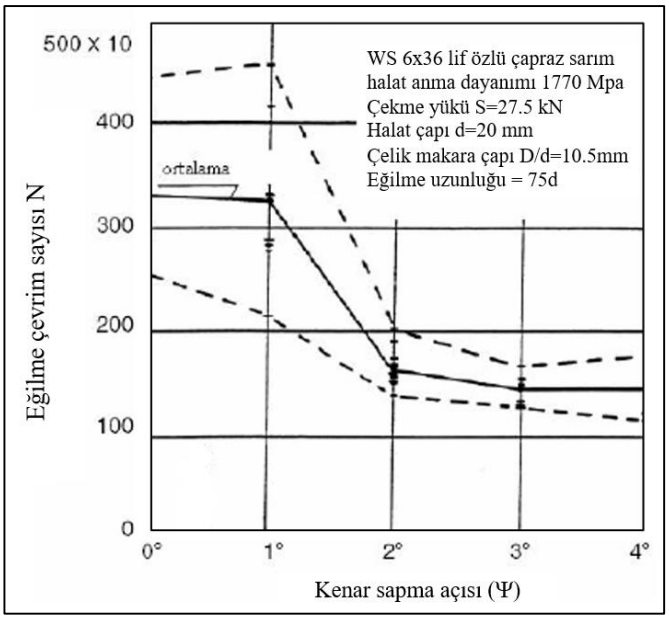
Halat sarılma açısının değişiminin halat ömrü üzerinde etkisinin gösterilmesi için birçok halat numunesi hazırlayıp deneyler yapılmıştır. Şekil 2.29' da gösterilen deneyler sonucunda; sarılma açısının düşük olduğu halatların ömrünün büyük açılı halatlara göre fazla olduğu, 20° sarım açısına sahip halatın en düşük halat ömrüne sahip olduğu, 60° sarım açısına kadar halat ömrünün arttığı fakat 60°'den sonra halat ömrünün ciddi bir değişikliğe uğramadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu deneyde halatın tambur veya makaraya sarılması ile elde edilen temas uzunluğu ile halat adımının oranının değişiminin halat ömrüne etkisi gözlemlenmiştir [6].



Şekil 2.29: Halatın sarım açısı ile halat temas uzunluğunun halat ömrüne etkisi.

2.4.9.12.Halatın Kenar Sapması

Halatın sarılmış olduğu makara veya tamburun yuvasından sapıp, zamanla köşelerden halatın tellerin deforme olması halat ömrünü düşüren bir faktördür. Kenar sapması değerleri halat türlerine göre değişir. Demetli halatlarda bu değer 4°, dönme dirençli halatlarda 1.5° izin verilir. Şekil 2.30'da halat kenar sapma açısının eğilme yorulma deneyinde halat ömrüne etkisi incelenmiştir [6].



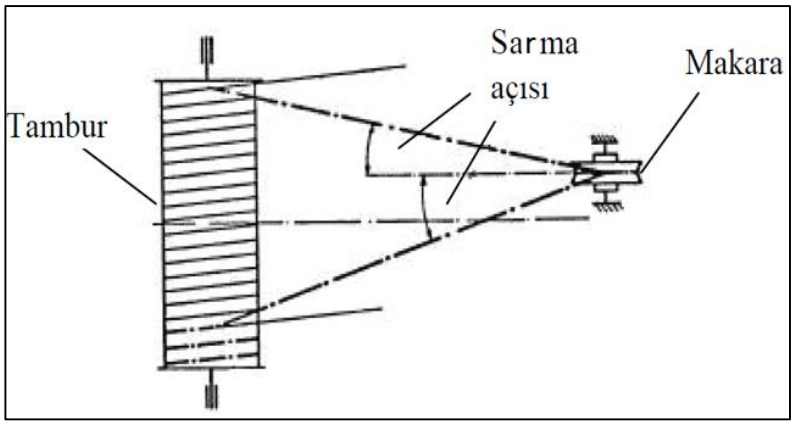
Şekil 2.30: Halat kenar sapma açılarının halat ömrüne etkisi.

2.4.9.13.Halat Özü

Halat özleri genel olarak lif özlü ve çelik özlü olmak üzere ikiye ayrılır. Yapılan deneysel çalışmalarda lif ve çelik özlü halatlar için ayrı ayrı yapılmıştır. Deney çalışmalarında lif öz malzemesinin etkisini incelemek amacı ile halat kompozisyonları eğme yorulma deneylerinde sabit tutulmuştur. Sisal ve polipropilen (PP) hammaddesinden üretilen lif özlerinde halat ömrü yaklaşık olarak aynı olmaktadır. Poliamid (PA)'den üretilen lif özünde ise halat ömrü yüksek çıkmıştır. Poliamid malzemesinin polipropilen malzemeye göre dayanımı fazla çıkmıştır. Bu durumunda lif özde kullanılacak malzemenin dayanımının halat ömrü üzerinde olumlu etkiler oluşturacağı saptanmıştır [6].

2.4.9.14. Tambur Veya Makaraya Sarma Açısı

Halatın imalatından sonra bir bobin, tambur veya makaraya sarılırken üzerinde oluşan tork kuvveti ile yivlerin ezilmesine sebep olabilir. Bunun durumların önüne geçebilmek ve halat ömrünü arttırabilmek amacı ile halat sarma açısının düz bobin veya tamburlarda 1.5°, yivli bobin veya tamburlarda ise 2° yi geçmemesi gerekir. Şekil 2.31'de halat sarma açısı gösterilmiştir. [6].



Şekil 2.31: Halat sarma açısı.

2.4.10. Feyrer Teorik Halat Ömür Kestirimi

Çelik halatlar, çalışma esnasında mevcut konumlarından eğrilip tekrardan eski haline geri dönmektedirler. Bu tür koşullarda tekrarlı yapılan eğme ve bükme hareketi sonucunda teller ve demetler yorulmanın etkisi altında kalmaktadır. Prof. Feyrer, çelik halatları deneysel olarak eğilme yorulma halat ömrü ve servis dışı kalma ömrüne etkisini değerlendirebilmek için çalışmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda teorik olarak çelik halatların ömrünü kestirebilmek için denklemler üretmiştir [6,17].

Prof. Feyrer, farklı tipteki halat yapılarını deneylerinde kullanarak çok sayıda eğilme yorulma testleri yapmıştır. Bu testlerden elde ettiği halatın kopma ömrü veya deforme olması sonucu servis dışı kalma ömrü verilerini, regresyon analizinde kullanmıştır. Regresyon hesapları sonucunda belirli halat yapıları için teorik olarak halat ömrünü tahmin etmede denklemler türetmiştir. Feyrer, halat ömrüne etki eden çekme yükü (S/d^2) ve makara ile halat çapı oranı (D/d) fonksiyonlarını dikkate alarak aşağıdaki Denklem 2.11 oluşturmuştur [6,17].

$$\log(N) = a_0 + a_1 \log\left(\frac{S}{d^2}\right) + a_2 \log\left(\frac{D}{d}\right) + a_3 \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \log\left(\frac{D}{d}\right) \qquad (2.11)$$

Denklemde yer alan "a_i" katsayıları halata uygulanan eğilme yorulma deneyleri sonucunda regresyon analizi ile birlikte elde edilen değerlerdir. Bu katsayılar halat kopma ömrü (N) kestiriminde kullanılır. Prof. Feyrer bir sonraki çalışmasında halat ömrüne etkileyen diğer parametreleri de denklemine eklemek için çalışmalar yapmıştır. "Halat çapı", "tel dayanımı" ve " halatın tambur üzerine sarılma uzunluğu"

gibi parametrelerin farklı çaplardaki halat konfigürasyonları ile eğilme yorulma deneylerini gerçekleştirmiştir. Denklem 2.11'deki denklemin parametreleri arttırılarak Feyrer aşağıdaki Denklem 2.12 elde etmiştir [6,17].

$$\log(N) = b_0 + b_1 \log\left(\frac{S}{d^2}\right) - 0.4b_1 \log\left(\frac{R_0}{1770}\right) + b_2 \log\left(\frac{D}{d}\right) + b_3 \log(d) + b_4 \log\left(\frac{S}{d^2}\right) \log\left(\frac{D}{d}\right) - 0.4b_4 \log\left(\frac{D}{d}\right) \log\left(\frac{R_0}{1770}\right) + \frac{1}{b_5 + \log\left(\frac{l}{d}\right)} \tag{2.12}$$

Denklem 2.11 ve denklem 2.12'de yer alan d, halat çapı (mm); D, tambur çapı (mm); S, halat çekme kuvveti (N); R_0, tel anma dayanımı (N/mm^2); l, eğilme uzunluğu (mm) (l >15d için geçerli) olmaktadır. Halat kopma ömrü için "b_0", "b_1", "b_2" ve "b_4" katsayıları bazı halat türlerindeki değerleri Tablo 2.7'de belirtilmiştir. Tablodan alınan değerler ile Denklem takımı 2.13'de yerine konulması ile diğer katsayılar elde edilir [6,17].

$$\begin{aligned} b_0 &= a_0 + 0.32\log(16) - 1/(b_5 + \log(60)) \\ b_1 &= a_1 \\ b_2 &= a_2 \\ b_3 &= -0.32 \\ b_4 &= a_3 \end{aligned} \tag{2.13}$$

Tablo 2.7: Ortalama halat kopma ömrü için katsayılar.

Tel Halat		***N* için b0**		**b1**	**b2**	**b4**	**N için b5**
		sZ	**zZ**				
Seale 6x19	FC	-1.900	-1.677	1.280	8.562	-2.625	1.2
Filler 8x19	FC	-1.679	-1.456	1.280	8.562	-2.625	1.2
Warrington 8x19	FC	-1.679	-1.456	1.280	8.562	-2.625	1.2
WS 8x36	FC	0.858	0.966	0.096	7.078	-1.920	1.2
Seale 6x19	IWRC	-1.723	-1.663	1.290	8.149	-2.440	1.2
Filler 8x19	IWRC	-1.635	-1.575	1.290	8.149	-2.440	1.2
Warrington 8x19	IWRC	-1.635	-1.575	1.290	8.149	-2.440	1.2
WS 8x36	IWRC	1.327	1.381	0.029	6.241	-1.613	1.2
18x7		-2.492		1.566	9.084	-2.811	1.2
34x7		-1.014		1.351	7.652	-2.485	1.2

2.4.11. Regresyon Analizi

Bir çalışmada elde edilmiş veri kümesi ile bu verileri etkileyen faktörlerin tekrardan analiz edilip aralarındaki ilişkilerin yeniden kurulmasını, fonksiyonel olarak sayısal verilere dayandırma işlemidir. Halat ömrünü etkileyen parametrelerinin birden çok olması sebebiyle çoklu regresyon modeli tercih edilir. Deney sonuçlarını grafik ortamında karşılaştırılması yapılırken kolaylık sağlaması amacı ile en küçük kareler yöntemi uygulanması önerilir [6,17].

2.4.11.1. Çoklu Regresyon Modeli

Analizde birden fazla birbirleri ile etkileşimde olan bağımsız değişkenlerin yer aldığı modeldir. Çoklu regresyon modelinde bağımlı ve bağımsız değişkenler vardır. Bağımlı değişkenler "Y ", bağımsız değişkenler ise "X " ile tanımlanır. Bağımsız değişkenler önceden elde edilen değerler, bağımlı değişkenler ise bağımsız değişken ile etkileşim halinde olan bir veri sonucunda elde edilen değerlerdir. Halat ömrü bir bağımlı değişken iken çekme kuvveti, çap oranı ve çarpımları bağımsız değişkenlerdir. Denklem 2.11'e bağımsız değişkenler yerine konulduğunda elde edilen Denklem 2.15 aşağıda belirtilmiştir [6,17].

$$\log(N_i) = a_0 + a_1 \log(x_i) + a_2 \log(y_i) + a_3 \log(x_i) \log(y_i) + \varepsilon_i \qquad (2.15)$$

Buradaki değerler:

- x_i : Özgül çekme yükü (S/d^2),
- y_i : Makara ile halat çap oranı (D/d),
- ε_i : Hata bileşeni,
- a_i : Deneysel çalışma sonuçlarının en küçük kareler yöntemi ile elde edilen katsayılardır.

2.4.11.2. En Küçük Kareler Yöntemi İle Katsayıların Bulunması

Bu yöntemin amacı, noktasal verilerin arasından geçen doğrunun ve bu noktaların doğruya olan uzaklıkların karesinin toplamının (hata bileşeni) en küçük

olduğu eğriyi veya doğruyu bulmaktır. Denklem 2.16'de en küçük kareler yöntemi ile hata bileşenin minimum olduğu belirtilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \ \dots + \varepsilon_n^2 \tag{2.16}$$

Denklem 2.16'da belirtilen hata bileşen formülünü Denklem 2.15'de yerine konulduğu zaman oluşan yeni Denklem 2.17'in sağ tarafı minimum yapabilmek amacı ile denklemin kısmi türevi alınarak sıfıra eşitlenmelidir. Bunun sonucunda hata bileşeni minimum olmuş olur [6,17].

$$\sum_{i=1}^{n} [\log(N_i) - a_0 - a_1 \log(x_i) - a_2 \log(y_i) - a_3 \log(x_i) \log(y_i)]^2 \tag{2.17}$$

Denklemin çözümü ile elde edilen "a_0", "a_1", "a_2" ve "a_3" katsayılarını denklem (2.11) yerine yazarak ömür tayini için gerekli olan değerler bulunmuş olur.

2.4.12. Konektör Halatı Özellikleri

Braket parçasına, iki ucundan bükülerek çift taraflı montajlanan halatın müşterinin isteğine göre yapılan bütün yorulma testlerinden sonra çekme testinde 20 kN yük değerinin üzerinde kopması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan otomotiv sektöründe en çok tercih edilen 7x 19 WSC tipi halatın, kimyasal özellikleri ve tek taraflı iki ucundan ayrı olarak bağlanıp çektirme testi değerleri Tablo 2.15'de belirtilmiştir.

Tablo 2.8: Çalışmada kullanılan halatın özellikleri.

Halat Sertifikası					
Nominal Çap (mm)	4.3				
Konstrüksiyon	7x19				
Şartname	DIN				
Büküm Yönü	RHOL				
Malzeme	ÇELİK				
Tellerin Yüzey Kaplaması	GALVANİZ				
Minimum Kopma Yükü (kN)	16.30				
Test Sonuçları					
Makara No.	501M721J				
Halat Çapı (mm)	4.3-4.32				
Gerçekleşen Kopma yükü (kN)	17.22				
Kimyasal Özellikler					
Bileşen	C	Si	Mn	P	S
Şartname	0.55-1.03	0.1-0.3	0.3-0.9	Max. 0.03	Max. 0.05
Ölçülen Değer	0.8	0.19	0.53	0.01	0.01

2.5. Yorulma Davranışı

İlk olarak 1840-1850 yıllarında tekrarlı gerilmelere karşı parçaların dayanımlarının azaldığı teorisi ortaya çıkmıştır. 1850-1860 yıllarında "Agust Wöhler " demir yolu araçlarının vagon aksları üzerinde kendi yorulma test cihazını yaparak ilk deneysel çalışmaları yapmıştır. Agust Wöhler tarafından ilk olarak S-N eğrileri kullanılarak numunelerin gerilme yükleri altında dayanımlarını incelenmiştir. Aynı yıllarda "Hodgkinson ve Fairbairn" tarafından kiriş-menteşeli sistemler üzerinde eğilme-burulma testleri yapılmıştır. Yaptıkları deneysel çalışmada statik gerilme durumunda 120 kN altında bir yükte numunelerinde kopma meydana gelirken, tekrarlı gerçekleşen yüklemeli durumunda eğme testlerinden sonra 30 kN yük altında numunelerinde kopmalar gerçekleşmiştir [4,5].

2.5.1. Yorulma

Malzemelerin tekrarlı yükleme veya uzama etkenlerine maruz kaldığında, malzemenin özelliğine göre yeterli çevrim sayısına ulaştıktan sonra, oluşan çatlakların

artması veya çatlak bölgesinden malzemenin kopmasına sebebiyet veren lokal olarak sürekli yayılan kalıcı plastik deformasyonlardır [4].

Metal malzemelerde tekrarlı yüklemeler altında, malzemenin kopma gerilmesinin altındaki küçük gerilmelere maruz kalmasına rağmen, belirli çevrim adetinden sonra malzemede çatlaklar oluşur. Daha sonrasında bu çatlakların artması ve malzemede yayılması ile parçada kopma meydana gelir [4,5].

Yorulma kopması genellikle malzemenin gevrek davranış sergilediğinde zaman ortaya çıkar. Bu durumdan dolayı malzemenin kopmaya başlayacağı zaman önceden kestirmek oldukça zordur. Yorulma kırılması, malzeme iç yapısında oluşan gerilmeler elastik bölgede olmasına rağmen meydana gelir. Bu olay düzensiz gerilme dağılımlarında ortaya çıkan bir durumdur [4].

2.5.2. Yorulma Performansını Etkileyen Faktörler

Malzemelerin yorulmasını etkileyen birçok etken vardır. Bunlar:

- Gerilme parametreleri: gerilme tipi, gerilme genliği, gerilme oranı sabiti, gerilme frekansı ve maksimum gerilmeler,
- Parça tasarımı ve özellikleri: gerilim arttırıcı etkenler, parça boyutu, gerilimin eğimi, metalin mekanik özellikleri ve kaynağın metalürjik yapısı,
- Çevre etkenleri: sıcaklık ve saldırgan çevre koşulları

olmaktadır [5].

2.5.2.1. Parçanın Yüzeyi

Malzeme yüzeyindeki pürüzler zamanla parçada çentik etkisi yaparak çatlakların meydana gelmesine sebep olur. Yüzeyde oluşabilecek her faktör, yorulma ömrünü etkilemektedir. Parçada yüzey işlem kalitesi azalırsa, malzemenin yorulma dayanımı da bir o kadar azalmış olur. Bunlara örnek; parlatma işlemi yapılmış, taşlama, talaş kaldırma, sıcak haddeleme ve dövme işlemi yapılmış yüzeylerdir. Bunun dışına yüzey sertleştirme ısıl işlemlerinin yorulma ömrünü arttırmaktadır. Fakat çelik yüzeylerinde karbon giderme tavı ısıl işlemleri yapıldığında yorulma ömrü azalmaktadır. Metal

malzemelerin yüzeyine yapılan basma yüklemeleri de yorulma ömrünü arttırmaktadır [4].

2.5.2.2. Sıcaklık

Sıcaklık değerinin artması parça mukavemetini olumsuz olarak etkilemektedir. Cr, Ni, Mo içeren çelikler yaklaşık olarak 400 °C'ye kadar yorulma mukavemetleri etkilenmezler. Fakat yarı kararlı iç yapıya sahip olan alaşım malzemeleri yüksek sıcaklık altında iç yapısında bozulmalara sebep olur. Bu durum da yorulma mukavemetine etki eder [4].

2.5.2.3. Çevre Koşulları

Tekrarlı yükleme altındaki bir malzemenin, çevresel koşullarının kimyasal etkisi ile oluşan yapısal bozulmalar şiddetini daha fazla gösterir. Saldırgan çevresel koşulları altında gerçekleşen yorulma çatlaklarının oluşma tekrarı, normal bir yorulma ömründeki oluşma tekrarından az sayıdadır. Örneğin; çelik halatlı asma köprülerde deniz suyunun ve nemin etkisi ile çelik tel yüzeylerinde korozyon oluşur ve halatın geneline yayılmaya başlar. Bu durum çelik halatın ömrünü olumsuz yönde etkiler [4].

2.5.2.4. Frekans

Frekansın normal koşullarda yorulma mukavemetine etkisi azdır. Fakat malzemenin türüne göre frekansın etkisi değişkenlik gösterebilir. Örneğin; metal malzemelerde 10^4 çevrim/dakika frekans değerine kadar uygulanan tekrarlı gerilmenin parçada ısınma meydana getirmeyeceği için malzeme gevrek yapısını korumaya devam eder. Frekansı ektisini gösterebilmesi için malzemenin yumuşaması gerekir. Plastiklerde 10 Hz bandına malzeme yumuşamaya başladığı için yorulma mukavemetinde azalmalar görünür [4].

2.5.2.5. Çevrim Sayısı

Değişken gerilmelerin parça üzerindeki etkisi 10^3'den büyük çevrimlerde gözükmeye başlar. 0 ile 10^3 arasındaki çevrimler parçada statik zorlama olarak etkisini

gösterir [5]. Malzeme üzerinde uygulanan gerilme genliği (σ_a) azaldıkça, ömür çevrim sayısı (N) da artar. Parça gerilmeler ne kadar düşük olursa, parçanın ömrünü de bir o kadar artmış olur [5].

2.5.2.6. Gerilme Koşulları

Sürekli bir yüke maruz kalan yapı veya makine elemanlarında kendi ağırlığının etkisi ile bir ön yük etkisi altındadır. Aynı zamanda çalışma koşullarından kaynaklı çevrimli yüklemeler de etkisini gösterir. Hem elemanın kendi ağırlığından doğan statik yüklemenin etkisi ortalama gerilmeye (σ_m) ek olarak hem de çalışma koşullarından dolayı oluşan değişken yüklemelerin oluşturduğu gerilme genliği (σ_a) etkilemektedir. Bu gerilmelerin toplamı (σ_t) Denklem 2.18'de ifade edilmiştir [4].

$$\sigma_t = \sigma_m + \sigma_a \tag{2.18}$$

2.5.3. Yorulma Testi

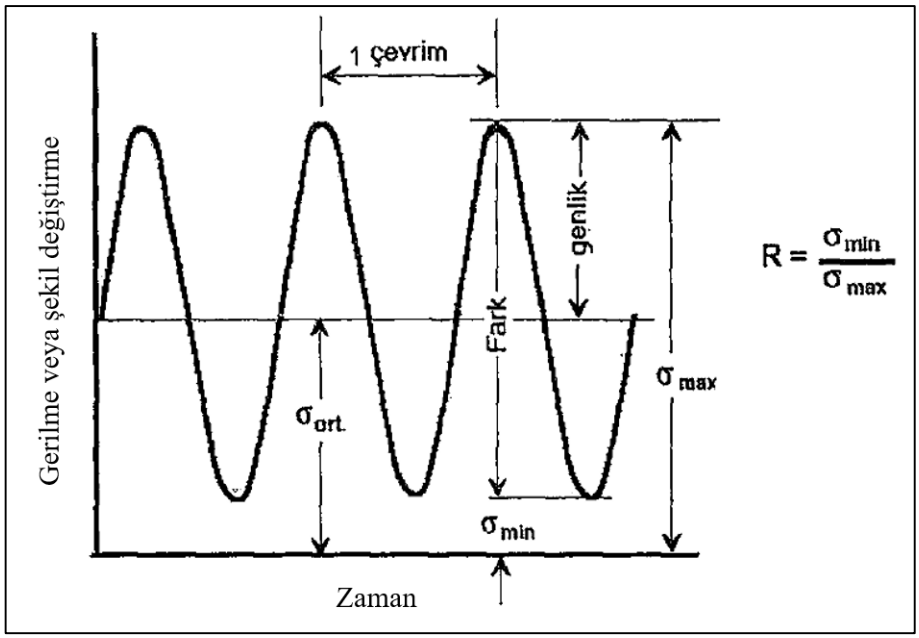
Yorulma testleri genel olarak sinüs eğrisine benzer sinüzoidal yüklemeler yapılır. Bununla beraber oluşan grafik Şekil 2.32'de belirtilen parametrelerce açıklanabilir. Yorulma testinde belirlenen minimum, maksimum gerilmelerle, değişken gerilme genliği (σ_a), ortalama gerilme (σ_m), gerilme dağılımı (σ_r), gerilme oranı (R) faktörleri, Denklem takımı 2.19 ile elde edilebilir [5].

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \tag{2.19}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$



Şekil 2.32: Yorulma testlerinde sinüzoidal çevrim.

Buradaki R ile gösterilen değer, yorulma yük modu olmaktadır. Tablo 2.16'te R değerlerinin karşılık geldiği yorulma yük modları gösterilmiştir [5].

Tablo 2.9: R değerine karşılık gelen yorulma yükü modları.

Yorulma Gerilmesi Oranı	Yorulma Yükü Modları
R = 0	Çekme - Yüksüz
R = 1	Statik Yükleme
0<R<1	Çekme Çekme
R= -1	Çekme-Basma, Tam Ters
-1<R<0	Çekme-Basma

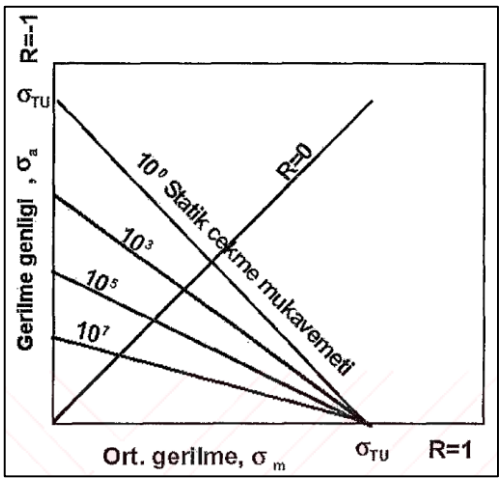
2.5.4. Ortalama Gerilmenin Yorulma Mukavemetine Etkisi

Bir yük genliğinde, yapılan tekrarlı ömür için yorulma mukavemeti, o genliğin ortalama gerilmesine (σ_m) bağlıdır. Aynı koşullardaki yorulma ömürleri için, ortalama gerilme (σ_m) arttıkça, yorulma mukavemeti (gerilme genliği) azalmaktadır (σ_a). Birçok yük değerlerinde yorulma ömrü hesaplaması yapmak zordur. Hesaplamalardan kaçınmak amacı ile genellikle deneysel (ampirik) bir metot olan "Goodman" eğrisi kullanılmaktadır. Goodman eğrisindeki çizgi olarak gösterilen değerler, yorulma mukavemeti (yorulma ömründe gerilme genliği) ve ortalama gerilme arasında

azalacak şekilde lineer bir oran vardır. Aşağıda belirtilen formülde, Goodman eğrisinde kullanılan parametrelerde olduğu gibi, gerilme genliği (ömür/yorulma mukavemeti), ortalama gerilmenin sıfır olduğu yorulma mukavemeti (σ_a^0 = ters yükleme), çekme mukavemeti(σ_{TU}) ve ortalama gerilme(σ_m) ile etkilidir. Goodman diyagramında ilişkili parametreler Denklem 2.23'de yer verilmiştir [5].

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_a^0} = 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{TU}} \tag{2.23}$$

Yorulma ömrünün çelik gibi metallerde sonsuz olarak kabul edilen gerilmeler mevcuttur (bu gerilmede malzeme yorulma ile hasara uğramaz). Bu tür gerilmelerde dayanım sınırı diye bilinen bir değere bakılır. Fakat alüminyum alaşımlarda dayanım sınırı yoktur, bu sebepten dolayı ortalama bir yorulma ömrü tayin edilmelidir (10^5, 10^6, 10^7 çevrim(cycle) ömür değerleri). Goodman çizgileri genellikle Şekil 2.33'de belirtilen diyagram kullanılır. Bu diyagramda statik yükleme hali ve 10^3, 10^5, 10^7 ömür çevrimleri belirtilmiştir [5].



Şekil 2.33: Metallerin yorulması için Goodman diyagramı.

