

**ASANSÖR ASKI HALATININ BELİRSİZLİĞE DAYALI
MUKAVEMET VE ÖMÜR ANALİZİ**

Ali ŞAHİN

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

İleri Teknolojiler Bilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Murat MAYDA

KARAMAN-2018

**T.C.
KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ASANSÖR ASKI HALATININ BELİRSİZLİĞE DAYALI
MUKAVEMET VE ÖMÜR ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ŞAHİN

Anabilim Dalı : İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Bilim Dalı : İleri Teknolojiler

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Murat MAYDA

KARAMAN-2018

TEZ ONAYI

Ali ŞAHİN tarafından hazırlanan “ASANSÖR ASKI HALATININ BELİRSİZLİĞE DAYALI MUKAVEMET VE ÖMÜR ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

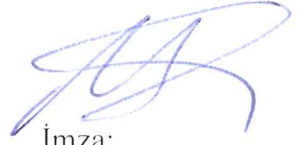
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat MAYDA

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ

Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN

Dr. Öğr. Üyesi Murat MAYDA



İmza:



Tez Savunma Tarihi: 06/04/2018

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Doç. Dr. Kamil ARI
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ali ŞAHİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ASANSÖR ASKI HALATININ BELİRSİZLİĞE DAYALI MUKAVEMET VE ÖMÜR ANALİZİ

Ali ŞAHİN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat MAYDA

Nisan, 2018, 78 sayfa

İnsan asansörleri, bir kabin içinde, bir kattan diğerine düşey yönde insan taşıyan ve elektrikli tahrik sistemleriyle çalışan bir araçtır. Asansör tasarımında, emniyet ve güvenilirlik öncelikli kriterlerden olmalıdır. Bu amaçla zorunlu standartlar ve yönetmelikler ortaya çıkmıştır. Tüm çabalara rağmen, halen insan asansörlerindeki kaza sayıları oldukça yüksektir. Kazaların en önemli sebeplerinden biri de asansör sistemi içindeki parça ve bileşenlerdeki belirsizliklerdir. Askı halatları, bu belirsizliklerin önemli kaynaklarından. Literatür incelendiğinde genelde, korozyon ve yangın gibi koşullarda halatın yorulma ve ömür analizleri, geleneksel (deterministik) yöntemlerle deneysel ve teorik incelenmiştir. Bu tez kapsamında, beş katlı bir konutta kullanılacak dört kişi kapasiteli elektrikli bir insan asansörü askı halatının hem deterministik hem de belirsizlik koşullarında mukavemet ve ömür analizleri Monte Carlo Simülasyon yöntemi kullanılarak detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Stokastik analiz sonucunda halatın mukavemet değişkenleri (güvenlik katsayısı, sınır güvenlik katsayısı, kasnak yüzey basıncı, halat yüzde uzaması) ve ömür değişkenleri (ortalama çevrim sayısı, düzeltilmiş çevrim sayısı) için uygun dağılım türleri, değişim katsayısı (COV) değerleri ile minimum ve maksimum değerler elde edilmiştir. Bu işlemlerin sonucunda değişkenlerin çoğunluğunun Lognormal ve Weibull dağılım türlerine uyduğu görülmüştür. Ayrıca, düzeltilmiş çevrim sayılarının COV değerleri sırasıyla (0,0025 ve 0,0024), bu değişkenlerde belirsizliğin çok az olduğunu göstermiştir. Stokastik

yöntemin geleneksel halat tasarımına etkisini göstermek için deterministik ve buna karşılık gelen güvenilir stokastik değerler arasındaki % değişim miktarı hesaplanmıştır. Buna göre stokastik koşullarda, ömür değişkenlerinin, mukavemet değişkenlerine göre daha fazla etkilendiği görülmüştür. Sonuç olarak, emniyet ve güvenliği yüksek bir insan asansör tasarımı için askı halatlarındaki tüm rastgele değişkenlerin belirsizliklerinin çok hassas bir şekilde belirlenmesi veya modellenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Asansör, Çelik tel halat, Belirsizlik, Güvenilirlik, MCS



ABSTRACT

Ms Thesis

UNCERTAINTY-BASED STRENGTH AND LIFE ANALYSIS OF THE WIRE ROPE OF A PASSENGER LIFT

Ali ŞAHİN

**Karamanoğlu Mehmetbey University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Advanced Technologies**

Supervisor: Dr. Lecturer Murat MAYDA

April, 2018, 78 pages

Passenger lift is a vehicle, which is driven by an electric drive system, vertically moves people from one floor to another through a cabin. Safety and reliability must be a high priority among the design criteria for a passenger lift. For this purpose, mandatory standards and regulations have been developed by official authorities. Despite all these efforts, the number of the lift accidents is known to still be relatively high. The main reason behind this challenge can be said to be the uncertainties not to be considered in the parts and components of the lift system. One of the important components having critical uncertainties is the wire rope. In the literature, the fatigue and life analysis of the wire ropes have been carried out experimentally or theoretically under the corrosion and fire conditions by using the traditional (deterministic) methods. In this thesis, strength and life analysis of the wire rope belonging to a four passenger lift for a five-storey building are elaborately carried out under both deterministic and stochastic conditions by using the method of Monte Carlo Simulation. At the result of the stochastic analysis, fitted distributions, coefficient of variation (COV), and the minimum and maximum values of the strength variables (safety coefficient, safety coefficient for control, surface pressure on pulley) and the life variables (average cycle number, corrected cycle number) of the wire rope are obtained. According to the results, the distributions of most of these variables are found to be Lognormal and Weibull distributions. Also, the COV values (0,0025 ve 0,0024) of the corrected cycle number refers that there is too less uncertainty in this variable. To explicitly show the influence of stochastic method

on the traditional design of the wire ropes, the percentage difference between the deterministic results and the corresponding reliable stochastic results are calculated. From the comparison, it is observed that the uncertain case affects the life variables more than the strength variables. Therefore, to ensure a high safety and reliability for a passenger lift, the characterization or modelling of the uncertainties in all of variables included in the lift must be carefully and sufficiently incorporated into the lift design.

Keywords: Passenger lift, Steel wire rope, Uncertainty, Reliability, MCS



ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve tez yazımı aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat MAYDA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali ŞAHİN
Nisan,2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2.KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. Asansör	4
2.1.1. Elektrikli Asansör	4
2.1.2. Hidrolik Asansör	5
2.2. Çelik Tel Halatlar.....	8
2.2.1. Çelik Tel Halatların Yapısı	9
2.2.2. Çelik Tel Kesit Şekilleri	10
2.2.3. Çelik Tel Halat Özleri.....	10
2.2.4. Çelik Tel Halat Demetleri.....	11
2.3. Tel Halat Konstrüksiyonu.....	13
2.3.1. Özlerine Göre Halatlar	13
2.3.1.1. Lif Özlü Halatlar	13
2.3.1.2. Çelik Özlü Halatlar	13
2.3.2. Tek Operasyonlu Halatlar	14
2.3.2.1. Standart Demetler	14
2.3.2.2. Seale Demetler	14
2.3.2.3. Warrington Demetler	15
2.3.2.4. Filler Demetler	15
2.3.2.5. Seale-Filler Demetler	16
2.3.2.6. Warrington-Seale Demetler	16
2.3.3. Çok Operasyonlu Halatlar	17
2.3.4. Özel Halatlar	17

2.3.4.1. Dönmez Tip Halatlar	17
2.3.4.2. Kapalı Tip Halatlar	18
2.3.4.3. Oval ve Üçgen Demetli Halatlar.....	18
2.4. Asansörlerde Kullanılan Halatlar.....	19
2.5. Halat Ömrüne Etki Eden Faktörler	21
2.5.1. Çekme Yüğü Çap Oranı.....	21
2.5.2. Eğilme.....	25
2.5.3. Tel Anma Mukavemeti	26
2.5.4. Halat Yuvası Şekli	27
2.5.5. Halat Yuvası Malzemesi.....	28
2.5.6. Yağlama.....	28
2.5.7. Halat Sarılma Açısı.....	28
2.5.8. Halatın Kenar Sapması	29
2.5.9. Sapma Açısı	30
2.6. Asansör Askı Halatı Mukavemet ve Ömür Analiz Denklemleri	32
2.6.1. Halat Güvenlik Katsayısının Hesaplanması	32
2.6.2. Halat Minimum Kopma Kuvveti	33
2.6.3. Sınır Güvenlik Katsayısı	33
2.6.4. Tahrik Kasnağı Yüzey Basıncı	35
2.6.5. Yüzde Uzama	35
2.6.6. Ortalama Çevrim Sayısı	36
2.6.7. Düzeltilmiş Çevrim Sayısı.....	39
2.7. Örnek Deterministik Hesap	41
2.8. Belirsizliğe Dayalı Güvenilirlik Analizi	44
2.8.1. Belirsizlik Temsili	45
2.8.2. Stokastik Analiz	48
2.8.2.1. Birinci ve İkinci Dereceden Güvenilirlik Yöntemi	48
2.8.2.2. Monte Carlo Simülasyonu (MCS)	52
3. MATERYAL VE METOD	54
3.1. Asansör Sistem Bilgileri	54
3.2. Halat Bilgileri	55
3.3. Kabin Anma Yüğü	57

3.4. Elastikiyet Modülü	58
3.5. Uygulanacak Yöntem	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	62
4.1. Rasgele Girdi Değişkenlerinin Dağılım Türlerini Belirleme	62
4.1.1. Halat Çapı	62
4.1.2. Kabin Anma Yüğü	63
4.1.3. Elastikiyet Modülü	63
4. 2. Mukavemet ve Ömür Değişkenlerinin Dağılım Türlerini Belirleme	64
4.2.1. Halat Güvenlik Katsayısı	64
4.2.2. Sınır Güvenlik Katsayısı	64
4.2.3. Tahrik Kasnağı Yüzey Basıncı	65
4.2.4. Halat Uzama Miktarı	66
4.2.5. Feyrer Denklemi Çevrim Sayısı 1	66
4.2.6. Feyrer Denklemi Çevrim Sayısı 2	67
4.2.7. Feyrer Denklemi Düzeltilmiş Çevrim Sayısı 1	67
4.2.8. Feyrer Denklemi Düzeltilmiş Çevrim Sayısı 2	68
4.3. Deterministik ve Stokastik Analiz sonuçlarının Karşılaştırılması	70
5. SONUÇ	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Tel halatlarda kullanılan özler	11
Çizelge 2.2. Halat kompozisyonlarına göre önerilen D/d çap oranları	23
Çizelge 2.3. $N_{equiv(t)}$ değerleri	322
Çizelge 2.4. 8x19 Seale kendir özlü halat değerleri	34
Çizelge 2.5. Kuvvet faktörü.....	37
Çizelge 2.6. Ortalama halat kopma ömrünün teorik kestirimi için kullanılan katsayılar	38
Çizelge 2.7. Dayanıklılık faktörü	39
Çizelge 2.8. Düzeltme faktörü	40
Çizelge 2.9. Asansör sistem verileri	41
Çizelge 2.10. Asansör askı halatı mukavemet ve ömür analiz sonuçları	44
Çizelge 3.1. Mukavemet ve ömür analizinde kullanılacak asansör sistemi değişkenleri	54
Çizelge 3.2. Asansör halatının teknik özellikleri ve kesit görünüşü	55
Çizelge 3.3. Lif özlü halatların çap toleransları	55
Çizelge 3.4. Halat çapı numune ölçüm değerleri.....	57
Çizelge 3.5. Türkiye’de 2008-2014 yılları arası 15 yaş üstü kilo ortalamaları	58
Çizelge 3.6. Türkiye’de 2008-2038 yılları arası 15 yaş üstü kilo ortalamaları	58
Çizelge 4.1 Rasgele değişkenlerin (girdilerin) istatistiksel özellikleri.....	63
Çizelge 4.2 Analizlerdeki tüm rasgele değişkenlerin dağılım türü uydurma için log-olasılık değerleri	69
Çizelge 4.3 Mukavemet ve ömür değişkenlerinin bulunan istatistiksel bilgileri	70
Çizelge 4.4 Tüm değişkenlerin deterministik nominal değerleri , stokastik minimum ve maksimum değerleri	71

Çizelge 4.5 Stokastik analizin nominal değışken değerler üzerindeki etkisi 72



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Makine dairesiz, makine dairesiz ve hidrolik asansör sistemi.....	6
Şekil 2.2. Hidrolik asansör sisteminin elemanları	6
Şekil 2.3. Asansör sistemini oluşturan elemanların gösterimi.....	7
Şekil 2.4. Çelik tel halatı oluşturan elemanlar	8
Şekil 2.5. Çelik tel halatı oluşturan elemanlar	9
Şekil 2.6. Tel halatlarda kullanılan tel kesitleri	10
Şekil 2.7. Halat özlüleri	11
Şekil 2.8. Bir demetteki tellerin sarım uzunluğu, sarım açısı ve çapı	12
Şekil 2.9. Halat sarım şekilleri.....	12
Şekil 2.10. Lif özlü halat	13
Şekil 2.11. Çelik özlü halat	13
Şekil 2.12. Standart demet	14
Şekil 2.13. Seale demeti	14
Şekil 2.14. Warrington demeti	15
Şekil 2.15. Filler demeti	15
Şekil 2.16. Seale-Filler demeti	16
Şekil 2.17. Warrington-Seale demeti	16
Şekil 2.18. Çok operasyonlu halatlar.....	17
Şekil 2.19. Dönmez tip halatlar	17
Şekil 2.20. Kapalı tip halatlar	18
Şekil 2.21. Oval ve üçgen demetli halatlar	18

Şekil 2.22. Asansörlerde kullanılan Halatlar	20
Şekil 2.23. Dişlisiz asansörlerde kullanılan halatlar	20
Şekil 2.24. 8x25 F (LÖ) halat ömrünün D/d oranı ve S/d ² oranı ile değişimi	22
Şekil 2.25. Halat ömrünün çekme yükü ile değişimi.....	23
Şekil 2.26. Farklı çaptaki halatların ömür grafiği.....	24
Şekil 2.27. Farklı çaptaki tamburların halat ömür grafiği	25
Şekil 2.28 İki tip makara örneği	26
Şekil 2.29. Düz (a) ve ters yönde (b) eğilen makara örneği	26
Şekil 2.30. Halatın makara yivine oturma şekilleri	27
Şekil 2.31. Halatın makara yivine oturma şekilleri	27
Şekil 2.32. Farklı sarılma açılarının ömre etkisi	29
Şekil 2.33. Farklı kenar sapma açılarının ömre etkisi	30
Şekil 2.34. Halat kullanımında sapma açısı	31
Şekil 2.35. Örnek asansör sisteminin şematik gösterimi	42
Şekil 2.36. Temsili belirsizlik.....	45
Şekil 2.37. PDF ve CDF ilişkisi	46
Şekil 2.38. Normal dağılım fonksiyonu.....	47
Şekil 2.39. Dönüşüm ve MPP	50
Şekil 2.40. MCS işleminin bir akış şeması	52
Şekil 3.1. Halat numunelerinin iki farklı açıdan görünüşü (a ve b).....	56
Şekil 3.2. Dijital kumpas	57
Şekil 3.3. Asansör sistemi hesap akış şeması	60
Şekil 4.1. Halat çapı dağılım türü	62
Şekil 4.2. Kabin anma yükü dağılım türü	63