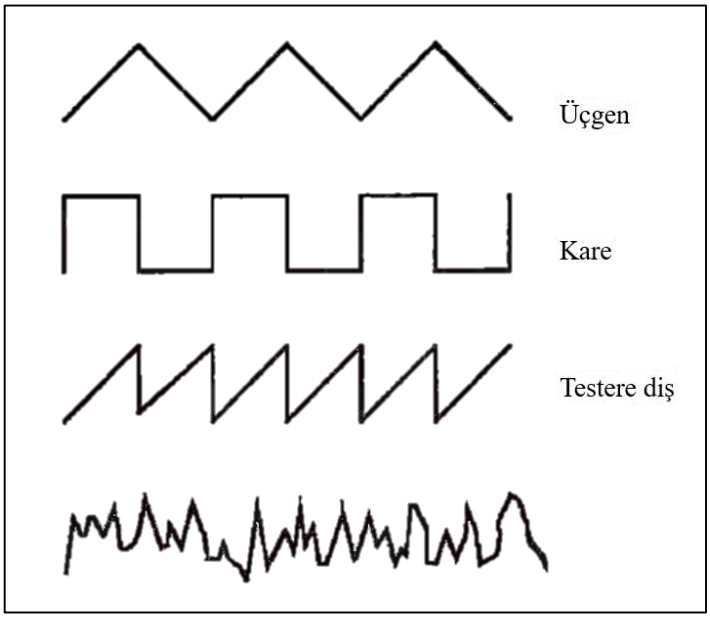
"Gerilmeli kopma mukavemeti" hesabı Denklem 2.24'deki ilişkiler ile hesaplanabilir [5].

$$\sigma_c = \sigma_{TU}(A - B \log t) \tag{2.24}$$

Buradaki ilişkiler, (t) zaman, (σ_{TU}) statik çekme mukavemeti, (σ_c) gerilmeli kopma mukavemeti, A ve B değerleri ise katsayılardır [5].

2.5.5. Kapalı Döngü Yorulma Testleri

Genellikle ürünlerin yorulma davranışları sinüzoidal çevrimlere başvurarak yapılır. Bunun sebebi yorulmaya sebep olan makine elemanlarında kütlelerinde etkili olması veya direkt sinüzoidal yüklemeye maruz kalmasıdır. Sinüsoidal yükleme tiplerine örnek Şekil 2.34'de verilmiştir.

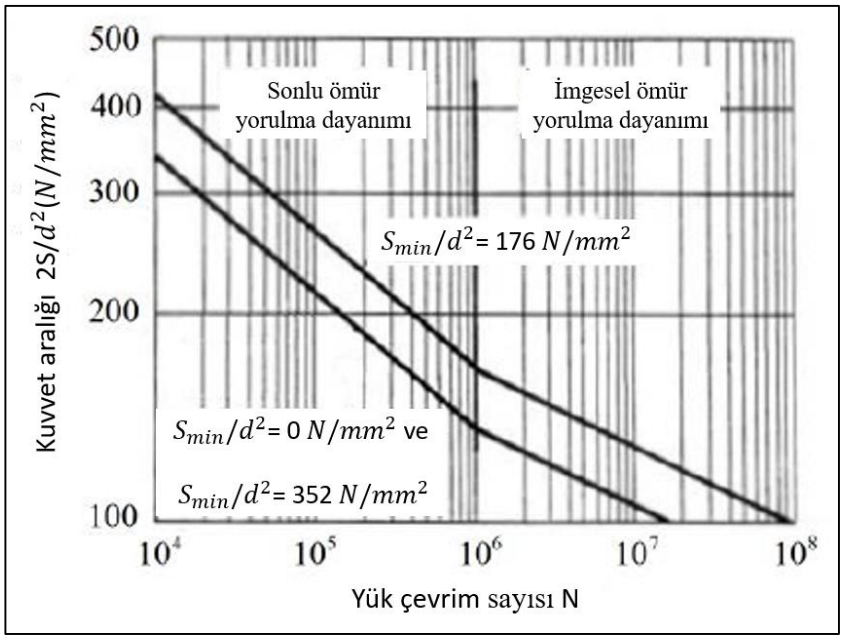


Şekil 2.34: Kapalı döngü testleri sinüsoidal yükleme tipleri.

2.5.6. S/N Eğrileri (Wöhler)

Bir malzemenin yorulma performansı yorulma gerilmesi oranı ve ortalama gerilme ile açıklanabilir. Bu test sonuçları bir grafik üzerinde bir eksende maksimum yorulma gerilmesi diğer eksende ise 10 tabanına göre logaritmik olarak tanımlanan yorulma çevrimleri(hasar) ile tanımlanır. Bu grafiğe S/N eğrisi adı verilir. Malzeme üzerinde uygulanan gerilmeler düşük olması o malzemenin yorulma ömrünü arttırır ve hatta yorulma ömrü sonsuz olabilir. Bu sebepten dolayı genellikle yüksek tekrarlı yorulma (HFC) önemlidir. Yüksek çevrimli yorulmaların oluşturduğu gerilmelere

“yorulma dayanım sınırı” denilir [5]. Çelik halatların çekme yorulma davranışa örnek S/N eğrisi Şekil 2.35’de gösterilmiştir [17].



Şekil 2.35: Çelik tel halatın S/N eğrisi.

S/N eğrisi Denklem 2.25 ile açıklanabilir [5].

$$S = \sigma_{TU}(mB \log N + b) \tag{2.25}$$

Bu formüldeki parametreler:

- S: Maksimum yorulma mukavemeti,
- N: Hasara neden olan çevrim sayısı,
- σ_{TU}: Ortalama statik mukavemet,
- m ve b: Sabit değerleri

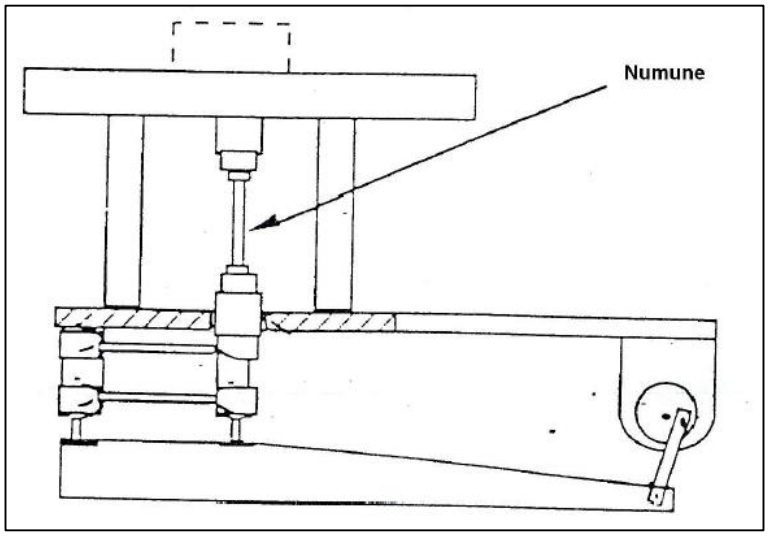
olmaktadır.

Sabit değerler olarak nitelendirilen (m) değeri eğimi, (b) değeri ise S/N eğrisini kesen gerilme olarak ifade edilir. (m) değerinin düşük ve (b) değerinin de yüksek olması yüksek yorulma dayanımını ifade eder.

2.5.7. Yorulma Deneyleri

2.5.7.1. Eksenel Gerilmeli Yorulma Deneyi

Test numunesine etkileyecek değişken çekme veya basma gerilmeleri numuneye uzunluğu boyunca uygulanır. Uygulanan gerilmeler parça kesitinde homojen dağılımlar gösterir. Tek eksende gerilmeler için hidrolik, elektromekanik, mekanik, hidro-pnömatik sistemler ile uygulanabilir. Şekil 2.36'da eksenel gerilmeye örnek bir yorulma test makinesi şematik olarak belirtilmiştir [4].

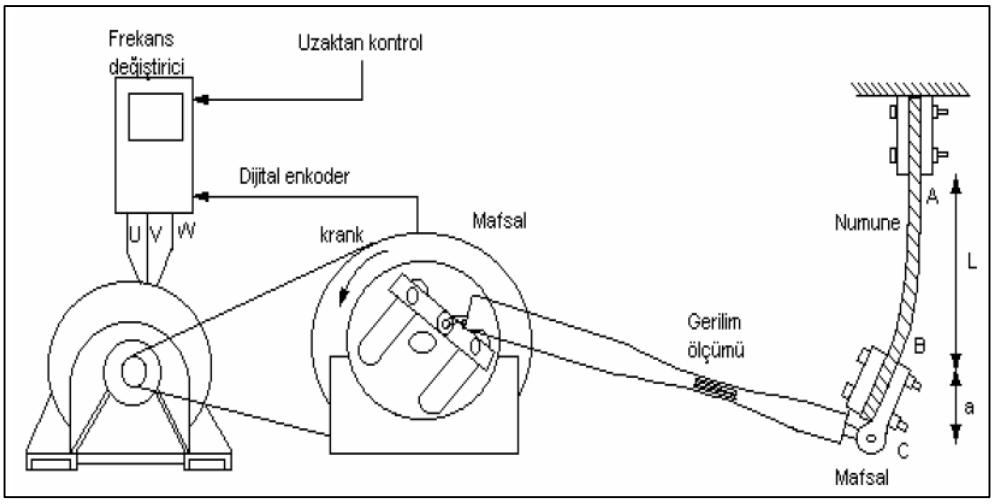


Şekil 2.36: Eksenel gerilmeli yorulma test cihazı.

2.5.7.2. Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi

Genel olarak eğme gerilmeli yorulma davranışlarını düzlemsel eğme gerilmeli ve dönen eğme gerilmeli yorulma davranışı olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

Düzlemsel eğme gerilmeli yorulma deneyinde, test numunesinin tarafsız düzlemde sabit olması ve bu düzleme göre tekrarlı eğme gerilmelere maruz kalmasıdır. Test numunesi montajlı halde tamamen sabittir. Fakat eğme yükü parça üzerinde haraketlidir. Bu test deneyine örnek yorulma makinesi Şekil 2.37'de gösterilmektedir [4].

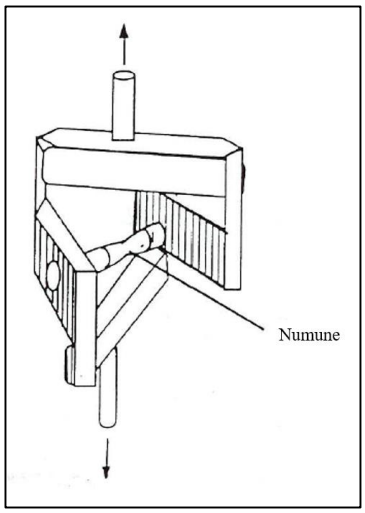


Şekil 2.37: Düzlemsel eğme gerilmeli yorulma test cihazı.

Dönen eğme yorulmalı deneyde ise test numunesi devamlı dönmekte ve sabit bir düzleme göre tekrarlı eğme gerilmesinin etkisi altındadır. Bu yorulma deneyini ilk olarak Wöhler, demir yolu yük vagonlarının akslarının raylar üzerinde tekrarlı gerilmelere maruz kalmasını deneysel olarak incelemiştir [4].

2.5.7.3. Burma Gerilmeli Yorulma Deneyi

Test numunesinin bir eksen üzerinde tekrarlı döndürme hareketi kısaca burma işleminin yapılmasıdır. Araçların şaftları, süspansiyonlarda kullanılan helisel yaylarda bu tür burma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Burulma gerilmesine örnek test düzeneği Şekil 2.38'de gösterilmiştir [4].



Şekil 2.38: Burulma test cihazı örneği.

2.5.7.4. Bileşik Gerilmeli Yorulma Deneyi

Aynı anda veya ardı sıra birden fazla gerilme türünün test numunesine uygulanması durumunda yorulma davranışını incelemek için bu tür deneyler yapılır. Bu test deneyinde en çok uygulanan bileşik gerilmeler eğme ve burma gerilmelerin bir arada bulunan ve eksenel gerilmelerin de bu kombinasyon içerisine dahil edilen durumdur. İçten yanmalı motorlarda krank milinin maruz kaldığı bileşik gerilmeler, çelik halatların maruz kaldığı eğme, burulma ve eksenel çekme gerilmeleri bu yorulma davranış türüne örnektir [4].

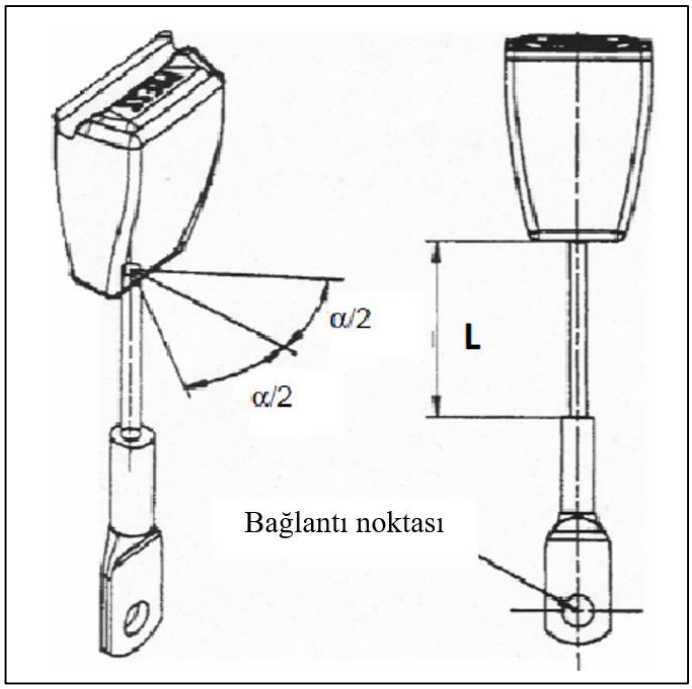
2.6. Konektör Yorulma Testleri

2.6.1. ATS 030 Test Standartları

2.6.1.1. Burulma Yorulma Testi

Toka tutucunun, Şekil 2.39'deki gibi konektörün yüzeyine dik bir şekilde merkez çizgisinden geçen bir düzlem tarafından oluşturulan bir açıyla, bu merkez çizgi ekseni etrafında 1°'lik dönüş açısı / serbest kablo uzunluğu "L" (Kablo büküm merkezi ile konektör gövdesi arasında ki mesafe) ile bükme işlemi yapılmasıdır.

Test edilecek olan konektörün teknik resminden emniyet kemerinin halatının boşta kalan uzunluğu hesaplanır. Boşta kalan uzunluğun yarısı ± yönde kaç derece açı yapacağını verir. Test 1000 çevrimde ve 0,5 Hz'lik frekans ile yapılacaktır [19].

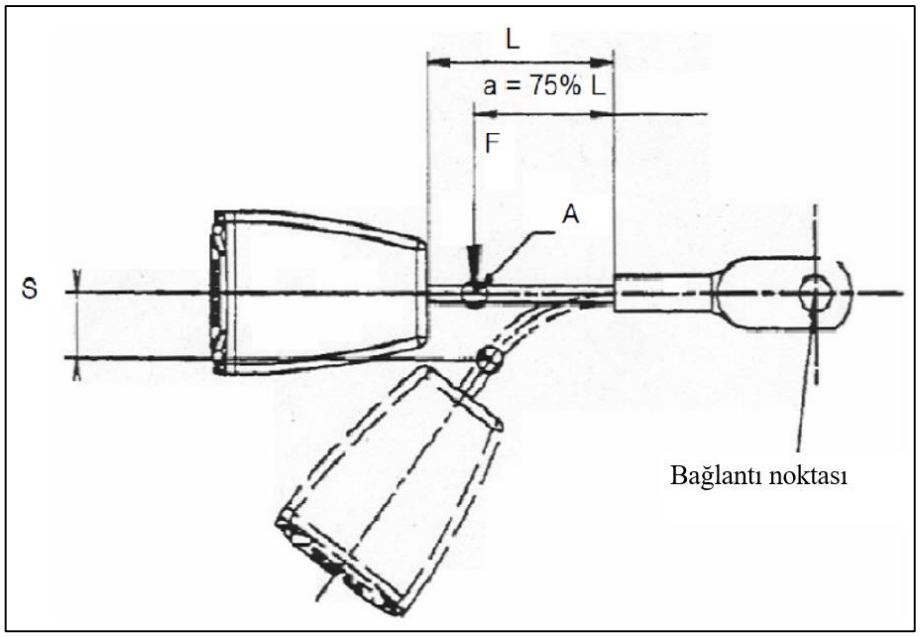


Şekil 2.39: Burulma yorulma test parametreleri.

2.6.1.2. Boyuna Eğilme Yorulma Testi

Toka tutucunun eğilmesi, Şekil 2.40'deki gibi konektörün montaj pozisyonundan parça boyunca uzanan düzlem ile S mesafesi ile oluşturulmuş düzlem arasında kalan açı boyunca eğme işleminin yapılmasıdır. Bu test, halat bağlantılı emniyet kemeri tokaları üzerinde yapılır. Bükülme dayanımı, halat uzunluğuna bağlı olarak en esnek yönde belirlenir. Toka bağlantı noktasına sabitlendikten sonra, A noktasından bir kuvvet uygulanır. Test parametreleri aşağıdaki gibidir [19].

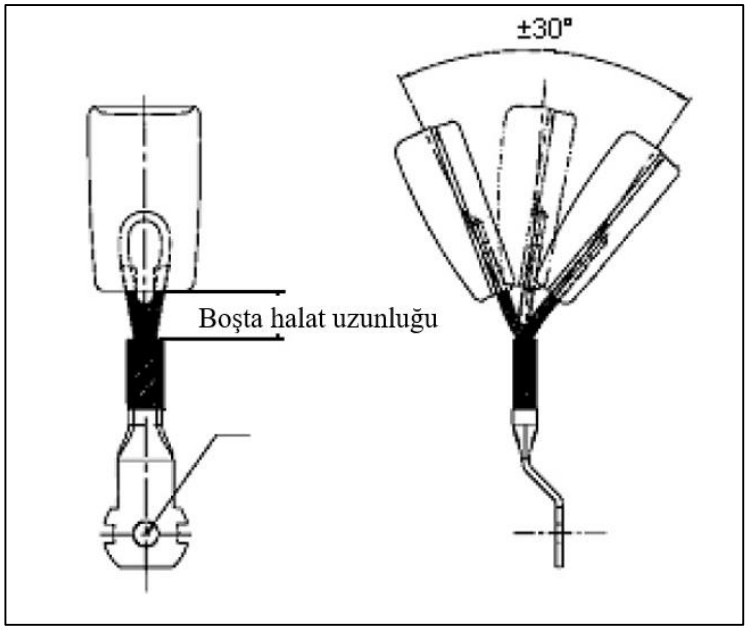
- "L" konektör gövdesi ile toka gövdesi arasındaki serbest halatı temsil eder.
- "A" mesafesi "L" nin % 75'ine eşittir, ancak "L" ≤ 100 mm için "α" = "L".
- "S" yayı L / 2 değerini aşmamalıdır.
- Çevrim 20.000 devirde ve frekansı 0,5 Hz olacaktır.



Şekil 2.40: Boyuna eğilme dayanıklılığı testi.

2.6.1.3. Yanal Eğilme Yorulma Testi

Toka tutucunun, " 0 pozisyonunda" eşit olarak ölçülen yanal düzlem boyunca ± 30 ° bir açı ile bükülme işlemi yapılmasıdır. Serbest halat uzunluğu 150 mm'den az olan tokalar için bükme açısı ± 15 ° 'ye kadar düşebilir. Çevrim 20.000 devirde ve frekansı 0,5 Hz olacaktır. Aşağıdaki Şekil 2.41'de test prosedürü şematik olarak gösterilmektedir [19].



Şekil 2.41: Yanal eğilme dayanıklılığı test parametreleri.

Her bir testte istenilen gereksinimler halat üzerinde herhangi deformasyon, kopma, tel atma olmamasıdır. Testlerden sonra teknik resim veya standartlarda belirtilen çekme testleri yapılır. Çektirme testlerinin gereksinimleri parça teknik resminde belirtilir. Deneysel çalışmada yorulma testlerinin yapılacağı referansın teknik resmi paylaşılacaktır [19].

2.6.2. TS33061870 Test Standartları

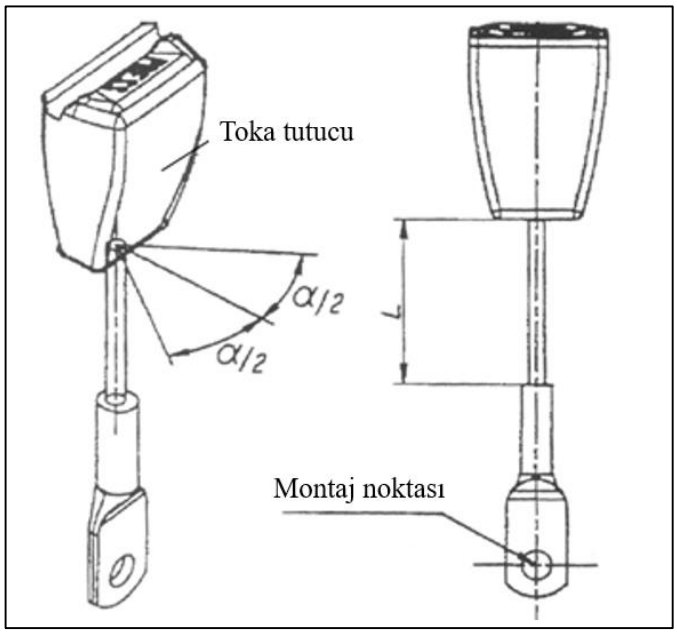
2.6.2.1. Alternatif Burulma Yorulma Testi

Emniyet kemerinin toka tutucu ile konektör sacı arasında kalan çıplak halatın uzunluğunun mm'si başına 1 ° burulma açısına neden olan Şekil 2.42'deki gibi bükme hareketi uygulanır. Çevrim 500 devirde ve frekansı 0,5 Hz olacaktır.

Örneğin:

- L = 100 mm açıkta kalan kablo uzunluğu,
- a = 1 ° / mm x 100 mm = 100 ° burulma açısı,
- a /2= ± 50 ° halat burulma işlemi testte yapılır.

Test Gereksinimi: Halatta kopma veya hasar olmaması gerekir. Teknik resmin önceliği vardır [20].



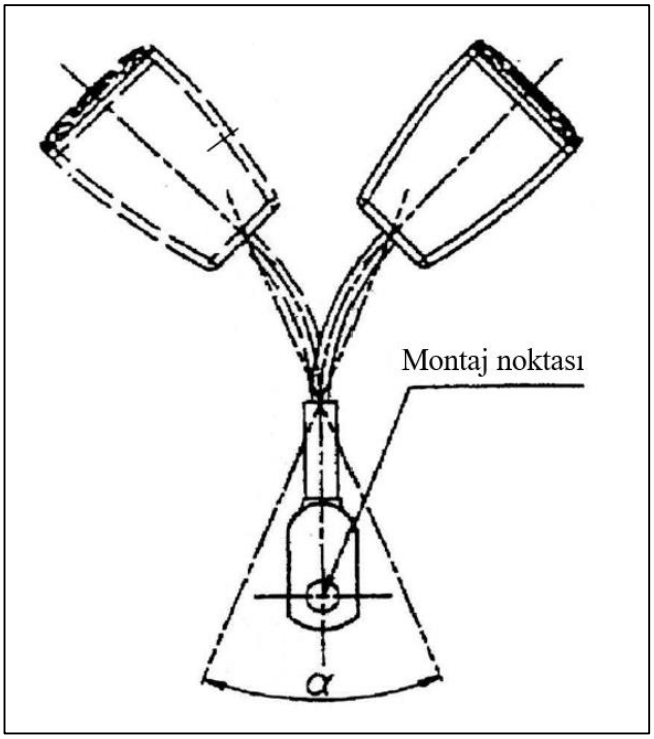
Şekil 2.42: Alternatif burulma gerilmeli test parametreleri.

2.6.2.2. Statik Eğilme Yorulma Testi

Bükme yönüne göre, çift yönlü halatlar çekme gereksinimine göre test edilir. Tek yönlü halatlar sadece bir bükülme yönünde test edilir. Toka tutucu ile konektör Şekil 2.43'deki gibi montajı ile toka tutucu üzerinden a= 45 ° 'lik bir eğilme hareketi veya teknik resim gereksiniminde verilen açı değeri ile bükme işlemi yapılır. İki bükme yorgunluğu testi vardır. İlki boyuna bükme testi, ikincisi enine bükme testidir. Testler arka arkaya yapılır. Bu testlerdeki parametreler:

- Parçanın boyu doğrultusundaki gerilme çevrimi sayısı n = 10000, frekansı 0,5 Hz'dir.
- Parçanın eni doğrultusundaki gerilme çevrimi sayısı n = 10000, frekansı 0,5 Hz'dir.

Test Gereksinimi: Halatta kopma veya hasar olmaması gerekir. Teknik resmin önceliği vardır [20].



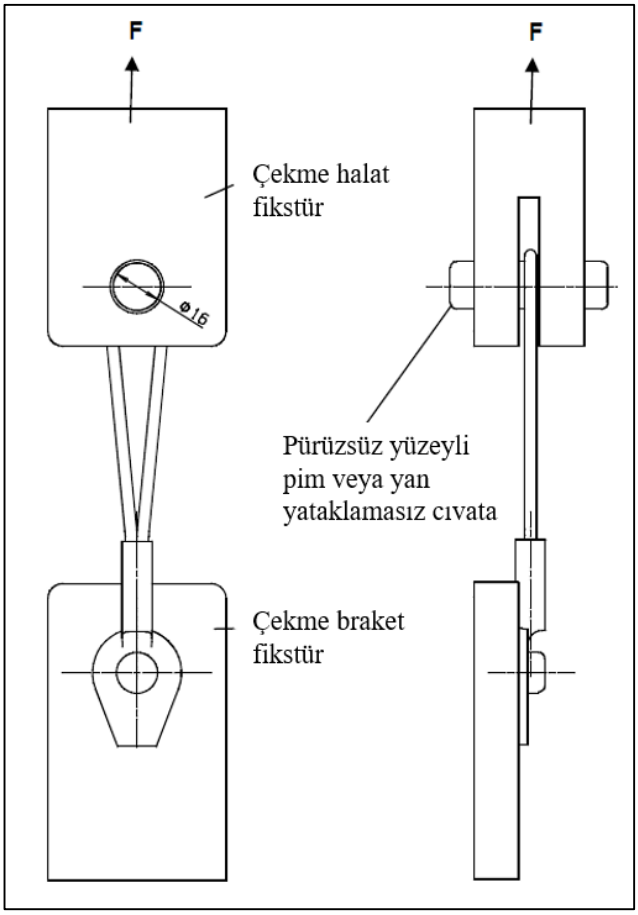
Şekil 2.43: Statik eğilme testi.

2.6.2.3. Statik Mukavemet Testi

Yorulma testlerinden sonra çektirme testi yapılır. Şekil 2.44'deki gibi kopma mukavemeti, doğrudan çekme kuvveti ile (dikey konumda) belirlenir. Makine çekme hızı 23 ± 5 ° C ortam sıcaklığında 100 mm / dk'dır. Cıvata sıkma değeri 35 ± 5 Nm'dir. Teknik resimde parametreler ve gereksinimler ekstra tanımlanmadıysa, aşağıdaki standartlara bakılır.

- M10: 34056437 B01
- 7/16: 34072137 A03
- M12: 34072136 D01

Test Gereksinimi: Çekme yönü ve minimum kopma mukavemeti teknik resimde belirtilir (Genellikle min. kopma mukavemeti 20 kN istenir) [20].
Test şartları ve parametreler için ekstra bilgi DIN ISO 16016 standartlarında yer verilmiştir.

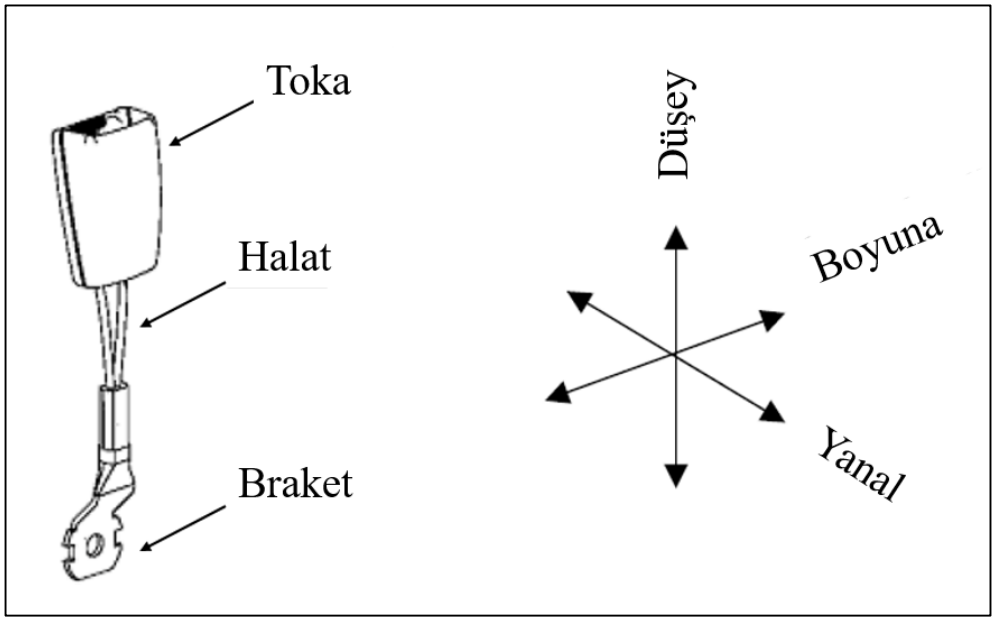


Şekil 2.44: Statik çektirme testi.

3. EĞİLME VE BURULMA YORULMASI TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI

Tez çalışma kapsamında emniyet kemeri konektör parçasının yorulma testlerinin yapılabilmesi için istenilen koşullara uygun test cihazının tasarlanması ve imalatının yapılması ihtiyacı doğmuştur. Gerekli literatür ve test şartnameleri araştırılmış, konektör halatının yorulma testlerinin yapılabilmesi amacı ile dünyada öncü emniyet kemeri üreticisi iki firmanın test koşulları ve yöntemleri yorulma testlerinde uygulanmasına ve bu koşulları sağlayacak test makinesinin üretilmesine karar kılınmıştır.

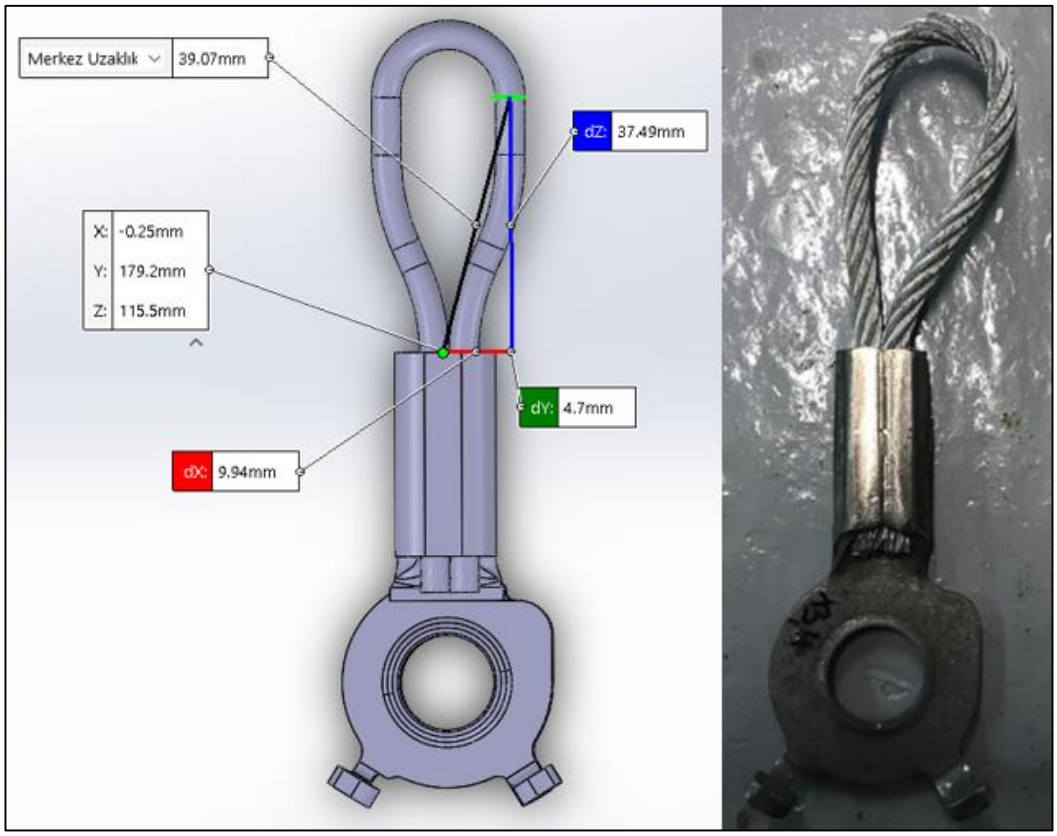
Emniyet kemeri konektör parçası çalışma koşullarında 3 farklı yorulma davranışına maruz kalmaktadır. Bu yorulma davranışları Şekil 3.1'deki gibi; konektörün bağlanış şekline göre halatın, dikey eksen etrafında burulma momentine, boyuna eğilme momentine ve yanal olarak eğilme momentine maruz kalmasıdır. Halatın yorulmasında etkili olan açı, frekans ve çevrim sayısı önemli yorulma parametrelerindendir. Bu parametrelerin yorulma davranışlarına göre halatın ömrüne etkisi karşılaştırmalı testlerle incelenebilmektedir.



Şekil 3.1: Konektör halatı yorulma davranışları.

3.1. Test Cihazı Motor Seçimi

Test şartlarının yerine getirebilmesi için uygun motor seçimi oldukça önemlidir. Eğilme ve bükülme test koşullarını sağlayacak motor seçimi için gereken parametreler; tork, açı, frekans ve çevrim sayısı değerleridir. Motor için gereken tork değerini bulabilmek için halatlara uygulanacak momentin fazla olduğu en kısa halat uzunluğuna sahip konektör referansının maksimum tork değerini bulmak gerekmektedir. Bu referans Şekil 3.2'de belirtilen halat mesnet noktasından halat tokasının montajının yapıldığı mesafenin (boşta halat uzunluğu) 37.49 mm olduğu konektördür.



Şekil 3.2: Boşta halat uzunluğu 37.49 mm olan konektör.

Şekil 3.3'de konektör halatını kalibrasyonlu bir dinamometre ile 90 ° eğebilmek için gereken ortalama kuvvet 52,5 N değerindedir. Denklem 3.1'de tork hesabı için teorik formül yer verilmiştir. "T" değeri tork (Nm), "F" değeri kuvvet (N) ve "d" değeri ise yarıçapı (m) vermektedir.

$$T = Fd \tag{3.1}$$

Kuvvet ve boşta halat uzunluğu değerini denklemde yerine konulduğunda zaman elde edilen teorik tork değeri 1.97 Nm'dir.

Şekil 3.3: Dinamometre ile halat bükme kuvvet değeri ölçümü.

Belirli açı ve hız değerleri ile tekrarlı yorulma deneyleri yapılırken en çok tercih edilen motor türleri arasında adım motorları vardır. Adım motorları (step motor), her bir elektrik darbesi ile motor milini bir adım döndüren mekanizmalardır. Adım motorları bir sürücü tarafından kontrol edilir. Bu sürücünün programlanması ile her bir elektrik darbesi ile kontrollü bir şekilde motor milini döndürür. Motorun dönüş darbelerinin sayısı (çevrim sayısı), sürücüye gelen darbelerin (sinyal) sayısına eşittir. Adım motoru, sürücüye gelen bu darbelerin frekansına eşit bir hız ile dönecektir. Adım motorlarının hızla tepki verebilme ve hızlanabilecek düşük rotor ataletlerine sahiptirler. Bu nedenle step motorlar kısa, hızlı hareketler için idealdir. Tablo 3.1'de tercih edilen adım motorunun teknik özellikleri belirtilmiştir. Frekansı 60 devir/dakika (1 Hz) dönme hızına sahiptir.

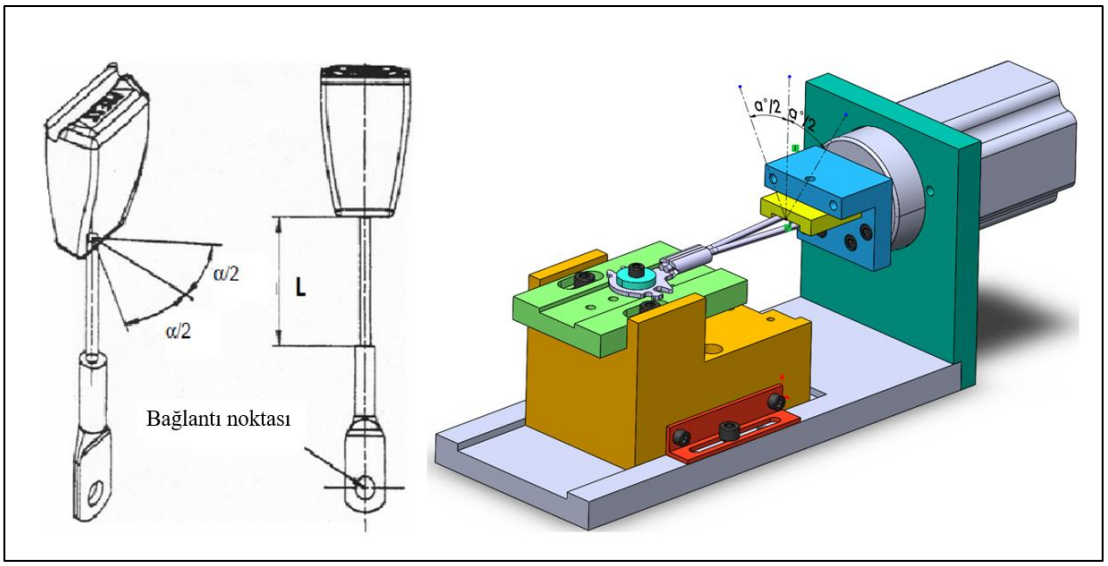
Tablo 3.1: Test cihazı adım motoru teknik özellikleri.

SOYO SY85STH118-6004A Adım Motoru	
Tutma Torku	8.5 Nm
Tel Sayısı	8
Adım/Tur	200
Adım Açısı	1.8°
Adım Açısı Hassasiyeti	± 5%
Flanş	85x85 mm
Uzunluk	188 mm
Ağırlık	3.8 kg
Akım/Faz	6 A
Direnç/Faz	0.9 ohm
İnduktans/Faz	6 mH
Çalışma Sıcaklığı	-20°C / +50°C
Maksimum Isınma	80°C
Maksimum Eksenel Kuvvet	60 N
Maksimum Radyal Kuvvet	200 N (20 mm flanş ile)

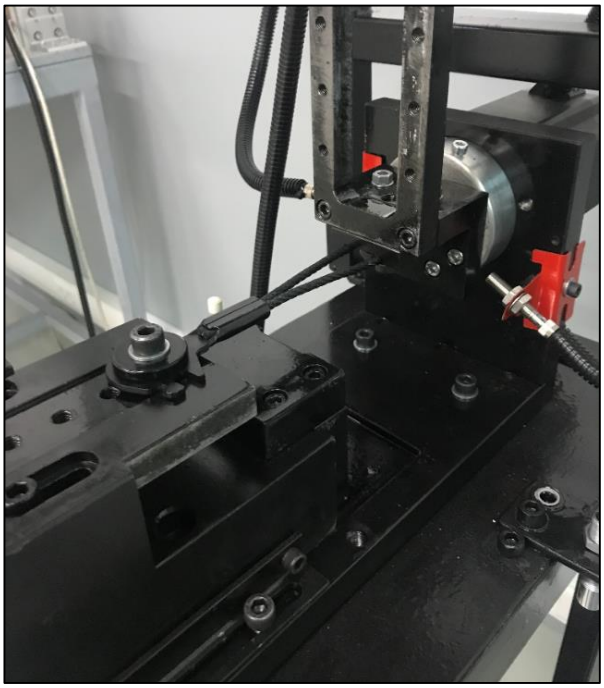
3.2.Test Aparatlarının Tasarımı

3.2.1. Burulma Yorulması Test Aparatı Tasarımı

Konektörün braket parçasının montaj deliğinden sabitlenerek, halatın dönüş kavisi merkezinden (toka tutucu ile birleştiği merkez) konektör boyuna ekseni etrafında halatın belirli açı, frekans ve çevrim sayısında yorma işlemidir. Şekil 3.4'te konektör yorulma test cihazının burulma yorulma deneyi aparatları belirtilmiştir. Burada konektör braketi pul ve M6 cıvata ile 16 mm kalınlığındaki test plakasına montajlanır. Burulma yorulma testi için yapılmış plakada, her konektör boyuna göre plakayı ayarlamak için M8 cıvataya göre düz yuva açılmıştır. Halat ise toka tutucu mekanizmasının halat yataklama parçasına benzer Ø16 mm çapında 4 mm derinliğindeki yuvayı çevreleyerek, aparata pul ve M6 cıvata ile montajlanır. Halat yataklama aparatı, motora sıkı geçme ile montajlanmış EN AW 7075 alüminyum alaşımından yapılmış flanşa M6 cıvata ile bağlanmıştır.



Şekil 3.4: Konektör burulma yorulması test aparatı (3D tasarım).

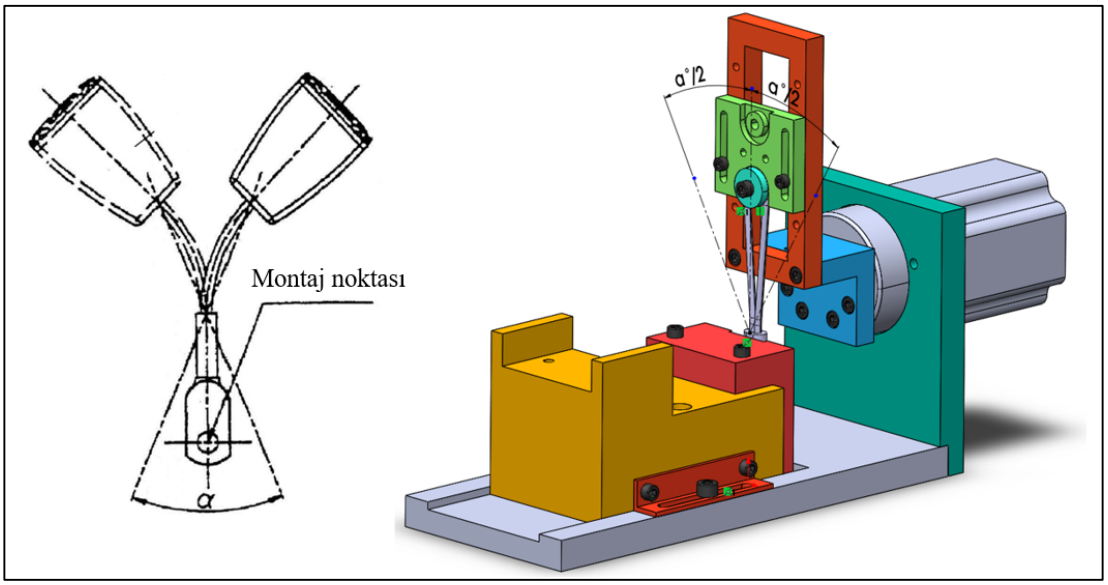


Şekil 3.5: Konektör burulma yorulması test aparatı.

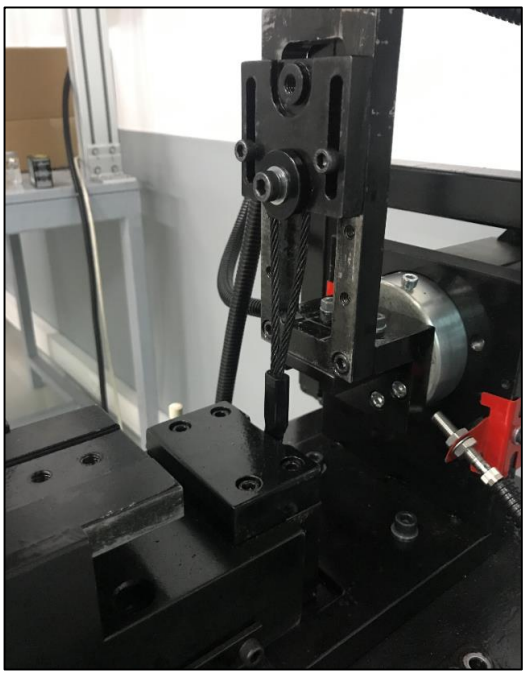
3.2.2. Boyuna Eğilme Yorulması Test Aparatı Tasarımı

Konektörün braket parçasının Şekil 3.6'deki gibi montaj deliğinden sabitlenerek, halatın dönüş kavisi merkezinden uygulanan moment ile belirli açı, frekans ve çevrim sayısında yorma işlemidir. Şekil 3.6'te konektör yorulma test cihazının boyuna eğme yorulma deneyi aparatları belirtilmiştir. Burada konektör braketi pul ve M6 cıvata ile 18 mm kalınlığındaki test plakasına montajlanır. Braketin montajlandığı boyuna eğme

test plakası, konektör plakası alt montaj aparatına M6 cıvata ile sabitlenmiştir. Halat ise üst boyuna eğme yorulma aparatının Ø16 mm çapında 4 mm derinliğindeki yuvayı çevreleyerek, pul ve M6 cıvata ile montajlanır. Bu test aparatı, her konektör boyuna uyumlu olarak tasarlanmıştır. Aparatın üzerine M5 cıvataya göre slot açılmış ve dikdörtgen yapısına sahip parçanın kızak içerisinde hareket edebilmesini kolaylaştıran test aparatı tasarlanmıştır. M5 cıvata ile konektör boyun ayarlandıktan sonra sabitleme işlemi yapılır. Halat grubu aparatları motora flanş yardımı ile bağlıdır.



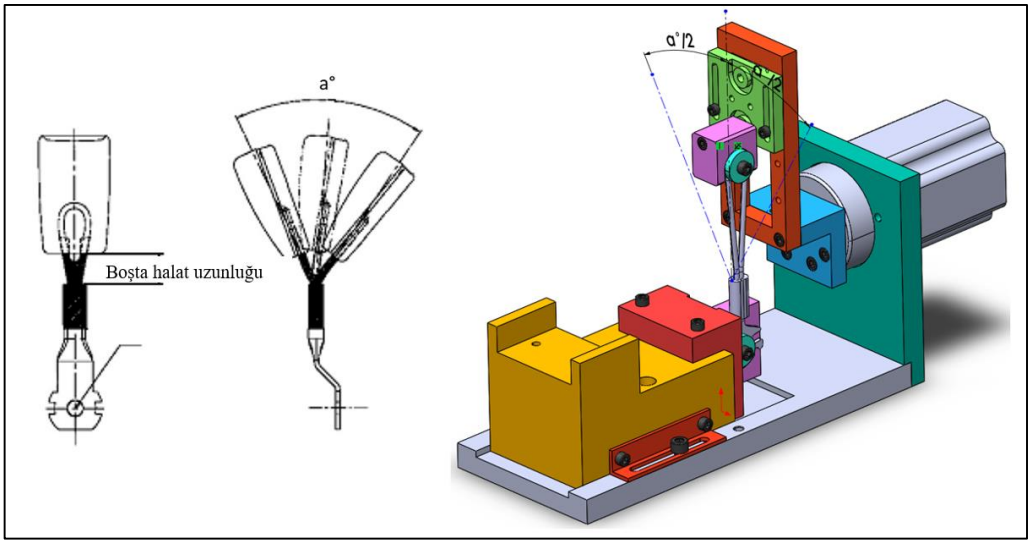
Şekil 3.6: Konektör boyuna eğilme yorulması test aparatı (3D tasarım).



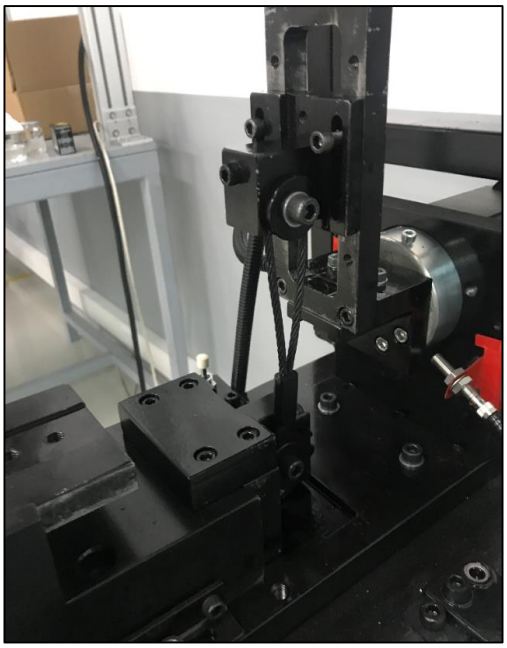
Şekil 3.7: Konektör boyuna eğilme yorulması test aparatı.

3.2.3. Yanal Eğilme Yorulması Test Aparatı Tasarımı

Yanal eğme yorulma testi boyuna yorulma testi ile benzerlik göstermektedir. Tek farkı konektör parçasının bağlanış şeklidir. Konektör braketi, Şekil 3.8'daki gibi motor eksenine göre yan bağlanmıştır. Bu montaj şekline göre halat ve braket için diğer aparatlara bağlanabilen ek olarak 2 adet aparat üretilmiştir. Diğer aparatlarda olduğu gibi halat ve braket M6 cıvata ve pul ile montajlanmaktadır. Halat boyuna eğme aparatı ayarlanabilir olduğundan bu aparatlarda her konektör grubuna göre ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.8: Konektör yanal eğilme yorulması test aparatı (3D tasarım).



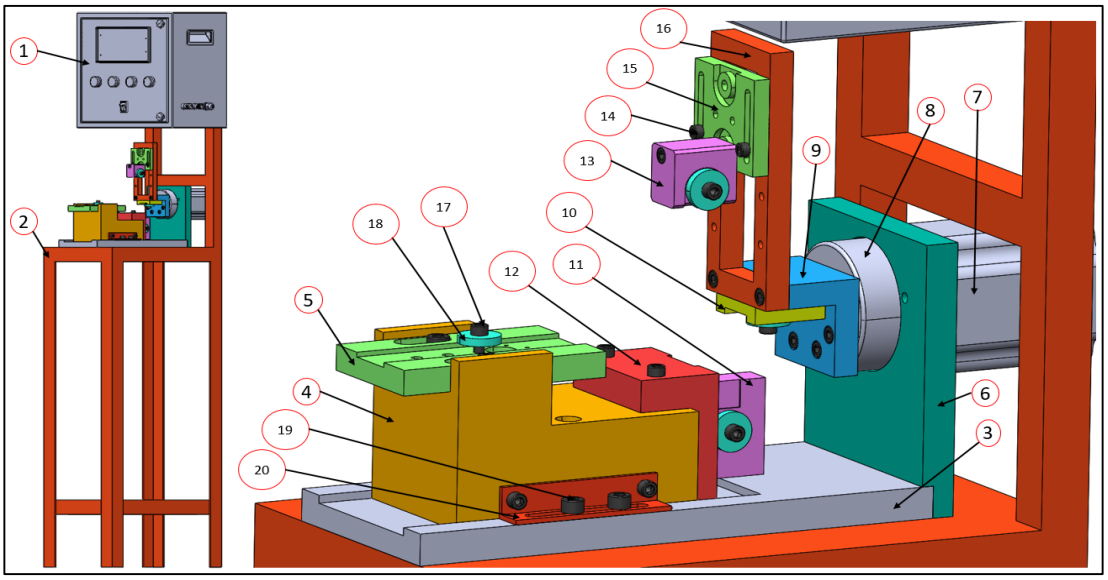
Şekil 3.9: Konektör yanal eğilme yorulması test aparatı.

3.2.4. Test Cihazı Detayı

İmal edilen test cihazının görseli Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Şekil 3.10: Eğilme bükülme yorulması test cihazı.

Şekil 3.11’de yorulma test makinesinin SOLİDWORKS tasarım programı ile tasarlanmış 3D detay resmi görülmektedir.



Şekil 3.11: Konektör eğilme burulma yorulması test cihazının detay 3D görseli.

Şekil 3.11’deki test cihazının 3D tasarımında belirtilen aparatların boyutları ve kullanılan malzemelerin cinsi Tablo 3.2’de verilmiştir.

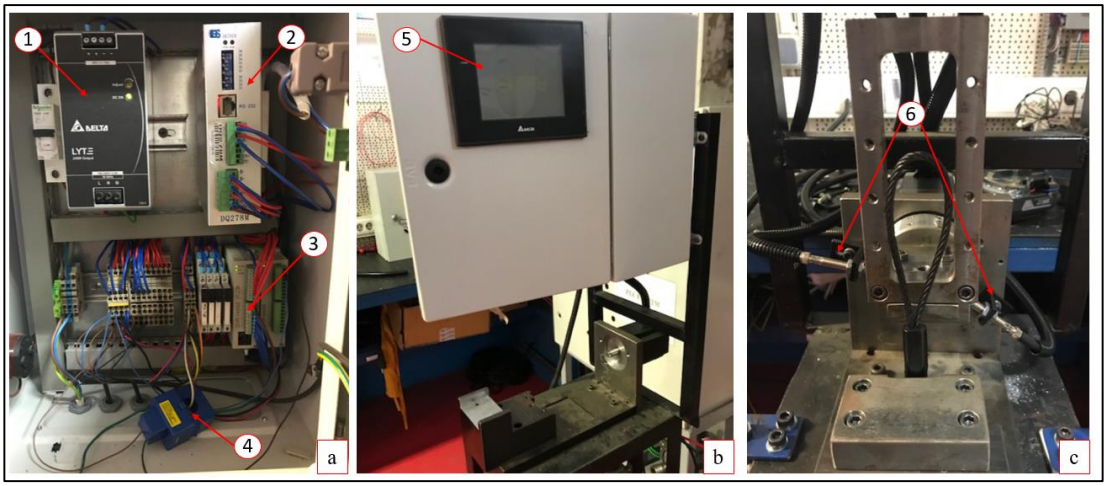
Tablo 3.2: Konektör eğilme burulma yorulması test cihazı özellikleri.