Şekil 4.3. Halat güvenlik katsayısı dağılım türü.....	64
Şekil 4.4. Sınır güvenlik katsayısı dağılım türü.....	65
Şekil 4.5. Tahrik kasnağı yüzey basıncı dağılım türü.....	65
Şekil 4.6. Halat uzama miktarı dağılım türü.....	66
Şekil 4.7. Çevrim sayısı 1 dağılım türü	66
Şekil 4.8. Çevrim sayısı 2 dağılım türü	67
Şekil 4.9. Düzeltilmiş çevrim sayısı 1 dağılım türü	67
Şekil 4.10. Düzeltilmiş çevrim sayısı 2 dağılım türü	68



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
d_r	Halat çapı
G_y	Kabin anma yükü
G_k	Kabin beyan yükü
G_h	Halat ağırlığı
R_0	Halat çekme mukavemeti
D_t	Tahrik kasnağı çapı
D_p	Saptırma kasnağı çapı
γ	V kanal açısı
S_f	Güvenlik katsayısı
F_{min}	Halat en küçük kopma kuvveti
E	Elastikiyet modülü
N	Çevrim sayısı
N_{corr}	Düzeltilmiş çevrim sayısı
M	Ortalama
σ	Standart sapma
$F_X(x)$	Kümülatif dağılım fonksiyonu
$f_X(x)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
β	Güvenilirlik indeksi
$g(\cdot)$	Limit durum fonksiyonu

Kısaltmalar

MCS

SGK

TÜİK

COV

PDF

CDF

PMF

LÖ

ÇÖ

Açıklama

Monte Carlo Similasyonu

Sınır Güvenlik Katsayısı

Türkiye İstatistik Kurumu

Değişim Katsayısı

Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Kümülatif Dağılım Fonksiyonu

Olasılık Kütle Fonksiyonu

Lif Öz

Çelik Öz

1. GİRİŞ

Asansörler, düşey doğrultuda kılavuz raylar arasında hareket eden insan veya yük taşınmasında kullanılan bir araçtır. Asansörler, M.Ö. 236 yılında Roma'da yükleri indirmek ve kaldırmak amacıyla insan hayatına girmiştir. İlk insan asansörü ise 1857 yılında ABD'de kullanılmıştır. Asansörler, insan sağlığı ve can güvenliği açısından oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Asansör ve ekipmanları; tasarım, imalat, montaj ve kullanım aşamalarında zaruri standartlar ve yönetmelikler kapsamında ele alınmaktadır. Örneğin, asansörlerde kullanılan çelik tel halatlar TS EN 12385-5'de "Asansörler için Halatlar" kapsamında standartlaştırılmıştır. Asansör sisteminde kabin, karşı ağırlık ve hız regülatörü çelik tel halatlar ile askıya alındıklarından halatlar yüksek emniyete sahip olmalıdır. Temel mukavemet hesaplarının amacı belirli bir çalışma ömrüne sahip uygun bir halat seçebilmektir. Çelik tel halatların çalışma ömrü zamanla yorulma ve aşınma nedeniyle azalır ve mekanik özellikleri değişkenlik gösterir. Bu nedenle çelik tel halatlar kullanıma uygun seçildiği ve düzenli bakımları yapıldığı sürece uzun ömürlü ve güvenilir taşıyıcılar olarak kabul edilmektedir.

Çelik tel halatların mukavemet ve ömür analizleri ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaları deterministik ve stokastik koşullarda incelenmesine göre gruplandırabiliriz.

Deterministik koşullarda yapılan çalışmalara örnek olarak; Feyrer (2015), çelik tel halatlar için çeşitli deneyler yapmış ve deneysel sonuçları kullanarak regresyon analizleri sonucu halatlar için teorik halat ömür denklemleri oluşturmuştur. Verret (1998), Feyrer'in oluşturduğu denklemleri kullanarak bilgisayar programı oluşturmuş ve bu programı kullanarak halat ömür analizlerini incelemiştir. Kösemem (2008), Asansör halatlarının kopma deneylerini yaparak standartta belirtilen teknik değerlerle karşılaştırmıştır. Salman (2010), Asansör halatlarında kopma deneyleri yaparak en uygun deney aparatını araştırmış yaptığı deney sonuçları ile standartta belirtilen teknik değerleri karşılaştırmıştır. Onur (2010), Feyrer'in oluşturduğu denklemleri kullanarak halatlar için teorik ömür sonuçları elde etmiş ve aynı zamanda deneysel çalışmalar yaparak çıkan sonuçlarla karşılaştırmıştır. Fontanari ve ark. (2014), Yangın koşullarında çelik tel halatların mekanik özelliklerinin değişimini deneysel ve sonlu elemanlar

yöntemiyle analiz etmiştir. Yapılan çalışmada, halatların yangın değerlendirmesinde bir temel kabul edilebilir ve halatların mekanik özelliklerini iyileştirmek için tasarım aşamasına dahil edilebilir. Singh ve ark. (2016), Yeraltı kömür madenlerinde kullanılan tel halatların arıza davranışları üzerine çalışmalar yapmıştır. Arızanın başlıca nedeninin aşırı aşınmadan kaynaklandığı, korozyon nedeniyle çap düşüşünün ve zayıf yağlama neticesinde tel halatın arıza gösterdiğini tespit etmiştir. Molnar ve ark. (2016), Korozyonun, çelik halatların ömrüne etkileri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Eğilme ve burulma testleri neticesinde yoğun korozif etki altındaki çelik halatların mekanik özellikleri hızlı bir şekilde değiştiğini tespit etmiştir. Vogel (2016), Kasnaklar üzerinden geçen çelik tel halatların kullanım ömrü araştırılmıştır. Özellikle D/d oranının ve halat güvenlik faktörünün azaltılmasıyla uygulamada halat ömrünün hesaplanması için kullanılan yöntem ve ilgili parametrelerin halat ömrünün uzamasına etkileri incelenmiştir. Aycan (2017) Asansör halatlarının servis dışı bırakma kriterlerinin çekme dayanıma etkilerini incelemiştir.

Öte yandan çelik tel halatların stokastik koşullarda incelenmesi hakkında birkaç araştırmaya rastlanmıştır; Vallan (2004), farklı halat hızlarında halatlardaki uzama miktarı değişimlerini incelemiştir. Halat hızına bağlı olarak halat uzama miktarındaki belirsizliği araştırmıştır. Peng ve ark. (2018), farklı yükler altında çelik tel halatlarda yağlamanın sebep olduğu aşınma belirsizlikleri üzerinde çalışmalar yapmış bunun neticesinde halatların servis dışı bırakma ömrünü incelemiştir.

Yapılan literatür taraması neticesinde çelik tel halatların hem deterministik hem de stokastik koşullarda mukavemet ve ömür analizleri incelenmiştir. Ancak stokastik koşullarda bir elektrikli insan asansörünün askı halatı için belirsizliğe dayalı mukavemet ve ömür analizlerine literatürde rastlanmamıştır.

Bu tezin amacı; hem deterministik hem de stokastik koşullarda beş katlı bir konutta kullanılacak dört kişi kapasiteli elektrikli insan asansörü askı halatının mukavemet ve ömür analizlerini detaylı bir şekilde incelemektir. Bu kapsamda, gerçek yaşam koşullarında (stokastik koşullarda) bir asansör çelik tel halatın mukavemet ve ömür açısından gösterdiği davranışların Monte Carlo Simulasyonu (MCS) yöntemi ile

istatistiksel olarak modellenmesi ve sonuçların geleneksel (deterministik) koşullardaki davranışlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Tezde takip edilen araştırma yöntemi ve işlem sırasıyla; (1) geleneksel yöntemle beş katlı bir konutta kullanılacak dört kişi kapasiteli elektrikli insan asansöründe çelik tel halatın mukavemet ve ömür analizinin yapılması, (2) bu asansör sistemindeki rasgele değişkenlerin ve istatistiksel özelliklerinin deneysel olarak veya literatürden derlenmesi, (3) sistemdeki rasgele değişkenlerin geleneksel hesaplama işlemine dahil edilerek olasılıksal mukavemet ve ömür analizinin gerçekteştirilmesi ve (4) deterministik ve stokastik analiz sonuçlarının detaylı bir şekilde karşılaştırılmasıdır.

Tezin organizasyonu ise şöyle yapılmıştır; 2. Bölümde asansörler, çelik tel halatlar, halat ömrüne etki eden faktörler, asansör askı halatının mukavemet ve ömür analizi için gerekli uygulanana gelen teorik bilgiler, geleneksel yöntemle dayalı bir halat mukavemet ve ömür analiz örneği ve son olarak mühendislik tasarımında kullanılmakta olan belirsizliğe dayalı güvenilirlik analiz yöntemleri hakkında temel bilgiler verilmiştir. 3. Bölümde, bu asansör sistemine ait teknik bilgiler, deterministik ve stokastik analiz için gerekli değişkenler ve analizlerin nasıl uygulanacağı açıklanmıştır. 4. Bölümde, çelik tel halatın belirsizliğe dayalı mukavemet ve ömür analizi yapılmış, istatistiksel özellikler modellenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. 5. Bölümde, tez çalışmasının kapsamı verilmiş, deterministik ve stokastik analiz sonuçları tartışılmış ve bu yönde yapılacak ileriki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde asansörler, çelik tel halatlar, halat ömrüne etki eden faktörler, asansör askı halatının mukavemet ve ömür analizi için gerekli uygulana gelen teorik bilgiler, geleneksel yöntemeye dayalı bir halat mukavemet ve ömür analiz örneği ve son olarak mühendislik tasarımında kullanılmakta olan belirsizliğe dayalı güvenilirlik analiz yöntemleri hakkında temel bilgiler verilmiştir.

2.1. Asansör

Asansör, düşey yönde kılavuz raylar arasında hareket eden insan veya yük taşınmasında kullanılan bir araçtır. Tahrik sistemine göre ikiye ayrılırlar.

2.1.1. Elektrikli Asansörler

Kumanda panosunun elektrik ile çalışan motora komut vermesiyle tahrik kasnağı dönmeye başlar ve halat sürtünme yoluyla hareket eder. Askı halatın bir ucu kabine diğer ucu karşı ağırlığa bağlıdır. Kabin ile karşı ağırlık ters istikamette çalışırlar, kabin yukarı doğru hareket ederken, karşı ağırlık aşağıya doğru hareket eder ve ağırlıkları birbirine yakındır. Bu sayede enerjiden tasarruf edilir (Fetih Asansör, 2017).

İnsan ve yük taşınmasında kullanılırlar. Kullanım durumuna, beyan yüküne ve hızlarına göre sınıflara ayrılırlar. Bunlar;

- Kullanım tipine göre: İnsan asansörü, engelli asansörü, sedye asansörü, panoramik asansör, araç asansörü, yük asansörü, monşarj asansör v.b gibi
- Beyan yüküne göre: 320 kg, 450 kg, 630 kg, 800 kg, 1000 kg, 1275 kg, 1600 kg, 2000 kg ve 2500 kg (TS EN 81-1, 2011).
- Beyan hızına göre: 0,63 m/s, 1 m/s, 1,6 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 5 m/s ve 6 m/s (TS EN 81-1, 2011).

Bunlara bağlı olarak asansörlerde kabin, kuyu boşluğu ve makine dairesi ebatları değişiklik gösterir. Asansör beyan hızına göre farklı güçlerde motor-fren sistemi kullanılır. Ayrıca asansör halatlarının kopması halinde regülatör düzeneği devreye girip kabini raylara kilitleyen bir emniyet tertibatı vardır.

Ayrıca asansörler makine dairesi ve makine dairesiz asansörler şeklinde ikiye ayrılırlar.

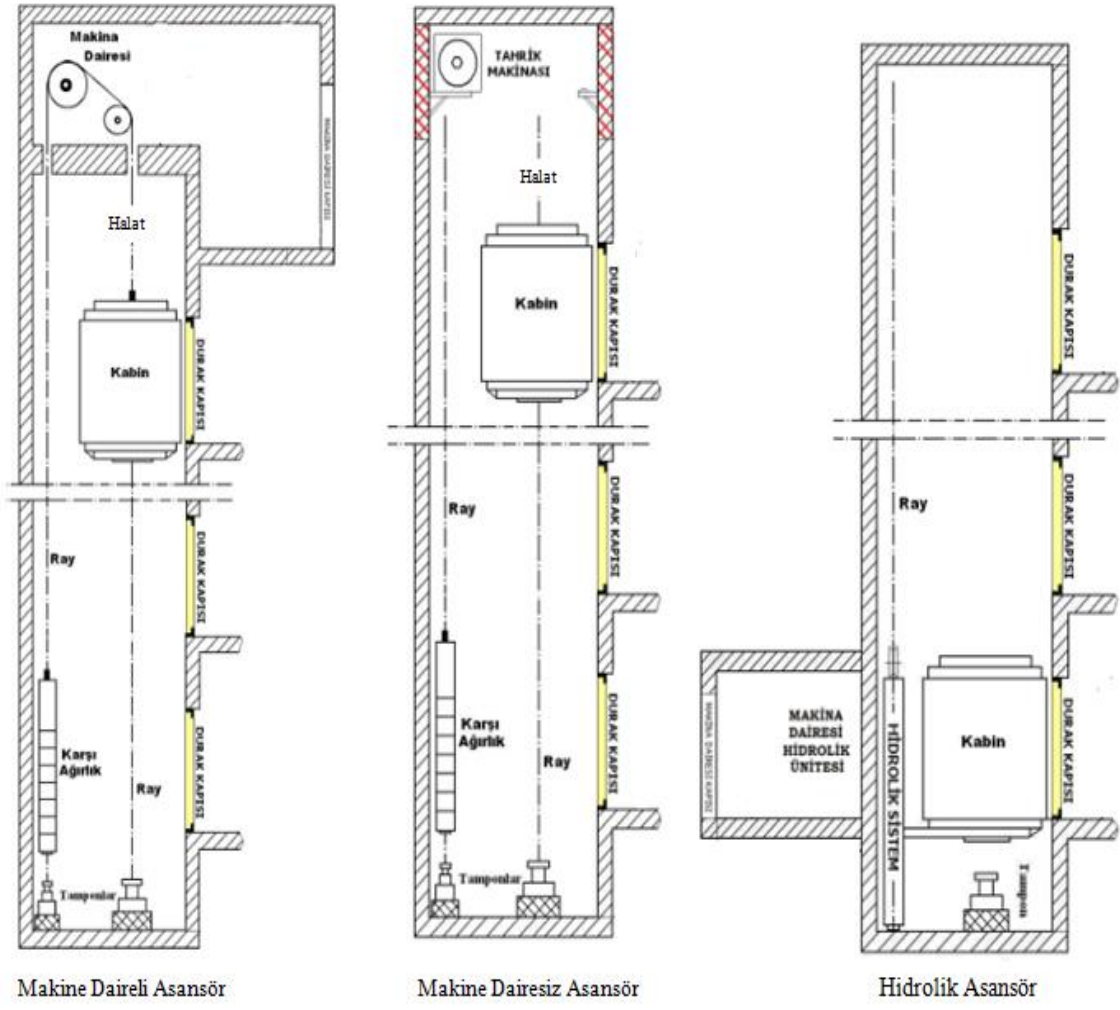
- Makine dairesi asansör: Asansör tahrik sisteminin yani makine motorun, asansör kuyusunun üstünde kapalı bir oda içerisine yerleştirilmiş asansör tipidir.
- Makine dairesiz asansör: Asansör tahrik sisteminin yani makine motorun, asansör kuyusunun içerisinde ya da kabininin üzerine yerleştirilmiş asansör tipidir. Diğer adı da dişlisiz asansördür.

2.1.2. Hidrolik Asansör

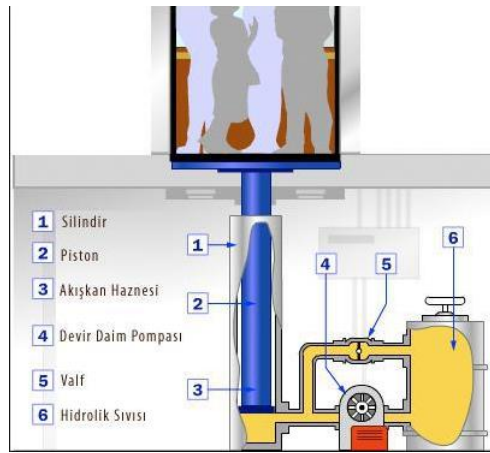
Hidrolik asansörler, hidrolik pompanın yağı itmesiyle silindir pistonlar kabini kaldırması prensibine göre çalışır. Pompalanan yağ silindiri harekete geçirir. Silindire bağlı olan kabin hareket eder.

Kaldırma işlemi, hidrolik pompanın hidrolik sıvıyı pistonlara doğru itmesiyle kabinin yukarı çıkmasıyla gerçekleşmektedir. Aşaağıya inme işlemi kabinin kendi ağırlığı ile gerçekleşmektedir.

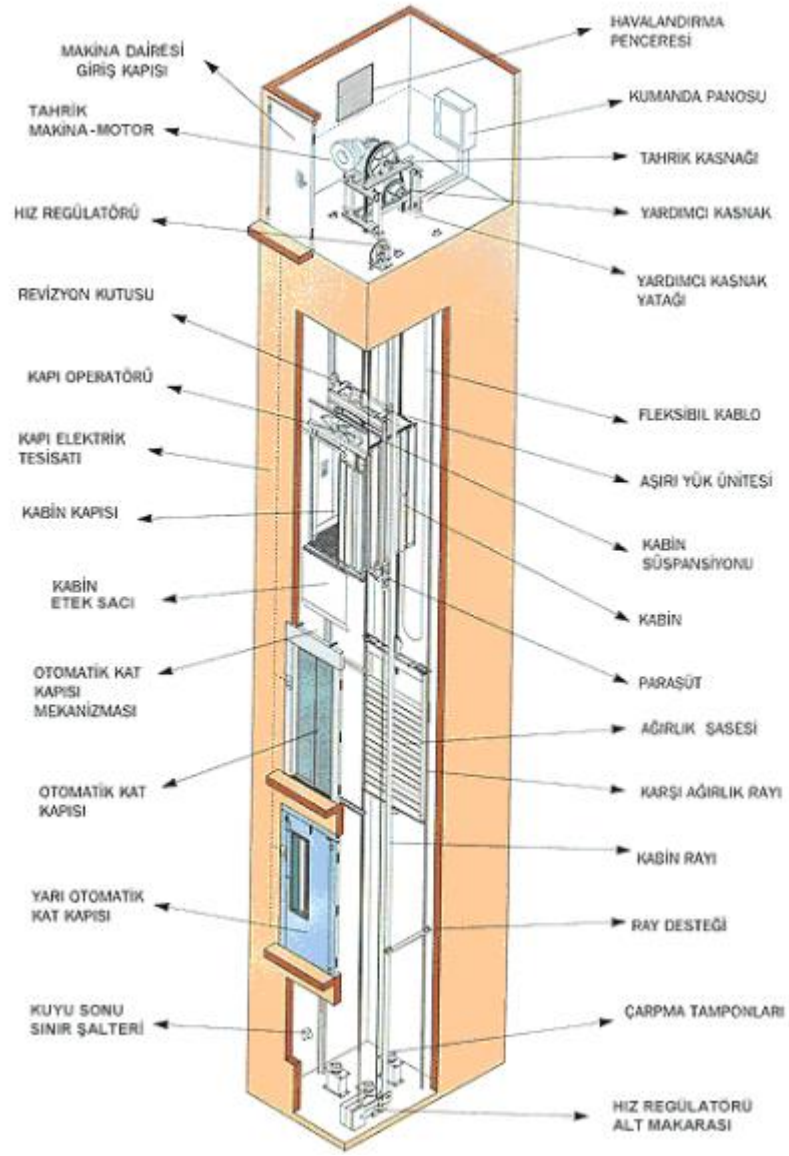
Hidrolik asansörlerde makine dairesi genellikle ilk durak seviyesinde bulunur. Makine dairesinde hidrolik pompa, yağ kazanı, kumanda panosu ve hortumlar yer alır. Asansör kuyusu içerisinde kabin, silindir piston, varsa karşı ağırlık, askı tertibatı ve tamponlar yer alır. (Fetih Asansör, 2017).



Şekil 2.1. Makine daireli, makine dairesiz ve hidrolik asansör sistemi (Fetih asansör, 2017)



Şekil 2.2. Hidrolik asansör sisteminin elemanları (Şahin lift, 2017)



Şekil 2.3. Asansör sistemini oluşturan elemanların gösterimi (Fetih asansör, 2017)

2.2. Çelik Tel Halatlar

Çelik tellerin bir öz etrafında helisel olarak sarılması sonucu elde edilen çekme elemanına çelik tel halat adı verilir.

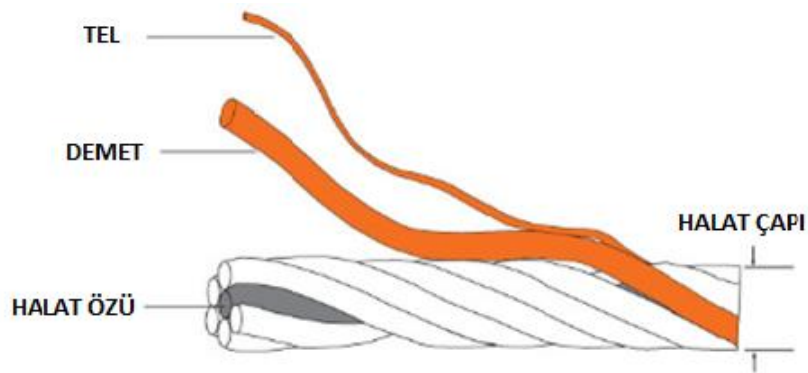
Çelik tel halatlar;

- Teller,
- Farklı çaplı tellerin bir öz etrafında sarılmasıyla oluşan demetler,
- Halatın ortasında, demetlere mesnet görevini yapan özler (Lif Öz, Polipropilen Öz, Çelik Öz, Damar Öz) 'den

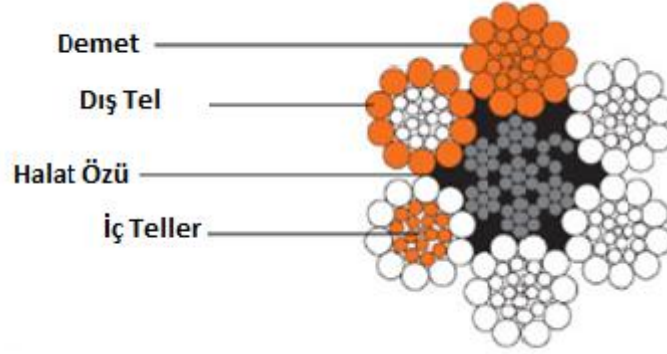
oluşmaktadır.

Bir halatın yapısı Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Halatı oluşturan teller orta kısımda bulunan ve öz adı verilen bir tel veya lifin etrafına sarılırlar. Önce çelik tellerin bir öz etrafına belirli bir kurala göre sarılması sonucu demet elde edilir. Demetlerin bir öz etrafında helisel olarak sarılması ile de halatlar elde edilir (Onur, 2010).

Çelik tel halatlar daha çok kaldırma ve taşıma makinelerinde kullanılırlar. 3 mm ile 85 mm arasında üretilen çelik tel halatlar yüksek mukavemete sahiptir. Bakımları oldukça kolaydır.



Şekil 2.4. Çelik tel halatı oluşturan elemanlar (Çetin çelik halat, 2017)



Şekil 2.5. Çelik tel halatı oluşturan elemanlar (Çetin çelik halat, 2017)

2.2.1. Çelik Tel Halatların Yapısı

Çelik tel halatların yapımında yüksek mukavemetli ince çelik teller kullanılırlar. Bu çelik teller oksijen çeliği, ark çeliği veya Siemens-Martin çeliğinden ve genellikle aşağıdaki gösterilen elementlerin belirli oranlarda kullanılarak imal edilirler (Kösemen, 2008).

- Mangan
- Silis
- Fosfor
- Kükürt
- Fosfor + Kükürt
- Krom + Nikel + Bakır

Çelik telin mukavemeti alaşımın miktarı, ısıtım işlem ve soğuk haddeleme esnasındaki kesit daralması ile belirlenmektedir. Tel kesitinin daralması ve teldeki karbon miktarının artması mukavemeti artırır iken elastik uzama, eğilme ve burulma yeteneğini azaltmaktadır. Bu tellerin çekme mukavemeti 4000 N/mm^2 ye kadar çıksa da bu teller 2000 N/mm^2 nin altında çalıştırılırlar (Aycan, 2017).

2.2.2. Çelik Tel Kesit Şekilleri

Çelik tel halatlarda genellikle yuvarlak kesitli teller kullanılır. Ancak özel durumlarda, kullanım amacına ve yerine göre farklı kesitlerdeki tellerde kullanılır.



Şekil 2.6. Tel halatlarda kullanılan tel kesitleri (Anıl, 2011)

2.2.3. Çelik Tel Halat Özleri

Bir öz etrafına demetlerin helisel olarak sarıldığı, halat merkezinde bulunan ve demetlere destek görevini yapan elemandır. Lif öz ve çelik öz olmak üzere ikiye ayrılır.

a.Lif Öz: Esnekliğin ve elastikiyetin ön planda tutulduğu durumlarda kullanılır. Nemli, asidik ve yüksek sıcaklıktaki ortamlarda kullanılması uygun değildir.

b.Çelik Öz: Az esnemesinden dolayı halatın mukavemeti yüksektir. Ani yüklere karşı daha az dayanıklı ve düşük rezilyans değerine sahiptir. Yüksek mukavemet ve ısının önemli olduğu yerlerde kullanılır.

Şekil 2.7’de lif (kendir) özlü ve çelik özlü halatların yapısı görülmektedir. Çizelge 2.1.’de tel halatlarda kullanılan özler gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Halat özlere (Global çelik, 2017)

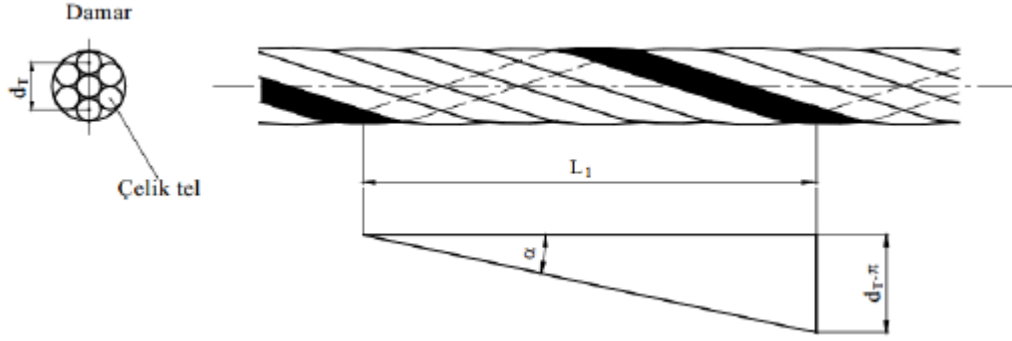
Çizelge 2.1. Tel halatlarda kullanılan özlere (TS EN 12385-2, 2005)

Tek katlı halat		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 ¹
	Katı polimer kaplı çelik halat öz	ESWRC ¹
	Çelik öz (paralel kapalı)	Paralel çelik halat öz Paralel çelik halat öz (sıkıştırılmış demet)
Çok demetli (dönme dirençli) halat		
Merkez eleman	Lif merkez	FC
	Demet merkez	WSC
	Sıkıştırılmış demet merkez	KWSC

2.2.4. Çelik Tel Halat Demetleri

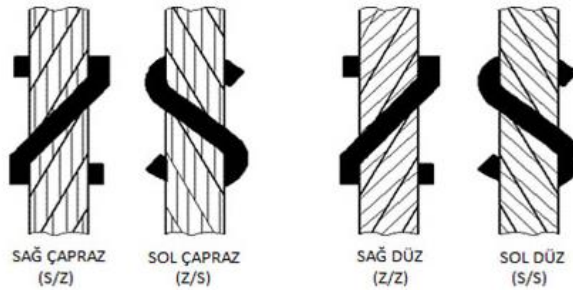
Bir öz etrafında yuvarlak, üçgen veya oval kesitli çelik tellerin helisel olarak sarılmasıyla halat demeti oluşturulur. Telin, demet eksenine etrafında çizdiği helisin demet eksenine boyunca ölçülen kısmına demet adımı L_1 , tellerin eksenine ile demet eksenine

arasındaki açıya demet sarma açısı α , demetin enine kesitteki tellerin merkezlerinden geçen dairenin çapı d_T 'dir. Şekil 2.8'de demeti oluşturan tellerin L_1 uzunluğu, d_T çapı ve α açısı gösterilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.8. Bir demetteki tellerin sarım uzunluğu, sarım açısı ve çapı (Aycan, 2017)

Halatı oluşturan teller ve demetler farklı şekillerde sarılarak değişik halat tipleri meydana getirilir. Halatı oluşturan demetlerin sarım yönleri sağ (Z) veya sol (S) harfleriyle gösterilir. Aynı şekilde demeti oluşturan tellerin sarım yönleri de sağ (z) veya sol (s) harfleriyle gösterilir. Demetleri oluşturan tellerle, halatı oluşturan demetlerin sarım yönleri aynı yönde ise düz sarımlı, demetleri oluşturan tellerle, halatı oluşturan demetlerin sarım yönleri birbirlerine ters ise çapraz sarımlı halat denir. ZZ ve SS sarılışına düz sarımlı, ZS ve SZ sarılışına da çapraz sarımlı denir. Şekil 2.9'da halat sarım şekilleri gösterilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.9. Halat sarım şekilleri (Global çelik, 2017)

2.3. Tel Halat Konstrüksiyonu

2.3.1. Özlerine Göre Halatlar

2.3.1.1. Lif Özlü Halatlar

Halat özü doğal veya sentetik liflerden oluşur. Standart yazılışı “LÖ” şeklinde gösterilir. Şekil 2.10’da 6x7 lif özlü halat örneği gösterilmiştir (Adıvar Çelik Halat, 2017).