Parça No	Adet	Parça Tanımı	Malzeme/Özellik	Açıklama Parça Boyutu (x-y-z mm)
1	1	Panel plc	DKP	350x320x200
2	1	Test cihazı masası	40x40x5 Profil	Tabla boyu:886 mm Toplam boyu:1486 mm
3	1	Test cihazı alt plakası	DIN 1.2312	140x20x330
4	1	Braket plakaları alt bağlantı aparatı	DIN 1.2312	100x100x155
5	1	Burulma braket bağlantı plakası	DIN 1.1045	80x16x130
6	1	Motor bağlantı plakası	DIN 1.2312	140x170x20
7	1	Adım motor	8.5 Nm	85x85x120
8	1	Flanş	EN AW 7075	Ø80x30
9	1	L lama	DIN 1.1045 45x60x15	Uzunluk: 70 mm
10	1	Burulma halat bağlantı plakası	DIN 1.1045	46x11x45
11	1	Yanal eğilme braket bağlantı plakası	DIN 1.1045	18x60x50
12	1	Boyuna eğilme braket bağlantı plakası	DIN 1.1045	80x80x50
13	1	Yanal eğilme halat bağlantı plakası	DIN 1.1045	27x36x40
14	2	Cıvata	M5(hazır)	M5x25
15	1	Boyuna eğilme halat bağlantı plakası	DIN 1.1045	70x60x20
16	1	Dikdörtgen kızak	DIN 1.1045	70x160x15
17	28	Cıvata	M6(hazır)	M6x25
18	6	Pul	CK45	Ø25x5
19	8	Cıvata	M8(hazır)	M8x25
20	2	Köşebent	20x20x3 (hazır)	Uzunluk: 100 mm

3.3. Test Cihazı Otomasyon Sistemi

Otomasyon sistemi kısaca, daha önce insan emeği ile yapılan işlerin, bilgisayar sistemleri kontrolü ile mekanik cihazların kendi kendine çalışarak yapmasıdır. Eskiden beri otomasyon sistemleri konveyörler ile otomatik olarak malzemeler üretim hatlarına

taşınıp, üretimin bir kısmını insan emeği olmadan yapılmasına olanak sağlamaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile beraber, sensörler ve yazılımların yardımıyla makinelerin birbirleri ile haberleşmesi doğrultusunda otomasyon sistemleri faaliyet sürdürmektedir. Bu tür otomatik sistemlerde makinelerin yapacağı işler önceden programlanır. Makinenin yapması istenilen faaliyetleri, programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) olan endüstriyel bilgisayar sistemlerine programlanır. PLC, sensörlerden aldığı verileri, yazılan programa göre derleyip, işleten ve sonuçlarını makine elemanlarına aktaran mikro bilgisayar sistemleridir. Zamanla bu sistem geliştirilerek hareket denetimi (doğrusal ve dönen hareketler), proses denetimi (hız, nem, tork, basınç vb.) ve data yönetimi (veri toplama, analiz ve raporlama) gibi amaçlara hizmet vermektedir. Test cihazında kullanılan PLC panosu içerisindeki otomasyon sistemleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Test cihazı otomasyon sistemi. a) PLC panel içerisindeki sistemler, b) dokunmatik panel, c) sensörler.

Şekil 3.12'de numaralandırılan otomasyon sistemlerinin tanımları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3: Test cihazında kullanılan otomasyon sistemlerinin tanımı.

Parça No	Parça Tanımı	Model	Açıklama
1	Delta 24V güç kaynağı	Delta LYTE DRL-24V240W1A	Adım motoru ve PLC için güç kaynağıdır. Nominal çıkış gerilimi: 24V Nominal çıkış akımı: 10A Çıkış gücü: 240W
2	Adım motor sürücüsü	Baishan BS DQ278M	PLC'den aldığı komutları adım motora aktaran, motoru kontrol etmeyi sağlayan aygıttır.Ethernet ile bilgisayara bağlanabilir. Akım:7A Besleme:24-80 VDC Maksimum pulse frekansı: 200KHz
3	PLC	Delta DVP-14SS2	PLC-Link ile Modbus haberleşme konfigürasyonu ve CPU üzerinde 8 dijital giriş / 6 dijital çıkış vardır.
4	Akım trafosu	Wago 60AS2	Güç kabloları üzerinden geçen akımı ölçmeye yarayan aygıttır.Hassas akım ölçümlerine olanak tanır. Adım motorundan gelen güç kabloları üzerinden motora giden akımın okunmasına yardımcı olur. Pulse açısal hızı, frekans ve besleme akımı ile tork değeri bulunabilir.60A'e kadar akımı ölçebilir.
5	Delta dokunmatik panel	DOP-B05S101	PLC'ye yüklenen programı dokunmatik ekrandan kontrol etmeyi sağlayan dokunmatik ekrandır.
6	Endüktif yaklaşım sensörleri	SICK 70APS-ZCK	Ø18 mm çapında olup motorun maksimum çalışma mesafesini ve motorun çalışma açısını kalibre etmeye yarayan sensördür.

3.4. Test Cihazı Yazılımı

Test cihazında, PLC sistemine program yazmak ve Delta dokunmatik panele ara yüz oluşturmak için Delta PLC programlama yazılımı olan WPLSoft yazılım programı kullanılmıştır. Cihazda haberleşme protokolü olarak Modbus kullanılmaktadır. Modbus, endüstriyel alanda kullanılan cihazların birbirleri ile haberleşmesi ve uyumlu olarak çalışmaları için geliştirmiş protokoldür. Test makinesinde kullanılan Delta dokunmatik panel HMI (insan makine ara yüzü) ve PLC üzerinden motor sürücüsünün haberleşmesini sağlamaktadır.

Test cihazı yazılımında iki adet sayfa bulunmaktadır. Ana sayfa üzerinde test için kullanılan açı, frekans ve çevrim sayısı parametrelerin değerlerinin girişinin yapıldığı butonlar yer almaktadır. Yapılacak testin numunesini uygun bir şekilde makineye montajı uygun aparatlar ile yapıldıktan sonra istenilen negatif ve pozitif yöndeki açı değerlerinin giriş yapılır. Daha sonra yorulma testinde istenilen çevrim sayısı girişi yapılır. Test cihazının çalışma frekansını ayarlayabilmek için test öncesi makine boşta çalıştırılarak motor hızı ayarlanır. Her açı değerinde test frekansı değişken olacağından istenilen frekansa göre belirli bir zaman aralığında testin kaç çevrim yaptığı sayılır, sonrasında bu çevrim sayısının, geçen zaman aralığına oranı ile frekans elde edilir. Motor hızı istenilen frekans sayısına ulaşınca ara yüz üzerinden optimize edilir. Cihaz ayarları yapıldıktan sonra test başlatılır. Test cihazı yazılımın ikinci sayfasında motoru manuel olarak hareket ettirmek için butonlar ve tork değerlerini gösteren sayaçlar mevcuttur. Sayaçlardan biri her çevrimde pik yapan maksimum tork değerini, diğeri ise anlık tork değerini göstermektedir. Şekil 3.13'te test cihazının ara yüzünün detaylı resmi gösterilmektedir.

Şekil 3.13: Testi cihazı yazılımın ara yüzü. a) ana sayfa, b) manuel sayfası.

Tablo 3.4’te ise detay resminde gösterilen butonların ve değerlerin açıklamaları yer verilmiştir.

Tablo 3.4: Test cihazı yazılımın ara yüzü bileşenlerinin tanımı.

No	Yazılım Arayüz Tanımı	Açıklama
1	Minimum açı değeri	Motorun sola doğru (negatif) döneceği açı değeri girişi yapılır.
2	Maksimum açı değeri	Motorun sağa doğru (pozitif) döneceği açı değeri girişi yapılır.
3	Test hızı	Motorun hız değeri girişi yapılır.
4	Set değeri	İstenilen çevrim sayısı değeri girişi yapılır.
5	Açı reel değeri	Kadran üzerinde motorun anlık açı değerini gösterir.
6	Test adeti	Test sırasında gerçekleşen çevrim sayısını gösterir.
7	Başlat	Testi başlatma butonudur.
8	Durdur	Testi durdurma butonudur.
9	Reset	Test çevrim sayısını sıfırlama butonudur.
10	Diğer sayfa	Manuel sayfasına geçiş butonudur.
11	Jog sola	Motoru manuel olarak sola doğru hareket ettirme butonudur.
12	Home	Motoru 0° açıya getirme butonudur.
13	Jog sağa	Motoru manuel olarak sağa doğru hareket ettirme butonudur.
14	Okunan tork değeri	Her çevrimde pik yapan maksimum tork değerini gösterir.
15	Ana sayfa	Ana sayfaya geçiş butonudur.
16	Reel tork değeri	Motorun anlık tork değeri. Aparat var iken tutma tork değeri 1.7 Nm'dir.

Motorun okunan tork değerini kontrol etmek için kalibrasyonlu açı ölçer ve dinamometreye ihtiyaç duyulmuştur. Motor çalışır haldeyken dinamometre ile 30° açıya kadar çektiğimizde okunan kuvvet ortalama 36 N değerindedir. Denklem 3.1’de halat büküm merkezinin motor eksenine olan mesafesi (0,084 m) ile kuvvet değerini yerine koyduğumuzda alacağımız değer 3 Nm’dir. Şekil 3.14’de okunan tork değeri

içerisinden motorun tutma tork değerini çıkaracağımız zaman elde edeceğimiz değer 3 Nm'dir. Motorun ± 0,1Nm toleransı vardır.

Şekil 3.14: Motor tork değeri. a) dinamometre ile kuvvet ölçümü, b) ekrandaki tork değeri.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasının deney kısmında, üretim adeti en çok olan konektör referansının, halat ömrüne etki eden belirli yorulma davranışlarında açı, çevrim sayısı ve motor çalışma frekansının halatın yorulmasına etkisi incelenmiştir. Konektörün otomobilde çalışma esnasında tekrarlı eğilme hareketi nedeniyle üç tip yorulma davranışına maruz kalırlar. Bunlar; burulma, boyuna eğilme ve yanal eğilme hareketleridir. Bu tip yorulma davranışlarına literatür ve şartnamelerde belirli bir eksenden halatın eğilme ve burulması nedeniyle oluşan yorulma (Bending – Torsion Fatigue) denilmektedir. Konektör halatının sürüş esnasında tekrarlı bir şekilde bükülüp, eğilmesi aynı zamanda ani durmalarda kemerin gerilmesi ile çekme yüküne maruz kalması, halatın sonlu bir ömre sahip olmasına neden olmuştur. Konektör halatının yorulma – aşınma türlerinin, halat ömrüne ne oranda etki ettikleri incelemek için yorulma testlerinden sonra çektirme deneyleri yapılmıştır. Çektirme deneyleri otomotiv sektöründe halat yorgunluğunun çıktısı olarak tanımlanmaktadır. Tek tip konektör referansı kullanılarak değişken parametreler ile özel olarak tasarlanıp imalatı yapılmış eğilme yorulması deney cihazında yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Yorulma testlerinin öncesinde belirli sayıda konektörlere, yorulma testi sonrası karşılaştırma yapmak amacı ile çektirme testi yapılmıştır. Her bir deney kategorisindeki halat numuneleri için çektirme deneyleri sonucu maksimum dayanım yükü, uzama, standart sapma (σ), alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) değeri ve kopan demet sayısı tespit edilmiştir. Yorulma ve çektirme deneyleri sonrası incelenen konektör halatının elde edilen test sonuçları karşılaştırılmıştır. Konektör halatının ömrüne etki eden en önemli yorulma parametresi ve hasar türü, deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Konektör Numunesi

Deneylerde farklı yorulma davranışları ve parametreleri birbiri ile karşılaştırmak amacı ile tek tip konektör numunesi kullanılmıştır. Bu konektör referansının, braket parçasının hammaddesinin mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 2.1'de, halatının özellikleri ise Tablo 2.15'de ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Şekil 4.1'de deneylerde kullanılan konektör referansının görseli yer verilmiştir. Deney numuneleri seri üretimden rastgele olarak alınmıştır. Alınan numunelerin o anki vardiyadaki (2556

parça) üretim proses parametreleri; halat – braket presleme kuvveti ortalama 1300 daN, üretim sıcaklığı da ortalama 42°C'dir.

Şekil 4.1: Deneylerde kullanılan konektörün görseli.

Tablo 4.1'de deneysel çalışmalarda kullanılan konektör referansının bazı özellikleri verilmiştir.

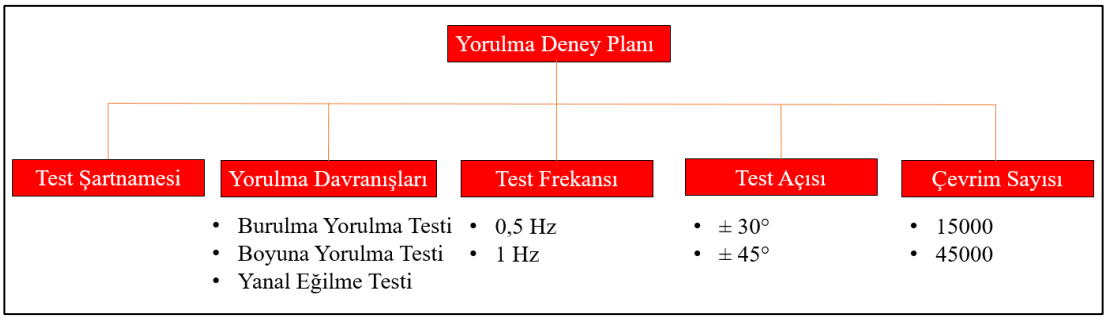
Tablo 4.1: Deneylerde kullanılan konektörün özellikleri.

Konektör Özellikleri	
Halat nominal çapı (mm) :	Ø4,3
Halat konstrüksiyonu :	7x19
Halat kaplaması :	Galvaniz
Halat demet çeşidi:	WSC
Halat kesit alanı (mm²) :	14,51
Montaj sonrası boştaki halat uzunluğu (mm) :	93,8
Braket sacı hammadde cinsi :	S550MC

4.2. Yorulma Deneyleri Test Parametreleri

Yorulma deney planı oluşturulurken üç tip yorulma davranışı ve buna etkileyen parametrelerin kombinasyonu dikkate alınmıştır. İlk olarak test şartnamesindeki her bir yorulma davranışına göre açı, çevrim sayısı ve test çalışma frekansı test şartlarına uygun bir şekilde yorulma testleri yapılıp ayrı ayrı çekme deneyleri yapılmıştır. Daha sonra yorulma davranışlarının halat ömrüne etkisini incelemek için tüm parametreleri

aynı tutup, yorulma deneylerini yaptıktan sonra çekme testleri yapılmıştır. Sonrasında parametrelerin halat ömrüne etkisini incelemek için, her bir parametre arttırılıp diğer parametreler sabit tutularak yorulma testleri sonrasında çektirme deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.2'deki şemada açı değeri ± 30° ile ± 45°, çevrim sayısı 15000 ile 45000, test frekansı ise 0,5 Hz ile 1 Hz olarak seçilmiştir. Çevrim sayısının 45000 tekrara arttırılması sebebi ise, araç ömrünün 15 yıl olduğu durumlarda, teorik olarak bu çevrim sayısına denk gelmesidir.



Şekil 4.2: Yorulma deney planı şeması.

Tablo 4.2'de tüm parametrelerin etkisini incelemek amacı ile faktör-seviye tablosu oluşturulmuştur ve deney sonuçları Taguchi metodu ile analiz edilmiştir.

Tablo 4.2: Tüm parametrelerin halat ömrüne etkisi - faktör ve seviye tablosu.

Tüm Faktörlerin Halat Ömrüne Etkisi			
Faktörler	**Seviye 1**	**Seviye 2**	**Seviye 3**
Test Açısı (°)	±30	±45	-
Çevrim Sayısı	15000	45000	-
Test Frekansı (Hz)	0,5	1	-
Yorulma Davranışları	Burulma Yorulma	Boyuna Eğilme Yorulma	Yanal Eğilme Yorulma

Her bir yorulma davranışının kendi içerisinde test açısı, çevrim sayısı ve test frekansının etkisini incelemek için analizler yapılmıştır. Tablo 4.3'de parametrelerin burulma yorulmasına etkisini incelemek amacı ile faktör - seviye tablosu oluşturulmuştur ve deney sonuçları Taguchi metodu ile analiz edilmiştir.

Tablo 4.3: Burulma yorulması testi faktör ve seviyeleri.

Test Açısı, Çevrim Sayısı ve Frekansının Burulma Yorulmasına Etkisi		
Faktörler	**Seviye 1**	**Seviye 2**
Test Açısı (°)	±30	±45
Çevrim Sayısı	15000	45000
Test Frekansı (Hz)	0,5	1

Tablo 4.4'de parametrelerin boyuna eğilme yorulmasına etkisini incelemek amacı ile faktör - seviye tablosu oluşturulmuştur ve deney sonuçları Taguchi metodu ile analiz edilmiştir.

Tablo 4.4: Boyuna eğilme yorulması testi faktör ve seviyeleri.

Test Açısı, Çevrim Sayısı ve Frekansının Boyuna Eğilme Yorulmasına Etkisi		
Faktörler	**Seviye 1**	**Seviye 2**
Test Açısı (°)	±30	±45
Çevrim Sayısı	15000	45000
Test Frekansı (Hz)	0,5	1

Tablo 4.5'de parametrelerin yanal eğilme yorulmasına etkisini incelemek amacı ile faktör - seviye tablosu oluşturulmuştur ve deney sonuçları Taguchi metodu ile analiz edilmiştir.

Tablo 4.5: Yanal eğilme yorulması testi faktör ve seviyeleri.

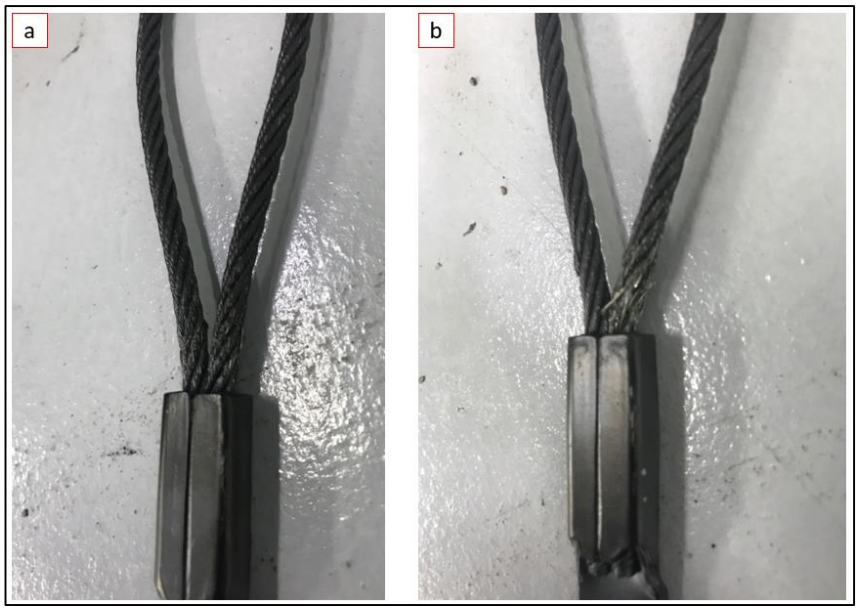
Test Açısı, Çevrim Sayısı ve Frekansının Yanal Eğilme Yorulmasına Etkisi		
Faktörler	**Seviye 1**	**Seviye 2**
Test Açısı (°)	±30	±45
Çevrim Sayısı	15000	45000
Test Frekansı (Hz)	0,5	1

Her bir deney grubu için 6 adet numune kullanılmıştır. Tablo 4.6'de yorulma deney planının çizelgesi gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Konektör yorulma test planı çizelgesi.

Yorulma Testleri	**Test Şartname Parametrelerine Göre Yorulma Testi**			**Yorulma Davranışlarının Halat Ömrüne Etkisi**			**Test Frekansının Halat Ömrüne Etkisi**		
	Açı	**Çevrim Sayısı**	**Test Frekans**	**Açı**	**Çevrim Sayısı**	**Test Frekans**	**Açı**	**Çevrim Sayısı**	**Test Frekans**
Burulma Testi	± 40°	1000	0,5 Hz	± 30°	15000	0,5 Hz	± 30°	15000	1 Hz
	6 Adet Numune			6 Adet Numune			6 Adet Numune		
Boyuna Eğilme Testi	± 15°	20000	0,5 Hz	± 30°	15000	0,5 Hz	± 30°	15000	1 Hz
	6 Adet Numune			6 Adet Numune			6 Adet Numune		
Yanal Eğilme Testi	± 15°	20000	0,5 Hz	± 30°	15000	0,5 Hz	± 30°	15000	1 Hz
	6 Adet Numune			6 Adet Numune			6 Adet Numune		
Yorulma Testleri	**Eğilme-Burulma Açısının Halat Ömrüne Etkisi**			**Çevrim Sayısının Halat Ömrüne Etkisi**					
	Açı	**Çevrim Sayısı**	**Test Frekans**	**Açı**	**Çevrim Sayısı**	**Test Frekans**			
Burulma Testi	± 45°	15000	0,5 Hz	± 30°	45000	0,5 Hz			
	6 Adet Numune			6 Adet Numune					
Boyuna Eğilme Testi	± 45°	15000	0,5 Hz	± 30°	45000	0,5 Hz			
	6 Adet Numune			6 Adet Numune					
Yanal Eğilme Testi	± 45°	15000	0,5 Hz	± 30°	45000	0,5 Hz			
	6 Adet Numune			6 Adet Numune					

Yorulma testleri Tablo 4.6'deki test planına göre yapıldıktan sonra her bir test grubunda halatın braket kısmında aşınma gözlemlenmiştir. Şekil 4.3'de soldaki görselde genel olarak yorulma testinden sonra konektör halatının durumu gösterilmiştir. Şekil 4.2'de sağdaki görselde ise ± 45° açı, 15000 çevrim sayısı ve 0,5 Hz parametrelerinde yanal eğilme testi sonra halattaki deformasyon gösterilmiştir. Halat demetlerinde dış tellerde kopma başlamıştır.



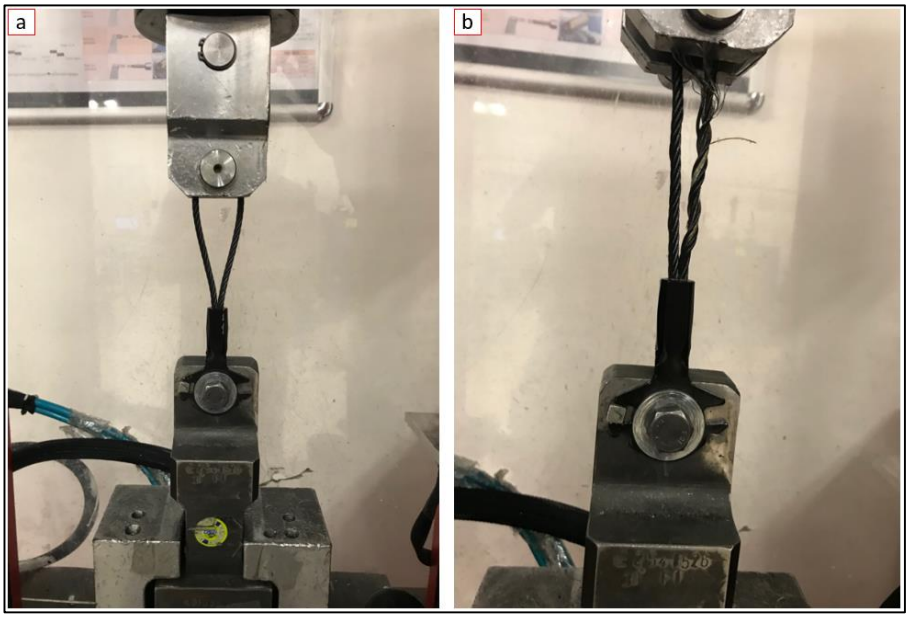
Şekil 4.3: Yorulma deneyi sonrası konektör halatları. a) genel görseli, b) ± 45° açıda yanal eğilme testi sonrası.

4.3. Çekme Testleri

Yorulma testleri yapılmış test numunelerinin, çekme kuvvetlerindeki değişkenliklerini incelemek için çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir test grubu için 6 adet olacak şekilde 96 adet konektör numunesinin çekme deneyleri Şekil 4.3'de görülen ATLAS LH-UNI-100 KN evrensel çekme cihazında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.4: Çekme test cihazı. a) test cihazı görseli, b) kalibrasyon sertifikası.

Numuneler çekme cihazına özel aparatları ile bağlanıp, halat büküm noktasından 13 mm'lik pim geçirilerek Şekil 4.4'deki gibi ayarlanıp konektör çekme mukavemeti test şartnamesinde belirtildiği gibi kaza anında halata uygulanacak gerilmeyi simule etmesi için 100 mm/dk hız ile çekilmiştir. Çekme deneyi sonrası kopan numune görselleri deney sonuçları kısmında gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Çekme deneyi. a) deney hazırlanışı, b) deney sonrası kopan konektör halatı.

Çekme deneyleri sonrası konektör parçasında gerçekleşen Tablo 4.3'de belirtildiği gibi 10 tip hata modları vardır. Bu hata modları içerisinde halatın, konektör braketi içerisinden sıyrılması, üretimden ve kaplama prosesinden kaynaklanan hata modu olduğu için deney yorumlama kısmında analizimize dâhil edilmemiştir.

Tablo 4.7: Konektör çekme testi hata modları.

No	Mukavemet Testi Hata Modları
1	Braketin toka kısmından kırılması
2	Braketin ayak kısmından kırılması
3	Tel halat kopması
4	Cıvata kırılması
5	Pim kırılması
6	Halatın braket parçasından sıyrılması
7	Testin durması
8	Alüminyum profilin içerisinde tel halatın kopması
9	Halatın braket dibinden eğilmiş tarafından kopması
10	Halatın büküm kısmından kopması

4.4. Deney Sonuçları

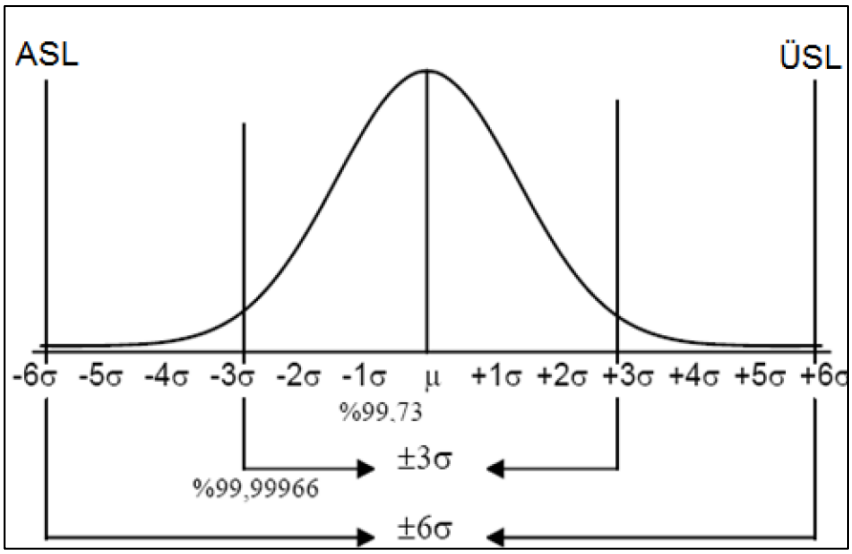
Yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen maksimum yük, halatın koptuğu kuvvet değeridir. 100 mm/dk hız ile halata uygulanan çekme yükü, %90 seviyesine gerilediği zaman test, cihaz tarafından sonlandırılmaktadır. Çekme hızı, ISO 527 standartlarında olmayıp, müşteri şartnamelerine göre ayarlandığı için akma noktası, çektirme cihazının kuvvet-uzama grafiğinde gözlemlenememiştir.

Çekme testi yapılan her deney grubundan 6'şar adet numuneler ile elde edilen maksimum yükler ve uzamaların yanında ortalama maksimum yük ($\bar{x}$), standart sapma (σ) ve alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) değerleri hesaplanmıştır. Deney grubu içerisinde her bir deney sonucunun ortalamaya göre mesafesini, bir diğer deyişle dağılımın ne yaygınlıkta olduğunu bizlere gösteren ölçüte standart sapma (σ) denir. Şekil 4.5'de bir istatistik proses kontrol yöntemi olan altı sigma yönteminin normal dağılım eğrisi (Gauss dağılım eğrisi) gösterilmiştir. Ortalama değerden üç standart sapma aralığındaki noktalar için eğrinin altındaki kalan alan tüm alanın %99.73sini kapsamaktadır [25]. Emniyet kemeri üreticileri konektör parçasının alt spesifikasyon limitini ($\bar{x}$-3σ) minimum 20 kN çekme kuvveti istemektedir. Proses yeterliliğinde alt limit sınırı kritik sınır olarak değerlendirildiği için, bu dağılımı kontrol altına alınmak istenmektedir. Ortalama ($\bar{x}$), standart sapma (σ) ve alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) değerleri Denklem takımı 4.1 kullanılarak hesaplanabilir [25].