Şekil 2.10. Lif özlü halat (Adıvar çelik halat, 2017)

2.3.1.2. Çelik Özlü Halatlar

Halat özü çelik tellerden oluşur. Standart yazılışı “ÇÖ” şeklinde gösterilir. Şekil 2.11’de 6x7 F çelik özlü halat örneği gösterilmiştir (Adıvar Çelik Halat, 2017).



Şekil 2.11. Çelik özlü halat (Adıvar çelik halat, 2017)

2.3.2. Tek Operasyonlu Halatlar

Demette bulunan tellerin aynı açı ve aynı yönde tek operasyonla örülmesiyle oluşturulan halatlardır. Demetlerin örüm şekillerine göre; Standart, Seale, Warrington, Filler, Seale- Filler, Warrington-Seale olarak adlandırılır (Adıvar Çelik Halat, 2017).

2.3.2.1. Standart Demetler

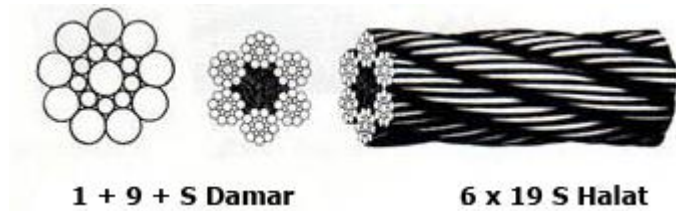
Demet içerisindeki tüm teller demet eksenine aynı sarım açısındadırlar ve tüm teller eşit çaplıdır. Şekil 2.12’de bir Standart demet gösterilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.12. Standart demet (Onur, 2010)

2.3.2.2. Seale Demetler

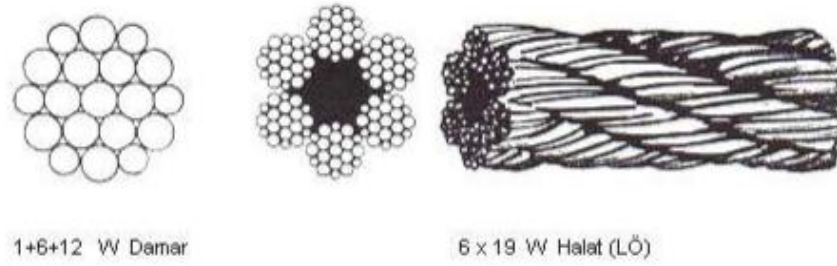
Bir demette en dış katta bulunan tel sayısının bir alt katta bulunan tel sayısına eşit olduğu halat konstrüksiyonudur. Şekil 2.13’te 6 x 19 S halat örneği gösterilmiştir (Şentürk, 2007).



Şekil 2.13. Seale demeti (Adıvar çelik halat, 2017)

2.3.2.3. Warrington Demetler

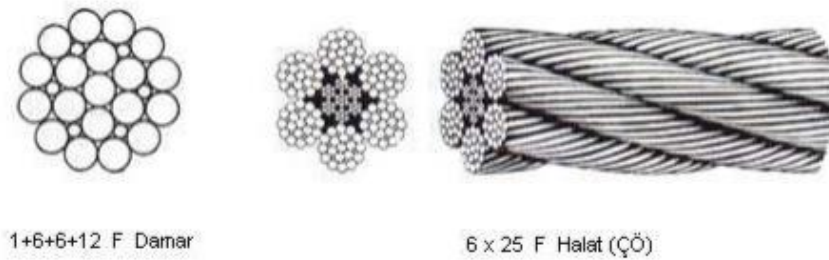
Bir demette en dış katta bulunan, birbirine eşit sayıda iki farklı çapa sahip tellerin bir atlayarak örülmesiyle oluşturulan halat konstrüksiyonudur. Warrington demette en dış katta bulunan tel sayısı bir alt kattaki tel sayısının iki katıdır. Şekil 2.14'te 6 x 19 W halat örneği gösterilmiştir (Şentürk, 2007).



Şekil 2.14. Warrington demeti (Adıvar çelik halat, 2017)

2.3.2.4. Filler Demetler

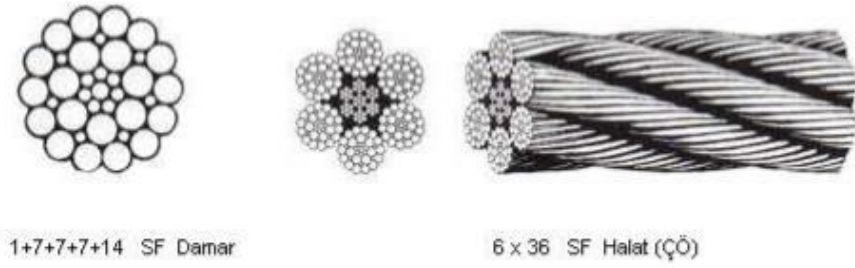
Bir demette en dış katta bulunan tel sayısının yarı sayısı kadar bir alt katında bulunan ve dış tellere yataklık eden dolgu telleriyle oluşturulan halat konstrüksiyonudur. Şekil 2.15'te 6 x 25 F halat örneği gösterilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.15. Filler demeti (Adıvar çelik halat, 2017)

2.3.2.5. Seale-Filler Demetler

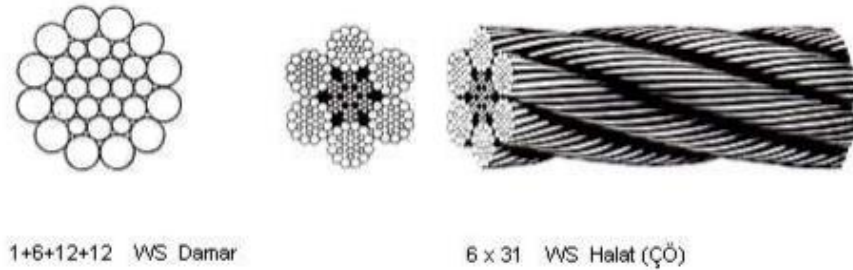
Bir demette en dış katta bulunan teller ile bir alt kattaki kalın tellerle eşit sayıda dolgu telleriyle örülmüş ve dış katta bulunan tellere yataklık yapan halat konstrüksiyonudur. Seale-Filler demetlerde dış katta bulunan tel sayısı dolgu tel sayısının iki katıdır. Şekil 2.16'da 6 x 36 SF halat örneği gösterilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.16. Seale-Filler demeti (Adivar çelik halat, 2017)

2.3.2.6. Warrington-Seale Demetler

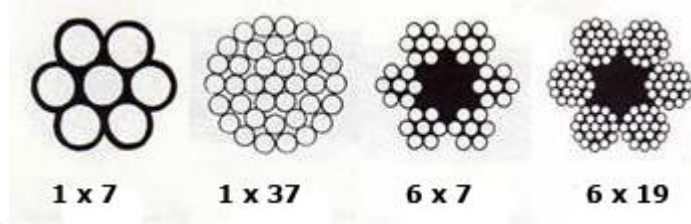
Bir demette en dış katta bulunan teller Seale, bir alt kat telleri ise Warrington dizilişli halat konstrüksiyonlardır. Şekil 2.17'de 6 x 31 WS halat örneği gösterilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.17. Warrington-Seale demeti (Adivar çelik halat, 2017)

2.3.3. Çok Operasyonlu Halatlar

Halatta bulunan demetlerdeki tüm kat telleri aynı yönde fakat farklı açıyla örülür bundan dolayı her kat ayrı bir katsayıya göre imal edilen halat kompozisyonlarıdır. (1x7, 1x37, 6x7, 6x19 gibi). Teller arasında küçük bir açı farkı vardır. Şekil 2.18’de Çok operasyonlu halat örnekleri gösterilmiştir (Adıvar Çelik Halat, 2017).

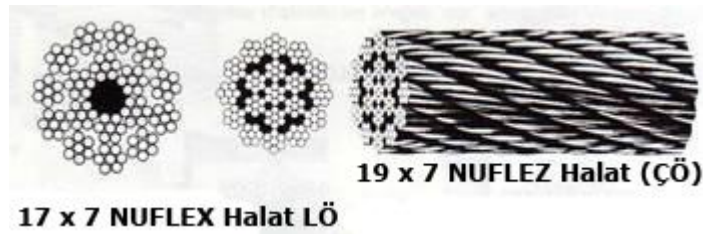


Şekil 2.18. Çok operasyonlu halatlar (Adıvar çelik halat, 2017)

2.3.4. Özel Halatlar

2.3.4.1. Dönmez Tip Halatlar

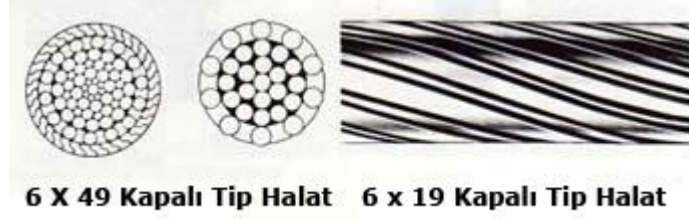
Bir öz etrafına en az iki kat aynı tip demetlerin ters istikamette üst üste sarılmasıyla meydana gelen halatlardır. Şekil 2.19’da Dönmez tip halat örneği gösterilmiştir (Adıvar Çelik Halat, 2017).



Şekil 2.19. Dönmez tip halatlar (Adıvar çelik halat, 2017)

2.3.4.2. Kapalı Tip Halatlar

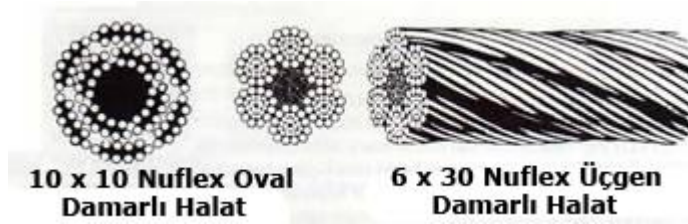
Profilleri yardımıyla telleri birbirine kenetlenmiş ve en dış telleri yuvarlak olmayan halatlardır. Şekil 2.20’de Kapalı tip halat örneği gösterilmiştir (Adivar Çelik Halat, 2017).



Şekil 2.20. Kapalı tip halatlar (Adivar çelik halat, 2017)

2.3.4.3. Oval ve Üçgen Demetli Halatlar

Halatı oluşturan demetlerdeki teller diziliş şekliyle üçgen veya elips şekline getirilmiş konstrüksiyonlardır. Şekil 2.21’de Oval ve Üçgen Demetli Halat örneği gösterilmiştir (Adivar Çelik Halat, 2017).



Şekil 2.21. Oval ve üçgen demetli halatlar (Adivar çelik halat, 2017)

2.4. Asansörlerde Kullanılan Halatlar

Asansörlerde kullanılan halatlarda; aşınma dayanımı, yorulma dayanımı ve uygun preforme özellikleri önemlidir.

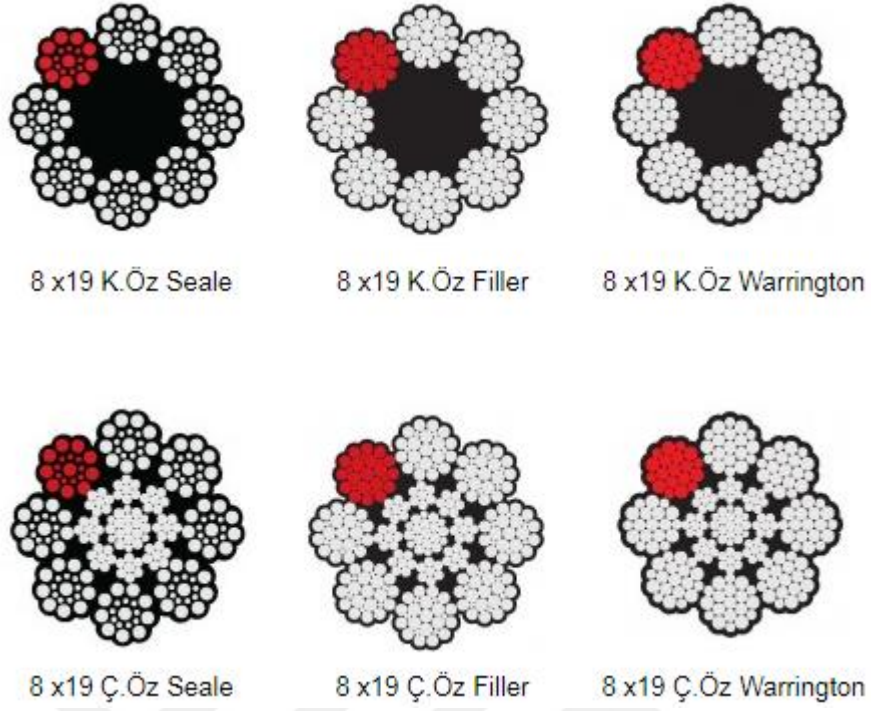
Asansörlerde genellikle Seale, Warrington veya Filler demetli halatlar kullanılır. Lif özlü, paralel telli ve aynı adımlı halatlar tercih edilir. Asansörlerde askı halatı olarak 8x19 S, 8x19 W veya 8x19 F kompozisyonlu halatlar tercih edilirler. 6x19 S ve 6x19 F kompozisyonlu halatlar da hız regülatörlerinde tercih edilebilmektedir. Bu halatların dış telleri kalın olup, esnek ve aşınma dayanımları iyidir. Tel minimum kopma mukavemetleri 140,160 veya 180 kg/mm²'dir (Global Çelik, 2017).

TS EN 81-1, TS EN 12385-5 ve TS 1812 standartlarında elektrikli asansörlerde kullanılan çelik halatlarda olması gereken minimum gereksinimler belirtilmiştir.

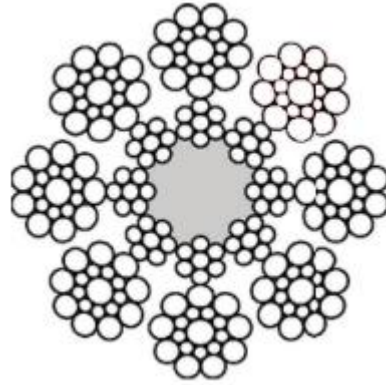
TS EN 81-1 ve TS EN 1812'ye göre;

- Kabin ve karşı ağırlıkta kullanılan çelik halat anma çapı minimum 8 mm, regülatörde kullanılan çelik halat anma çapı minimum 6 mm,
- Askı halatı emniyet katsayısı minimum 12,
- Makara, tambur veya kasnak çapı, çelik halat çapının en az 40 katı,
- Çelik tel halatın tel anma dayanımı minimum 1570 N/mm² olmalıdır.

Şekil 2.22'de Asansörlerde kullanılan halatlar ve Şekil 2.23'te dişlisiz asansörlerde kullanılan halatlar gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Asansörlerde kullanılan halatlar (Güven çelik halat, 2017)



Şekil 2.23. Dişlisiz asansörlerde kullanılan halatlar (Güven çelik halat, 2017)

2.5. Halat Ömrüne Etki Eden Faktörler

Çelik tel halatlar, kaldırma-iletme makinelerinde yüklerin taşınması amacıyla kullanılırlar. Halat seçimi ve halata yataklık yapan tambur seçimi halat ömrüne önemli bir etkidir. Halatlar kullanım sırasında yorulmalara maruz kalırlar. Halatın kullanım ömrüne etki eden çeşitli faktörler vardır.

- Çekme yükü ve çap oranı
- Halatın eğilmesi
- Tel anma mukavemeti
- Halat yuvası şekli
- Halat yuvası malzemesi
- Yağlama
- Halat sarılma açısı
- Halatın kenar sapması
- Sapma açısı

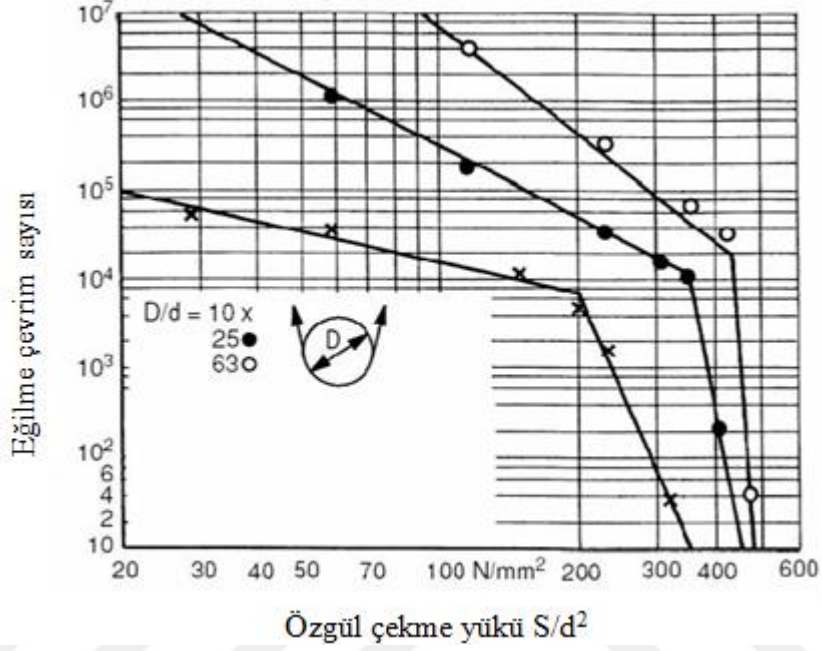
gibi faktörler halatın ömrünü etkilemektedir

Bu bölümde halat ömrüne etki eden faktörler incelenirken, daha önce yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarından faydalanılmıştır. Ayrıca halatların çalışması esnasında oluşan hasarlar (dış ve iç tel kırılmaları, aşınma vs.) göz ardı edilmiştir (Onur, 2010).

2.5.1. Çekme yükü çap oranı

Halat ömrüne etki eden faktörlerin başında çekme yükü (S) ve tambur çapının halat çapına oranı (D/d) gelmektedir. Halatın ömrü, çekme yükünün (S) artmasıyla halat ömrü azalmakta fakat tambur çapının halat çapına oranının (D/d) artması ile halat ömrü artmaktadır. Bundan dolayı tambur ve halat çapı seçilirken dikkat edilmelidir (Onur, 2010).

Feyrer (2015), yaptığı çalışmalarda çekme yükü (S) ve tambur çapının halat çapına oranının (D/d) halat ömrüne etkisini şu şekilde göstermiştir. Şekil 2.24'te 16 mm çapında, 1650 N/mm² tel anma dayanımı olan 8x25 F (LÖ) halat için elde edilmiş olan halat ömrünün D/d oranı ve S/d² oranı ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.24. 8x25 F (LÖ) halat ömrünün D/d oranı ve S/d² oranı ile değişimi (Feyrer, 2015)

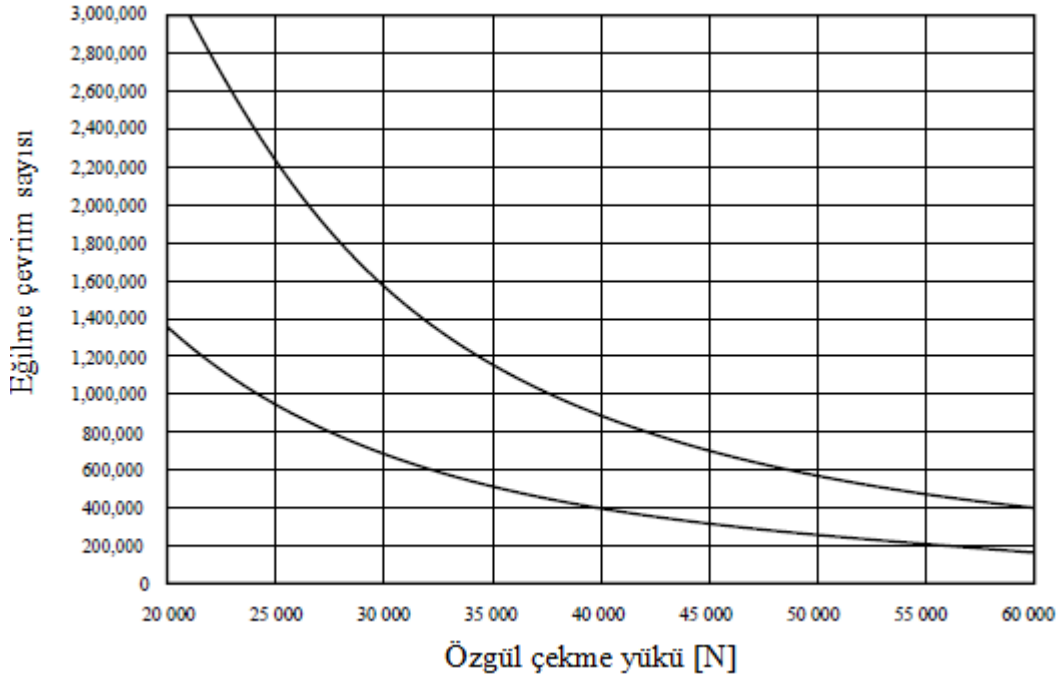
Feyrer (2015), Şekil 2.24'te görüldüğü gibi çekme yükü (S) yerine özgül çekme yükü (S/d²) ifadesini kullanmıştır. Şekil 2.24'te sabit özgül çekme yükünde (S/d²), D/d çap oranı artmasıyla halat ömrü artmakta ve sabit D/d çap oranında, özgül çekme yükünün (S/d²) artmasıyla halat ömrü azalmaktadır (Feyrer, 2015). Çizelge 2.2'de halat kompozisyonlarına göre önerilen ve minimum D/d çap oranları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Halat kompozisyonlarına göre önerilen D/d çap oranları (Cooke Limited, 2007)

Kompozisyon	Önerilen	Minimum
	D/d çap oranı	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

Verret (1998), Feyrer'in geliştirmiş olduğu halat ömür denklemini kullanarak bilgisayar programı vasıtasıyla özellikleri bilinen halatın ömrünün çekme yükü (S) ile değişimini bulmuştur.

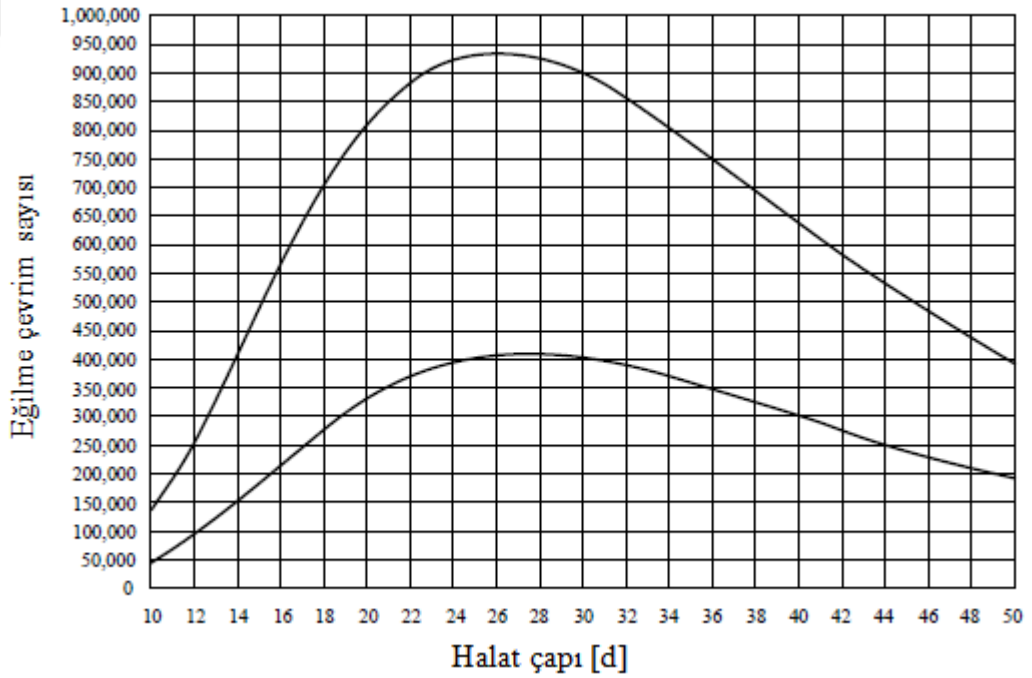
Şekil 2.25'te halat ömrünün çekme yükü ile değişimi gösterilmektedir. Şekil 2.25'te üstteki eğri çekme yükü ile halatın tümünden kopması durumunu ve alttaki eğri ise çekme yükü ile halatın işletmeden alınması durumunu göstermektedir.



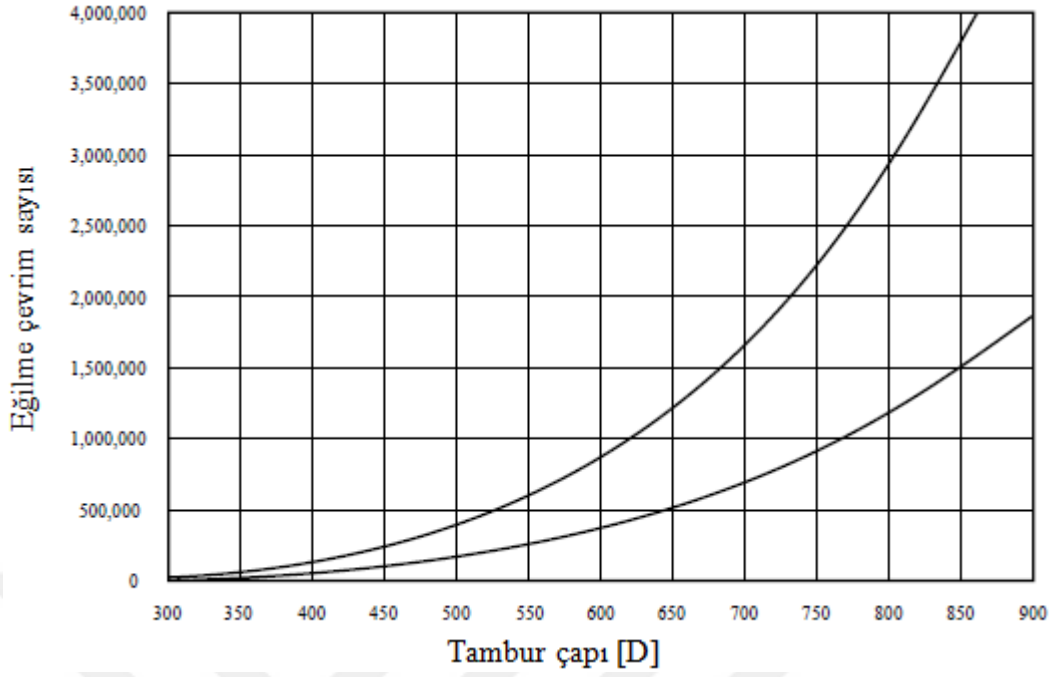
Şekil 2.25. Halat ömrünün çekme yükü ile değişimi (Verret, 1998)

Şekil 2.26’da farklı çaptaki halatların ömür grafiği gösterilmektedir. Şekil 2.26’da üstteki eğri halatın tümünden kopması durumunu ve alttaki eğri ise halatın işletmeden alınması durumunu göstermektedir. Halat çapının artmasıyla halat ömründe bir süre artış olduğu ancak halat ömrü maksimum seviye ulaştıktan sonra halat çapının artmasıyla halat ömrünün azaldığı görülmektedir (Verret, 1998).

Şekil 2.27’de farklı çaptaki tamburların halat ömür grafiği gösterilmektedir. Şekil 2.27’de üstteki eğri halatın tümünden kopması durumunu ve alttaki eğri ise halatın işletmeden alınması durumunu göstermektedir. Tambur çapının artmasıyla halat ömründe artış olduğu görülmektedir (Verret, 1998).