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right)} \tag{4.1}$$

$$Alt\ Spesifikasyon\ Limiti\ (ASL) = \bar{x} - 3\sigma$$



Şekil 4.6: Gauss dağılımı.

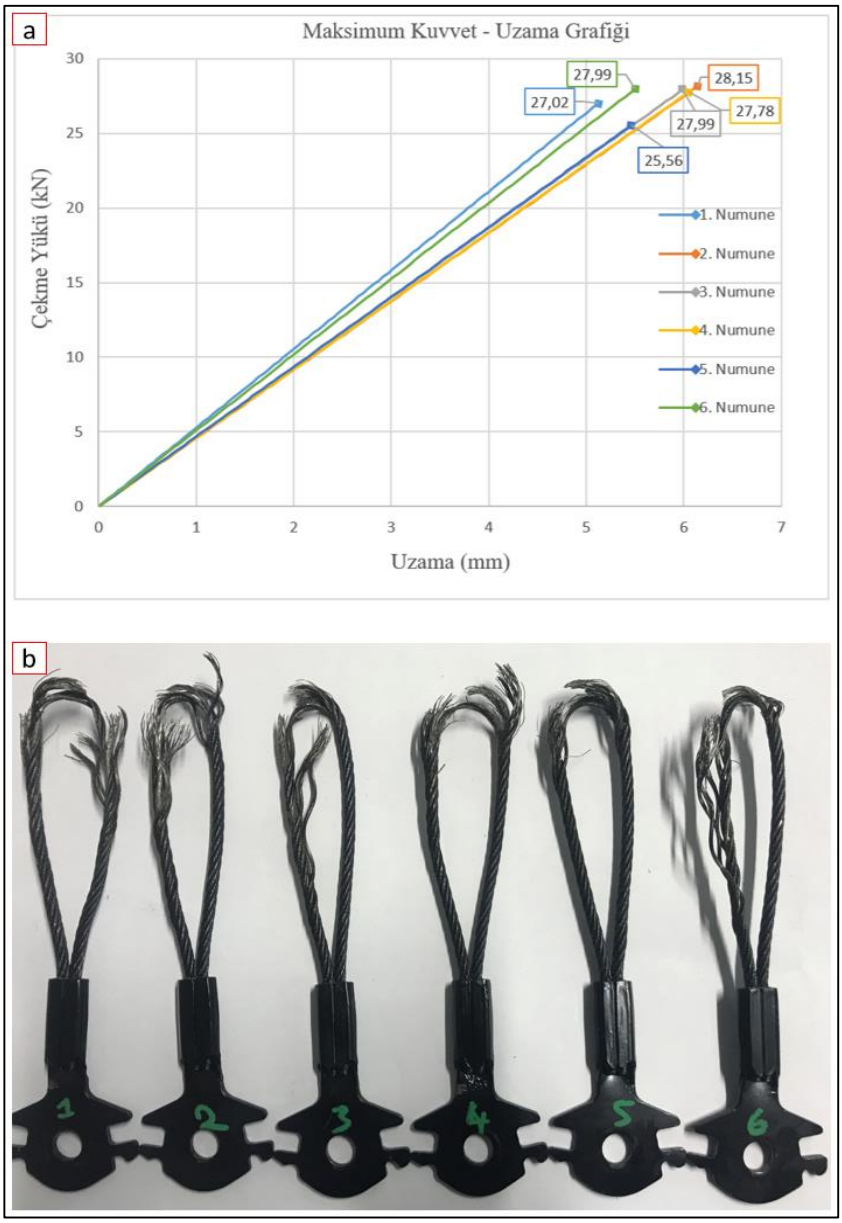
4.4.1. Yorulma Testi Yapılmamış Numunelerin Çekme Testi

Toplamda 6 adet yorulma testi yapılmamış konektör numunesine çekme testi uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 4.4'de görülmektedir. Yapılan çekme testi sonucunda ortalama maksimum yük (kopma yükü) 27415 N, standart sapması 993.2 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 24435.5 N gözükmektedir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,4,5,5,6,4 adettir.

Tablo 4.8: Yorulma testi yapılmamış numunelerin çekme testi sonuçları.

Deney Parametre Etkisi	Yorulma Davranışı	No	Uzama (mm) Δl	Kopma Yükü (N)	$\bar{x}$ Ortalama Maksimum Yük (N)	σ Stardart Sapma (N)	$\bar{x}$-3σ (N)	Kopan Demet Sayısı	Çekme Testi Hata Modu
Yorulma Testi Yapılmamış Numune		1	5,12	27020	27415	993,2	24435	4	10
		2	6,14	28150				4	10
		3	5,98	27990				5	10
		4	6,05	27780				5	10
		5	5,46	25560				6	10
		6	5,5	27990				4	10

Şekil 4.6'da görseldeki grafikte her bir deney numunesinin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 25560 N ile 28150 N arasında değişmektedir. Ortalamadan 993,2 N sapma değeri vardır. Şekil 4.6'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Konektörlerin hepsi büküm bölgesinden kopmuştur. Müşteri şartnamesine göre alt spesifikasyon limiti ve çektirme hata modu uygundur.



Şekil 4.7: Yorulma testi yapılmamış numunelerin çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.6'daki ve diğer çekme testlerindeki grafiklerde olduğu gibi kutucuk içerisinde belirtilen kuvvet değerleri halatın koptuğu ya da sıyrıldığı maksimum

değeri belirtmektedir. Grafiklerdeki sürekli artışın nedeni konektör halatlarının kaza anıda maruz kalacağı gerilme hızına göre (100 mm/dk) çekme deneyinin yapılmasıdır. Çentik darbe gibi yapılan çekme deneyinde kuvvet-uzama grafiği genellikle kopana kadar artış göstermektedir.

4.4.2. Test Şartname Parametrelerine Göre Çekme Testi

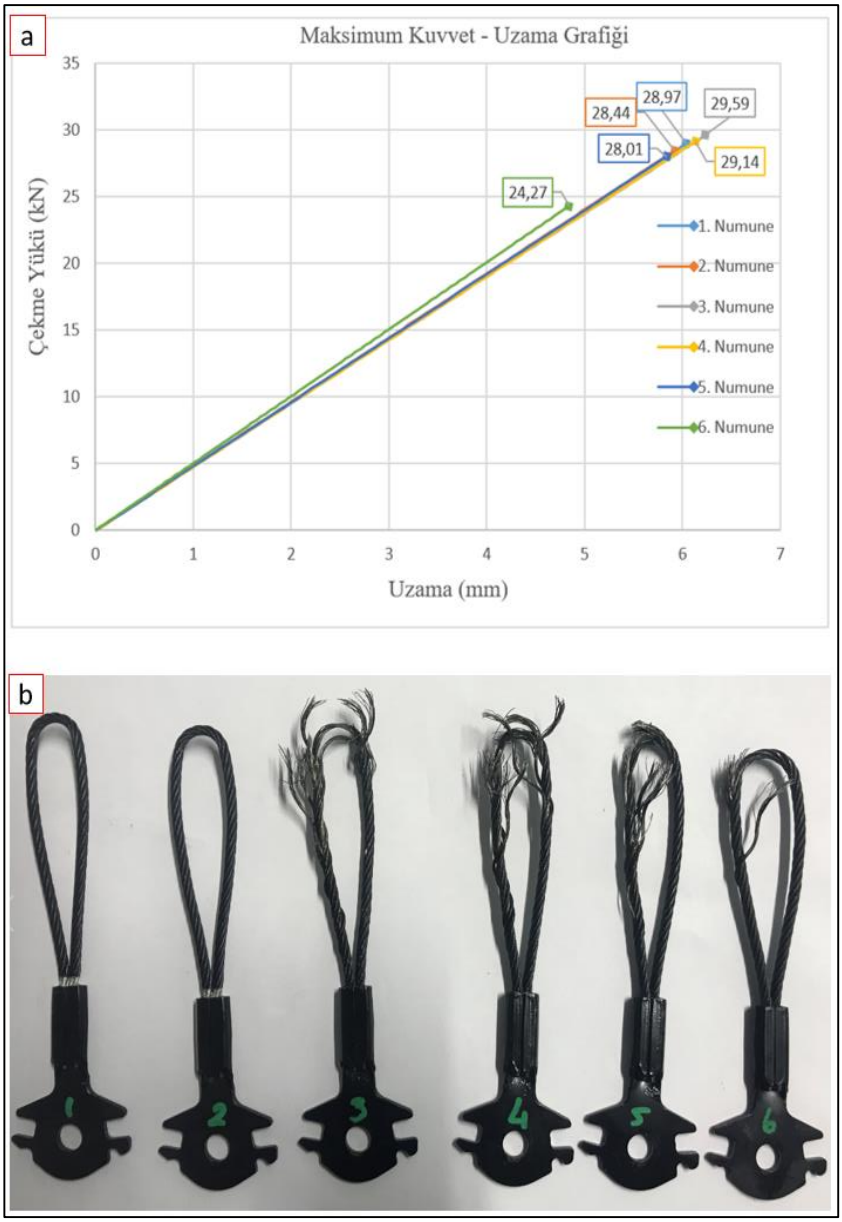
Emniyet kemeri üretici firmanın şartnamesine göre üç farklı yorulma testi sonrası çekme testi yapılmaktadır. Ürün teknik resminde belirtilen burulma yorulma testinde açı değeri ± 40 °, çevrim sayısını 1000, test çalışma frekansı ise 0.5 Hz'dir. Boyuna ve yanal yorulma testinde açı değeri ± 15 °, çevrim sayısını 20000, test çalışma frekansı ise 0.5 Hz'dir. Her bir deney grubundan yorulma testi sonrası 6'şar adet konektörün çekme deneyi sonucu Tablo 4.5'da gösterilmiştir.

Burulma testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 28070 N, standart sapması 1941.4 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 22245.7 N gözükmektedir. Boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 26161.7 N, standart sapması 2104.8 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 19847.4 N gözükmektedir. Yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 25571.7 N, standart sapması 3414.1 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 15329.3 N gözükmektedir. Üç yorulma testinde yanal eğilme testi, ortalama maksimum yük ve alt spesifikasyon limiti değerlerine göre konektör halatını en çok yoran test olarak gözükmektedir.

Tablo 4.9: Şartnameye göre göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.

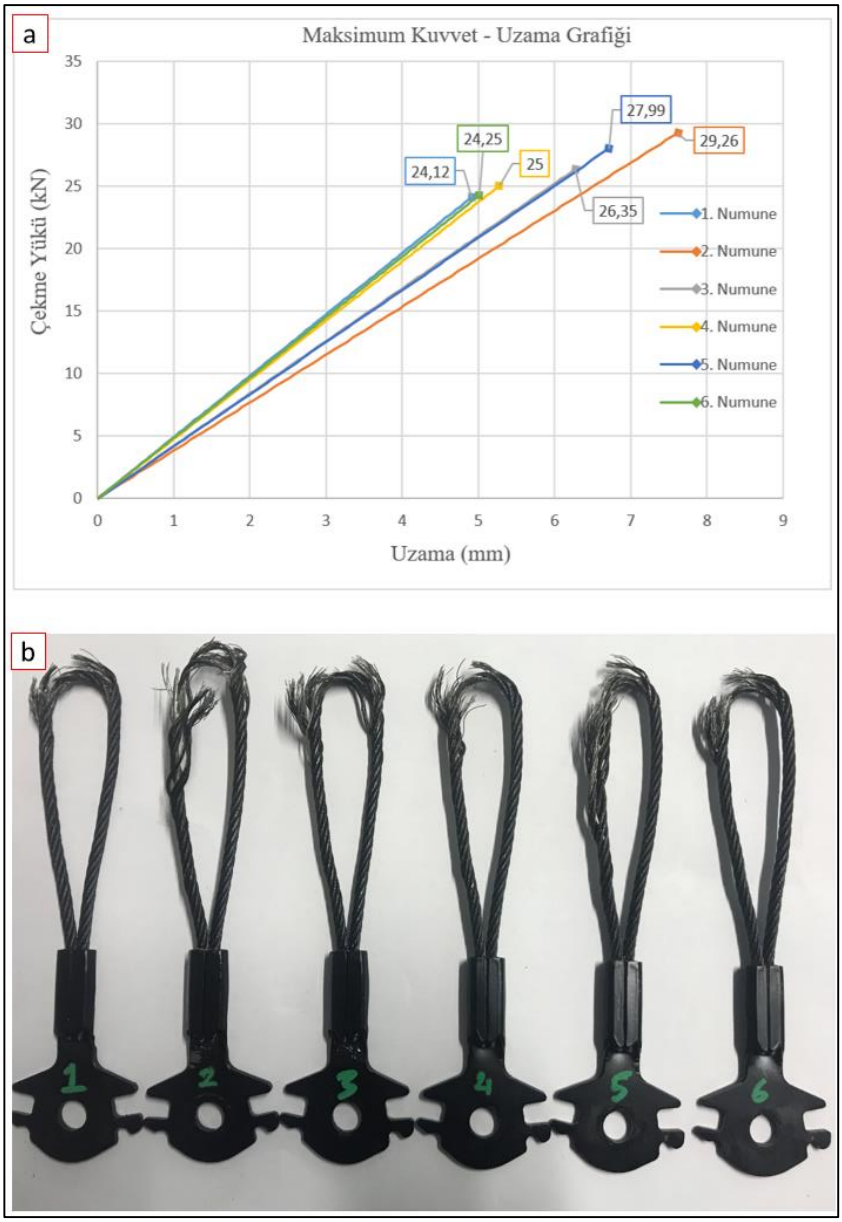
Deney Parametre Etkisi	Yorulma Davranışı	No	Uzama (mm) Δl	Kopma Yükü (N)	$\bar{x}$ Ortalama Maksimum Yük (N)	σ Stardart Sapma (N)	$\bar{x}$-3σ (N)	Kopan Demet Sayısı	Çekme Testi Hata Modu
Test Şartname Parametrelerine Göre Yorulma Testi	Burulma Testi	1	6,04	28970	28070	1941,4	22245	0	6
		2	5,92	28440				0	6
		3	6,23	29590				5	10
		4	6,13	29140				5	10
		5	5,84	28010				4	10
		6	4,84	24270				3	10
	Boyuna Eğilme Testi	1	4,91	24120	26161,7	2104,8	19847	4	10
		2	7,62	29260				5	10
		3	6,27	26350				4	10
		4	5,27	25000				4	10
		5	6,71	27990				5	10
		6	5,01	24250				4	10
	Yanal Eğilme Testi	1	5,58	25260	25571,7	3414,1	15329	5	10
		2	6,05	27500				4	10
		3	4,13	19420				2	10
		4	5,56	25950				5	10
		5	7,04	29630				4	10
		6	5,45	25670				3	10

Şekil 4.7'de görseldeki grafikte burulma testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 24270 N ile 29590 N arasında değişmektedir. Şekil 4.7'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 0,0,5,5,4,3 adettir. 0 adet olan kopan demet sayısı, çektirme hata modunda gösterildiği gibi halatın braket parçasından sıyrıldığı anlamı taşımaktadır. Diğer numuneler ise büküm bölgesinden kopmuştur. Sıyırma hata modu üretim ve kaplama prosesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Müşteri şartnamesine göre alt spesifikasyon limiti uygundur.



Şekil 4.8: Şartnameye göre göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

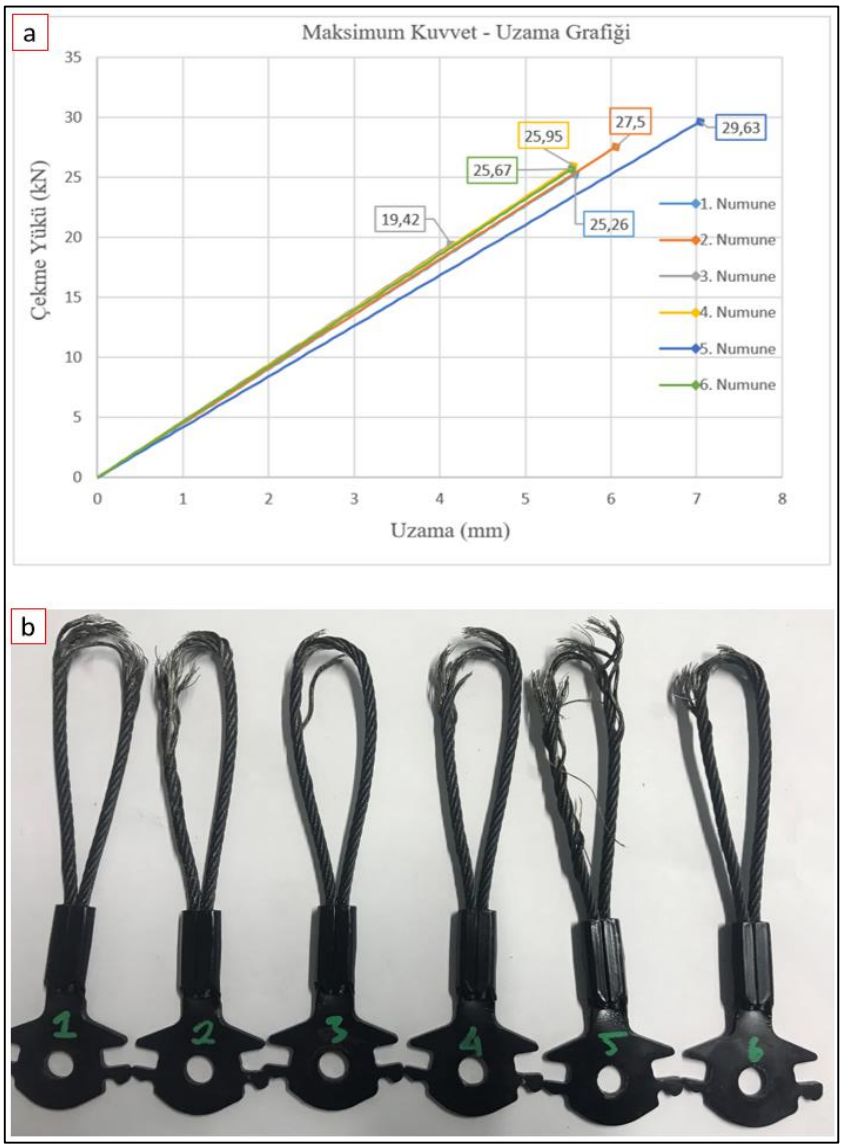
Şekil 4.8'de görseldeki grafikte boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama eğrisi verilmiştir. Maksimum yük 24120 N ile 29260 N arasında değişmektedir. Şekil 4.8'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,5,4,4,5,4 adettir. Konektörlerin hepsi büküm bölgesinden kopmuştur. Burulma testine kıyasla test değerlerinin standart sapması fazladır. Kopma kuvveti dağınık bir dağılım sergilenmektedir. Üretim prosesinde bu durum istenilen bir durum olmamakla beraber kontrol altına alınması gereken bir durumdur.



Şekil 4.9: Şartnameye göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.9'de görseldeki grafikte yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama eğrisi verilmiştir. Maksimum yük 19420 N ile 29630 N arasında değişmektedir. Şekil 4.9'daki numune görselinde deney sonucu numunelerin son hali gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 5,4,2,5,4,3 adettir. Konektörlerin hepsi büküm bölgesinden kopmuştur. Test sonucunda çekme yükü fazla olan numunelerde kopan demet sayısının aynı oranda arttığı gözlemlenmiştir. Diğer iki yorulma testine kıyasla test değerlerinin standart sapması fazladır. 5 numaralı numunenin diğer numunelere göre iyi bir performans sergilemesi, 3 numaralı numunenin beklenilen değerden düşük kopma kuvvetine sahip olması

standart sapmanın artmasına sebep olmuştur. Bunun sonucunda alt spesifikasyon limiti 20 kN kuvvet değerinin altından istenilmeyen bir duruma neden olmuştur.



Şekil 4.10: Şartnameye göre göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

4.4.3. Test frekansı Şartname Parametrelerine Göre Çekme Testi

Her bir yorulma testinde çalışma frekansı parametresinin çekme kuvvetine etkisini gözlemlemek için açı değeri ± 30°, çevrim sayısı 15000 ve frekans 1 Hz olarak parametreler test cihazına ayarlanmıştır. Burada diğer test gruplarında olduğu gibi araştırılmak istenen parametre değiştirilerek etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Tüm deney gruplarında yorulma testi sonrası 6'şar adet konektörün çekme deneyi sonucu

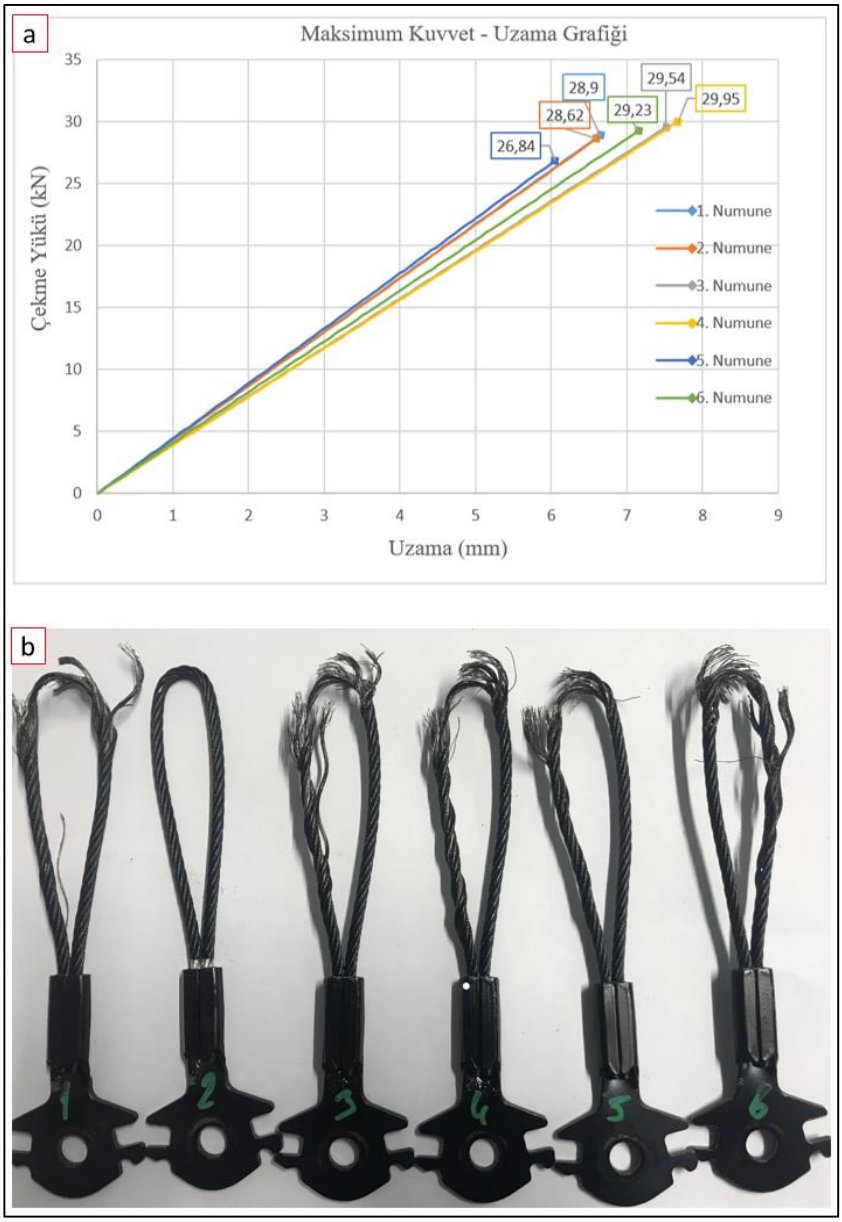
Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Burulma testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 28846.7 N, standart sapması 1088.7 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 25580.7 N gözükmektedir. Boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 26906.7 N, standart sapması 2454 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 19544.7 N gözükmektedir. Yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 27026.7 N, standart sapması 2776.8 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 18696.4 N gözükmektedir. Boyuna ve yanal eğilme testi sonunda çekme deneyi yapılan numunelerin standart sapma değerleri yakın gözükmektedir.

Tablo 4.10: Test frekansına göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.

Deney Parametre Etkisi	Yorulma Davranışı	No	Uzama (mm) Δl	Kopma Yükü (N)	$\bar{x}$ Ortalama Maksimum Yük (N)	σ Stardart Sapma (N)	$\bar{x}$-3σ (N)	Kopan Demet Sayısı	Çekme Testi Hata Modu
Test Frekansının Halat Ömrüne Etkisi	Burulma Testi	1	6,65	28900	28846,7	1088,7	25580	5	10
		2	6,6	28620				0	6
		3	7,52	29540				4	10
		4	7,67	29950				5	10
		5	6,05	26840				4	10
		6	7,15	29230				5	10
	Boyuna Eğilme Testi	1	6,6	27960	26906,7	2454,0	19544	4	10
		2	5,64	21950				3	10
		3	6,61	27510				4	10
		4	6,74	28440				0	6
		5	6,12	27510				3	10
		6	6,65	28070				4	10
	Yanal Eğilme Testi	1	6,77	27810	27026,7	2776,8	18696	4	10
		2	6,71	27760				4	10
		3	7,24	28790				0	6
		4	4,98	22170				2	10
		5	5,5	25640				4	10
		6	7,15	29990				0	6

Şekil 4.10'de görseldeki grafikte burulma testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 26840 N ile 29950 N arasında değişmektedir. Şekil 4.10'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 5,0,4,5,4,5 adettir. İki numaralı numune, çektirme hata modunda gösterildiği gibi halat, braket parçasından sıyrılmıştır. Diğer numuneler ise büküm bölgesinden

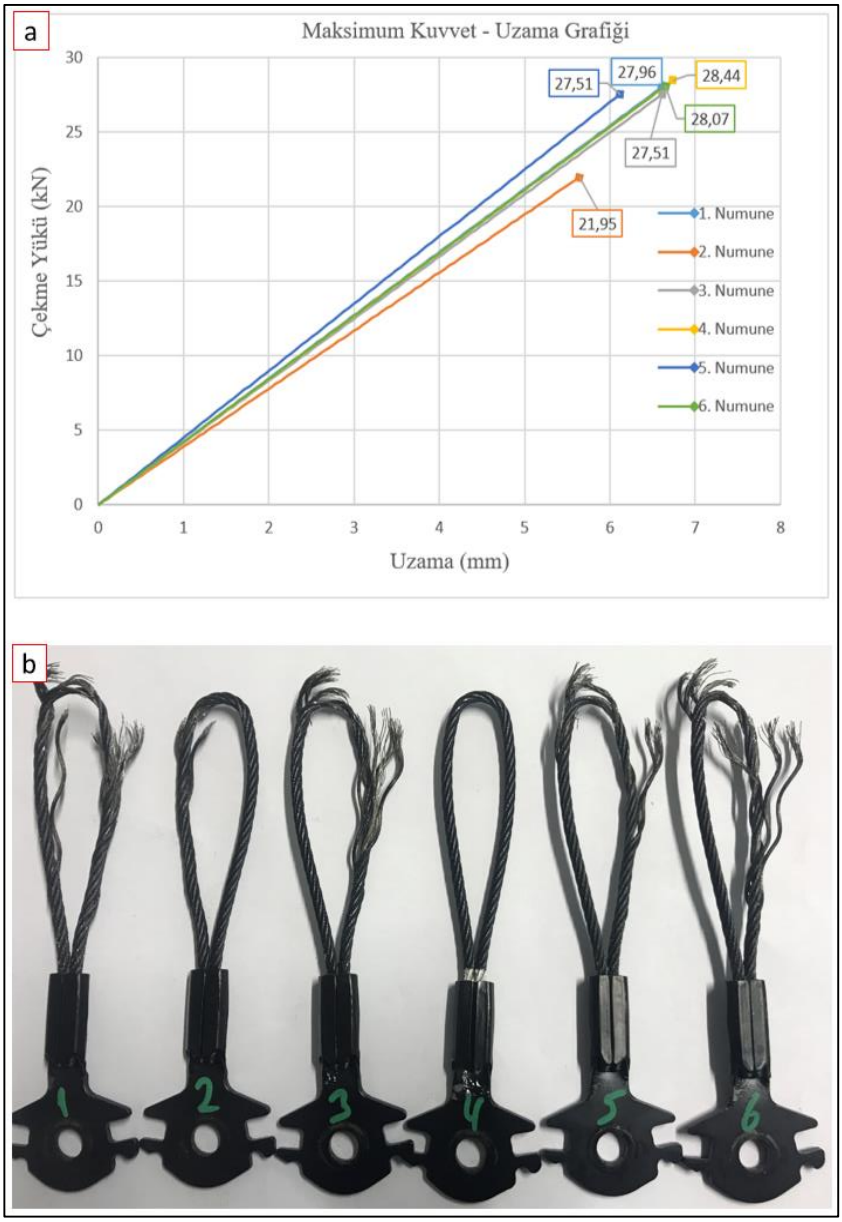
kopmuştur. Sıyırma hata modu üretim ve kaplama prosesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Müşteri şartnamesine göre alt spesifikasyon limiti uygundur.