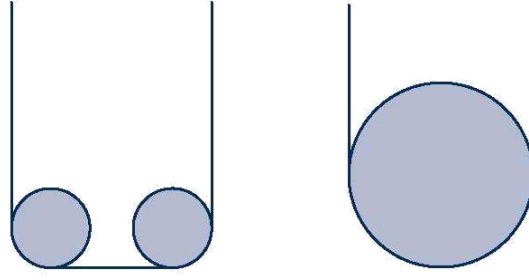
Şekil 2.26. Farklı çaptaki halatların ömür grafiği (Verret, 1998)



Şekil 2.27. Farklı çaptaki tamburların halat ömür grafiği (Verret, 1998)

2.5.2. Eğilme

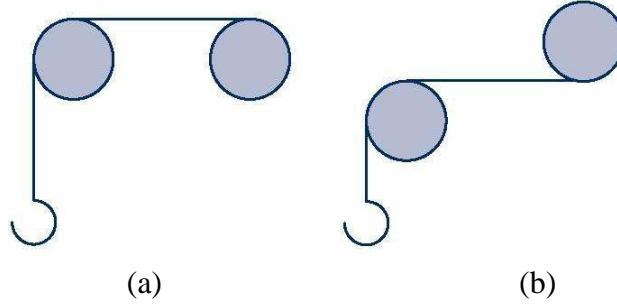
Halatlar eğilme yorulmasına maruz kalırlar. Şekil 2.28'de aynı koşullar altında fakat makara adedi ve çapları farklı iki sistemde yorulma ömrüne baktığımızda Şekil 2.28.a'da iki adet küçük çaplı makara olup halatın her bir hareketinde iki kez eğilmekte, Şekil 2.28.b'de bir adet büyük çaplı makara olup halatın hareketinde bir kez eğilmektedir. Bu durumda Şekil 2.28.b'de halat tek eğilmeye maruz kaldığından 2.28.a'da ki halata göre ömrü iki katına çıkmaktadır. Ayrıca 2.28.b'de makara çapı 2.28.a'dakinden 2,5 kat büyük olduğundan, halat ömrünün de 18 kat artırılması mümkündür (Onur, 2010).



(a) iki adet küçük makara (b) büyük çaplı bir makara

Şekil 2.28 İki tip makara örneği (Onur, 2010)

Halatların düz yönde ya da ters yönde eğilmeye maruz kalmaları halatın ömrüne doğrudan etkilidir. Ters yönde eğilmeye maruz kalan halat düz yönde eğilmeye maruz kalan halata göre 2 ile 7 kat daha fazla yorulmaktadır. Şekil 2.29.a'da düz eğilmeye maruz kalan halat, Şekil 2.29.b'deki gibi ters yönde eğilmeye maruz kalan halata göre 1.5 ile 4 kat daha fazla uzun ömre sahip olabilmektedir. Sonuçta, ters yönde eğilmeye maruz kalan halatın işletme ömrünü arttırmak için makara çaplarının artırılmalı ya da çekme yükü azaltılmalıdır (Onur, 2010).



Şekil 2.29. Düz (a) ve ters yönde (b) eğilen makara örneği (Onur, 2010)

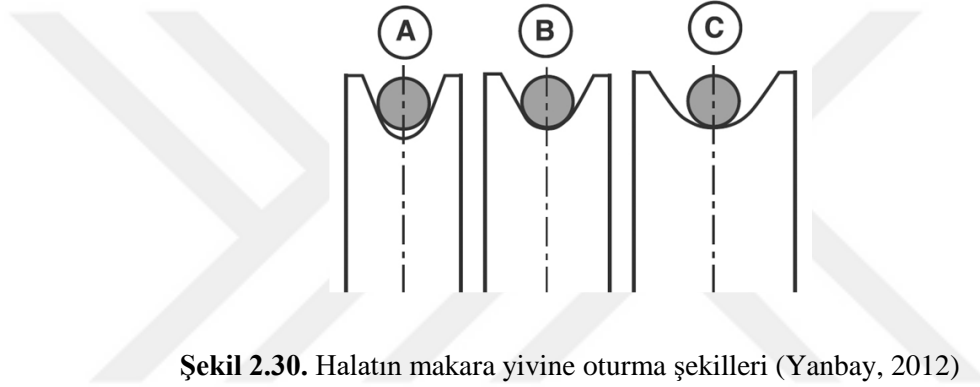
2.5.3. Tel Anma Mukavemeti

Sabit çekme yükü ve aynı halat çapında, tel mukavemetinin 1370 N/mm^2 'den 1570 N/mm^2 'ye artırılması ile halat ömründe az bir artış olmuştur. Tel mukavemetinin 1570 N/mm^2 'den 1770 N/mm^2 'ye artırılması ile bir miktar daha halat ömründe artış

olmuştur. Ancak tel mukavemeti 1960 N/mm^2 'ye artırılması halinde halat ömrünün azaldığı tespit edilmiştir (Onur, 2010).

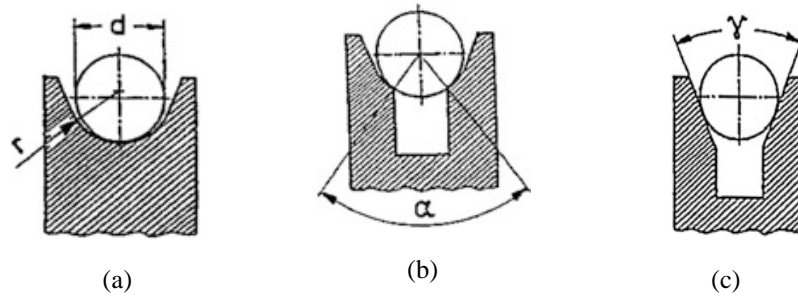
2.5.4. Halat Yuvası Şekli

Halat makara veya tambur yivine ne kadar iyi oturursa halatın ömrü bir o kadar uzun olur. En uygun yiv geometrisi $r = 0.53d$ oranıdır. Bu oran arttıkça halat ömrü azalmaktadır.



Şekil 2.30. Halatın makara yivine oturma şekilleri (Yanbay, 2012)

Şekil 2.30.A'da gereğinden dar kanal olması neticesinde halat ve kanal hızlı aşınır, halat şekil bozukluğuna uğrar. Şekil 2.30.B'de uygun kanal ölçüsü görülmektedir. Şekil 2.30.C'de gereğinden büyük olması neticesinde halat hızlı bir şekilde aşınmaya maruz kalır (Yanbay, 2012).



Şekil 2.31. Halatın makara yivine oturma şekilleri (Feyrer, 2015)

Şekil 2.31.a'da $r = 0.53d$ oranı sağlandığında halat ömrü en üst seviyededir. Bu oran değiştikçe halat ömrü azalmaktadır. Şekil 2.31.b'de α açısı arttıkça halat ömrü azalmaktadır. Şekil 2.31.c'de γ açısı arttıkça halat ömrü artmaktadır (Feyrer, 2015).

2.5.5. Halat Yuvası Malzemesi

Makara veya tambur ve yivleri genellikle dökme demir veya çelik malzemeden yapılırlar. Bazı durumlarda makara veya tambur çelik yivleri sertleştirilir. Yapılan sertleştirme işlemi halat ömrünü artırır. Çünkü aşınma sebebiyle yiv geometrisindeki şekil değişiminin engellenmesidir (Onur, 2010).

Makara ve tambur yivleri küçük elastikiyet modülüne sahip bir malzemeden yapıldığında yani yumuşak bir malzemede ile yapıldığında, yapılan deneyler sonucu yine halat ömrünün arttığı görülmüştür (Onur, 2010).

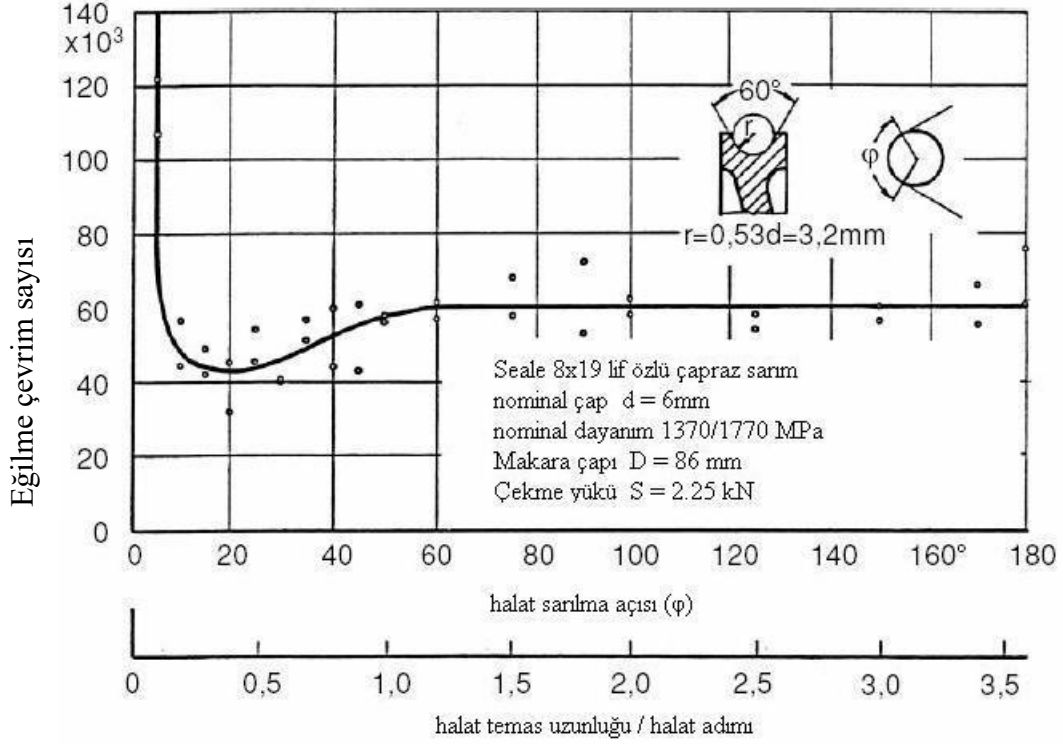
2.5.6. Yağlama

Halatlar işletmede kullanılırken çalışma koşullarına bağlı olarak zaman içerisinde yüzeyindeki yağ azalması nedeniyle teller korozyona uğrar. Bu sebeple halatlar uygun yağ ile belli periyotlarla yağlanmalıdır. Periyodik yağlama halat ömrünü %150 'ye kadar arttırabilmektedir (Yanbay, 2012).

2.5.7. Halat Sarılma Açısı

Özellikleri bilinen bir halatta, farklı sarılma açılarında halat ömrüne etkisi için yapılan deneylerde, 20° ye kadar olan sarılma açısında halat ömrünün en yüksek olduğu, 20° sarılma açısında en düşük halat ömrüne sahip olduğu, 20° ile 60° arasındaki sarılma açılarında halat ömründe artış olduğu, 60° den sonraki sarılma açısında halat ömründe

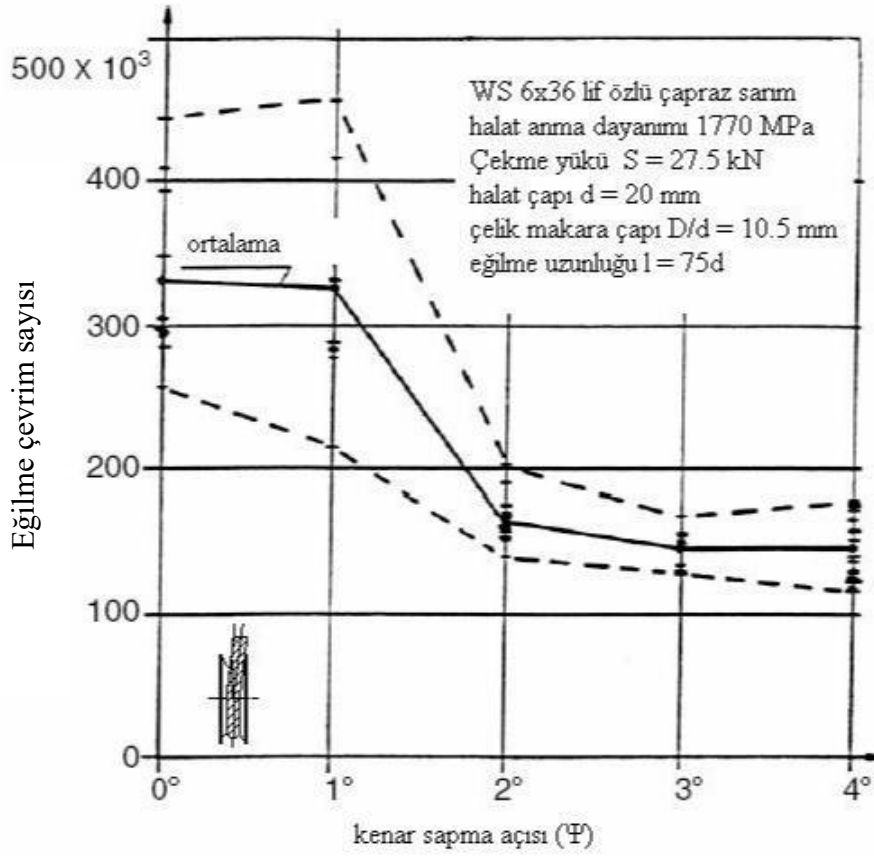
bir değişme olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 2.32’de özellikleri bilinen bir halatta farklı sarılma açılarının ömre etkisi gösterilmiştir (Feyrer, 2015).



Şekil 2.32. Farklı sarılma açılarının ömre etkisi (Onur, 2010)

2.5.8. Halatın Kenar Sapması

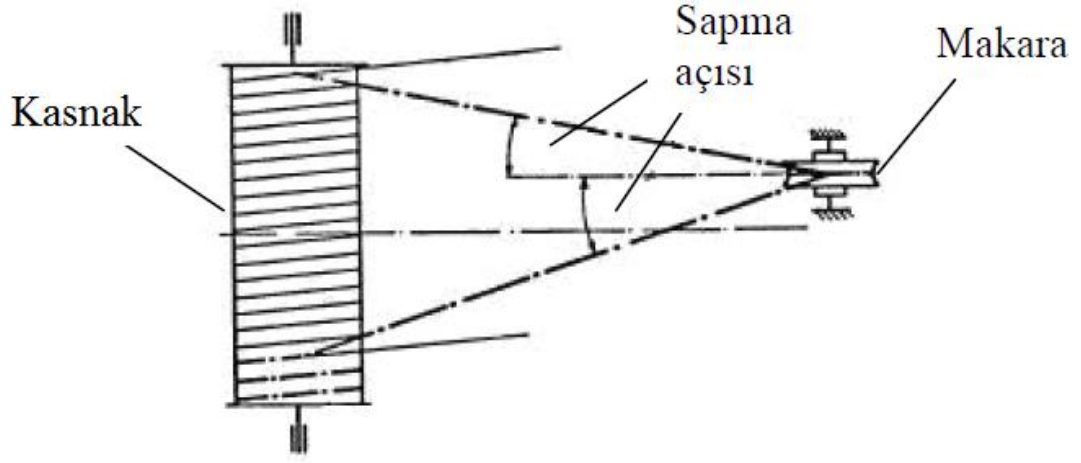
Halatın tambur veya makara yivinden kenar sapması sonucu halat ömründe düşmeler meydana gelir. Bu nedenle dönme dirençli halatlarda $1,5^\circ$, demetli halatlarda maksimum 4° , kenar sapması değerlerine kadar izin verilebilir. Şekil 2.33’te özellikleri bilinen bir halat için 0° ile 4° halat sapma açısı değerleri arasında eğilme yorulma testleri sonucu tespit edilen ömür değerleri gösterilmiştir (Onur, 2010).