Şekil 4.11: Test frekansına göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.11'de görseldeki grafikte boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama eğrisi verilmiştir. Maksimum yük 21950 N ile 28440 N arasında değişmektedir. Şekil 4.11'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,3,4,0,3,4 adettir. 4 numaralı numune, çektirme hata modunda gösterildiği gibi halat, braket parçasından sıyrılmıştır. Geri kalan numunelerde halatlar büküm

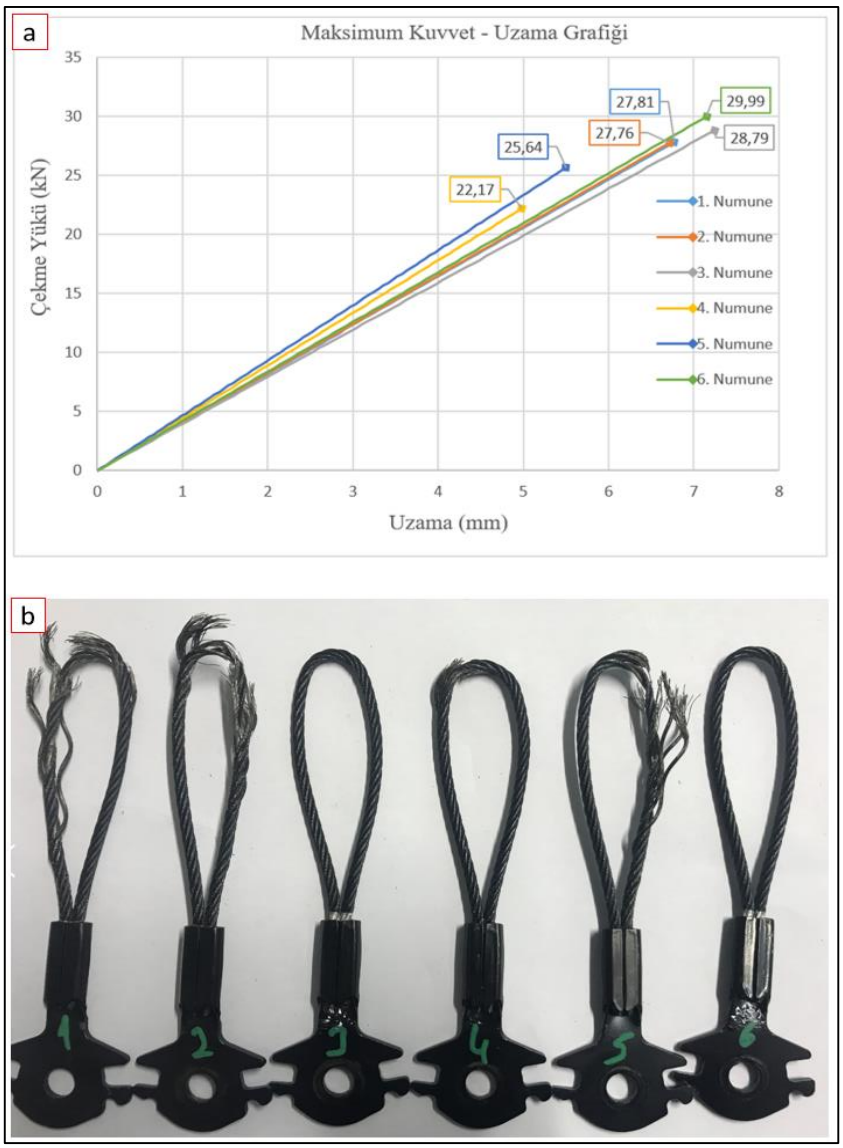
bölgesinden kopmuştur. Burulma testine kıyasla test değerlerinin standart sapması fazladır. Kopma kuvveti dağınık bir dağılım sergilenmektedir.



Şekil 4.12: Test frekansına göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.12'de görseldeki grafikte yanal eğilme yorulma testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama eğrisi verilmiştir. Maksimum yük 22170 N ile 29990 N arasında değişmektedir. Şekil 4.12'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,4,0,2,4,0 adettir. Üç ve altı numaralı numune, çektirme hata modunda gösterildiği gibi halat, braket parçasından sıyrılmıştır. Geri kalan numune

halatları büküm bölgesinden kopmuştur. Dört numaralı numunede dış katmandaki iki demetin kopması ve buna bağlı olarak kopma yükünün düşük çıkması, yorulma deneyi sırasında halatların sürtünme etkisi ile aşındığının göstergesidir. Standart sapması fazla olmasından dolayı alt spesifikasyon limit değeri 20 kN'dan düşüktür.



Şekil 4.13: Test frekansına göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

4.4.4. Yorulma Davranışlarına Göre Çekme Testi

Her bir yorulma testinde yorulma davranışlarının çekme kuvvetine etkisini gözlemlemek için açı değeri ± 30°, çevrim sayısı 15000 ve frekans 0.5 Hz olarak sabit değerler alınmıştır. Tüm deney gruplarında yorulma testi sonrası 6'şar adet konektörün

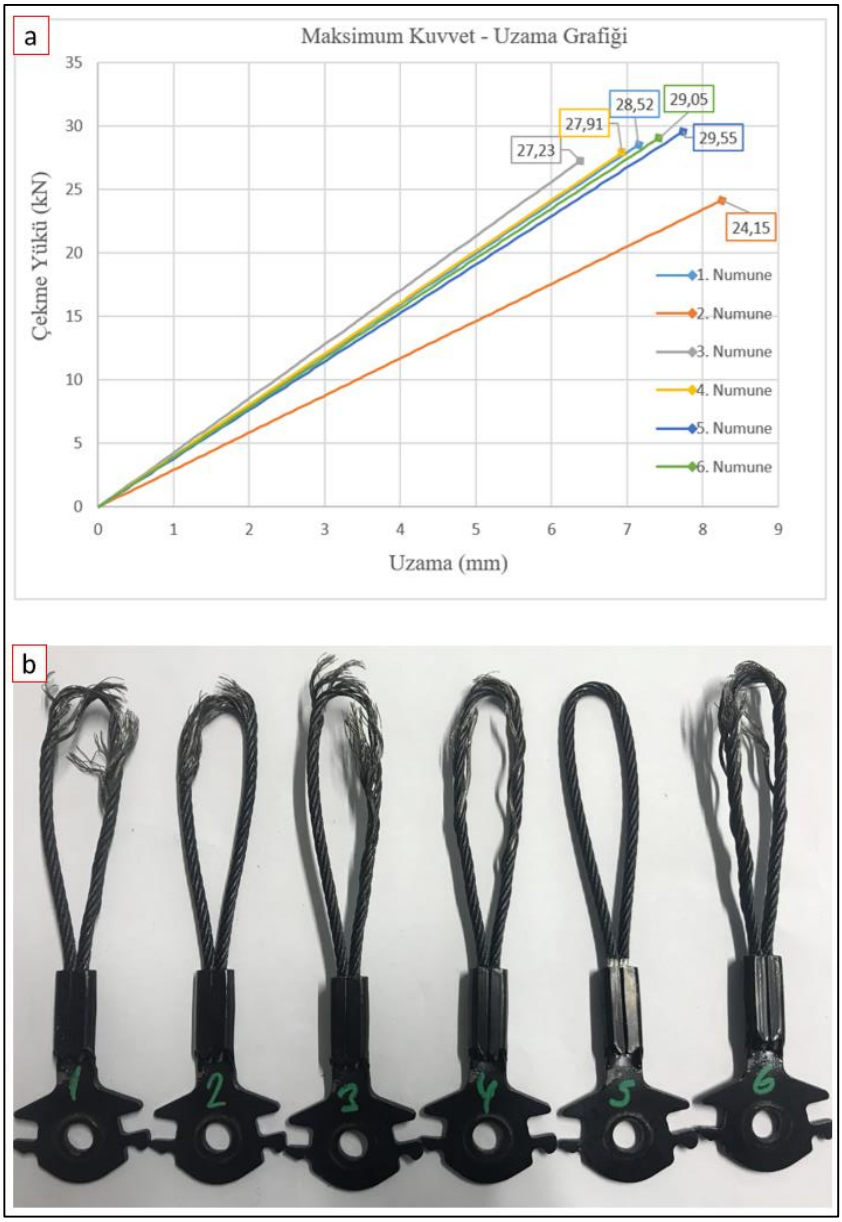
çekme deneyi sonucu Tablo 4.7'de gösterilmiştir. Burulma testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama maksimum yük 27735 N, standart sapması 1937.9 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 21921.3 N gözükmektedir. Boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 27323.3 N, standart sapması 2318.3 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 20368.6 N gözükmektedir. Yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 27353.3 N, standart sapması 2624 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 19481.2 N gözükmektedir. Boyuna ve yanal eğilme testi sonunda çekme deneyi yapılan numunelerin standart sapma değerleri yakın gözükmektedir.

Tablo 4.11: Yorulmaya göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.

Deney Parametre Etkisi	Yorulma Davranışı	No	Uzama (mm) Δl	Kopma Yükü (N)	$\bar{x}$ Ortalama Maksimum Yük (N)	σ Stardart Sapma (N)	$\bar{x}$-3σ (N)	Kopan Demet Sayısı	Çekme Testi Hata Modu
Yorulma Davranışlarının Halat Ömrüne Etkisi	Burulma Testi	1	7,15	28520	27735	1937,9	21921	4	10
		2	8,25	24150				4	10
		3	6,38	27230				4	10
		4	6,93	27910				4	10
		5	7,74	29550				0	6
		6	7,42	29050				4	10
	Boyuna Eğilme Testi	1	5,56	22890	27323,3	2318,3	20368	0	6
		2	6,16	27970				4	10
		3	6,87	28370				4	10
		4	7,31	28220				0	6
		5	7,42	29510				0	6
		6	6,49	26980				5	10
	Yanal Eğilme Testi	1	6,21	26270	27353,3	2624,0	19481	4	10
		2	7,23	29220				0	6
		3	6,66	29050				4	10
		4	5,84	22500				3	10
		5	6,76	29050				4	10
		6	6,54	28030				3	10

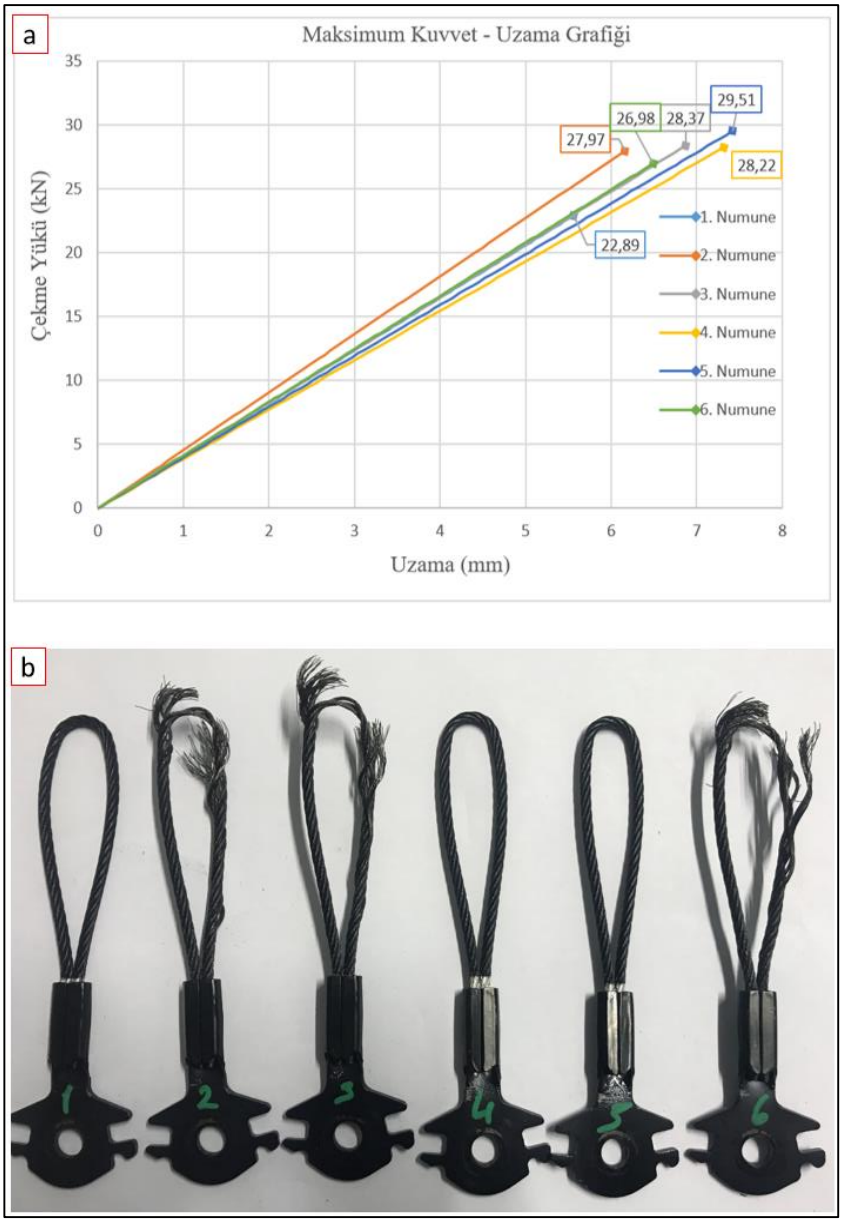
Şekil 4.13'de görseldeki grafikte burulma testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 24150 N ile 29550 N arasında değişmektedir. Şekil 4.13'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,4,4,4,0,4 adettir. 5 numaralı numunenin halatı, braket parçasından sıyrılmıştır. Diğer

numuneler ise büküm bölgesinden kopmuştur. Standart sapmayı arttıran 2 numaralı numunenin diğer numunelere göre düşük kuvvette kopmasıdır.



Şekil 4.14: Yorulmaya göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

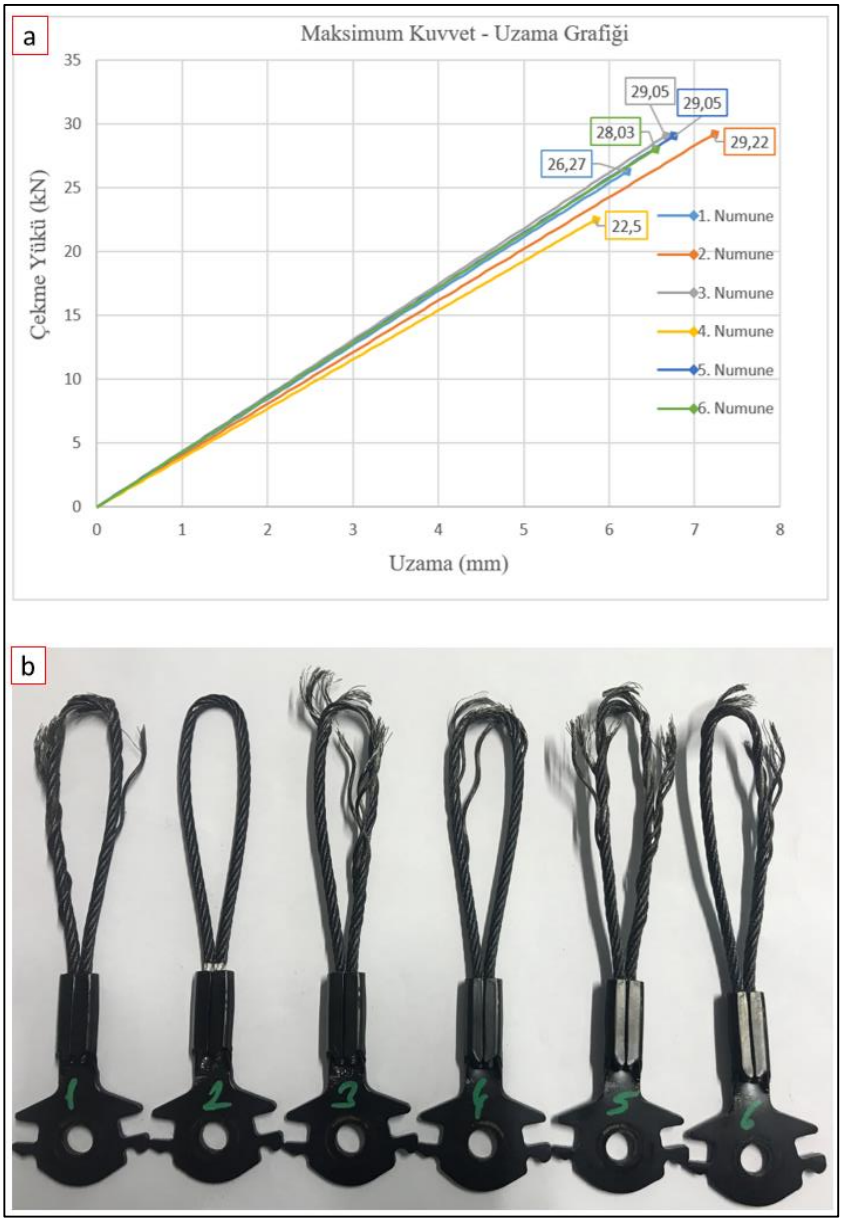
Şekil 4.14'de görseldeki grafikte boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 22890 N ile 29510N arasında değişmektedir. Şekil 4.13'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 0,4,4,0,0,5 adettir. 1,4 ve 5 numaralı numunenin halatı, braket parçasından sıyrılmıştır. Diğer numuneler ise büküm bölgesinden kopmuştur.



Şekil 4.15: Yorulmaya göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.15'de görseldeki grafikte yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 22500 N ile 29220 N arasında değişmektedir. Şekil 4.15'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,0,4,3,4,3 adettir. 2 numaralı numunenin halatı, braket parçasından sıyrılmıştır. Diğer numuneler ise büküm bölgesinden kopmuştur. Ortalama kopma yükleri 3 yorulma testinin de yakın değere sahiptir. Fakat yanal eğilme testinde alt

spesifikasyon limit değeri diğerlerine göre düşüktür. Aynı zamanda 20 kN kuvvet değerinin altındadır.



Şekil 4.16: Yorulmaya göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

4.4.5. Eğilme-Burulma Açısı Parametrelerine Göre Çekme Testi

Her bir yorulma testinde test açısının konektör çekme kuvvetine etkisini gözlemlemek için açı değeri ± 45°, çevrim sayısı 15000 ve frekans 0.5 Hz olarak parametreler seçilmiştir. Tüm deney gruplarında yorulma testi sonrası 6'şar adet konektörün çekme deneyi sonucu Tablo 4.8'da gösterilmiştir. Burulma testi sonrası

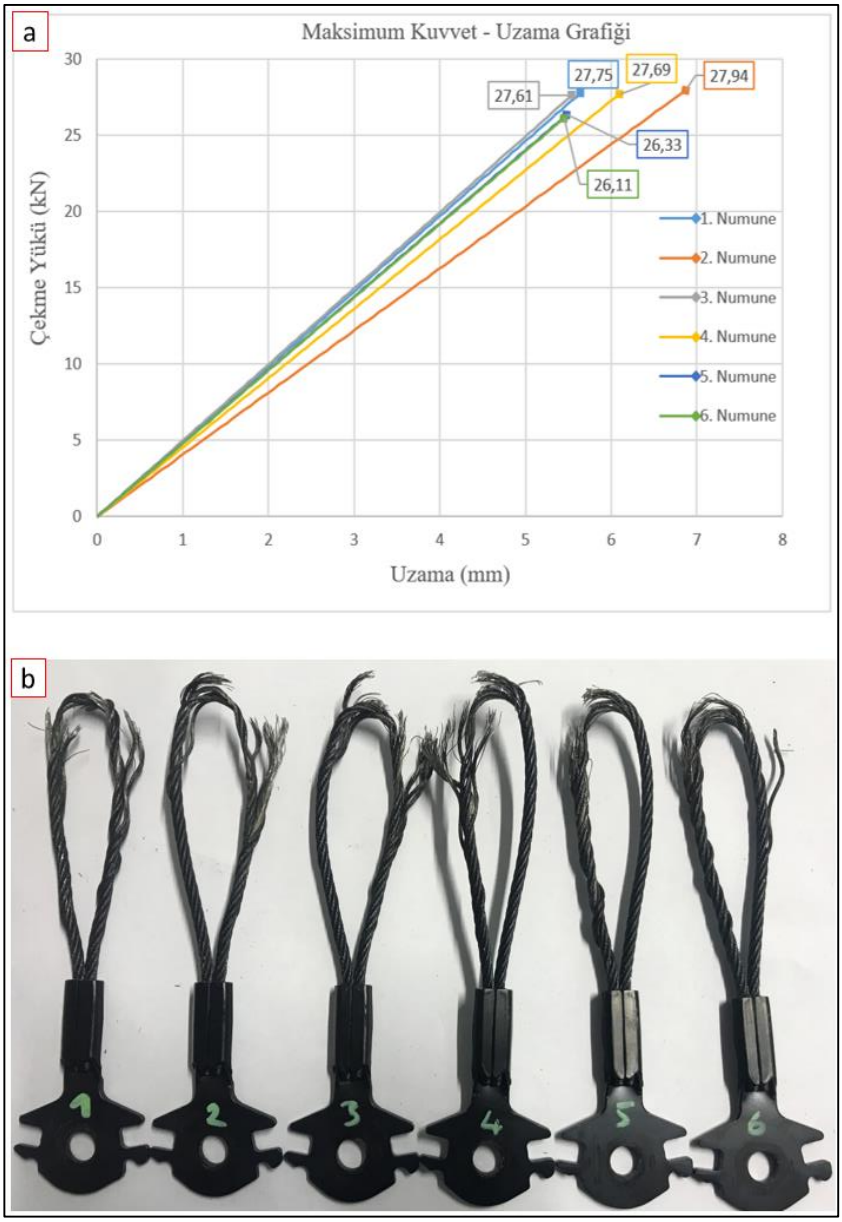
yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 27238.3 N, standart sapması 779 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 24840.4 N gözükmektedir. Boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 23022.5 N, standart sapması 4664.1 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 4109.7 N gözükmektedir. Yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 12472.3 N, standart sapması 4109.7 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 143.1 N gözükmektedir. Eğilme-burulma açısının artması ile boyuna ve yanal testlerde konektörün çekme kuvveti oldukça düşmüştür. Yorulma testi sonrası halat dış tellerinde kopmalar meydana geldiği için halatın ömrü kısalmıştır.

Tablo 4.12: Açı parametresine göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.

Deney Parametre Etkisi	Yorulma Davranışı	No	Uzama (mm) Δl	Kopma Yükü (N)	$\bar{x}$ Ortalama Maksimum Yük (N)	σ Stardart Sapma (N)	$\bar{x}$-3σ (N)	Kopan Demet Sayısı	Çekme Testi Hata Modu
Eğilme-Burulma Açısının Halat Ömrüne Etkisi	Burulma Testi	1	5,64	27750	27238,3	799,3	24840	4	10
		2	6,87	27940				4	10
		3	5,54	27610				4	10
		4	6,1	27690				4	10
		5	5,48	26330				4	10
		6	5,45	26110				4	10
	Boyuna Eğilme Testi	1	6,79	29170	23022,5	4664,1	9030	0	6
		2	3,86	16280				5	9
		3	4,42	19145				4	9
		4	5,61	24240				4	10
		5	4,95	23290				4	9
		6	5,32	26010				5	10
	Yanal Eğilme Testi	1	2,26	10610	12472,3	4109,7	143	4	9
		2	2,08	8750				7	9
		3	4,41	17430				5	9
		4	2,75	11810				5	9
		5	4,23	17660				5	9
		6	1,92	8574				7+7	9

Şekil 4.16'de görseldeki grafikte burulma testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Maksimum yük 26110 N ile 27940 N arasında değişmektedir. Şekil 4.16'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,4,4,4,4,4 adettir. Bütün konektör numunelerinin halatları, büküm bölgesinden kopmuştur. Standart sapması bu deney gruplarındaki testlere göre oldukça düşüktür.

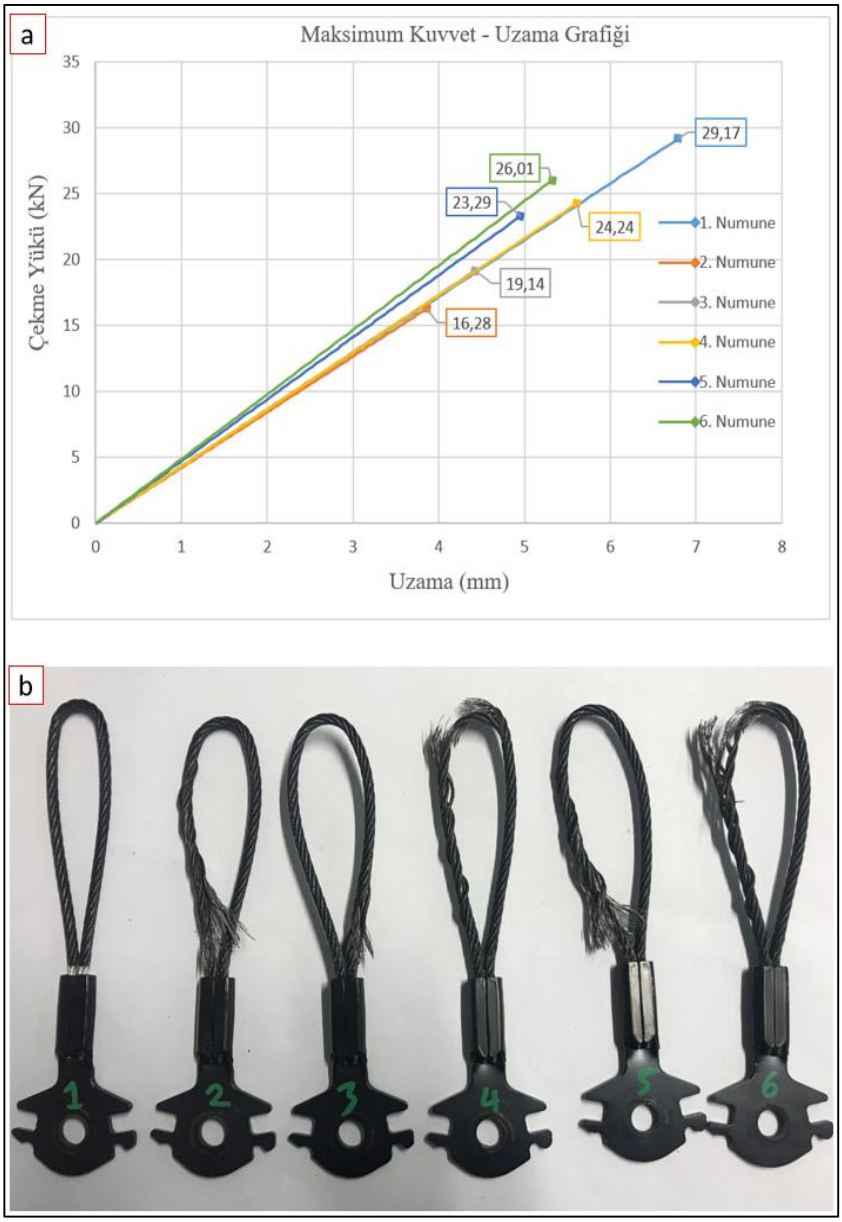
Alt spesifikasyon limit değeri 20 kN üzeri olduğu için müşteri standartlarına uymaktadır.