Şekil 2.33. Farklı kenar sapma açılarının ömre etkisi (Onur, 2010)

2.5.9. Sapma Açısı

Sapma açısı yiv merkezinden kasnak flanşına ve kasnak merkezine dik olacak şekilde çizilen ve iki çizgi arasındaki açıdır. İki tip sapma açısı vardır. Bunlar; sağ ve sol sapma açısıdır. Bu açıların, belirtilen tolerans değerleri arasında olması istenir. Aksi halde halatın kullanım ömrünü azalır. Halat ömrünün ve çalışma veriminin artırılması için, sapma açısının düz kasnaklarda $1,5^\circ$ 'yi yivli kasnaklarda ise $2,5^\circ$ 'yi aşmaması gerekir. Şekil 2.34.'te halat kullanımında sapma açısı gösterilmiştir (Çelşan, 2017).



Şekil 2.34. Halat kullanımında sapma açısı (Onur, 2010)

2.6. Asansör Askı Halatı Mukavemet ve Ömür Analiz Denklemleri

2.6.1. Halat Güvenlik Katsayısının Hesaplanması

Halat güvenlik katsayısı hesaplanırken aşağıdaki hususlar dikkate alınır (TS EN 81-1, 2011);

- Çelik veya döküm kasnaklar kullanılarak tasarlanan halatlı tahrik sistemleri
- Standartlara uygun çelik halatlar
- Periyodik kontrol ve bakımların düzenli yapıldığı düşünülerek, yeterli halat ömrü

Halatlı tahrik sistemlerinde, güvenlik katsayısının minimum değeri, kesin D_t/d_r çap oranı ve hesaplanan N_{equiv} değerleri hesaba katılarak bulunur.

Eşdeğer kasnak sayısı N_{equiv} sayısı aşağıdaki formülden elde edilebilir.

$$N_{equiv} = N_{equiv(t)} + N_{equiv(p)} \quad (1.1)$$

$N_{equiv(t)}$ değerleri Çizelge 2.3'ten alınır

Çizelge 2.3. $N_{equiv(t)}$ değerleri (TS EN 81-1, 2011)

V- kanallar	kanal açısı γ	—	35°	36°	38°	40°	42°	45°
	$N_{equiv(t)}$	—	18,5	15,2	10,5	7,1	5,6	4,0
Altı kesik yarım daire ve altı kesik V-kanallar	alt kesilme açısı β	75°	80°	85°	90°	95°	100°	105°
	$N_{equiv(t)}$	2,5	3,0	3,8	5,0	6,7	10,0	15,2

$$N_{equiv(p)} = K_p \cdot (N_{ps} + 4 \cdot N_{pr}) \quad (1.2)$$

$$K_p = \left(\frac{D_t}{D_p} \right)^4 \quad (1.3)$$

K_p : Tahrik kasnağı çapının saptırma kasnağı çapına oranı

N_{equiv} değerinin hesaplanmasıyla ve kesin olarak bilinen D_t/d_r çap oranı denklem 1.4.'te yerine konularak halatın minimum güvenlik katsayısı elde edilir (TS EN 81-1, 2011).

$$S_f = 10 \left(\frac{\log \left(\frac{695,85 \cdot 10^6 \cdot N_{equiv}}{\left(\frac{D_t}{d_r} \right)^{8,567}} \right)}{\log \left(77,09 \cdot \left(\frac{D_t}{d_r} \right)^{-2,894} \right)} \right) \quad (1.4)$$

Hesaplanan S_f (güvenlik katsayısı) değeri minimum 12 olmak zorundadır.

2.6.2. Halat Minimum Kopma Kuvveti

Halatların minimum kopma kuvveti hesaplanırken halat çapı d , halat çekme mukavemeti R_0 ve farklı tip ve konstrüksiyondaki halatın değişen en küçük kopma kuvveti faktörü K değişkenleri yerlerine konularak kN cinsinden elde edilen değerdir (TS 12385-5, 2005).

$$F_{min} = \frac{d^2 \cdot R_0 \cdot K}{1000} \quad (1.5)$$



Çizelge 2.4'te 8x19 Seale kendir özlü halata ait değerler gösterilmiştir.

2.6.3. Sınır Güvenlik Katsayısı

Çelik tel halatın en küçük kopma kuvvetinin (F_{min}), kabin beyan yüküyle yüklediğinde ve en alt durakta dururken bir halata gelen en büyük kuvvete (S) oranı hesaplanan güvenlik katsayısına eşit veya büyük olmak zorundadır (TS EN 81-1, 2011).

$$\frac{F_{min}}{S} \geq S_f \quad (1.6)$$

Çizelge 2.4. 8x19 Seale kendir özlü halat değerleri (TS 12385-5, 2005)

Konstrüksiyon kesit örneği	Halat konstrüksiyonu		Demet konstrüksiyonu	
	Özellik	Miktar	Özellik	Miktar
 8 x 19 S - FC	Demetler	8	Teller	19'dan 29' a kadar
	Dış demetler	8	Dış teller	9'dan 14'e kadar
 8 x 25 F - FC	Demet katları	1	Tel katları	2
	Halattaki tel	152 den 232 ye		
Tipik örnekler		Dış tel sayısı		Dış tel faktörü ¹⁾
Halat	Demet	Toplam	Demetteki sayı	
8x19 S	1-9-9	72	9	0,065 5
8x25 F	1-6-6F-12	96	12	0,052 5
8x19 W	1-6-6+6	96	12 6 6	0,060 6 0,045 0
En küçük kopma kuvveti faktörü :		K ₁ =0,293		
Anma uzunluğunun kütle faktörü ¹⁾ :		W ₁ =0,340		
Metalik enine kesit anma alanı faktörü ¹⁾ :		C ₁ =0,349		
Halat anma çapı	Anma uzunluk yaklaşık kütlesi ¹⁾	En küçük kopma kuvveti kN		
		İkili anma çekme mukavemeti		Tekli anma çekme mukavemeti
mm	kg/100 m	Halat mukavemet sınıfı 1180/1770	Halat mukavemet sınıfı 1370/1770	Halat mukavemet sınıfı 1570
8 ₂₎	21,8	25,7	28,1	29,4
9	27,5	32,5	35,6	37,3
10 ₂₎	34,0	40,1	44,0	46,0
11 ₂₎	41,1	48,6	53,2	55,7
12	49,0	57,8	63,3	66,2
13 ₂₎	57,5	67,8	74,3	77,7
14	66,6	78,7	86,1	90,2
15	76,5	90,3	98,9	104
16 ₂₎	87,0	103	113	118
18	110	130	142	149
19 ₂₎	123	145	159	166
20	136	161	176	184
22 ₂₎	165	194	213	223
¹⁾ Sadece bilgi için				
²⁾ Tercih edilen boyutlar				

2.6.4. Tahrik Kasnağı Yüzey Basıncı

Tahrik kasnağı yüzey basıncı aşağıdaki formülle bulunur (TS 1812, 1988),

V şeklindeki kanallarda;

$$p' < \frac{12,5 + 4V_c}{1 + V_c} \quad (1.7)$$

Kabin anma yükü ile yüklendiğinde halatların basıncı aşağıdaki bağıntı ile bulunan değeri aşmamalıdır

$$p = \frac{T}{ndD} \times \frac{4,5}{\sin \gamma / 2} \quad (1.8)$$

2.6.5. Yüzde Uzama

Asansörlerde kullanılan çelik halatlar uzama yönünden kontrol edilmelidir. Halata gelen kuvvet sonucu halatta elastik uzamalar oluşur. Bu uzamalar toplam halat boyunun yükleme göre belirlenen % değerlerini aşmamalıdır. Halat uzama miktarı şu şekilde hesaplanır (İmrak ve Gerdemeli, 2000).

$$A=C.d^2 \quad (1.9)$$

A halatın metalik kesit alanı, C metalik enine kesit anma alanı faktörü ve d halat çapıdır.

$$\Delta l = \frac{S * l}{E * A} \quad (1.10)$$

S bir halata gelen en büyük kuvvet, l halat boyu, E elastikiyet modülü ve A metalik kesit alanıdır.

Müsaade edilen uzama miktarları;

- Hafif yüklü halatlarda %0,25

- Normal yükü halatlarda %0,50
- Ağır yüklü halatlarda %1

değerlerini aşmamalıdır.

2.6.6. Ortalama Çevrim Sayısı

Çevrim sayısını hesaplariken bir halata gelen kuvveti tam olarak bilmek gerekir. Kesin bilgi yok ise kaldırma aleti için etkili kuvvet S hesaplanırken yük Q, halat sayısı n_T , g yer çekim ivmesi ve halat kuvvet faktörleri f_s değerlendirilir (Feyrer, 2015).

$$S = \frac{Q \cdot g}{n_T} \cdot f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3} \cdot f_{s4} \quad (1.11)$$

Çizelge 2.5'te kuvvet faktörleri f_{s1} - f_{s4} tel halat kuvvetlerini artırır. Yük yönlendirme faktörü f_{s1} , halat verimlilik faktörü f_{s2} ve iki paralel halat için kuvvet faktörü f_{s3} . Bununla birlikte birkaç paralel halat için kuvvet faktörü f_{s3} Janovsky (1985), Holeschak (1987) ve Aberkrom (1989) asansör ölçümlerinden elde edilmiştir (Feyrer, 2015).

Güç faktörü f_{s4} ile yükün ivmelenmesinden dolayı tel halata gelen kuvvette artış göz önüne alınmıştır. Yalnızca çok yüksek hızları içeren durumlarda örneğin özel asansörlerde, teleferik ve madencilikte kullanılan halatlar birden fazla kasnaktan geçerken hızlanma veya yavaşlama göstermiştir (Feyrer, 2015).

Normalde hızlanma veya yavaşlama altında eğilme uzunluğu çok düşüktür. Palmgren-Miner denkleminde tüm eğilme sayıları w (herhangi bir durumda $v \leq 1.0$ m/s), azaltılmış kuvvet faktörü f_{s4w} yerine f_{s4} kuvvet faktörü kullanılabilir. Bu azaltılmış faktör

$$f_{s4w} = 1 + \frac{w_g \cdot (f_{s4} - 1)}{w} \quad (1.12)$$

Denklem 1.12'de w çevrim sayısı ve w_g hızlanma altında hesaba alınan eğilme sayısıdır. Kaldırma çevrimlerinde $w_g=2$, diğerlerinde $w_g=1$ alınmıştır.

Çizelge 2.5. Kuvvet faktörü (Feyrer, 2015)

Yük yönlendirmesinden gelen sürtünme	
Makaralı Klavuz	$f_{s1} = 1.05$
Sürgülü Klavuz	$f_{s1} = 1.10$
Halat Etkinliği	$f_{s2} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \frac{1}{\eta})$
Paralel Yataklı Halatlar	
Ayrı Kasnak, makara veya dengeleme kasnağı ile	$f_{s3} = 1.0$
Ayrı kasnak, makara olmasan dengele kasnağı ile	$f_{s3} = 1.10$
Ortak Kasnak, iki halat	$f_{s3} = 1.15$
Ortak Kasnak, iki halattan fazla	$f_{s3} = 1.25$
Hızlanma, Yavaşlama	
Yük Hızı $v < 0.3$	$f_{s4} = 1.05$
$v < 0.3 < v \leq 0.8$	$f_{s4} = 1.10$
$v < 0.8 < v \leq 1.6$	$f_{s4} = 1.12$
$v > 1.6$ m/s	$f_{s4} = 1.15$

Feyrer (2015), çeşitli alanlarda kullanılan farklı tip ve konstrüksiyonda halatlar kullanarak yaptığı testler sonucu elde ettiği halat kopma ömür değerlerini regresyon analizleri yaparak belirli tiplerdeki halatlar için teorik olarak ömür hesabı denklemini oluşturmuştur. Feyrer ilk denkleminde halat ömrünü, sabit çekme yükü, halat çapı ve kasnak çapı olmak üzere üç bağımsız değişkeni kullanarak denklem 1.13.'de gösterildiği şekilde hesaplamıştır (Feyrer, 2015).

$$\lg \bar{N} = b_0 + b_1 \cdot \lg \frac{S}{d^2} + b_2 \cdot \lg \frac{D}{d} + b_3 \cdot \lg \frac{S}{d^2} \cdot \lg \frac{D}{d} \quad (1.13)$$

Feyrer daha sonra yaptığı testler sonucu elde ettiği halat kopma ömür değerlerini regresyon analizleri yaparak sabit çekme yükü, halat çapı, kasnak çapı, tel anma dayanımı ve dayanıklılık faktörleri değişkenlerinin kullanarak denklem 1.14 elde etmiştir.

$$lgN = b_0 + \left(b_1 + b_3 \cdot lg \frac{D}{d} \right) \cdot \left(lg \frac{S}{d^2} - 0.4 \cdot lg \frac{R_0}{1770} \right) + b_2 \cdot lg \frac{D}{d} + lgf_d + lgf_L + lgf_c \quad (1.14)$$

Çizelge 2.6. Ortalama halat kopma ömrünün teorik kestirimi için kullanılan katsayılar (Feyrer, 2015)

Tel Halat		b ₀ for N		b ₀ for N10		b ₁	b ₂	b ₃
		sZ	zZ	sZ	zZ			
6x19	FC	-0.809	-	-1.338	-	0.875	6.480	-1.850
		-	-0.658	-	-1.132	0.562	6.430	-1.628
Seale 8x19	FC	-1.949	-1.726	-2.279	-2.056	1.280	8.562	-2.625
Filler 8x(19+8F)		-1.728	-1.505	-2.058	-1.835			
Warr. 8x19		-1.728	-1.505	-2.058	-1.835			
Warr.-Seale 8x36		0.809	0.917	0.479	0.587			
Seale 8x19	IWRC	-1.772	-1.712	-2.131	-2.071	1.290	8.149	-2.440
Filler 8x(19+6F)		-1.684	-1.624	-2.043	-1.983			
Warr. 8x19		-1.684	-1.624	-2.043	-1.983			
Warr.-Seale 8x36		1.278	1.332	0.919	0.973			
Standart Halat	18x7	-2.541		-2.837		1.566	9.084	-2.811
	34x7	-1.063		-1.574		1.351	7.652	-2.485

Çizelge 2.6'da ki katsayılar tel halatın birkaç milyon çevrim sayısı için aşağıdaki durumlarda geçerlidir.