Şekil 4.17: Açıya göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.17'de görseldeki grafikte boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 16280 N ile 29170 N arasındadır. Şekil 4.17'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 0,5,4,4,4,5 adettir. 1 numaralı numunenin halatı, braket parçasından sıyrılmıştır. Diğer numuneler ise büküm bölgesinden kopmuştur. Halatı sıyrılan numune standart

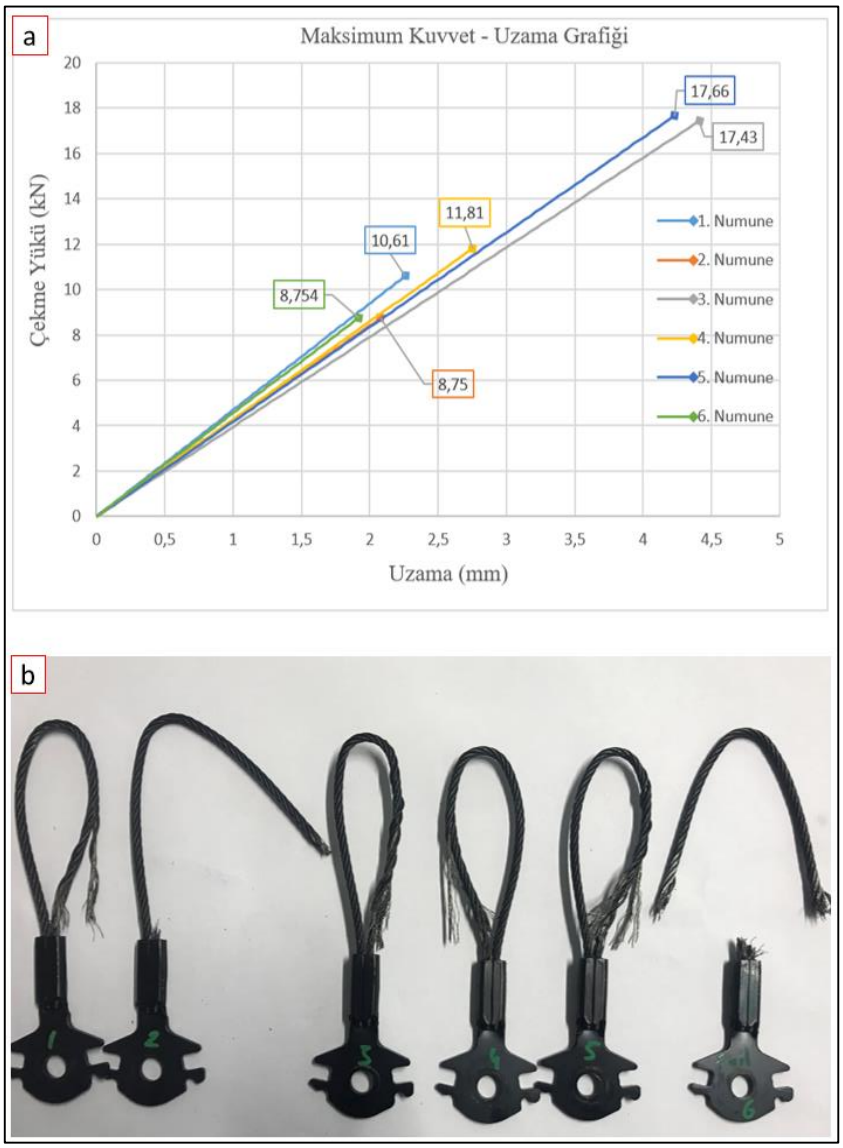
sapmayı arttırmaktadır. Açı değerinin artması ile halatın maruz kaldığı yorulma aşınma artmaktadır. Bunun sonucunda çekme dayanımı düşmektedir.



Şekil 4.18: Açıya göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.18'de görseldeki grafikte yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 8574 N ile 17660 N arasındadır. Şekil 4.18'daki numune görselinde deney sonucu konektör parçalarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,7,5,5,5,7+7 adettir. Burada 7+7 ile tabir edilen adet halatın 2 tarafının çektirme testinde koptuğu anlamı taşımaktadır. Halatların hepsi braket tarafındaki büküm

bölgesinden kopmuştur. Bu tür deney numunesi özelliklere sahip konektörlerin halat ömrüne etkileyen etken yanal eğme açısı olmuştur.



Şekil 4.19: Açıya göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

4.4.6. Çevrim Sayısı Parametrelerine Göre Çekme Testi

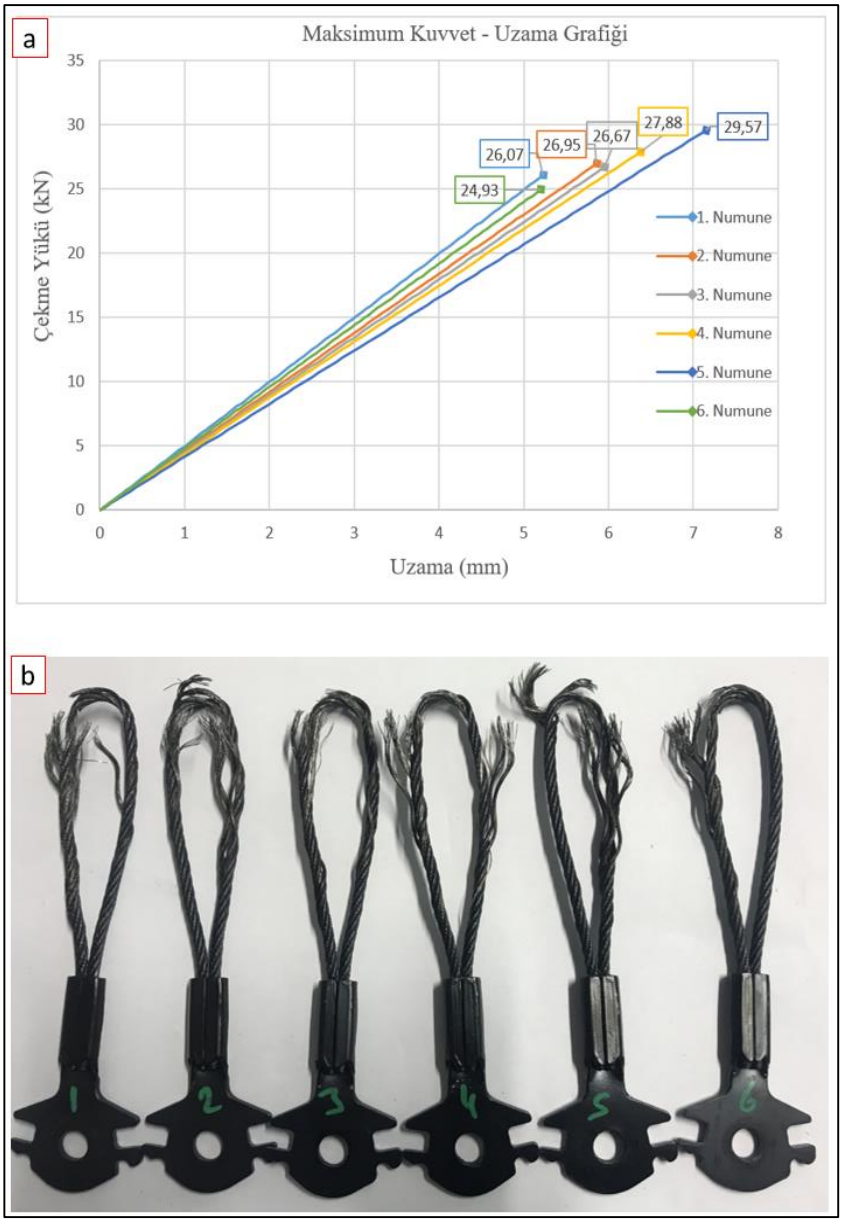
Her bir yorulma testinde çevrim sayısının konektör çekme kuvvetine etkisini gözlemlemek için açı değeri ± 30°, çevrim sayısı 45000 ve frekans 0.5 Hz olarak parametreler seçilmiştir. Tüm deney gruplarında yorulma testi sonrası 6'şar adet konektörün çekme deneyi sonucu Tablo 4.9'da gösterilmiştir. Burulma testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 27011.7 N, standart sapması

1589.9 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 22241.8 N gözükmektedir. Boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 28966.7 N, standart sapması 891.5 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 26292.1 N gözükmektedir. Yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme testi sonucunda ortalama kopma yükü 28303 N, standart sapması 577.8 N, alt spesifikasyon limiti ($\bar{x}$-3σ) ise 26569.8 N gözükmektedir. Çevrim sayısının artması ile bütün test numunelerin halatlarında kopma meydana gelmiştir. Halatlarda sıyırma gözlemlenmemiştir.

Tablo 4.13: Çevrim sayısına göre yorulma testleri sonrası çekme testi sonuçları.

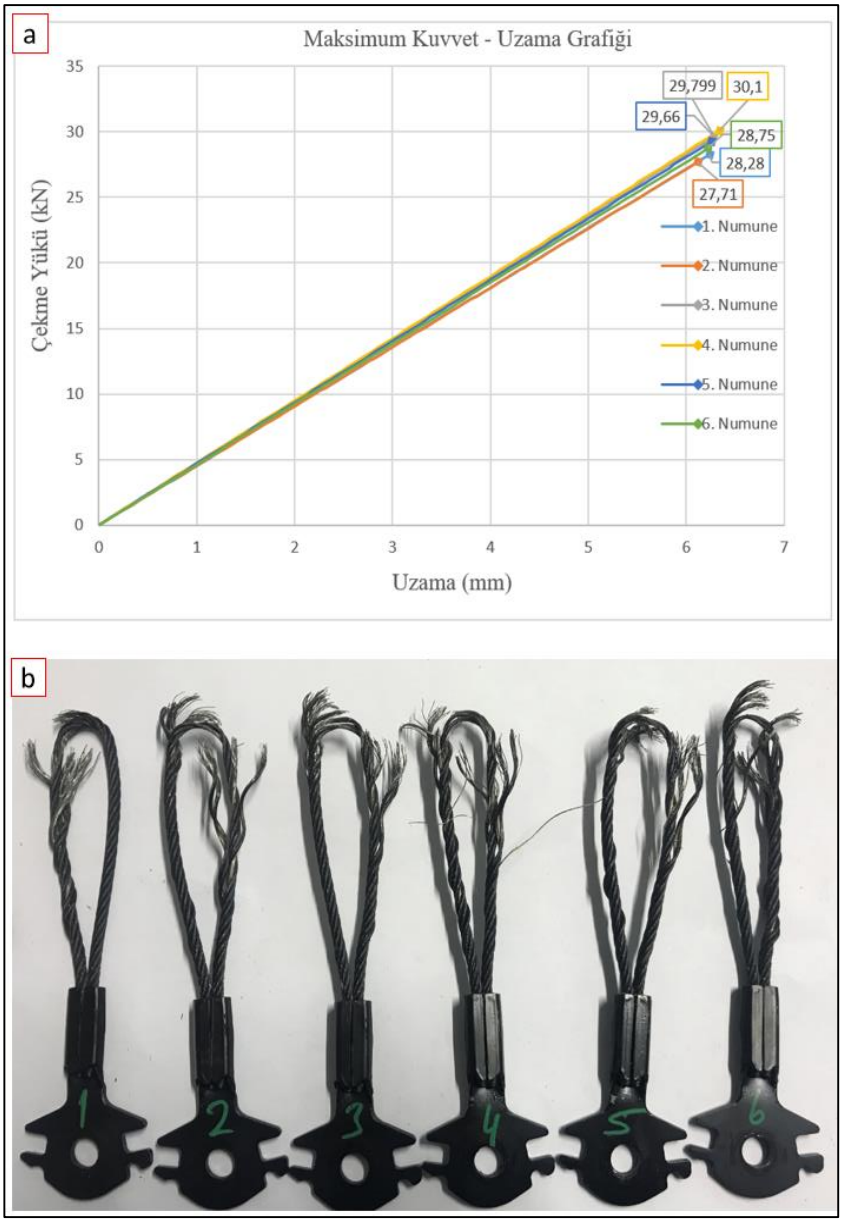
Deney Parametre Etkisi	Yorulma Davranışı	No	Uzama (mm) Δl	Kopma Yükü (N)	$\bar{x}$ Ortalama Maksimum Yük (N)	σ Stardart Sapma (N)	$\bar{x}$-3σ (N)	Kopan Demet Sayısı	Çekme Testi Hata Modu
Çevrim Sayısının Halat Ömrüne Etkisi	Burulma Testi	1	5,23	26070	27011,7	1589,9	22241	4	10
		2	5,86	26950				5	10
		3	5,95	26670				4	10
		4	6,38	27880				4	10
		5	7,15	29570				4	10
		6	5,2	24930				4	10
	Boyuna Eğilme Testi	1	6,24	28280	28966,7	891,5	26292	4	10
		2	6,12	27710				4	10
		3	6,28	29660				5	10
		4	6,34	30100				5	10
		5	6,26	29300				5	10
		6	6,22	28750				5	10
	Yanal Eğilme Testi	1	5,94	28730	28303,3	577,8	26569	4	10
		2	5,75	28730				5	10
		3	5,68	27190				4	10
		4	5,72	28220				5	10
		5	6,05	28470				4	10
		6	6,06	28480				4	10

Şekil 4.19'de görseldeki grafikte burulma testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Maksimum yük 24930N ile 29570 N arasında değişmektedir. Şekil 4.1'daki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,5,4,4,4,4 adettir. Bütün konektör numunelerinin halatları, büküm bölgesinden kopmuştur. Standart sapması bu deney gruplarındaki testlere göre fazladır.



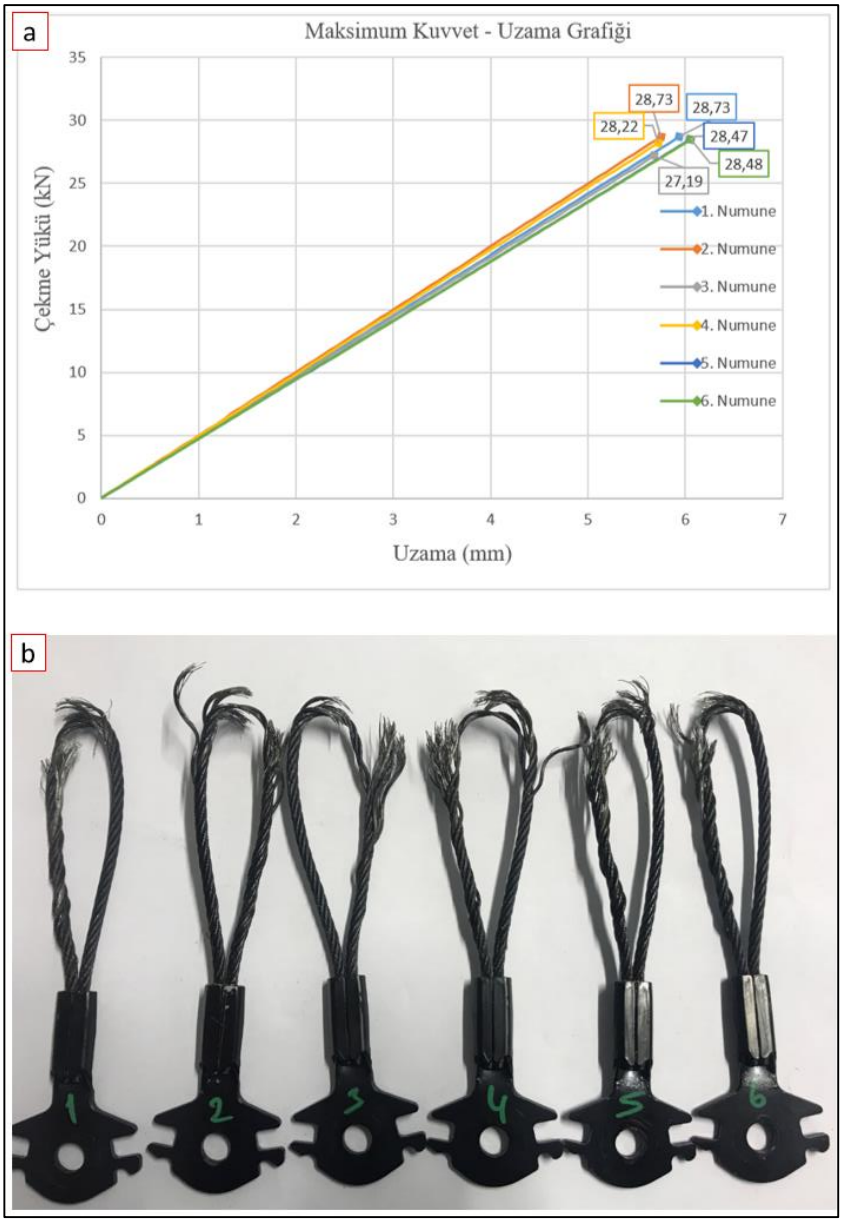
Şekil 4.20: Çevrim sayısına göre burulma testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Şekil 4.20'de görseldeki grafikte boyuna eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 27710 N ile 30100 N arasındadır. Şekil 4.20'deki numune görselinde deney sonucu konektör halatlarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,4,5,5,5,5 adettir. Tüm deney numunelerinin halatları büküm bölgesinden kopmuştur.



Şekil 4.21: Çevrim sayısına göre boyuna eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

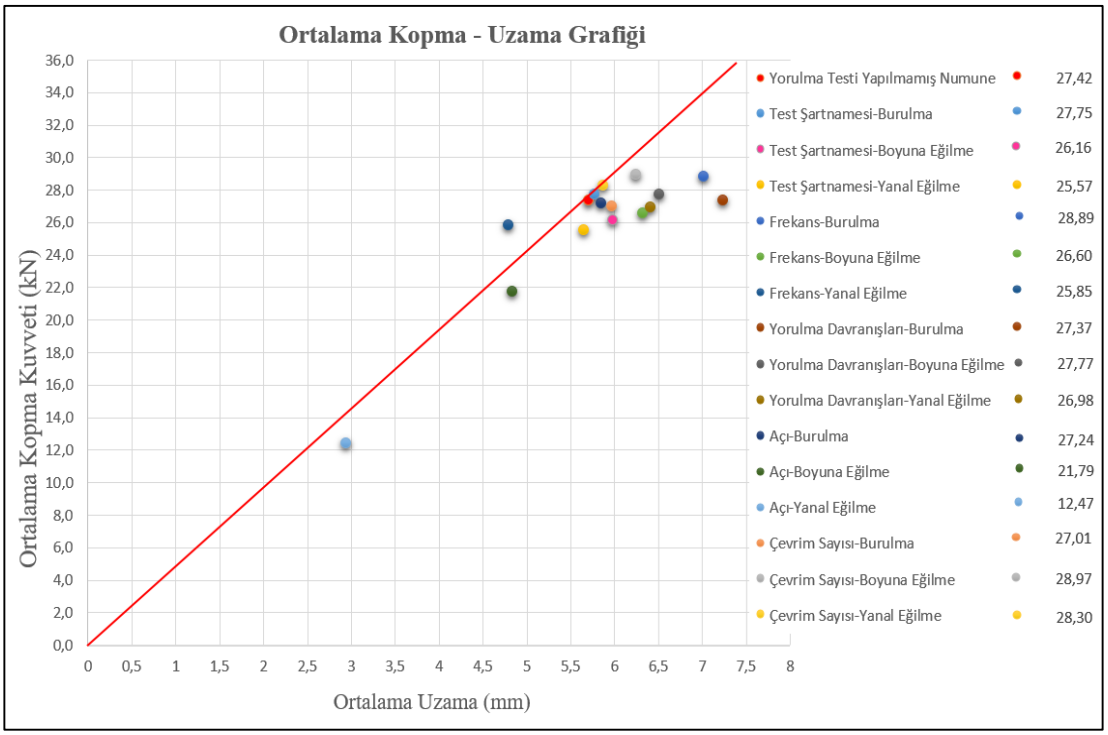
Şekil 4.21'de görseldeki grafikte yanal eğilme testi sonrası yapılan çekme deneyinde, numunelerin çekme yükü-uzama değerleri verilmiştir. Kopma yükü 27190 N ile 28730 N arasındadır. Şekil 4.21'deki numune görselinde deney sonucu konektör parçalarının son durumu gösterilmiştir. Kopan demet sayısı numune sırası ile 4,5,4,5,4,4 adettir. Halatların hepsi büküm bölgesinden kopmuştur. Bu deney grubunda en düşük standart sapmaya sahip testtir. Çıkan sonuçlar birbirine oldukça yakındır.



Şekil 4.22: Çevrim sayısına göre yanal eğilme testi sonrası çekme deneyi sonucu. a) çekme yükü-uzama grafiği, b) çekme deneyi sonrası numune görseli.

Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 4.23'de verilmiştir. Şekil 4.23'de kırmızı olarak gösterilen lineer doğru, yorulma testi yapılmamış numunelerin çektirme deneylerinin sonucunun ortalamasıdır. Grafikteki ortalama kopma kuvveti ve uzama değerleri, sıyırma hata modu dahil edilmeden hesaplanmıştır. Grafikteki genel dağılım, yorulma testine dahil edilmemiş çekme numunelerin kopma kuvvetine yaklaşık değerler içermektedir. Yorulma testinden sonraki deney gruplarındaki numunelerin uzama değerlerinde farklılıklar gözlemlenmektedir. Bazı deney gruplarında kopma kuvvetinde artış gözlemlenirken,

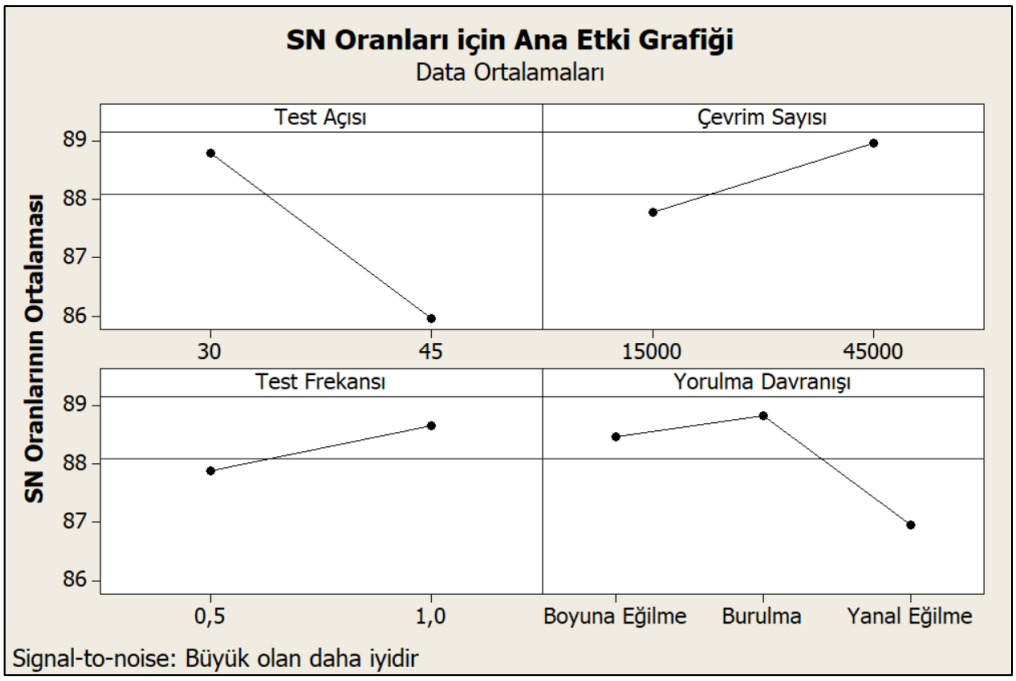
bazı deney gruplarında düşüşler gözlemlenmiştir. Bu deneylerin sonuçları son bölümde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.23: Deney sonuçları ortalama kopma uzama karşılaştırma grafiği.

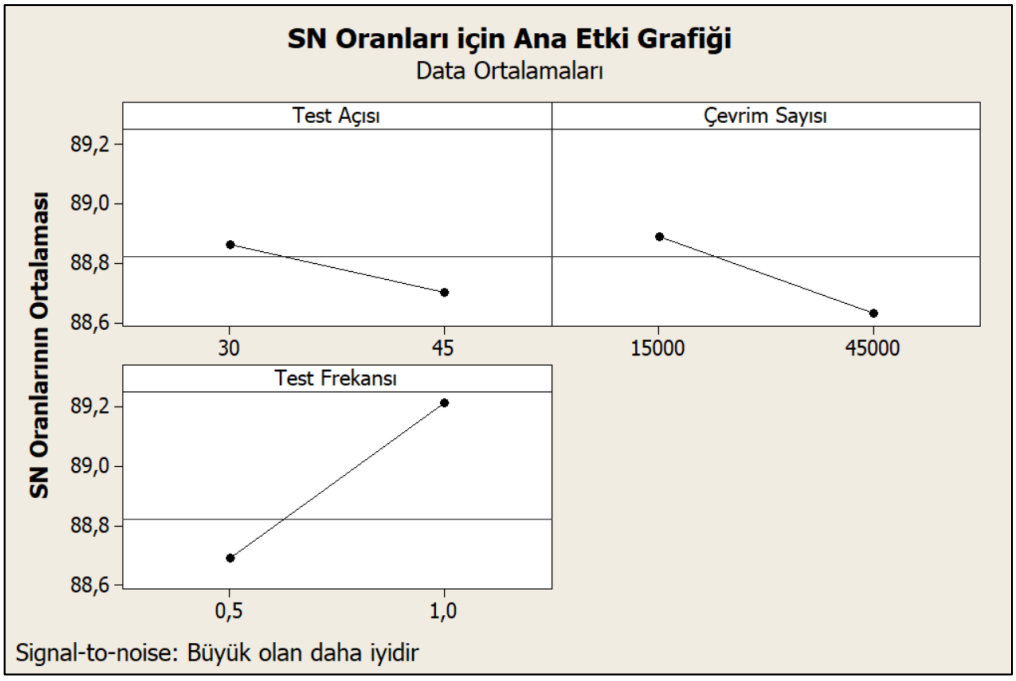
4.5. Taguchi Metodu Deney Sonuçları

Şekil 4.23, 4.24, 4.25 ve 4.26'da çekme deneyi sonuçlarının Taguchi metodu ile analizi sonucu elde edilen S/N (Signal to noise ratio) oranı grafikleri yer verilmiştir. S/N oranı, ortalama değerin (sinyal), standart sapmaya (gürültü) oranı ile elde edilmektedir. Bu deney çalışmasında standart sapma (N) değerinin küçük olması, istenilen hedef değere yaklaşılmasını sağlar. Bu analizdeki amaç S/N oranının maksimum seviyeye geldiği durumları tespit etmektir. Konektör çekme deneylerinde kuvvet değerlerinin yüksek gelmesini istenilen bir durum olduğu için analiz çözümleyicisi olarak "büyük olan daha iyidir" (Larger is best) seçilmiştir. Şekil 4.23'deki grafikte tüm parametrelerin etkisini incelemek için Taguchi metodu ile çekme deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır.



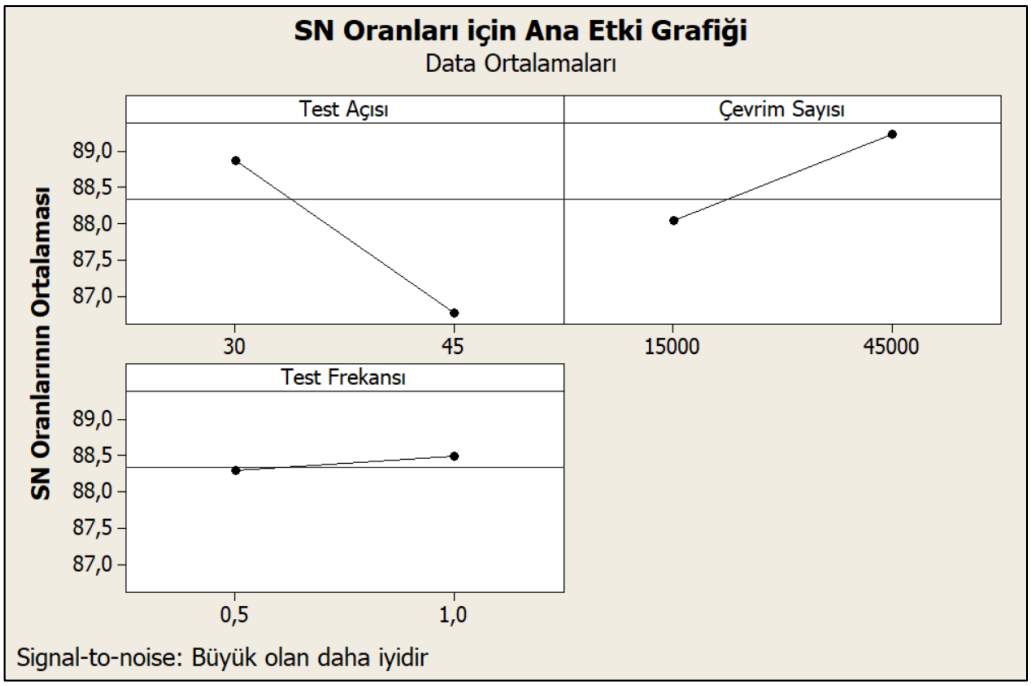
Şekil 4.24:Taguchi metodu tüm parametrelerin halat ömrüne etkisi.

Şekil 4.24'de grafikte parametrelerin burulma yorulmasına etkisini incelemek için Taguchi metodu ile çekme deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır.



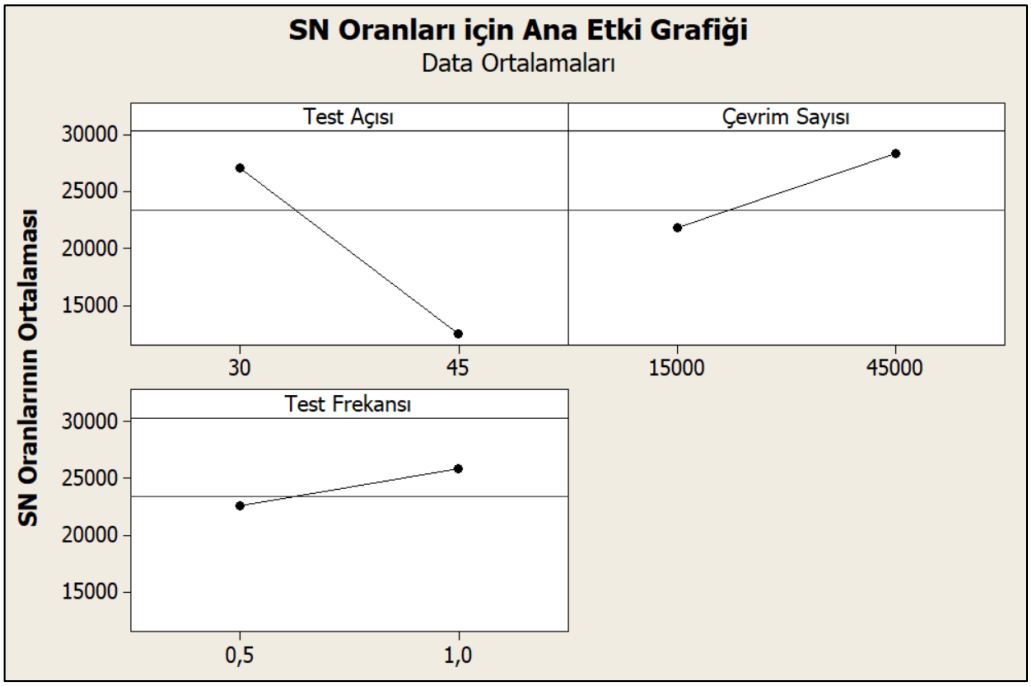
Şekil 4.25: Burulma yorulması testi S/N oranı.

Şekil 4.25'de grafikte parametrelerin boyuna eğilme yorulmasına etkisini incelemek için Taguchi metodu ile çekme deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.26: Boyuna eğilme yorulması testi S/N oranı.

Şekil 4.26'de grafikte parametrelerin boyuna eğilme yorulmasına etkisini incelemek için Taguchi metodu ile çekme deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.27: Yanal eğilme yorulması testi S/N oranı.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Yorulma testindeki parametrelerin halat ömrü üzerindeki etkisi gözlemlemek için çekme deneyleri yapılmıştır ve halat çekme mukavemeti üzerindeki değişim incelenmiştir. Değişken parametreler olarak test açısı, çevrim sayısı, test çalışma frekansı ve yorulma davranışları düşünülmüş ve halat ömrü üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

Çekme deneyinden sonra halat üzerinde 3 farklı hata modu meydana gelmiştir. Bunlar; halatın büküm bölgesinden kopması, halatın braket kısmından kopması ve halatın braketten sıyrılmasıdır. Halatın büküm bölgesinden kopması çekme deneyinden sonra beklenen bir sonuçtur. Halatın braket dibinden kopması ise, yorulma deneyinde açı değerin artması ile halatın, moment merkezi olan braket parçası kısmındaki gerilmelerin artmasıdır. Bunun sonucunda aşından teller, çekme deneyinde halatın, braket kısmından kopmasına sebep olmuştur. Halatın braketten sıyrılması hata modunun iki sebebi olduğu düşünülmektedir. Birincisi; uzak doğudan gelen halatın üzerinde korozyona karşı koruma sağlaması için koruyucu bir yağ tabakası mevcuttur. Bu yağ tabakasını iyi bir şekilde halattan uzaklaştırmak gerekir. Halata nüfuz eden yağ, prosesin yetersiz kaldığı durumda halat üzerindeki sürtünme kuvvetini azaltacağı için çekme kuvvetinin etkisi ile braketten sıyrılacaktır. İkinci durum ise, halatı brakete presleme işlemi yaparken ezme mesafesinin yetersiz kalması. Yarı otomasyonlu üretim makinelerinde %100 kontroller yapılmaktadır. Fakat braket ve halatın üretimden sonra oluşan stresin dağılması ile kendini bırakma durumu olduğunda, braketin halatı ezdiği mesafe azalmasına sebebiyet vermektedir. Bu durumun ihtimali düşük olmasına rağmen çekme deneyinde halatın braketten sıyırmasını etkilemektedir.

Tüm parametrelerin halat ömrüne etkisi değerlendirildiğinde, iki ucundan bükülerek braket parçasına preslenen (krimplenen) halatın, negatif yöne doğru uygulanan eğilme momentinde, negatif taraftaki halat, basma gerilmesine maruz kalırken, pozitif taraftaki halat, çekme gerilmesine maruz kalmaktır. Pozitif yöne doğru uygulanan eğilme momentinde iste, tam tersi durum geçerlidir. Halata uygulanan burulma momentinde, halatın pozitif ve negatif yönde bükülmesi, her bir çelik telin çekme gerilimine maruz kalmasına sebep olmuştur. Şekil 4.23'deki analiz sonucunda yorulma deneyinde, test açısı arttıkça, halata uygulanan basma ve çekme gerilmesi artmaktadır. Bunun sonucunda halat, daha fazla yorulmaya maruz

kalmaktadır. Çekme dayanımı azalmaktadır. Yorulma test frekansın artması, genel olarak halatın maruz kaldığı yorulma azalmaktadır. Yorulma test frekansının, Şekil 4.23'deki S/N eğrisinde görüldüğü gibi halatın çekme dayanımına diğer parametreler kadar etkisi olmamıştır[4]. Test frekansının artması, step motor şaftının, istenilen açı değerini yakalayamamasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Test sırasındaki gözlem sonucunda ±5°'lik sapma ile yorulma testi gözlemlenmiştir. Step motor yerine servo motorun kullanılması testin hassasiyetini arttıracağı düşünülmektedir. Genel olarak yorulma çevrim sayısının artması, halatın çekme mukavemetini arttırmıştır. Fakat bu durum yorulma davranışları içerisinde farklılık göstermektedir. Çevrim sayısının artması ile standart sapmada azalma gözlemlenmiştir. Şekil 4.21 ile 4.22'deki kuvvet-uzama grafiğinde birbirlerine yakın çekme dayanımı davranışı sergilemiştir. Yorulma davranışları içerisinde konektör halatının en çok yorulmaya maruz kaldığı test, yanal eğilme yorulma testidir. Burulma ve boyuna eğilme testinde, halata uygulanan moment, halatın iki ucu arasında paylaşılırken, yanal eğilme testinde moment direkt olarak halatın ucuna uygulanmaktadır. Bunun sonucunda çekme testinde, yanal eğilme testinden çıkan numunelerde, Şekil 4.19'daki gibi halatın iki taraftan koptuğu durum, gözlemlenmiştir.

Parametrelerin burulma yorulmasına etkisinde ise, halatın dış tellerinden çekirdek demetine kadar tüm teller burulma momentine maruz kaldığı için Şekil 4.24'deki gibi artan yorulma test açısı ile birlikte çekme mukavemeti azalmaktadır. Test frekansın artması ile burulma yorulma etkisini azaltmıştır ve çekme dayanımını arttırmıştır. Bu durum çelik halatın, yorulmaya maruz kalmadan tekrardan eski konumuna geri dönmesi ve test süresinin kısalması halatın daha az yorulmasına sebep olmuştur. Çevrim sayısının artması ile burulma yorulmasında her bir telde meydana gelen çekme gerilimi, çelik tellerde incelmelere sebep olmuştur. Tellerin kesit alanının azalması ile kopma kuvvetinde düşüş meydana gelmiştir.

Parametrelerin boyuna ve yanal eğilme yorulmasına etkisinde ise, test açısının artması ile oluşan gerilmeler, halatın dış tellerden çekirdek tel demetine doğru yayılmıştır. Tüm tellerin, eğilme momenti ile oluşan basma ve çekme gerilmesinin artması ile halat daha fazla yorulmaya maruz kalmaktadır. Şekil 4.3'de açının artması ile dış tellerdeki kopmalar gözlemlenmiştir. Frekansın artması ile Şekil 4.25 ve 4.26'daki gibi eğilme yorulma etkisini düşürmüştür ve çekme dayanımını arttırmıştır. Frekansın, burulma yorulma testine kıyasla etkisi düşüktür. Uygulanan eğilme momentinde çevrim sayısının artması ile plastik deformasyondan sonra halat

pekleşmeye başlamaktadır. Akma dayanımının artması sonucunda, Şekil 4.25 ve 4.26'daki gibi halatın kopma kuvveti artmaktadır. Ancak halatın çelik telleri gevrekleştiği için, darbe sönümleme özelliği azalmaktadır. Bunun sonucunda halatın tokluğunun azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Plastik şekil değişimi sürecinde gözlemlenen bu duruma gerinim sertleşmesi (strain hardening) denilmektedir[4]. Bu durum emniyet kemeri gibi A seviye güvenlik parçalarında istenilen özellik değildir. Yorulma testinde çevrim sayısı arttırılarak deneyin tekrarlanması ile halatın kopma kuvvetinin sabit olduğu sonsuz ömür bölgesi bulunabilir.

Yorulma davranışlarının halat ömrüne etkisini incelemek için parametreler her bir deneyde sabit olarak alınıp, yorulma deneyi sonrası çekme testi yapılmıştır. Tablo 5.1'de yapılan çekme deneyi sonucu her bir testte 6 adet numunenin kuvvet değerleri yer verilmiştir.

Tablo 5.1: Yorulma davranışları testi sonrası çekme deneyi sonuçları.

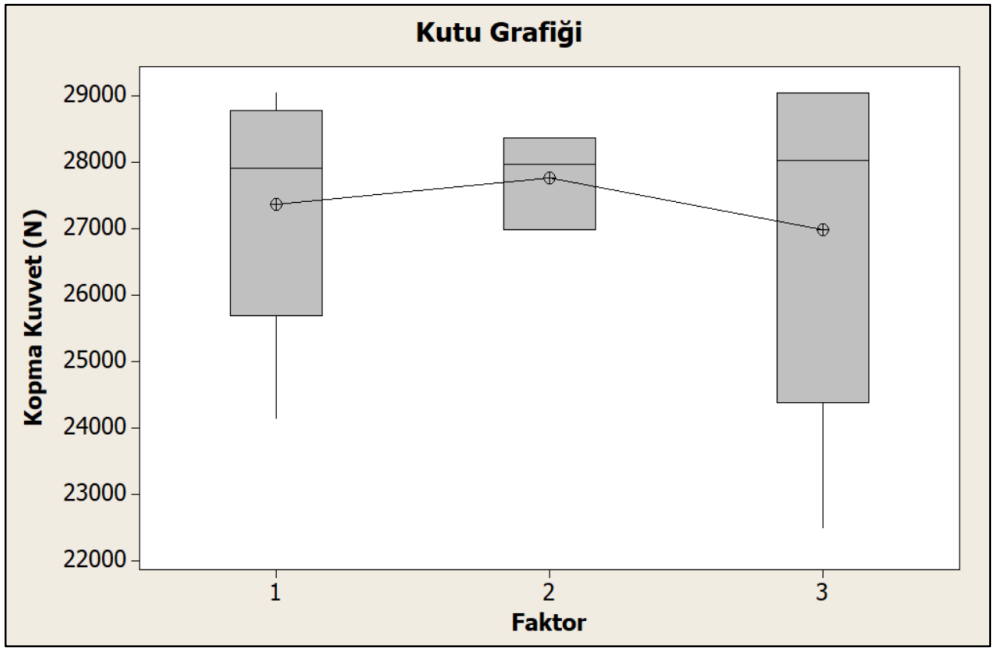
Yorulma Davranışlarının Halat Ömrüne Etkisi							
No	**Yorulma Davranışları**	**1. Numune**	**2. Numune**	**3. Numune**	**4. Numune**	**5. Numune**	**6. Numune**
1	Burulma Yorulması (N)	28520	24150	27230	27910	SIYIRDI	29050
2	Boyuna Eğilme Yorulması (N)	SIYIRDI	27970	28370	SIYIRDI	SIYIRDI	26980
3	Yanal Eğilme Yorulması (N)	26270	SIYIRDI	29050	22500	29050	28030

3 farklı deney grubu sonuçlarının istatistiksel analizi yapıldığı için ANOVA metoduna başvurulmuştur. Şekil 5.1'de analiz sonucunda p değeri 0.05 değerinden büyük olmasından dolayı (0.879>0.05) istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu söylenemez. Deneyin hata kabul edilebilirlik düzeyinin üzerinde olduğu anlamına gelmektedir. Deneyde gerçekleşen çekme testi halat sıyırma hata modlarının deneye dâhil edilmemesi ile numune sayısının azalması analiz sonucunu olumsuz etkilemiştir. Numune sayısının arttırılması ile sağlıklı deney sonucu alınabilir.

```
Source  DF        SS       MS     F      P
Faktor   2   1207561   603781  0,13  0,879
Error   10  46095347  4609535
Total   12  47302908

S = 2147   R-Sq = 2,55%   R-Sq(adj) = 0,00%


                         Individual 95% CIs For Mean Based on
                         Pooled StDev
Level  N   Mean  StDev  ----+---------+---------+----+-----+-----
1      5  27372   1925    (-------------*--------------)
2      3  27773    716   (-----------------*------------------)
3      5  26980   2750  (-------------*-------------)
                         ----+---------+---------+---------+-----
                         25500     27000     28500     30000

Pooled StDev = 2147
```

Şekil 5.1: ANOVA metodu ile yorulma davranışlarının etkisi.

Şekil 5.2'da yapılan bu deneyin ANOVA metodu ile analiz sonucu kutu grafiği verilmiştir. P değeri yüksek çıkmasına rağmen grafikte kuvvet değerlerine göre bakılarak kıyaslama yapılırsa yanal eğilme yorulması en geniş dağılıma sahiptir. En düşük çekme kuvveti yanal eğilme yorulma testi sonucu yapılan çekme deneyinde gözlemlenmektedir. Deney numune sayısının arttırılması ile sağlıklı sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.2: Yorulma davranışı etkisi deneyi kutu grafiği sonucu.

Yapılan tüm yorulma testi sonrası çekme deneylerinde kopan demet sayısı Tablo 5.2'da yer verilmiştir.

Tablo 5.2: Kopan demet sayısı.

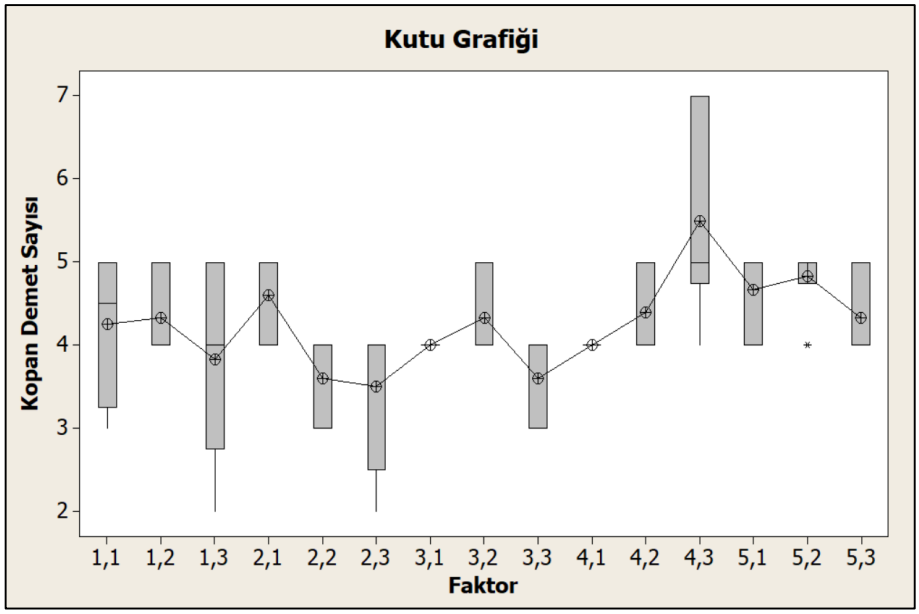
Kopan Demet Sayısı								
Deney Parametrelerinin Etkisi	**No**	**Yorulma Davranışı**	**1. Numune**	**2. Numune**	**3. Numune**	**4. Numune**	**5. Numune**	**6. Numune**
Test Şartname Parametrelerine Göre Yorulma Testi	1.1	Burulma Testi	0	0	5	5	4	3
	1.2	Boyuna Eğilme Testi	4	5	4	4	5	4
	1.3	Yanal Eğilme Testi	5	4	2	5	4	3
Test Frekansının Halat Ömrüne Etkisi	2.1	Burulma Testi	5	0	4	5	4	5
	2.2	Boyuna Eğilme Testi	4	3	4	0	3	4
	2.3	Yanal Eğilme Testi	4	4	0	2	4	0
Yorulma Davranışlarının Halat Ömrüne Etkisi	3.1	Burulma Testi	4	4	4	4	0	4
	3.2	Boyuna Eğilme Testi	0	4	4	0	0	5
	3.3	Yanal Eğilme Testi	4	0	4	3	4	3
Eğilme-Burulma Açısının Halat Ömrüne Etkisi	4.1	Burulma Testi	4	4	4	4	4	4
	4.2	Boyuna Eğilme Testi	0	5	4	4	4	5
	4.3	Yanal Eğilme Testi	4	7	5	5	5	7
Çevrim Sayısının Halat Ömrüne Etkisi	5.1	Burulma Testi	4	4	5	5	5	5
	5.2	Boyuna Eğilme Testi	4	5	5	5	5	5
	5.3	Yanal Eğilme Testi	4	5	4	5	4	4

Yapılan ANOVA metodu ile analiz sonrasında Şekil 5.3'de p değeri 0.05'den küçük çıkmıştır ($0.001<0.05$). Bunun sonucunda analiz, yüksek düzeyde olarak anlamlı fark vardır anlamına gelmektedir.

```
Source  DF      SS     MS     F      P
Faktor  14  21,412  1,529  3,17  0,001
Error   63  30,383  0,482
Total   77  51,795

S = 0,6945   R-Sq = 41,34%   R-Sq(adj) = 28,30%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  --+---------+---------+---------+-------
1,1    4  4,2500  0,9574          (------*-----)
1,2    6  4,3333  0,5164            (----*-----)
1,3    6  3,8333  1,1690       (----*-----)
2,1    5  4,6000  0,5477              (-----*-----)
2,2    5  3,6000  0,5477    (-----*-----)
2,3    4  3,5000  1,0000  (------*------)
3,1    5  4,0000  0,0000        (-----*-----)
3,2    3  4,3333  0,5774         (-------*-------)
3,3    5  3,6000  0,5477    (-----*-----)
4,1    6  4,0000  0,0000        (-----*-----)
4,2    5  4,4000  0,5477            (-----*-----)
4,3    6  5,5000  1,2247                        (-----*-----)
5,1    6  4,6667  0,5164                (-----*----)
5,2    6  4,8333  0,4082                  (----*-----)
5,3    6  4,3333  0,5164            (----*-----)
                          --+---------+---------+---------+-------
                          3,0       4,0       5,0       6,0

Pooled StDev = 0,6945
```

Şekil 5.3: ANOVA metodu ile kopan demet sayısı analizi.

Şekil 5.4'de kopan demet sayısının kutu grafiği yer verilmektedir. Tablo 5.6'da yer verilen deney numaraları Şekil 5.8'de x ekseninde faktör kısmında belirtilmiştir. Burada eğilme ve burulma açısının artması ile yanal eğilme testi sonucu kopan demet sayısı artış göstermektedir. Gerilme, dış tellerden çekirdek tel demetlere yayıldığı için bütün teller yorulma sırasında aşınmaya uğramıştır.



Şekil 5.4: Kopan demet sayısı kutu grafiği.

Yapılan bu çalışmada yorulma davranışları ve test parametrelerin, konektör halatının ömrüne ve kuvvet dayanımlarına etkisi incelenmiştir. Bazı test gruplarından sıyırma hata modu sebebiyle deney numunelerinin az olması, deney sonuçlarında sağlıklı veri alınamamasına sebep olmuştur. Çevrim sayısının, yapılan yorulma testindeki değerin üzerine çıkarılması ile sonsuz ömür bölgesindeki kopma kuvvetinin bulunabileceği düşünülmektedir. Test cihazının step motor yerine servo motorun kullanılmasının açı hassasiyeti için daha doğru bir seçim olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda çekme deneyi test cihazının yük hücresinin (loadcell) hassasiyetinin yüksek olduğu cihazda deney yapılması, deney sonuçlarının kalitesini arttırılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Newton I., (1846), "Newton's Principia : the mathematical principles of natural philosophy", American Edition, New York: Daniel Adee.

[2] Yngve H., (2006), "The Evolution Of The Three Point Seat Belt From Yesterday To Tomorrow", IRCOBI Conference, Madrid, Spain, September 2006.

[3] Web 1, (2020), https://tr.wikipedia.org/wiki/Emniyet_kemeri, (Erişim Tarihi: 29/10/2020).

[4] Er M., (2006), "Yüksek Frekanslı, Genlik Ayarlı Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve 1100-H14 Alüminyum Levhasının Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.

[5] Sakin, R., (2004), "Bilgisayar Destekli, Çok Numuneli Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve Cam-Fiber Takviyeli Polyester Kompozitlerde Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi", Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi.

[6] Onur Y., (2010), "Halat Ömrüne Etki Eden Parametrelerin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[7] Kösemen Ö., (2008), "Asansör Taşıyıcı Halatların Statik Yük Altında Deneysel Gerilme Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[8] Kim H.S., Bae R.H.,Kwon J.D., (2012), "Bending Fatigue Characteristics of Wire Rope", Journal of Mechanical Science and Technology, 26 (7), 2107-2110.

[9] Wang R.C., (1995), "Bending Fatigue Tests on Flattened Strand Wire Rope at High Working Loads", Technical Report No: RI 9547, U. S. Department of the Interiorv Mission Statement, USA.

[10] Torkar M., Arzensek B., (2000), "Failure of Crane Wire Rope", Engineering Failure Analysis, 9 (2002), 227-233.

[11] Wang D.G., Wahab M.A., Wang L.L. etc., (2015), "Finite Element Analysis of Fretting Fatigue of Fretted Wires", Proceedings of the 4th International Conference on Fracture Fatigue and Wear, 135-142, Xuzhou, China, (2015).

[12] Giglio M., Manes A., (2004), "Life Prediction of a Wire Rope Subjected to Axial", Science Direct, 12 (2005), 549-568.

[13] Zhang D.K., Ge S.R., Qiang Y.H., (2003), "Research on the Fatigue and Fracture Behavior Due to the Fretting Wear of Steel Wire in Hoisting Rope", Science Direct, 255 (2003), 1233–1237.

[14] Onur Y.A., İmrak C.E., (2010), "The Influence of Rotation Speed on the Bending Fatigue Lifetime of Steel Wire Ropes", Research Gate, (2011), 225-520.

[15] Zhang J., etc. (2019), "Tribo-Fatigue Behaviors of Steel Wire Rope Under Bending Fatigue with the Variable Tension", Wear, 428–429 (2019), 154–161.

[16] Zhao D., etc. (2019), "Fatigue Life Prediction of the Wire Rope Based on Grey Theory Under Small Sample Condition", Engineering Failure Analysis, 107 (2020), 104-237.

[17] Anıl A.S., (2011), "Eksenel Yüklü Tel Halat Demetlerinin Bilgisayar Ortamında Yorulma Ömürlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[18] Onur Y.A.,(2016), "Halat Demetinin Statik Davranışının İncelenmesi", Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (1), 136-143.

[19] AUTOLIV, (2015), Twisting and Bending of Flexible Cable, ATS 030, Autoliv Inc.

[20] TRW, (2005), Occupant Safety Systems Europe, TS33061870, TRW Automotive Inc.

[21] Web 2, (2002), https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/seatbelt3.htm, (Erişim Tarihi: 19/11/2020).

[22] Web 3, (2010), https://www.ssab.com.tr/products/brands/ssab-domex/products/ssab-domex-550mc, (Erişim Tarihi: 23/11/2020).

[23] Türk Standardları Enstitüsü (TSE), (2009), Genel Kaldırma Uygulamaları için Demetli Halatlar, TS EN 12385, Türk Standartları Enstitüsü.

[24] Türk Standardları Enstitüsü (TSE), (2012), Halatlar için Çelik Telin Genel Özellikleri, TS EN 10264-2, Türk Standartları Enstitüsü.

[25] Yiğit N., (2010), "Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Yan Sanayisinde Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Umur Sezer SARITAŞ, 1993 yılında İstanbul'da doğdu. 2011 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünü 2016 yılında başarıyla tamamladı. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılından beri Cavo Otomotiv şirketinde AR-GE bölümünde Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.