- vizkos yağ veya vazelin ile yağlandığı
- yiv yarı çapının $r = 0.53d$ olduğu
- çelik makaraların kullanıldığı
- kenar sapmasının olmadığı
- halatın kuru ortamda olduğu

Çizelge 2.7. Dayanıklılık faktörü (Feyrer, 2015)

Halat Çapı, Feyrer (2011)		$f_d = \frac{b + 1}{b + \left(\frac{d}{d_E}\right)^a} = \frac{0.52}{-0.48 + \left(\frac{d}{16}\right)^{0.3}}$	
Eğilme Uzunluğu, Feyrer (2011)		$f_L = \frac{b + 1}{b + z^a} = \frac{1.49}{2.49 - \left(\frac{l/d - 2.5}{57.5}\right)^{-0.14}}$	
Halat Çekirdeği ve Tel Sayısı		8 Demet	6 Demet
Kendir Özlü	FC	$f_c = 1.0$	$f_c = 0.94$
Çelik Özlü	IWRC	$f_c = 1.0$	$f_c = 0.81$
Çelik Özlü	PWRC	$f_c = 1.86$	$f_c = 1.51$
Çelik Özlü	ESWRC	$f_c = 2.05$	$f_c = 1.66$
Çelik Özlü	EFWRC	$f_c = 1.06$	$f_c = 0.86$

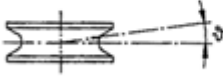
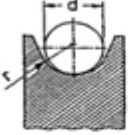
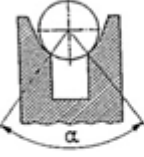

2.6.7. Düzeltilmiş Çevrim Sayısı

Feyrer (2015) halatların teorik çevrim sayıları; vizkos yağ veya vazelin ile yağlandığı, yiv yarı çapının $r = 0.53d$ olduğu, çelik makaraların kullanıldığı, kenar sapmasının olmadığı ve halatın kuru ortamda olduğu durumlarda geçerlidir. Bu nedenle, kasnakların farklı malzeme tiplerinde ve yiv şekillerinde, halatın yağlanmamış olduğu, kenar sapmasını olduğunda ve Çizelge 2.6'da belirtilen halat konstrüksiyonlarından başka halatların kullanılacağı durumlarda Feyrer'in teorik çevrim sayıları düzeltilmelidir (Feyrer, 2015).

Denklem 1.13 ve 1.14'de verilen Feyrer'in teorik çevrim sayısı, farklı parametrelerin olduğu durumda f_{Ni} düzeltme faktörleri kullanılarak düzeltilebilir. Çizelge 2.8'te belirtilen f_{Ni} faktörleri göz önünde bulundurularak teorik çevrim sayıları denklem 1.15 kullanılarak düzeltilebilir (Feyrer, 2015).

$$N_{cor} = N \cdot f_{N1} \cdot f_{N2} \cdot f_{N3} \cdot f_{N4} \quad 1.15$$

Çizelge 2.8. Düzeltme faktörü (Feyrer, 2015)

Halat Yağlanması			
İyi Yağlanmış Halat			$f_{G1} = 1.0$
Yağlanmamış Halat			$f_{G1} = 0.2$
Kenar Sapması			
			$f_{M2} = 1 - \left(0.00863 + 0.00243 \cdot \left(\frac{D}{d} \right) \right) \cdot v - 0.00103v^2$
(Kenar sapma açısı derece olarak alınır)			
Makara Yivli			
- Çelik Yuvarlak Yiv	Yiv Çapı	$r/d = 0.53$	$f_{G2} = 1.00$
		$r/d = 0.55$	$f_{G2} = 0.79$
		$r/d = 0.60$	$f_{G2} = 0.66$
		$r/d = 0.70$	$f_{G2} = 0.54$
		$r/d = 0.80$	$f_{G2} = 0.51$
		$r/d = 1.00$	$f_{G2} = 0.48$
			$f_{M2} = 0.75 + 0.36 \frac{S/d^2}{D/d} - 0.023 \left(\frac{S/d^2}{D/d} \right)^2$
- Plastik Yuvarlak Yiv			
Makara Yiv Şekli			
- Alttan Kesilmiş Yiv	alttan açısı	kesme	
		$a = 75^\circ$	$f_{G2} = 0.40$
		$a = 80^\circ$	$f_{G2} = 0.33$
		$a = 85^\circ$	$f_{G2} = 0.26$
		$a = 90^\circ$	$f_{G2} = 0.20$
		$a = 95^\circ$	$f_{G2} = 0.15$
		$a = 100^\circ$	$f_{G2} = 0.10$
		$a = 105^\circ$	$f_{G2} = 0.066$
- V Profilli Yiv	açı	$c = 35^\circ$	$f_{G2} = 0.054$
		$c = 36^\circ$	$f_{G2} = 0.066$
		$c = 38^\circ$	$f_{G2} = 0.095$
		$c = 40^\circ$	$f_{G2} = 0.14$
		$c = 42^\circ$	$f_{G2} = 0.18$
		$c = 45^\circ$	$f_{G2} = 0.25$
Çok kat katmanlı halatlarda			$f_{N3} = 0.005 + 0.00085 \cdot \frac{S}{d^2}$
Bükülmüş Halatlarda Kuvvet Faktörü EN4			
Kuvvet Faktörü	$lg f_{N4} = a_1 \cdot w + a_2 \cdot w^2$		$w = \frac{w}{100d}$
Halat	a1	a2	Geçerli Alan
Paralel Sarm FC-çZ	$9.2 \cdot 10^{-6}$	$-5.6 \cdot 10^{-8}$	$\pm 1080^\circ/100d$
Paralel Sarm IWRC-çZ	$-1.4 \cdot 10^{-5}$	$-2.5 \cdot 10^{-7}$	$\pm 1080^\circ/100d$
Çapraz Sarm	$-3.8 \cdot 10^{-4}$	$-1.7 \cdot 10^{-5}$	$\pm 180^\circ/100d$

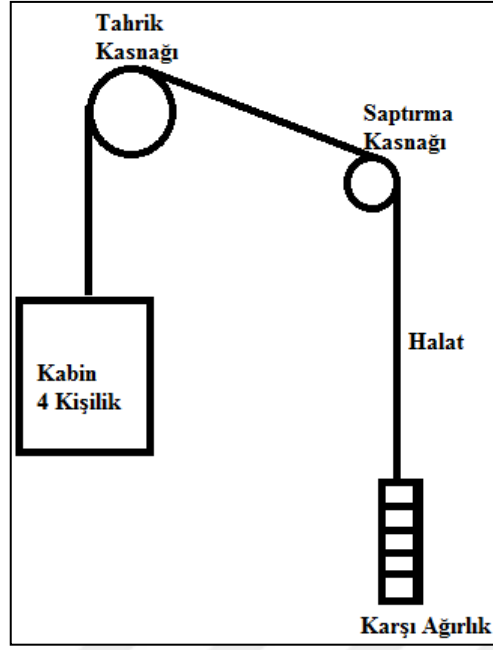
2.7. Örnek Deterministik Hesap

Bu çalışmada beş katlı bir konutta kullanılacak dört kişi kapasiteli elektrikli insan asansörü için deterministik koşullarda asansör askı halatı mukavemet ve ömür analizi incelenmiştir.

Asansör sisteminde 8x19 S-FC çelik tel halat kullanılmıştır. Çizelge 2.4'te 8x19 Seale kendir özlü halata ait özellikler verilmiştir. Şekil 2.35'te Örnek asansör sisteminin şematik gösterimi görülmektedir. Örnek asansör sistemine ait deterministik veriler Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Asansör sistem verileri

Değişken Adı	Simge	Sabit Değişkenler
Halat Çapı (mm)	d_r	10
Kabin Anma Yüğü (kg)	G_y	320
Kabin Ağırlığı (kg)	G_k	450
Halat Ağırlığı (kg)	G_h	25
Yer Çekim İvmesi (m/s^2)	g	9,81
Halat Uzunluğu (mm)	l	18.000
Halat Sayısı (adet)	n	4
Askı Oranı	i	1
Halat Çekme Mukavemeti (N/mm^2)	R_0	1.570
Tahrik Kasnağı Çapı (mm)	D_t	480
Saptırma Kasnağı Çapı (mm)	D_p	400
V Kanal Açısı (derece)	α	38
Halat Hızı (m/s)	v	1
Durak Sayısı		5
Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	E	63.000



Şekil 2.35. Örnek asansör sisteminin şematik gösterimi

Şekil 2.35'te gösterilen asansör sistemi 1:1 askı oranına sahiptir. Böyle bir asansörde 10 mm çapında 4 adet 8x19 S-FC kullanıldığında halat minimum kopma yükü (F_{min}) denklem 1.5'e göre 46 kN bulunmuştur. Çizelge 2.4'te 8x19 S-FC 10 mm halat için minimum kopma yükü (F_{min}) 46 kN gösterilmiş, bulunan değerle aynı çıkmıştır.

Asansör sisteminde, TS EN 81-1'e göre 1570 N/mm^2 tel anma dayanımlı ve 10 mm çapında halat kullanılması ve tahrik kasnağı çapının halat çapına oranı (D_t/d_f) minimum 40 olma şartlarını sağlamıştır. Halat güvenlik katsayısı (S_f) minimum 12 olması gerekmektedir. Buna göre yapılan hesaplama sonucu halat güvenlik katsayısı (S_f) değeri denklem 1.4'e göre 15,3306 bulunmuştur. Asansör askı halatı güvenlik katsayısı kontrolü 16,1876 bulunmuş. Denklem 1.6'ya göre güvenlik katsayısı kontrolü ($SGK \geq S_f$) yapılmış askı halatı sistemi güvenli olduğu görülmüştür.

TS 1812'ye göre Halatların kasnak yüzeylerine yaptığı basınç (p) yönünden incelendiğinde denklem 1.7'ye göre p' değeri 8,25 hesaplanmıştır. Denklem 1.8'e göre yapılan hesaplamama p değeri 5,6144 bulunmuş $p' \geq p$ olduğundan halat kasnak çifti ezilmeye karşı emniyetli olduğu görülmüştür.

Halatlar uzama yönünden denklem 1.10'a göre kontrolü yapıldığında 23,2644 mm uzadığı, %1 değerini aşmadığı için halat uzama yönünden de emniyetli çıkmıştır.

Asansör askı halatı ömür hesabında;

Feyrer'in denklem 1.13'deki formülünde D_t ve d_r değerleri bilinmekte, S değeri bilinmemektedir. S değerinin hesabı için denklem 1.11'de Q ($G_y+G_k+G_h$) yükü, g ve n_T değerleri bilinmekte f_s değerleri Çizelge 2.5'ten alınmıştır. b_0, b_1, b_2 ve b_3 sabit katsayıları Çizelge 2.6'dan alınmıştır.

f_{s1}	: 1,1	b_0	: -1,949	f_{N1}	: 0,2
f_{s2}	: 1	b_1	: 1,280	f_{N2}	: 1
f_{s3}	: 1,25	b_2	: 8,562	f_{N3}	: 0,095
f_{s4w}	: 1,06	b_3	: -2,625	f_{N4}	: 1

Hesaplama sonucunda halat ömrü 77.863.000 çevrim sayısı bulunmuştur. Bu sayı denklem 1.15 ile Çizelge 2.6'daki düzeltme faktörleri ile düzeltildiğinde halat ömrü 1.479.400 çevrim sayısı bulunmuştur.

Feyrer'in denklem 1.14'deki formülünde D_t, d_r ve S değerlerine ek olarak R_o ve Çizelge 2.7'de f_D, f_L ve f_C dayanıklılık faktörleri ile hesaplanarak halat ömrü 89.679.000 çevrim sayısı bulunmuştur. Bu sayı denklem 1.15 ile Çizelge 2.6'daki düzeltme faktörleri ile düzeltildiğinde halat ömrü 1.703.900 çevrim sayısı bulunmuştur.

Örnek asansör sistemine ait deterministik hesap sonuçları Çizelge 2.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.10. Asansör askı halatı mukavemet ve ömür analiz sonuçları

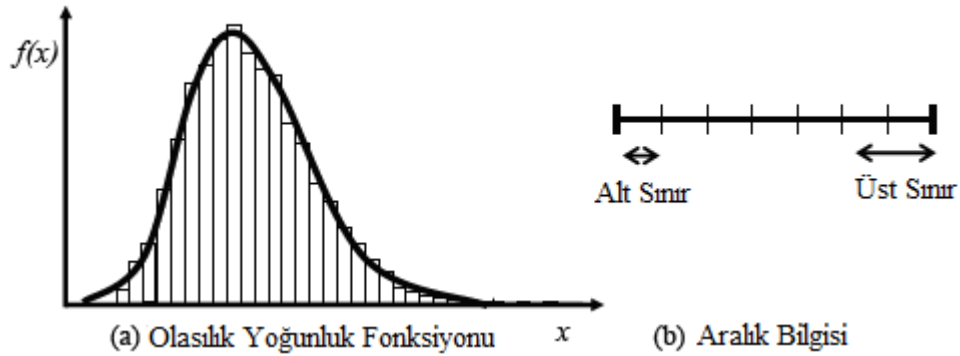
Hesaplanan Veriler	Simge	Hesap Sonuçları
Sınır Güvenlik Katsayısı	SGK	16,1876
Halat Güvenlik Katsayısı	S_f	15,3306
Halat Uzama Miktarı (mm)	Δl	23,2644
Halatın Kasnak Yüzeyine Yapmış Olduğu Basınç (N/mm ²)	p	5,6144
Çevrim Sayısı -1	N1	77.863.000
Çevrim Sayısı -2	N2	89.679.000
Düzeltilmiş Çevrim Sayısı -1	N_{cor1}	1.479.400
Düzeltilmiş Çevrim Sayısı -2	N_{cor2}	1.703.900

2.8. Belirsizliğe Dayalı Güvenilirlik Analizi

Geçmişten günümüze kadar karşılaşılan mühendislik problemleri tasarım, imalat ve montaj gibi temel aşamalardan ve insan hatalarından kaynaklanan belirsizlikler içermektedir. Bu belirsizliklerin nispeten az olduğu problemlerde güvenilirliği sağlamak için geleneksel (deterministik yöntem) emniyet katsayısı kullanılmaktadır. Ancak, belirsizlik derecesi yüksek problemlerde olasılığa dayalı (stokastik yöntem) güvenilirlik değeri (genellikle 0 ve 1 arasında) kullanılması gerekmektedir (Choi ve ark., 2007). Deterministik yöntemde kullanılan emniyet katsayısı, basit bir tanımla beklenen azami dayanımın beklenen azami yüke oranı olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte, pratikte dayanım ve yük değerleri ortalama bir değer etrafında yoğunlaşarak değişkenlik göstermektedir. Bir diğer ifade ile bu değerler ortalama sayısal değer altında ve üstünde standart sapmaya bağlı değişkenlik göstermektedir. Bu durumda mukavemet ve gelen yüklerdeki belirsizliklerin dikkate alınmaması, zayıf veya yetersiz bir tasarımla veya yüksek maliyet içeren bir tasarımla sonuçlanabilecektir. Öte yandan, stokastik yaklaşımla daha güvenilir ve geniş kapsamlı istatistiksel olarak tasvir edilmiş bir yapısal tasarıma ulaşılabilmektedir. Sonuç olarak, bir tasarımdaki belirsizliklerin yapısal mühendislik tasarım sürecinde dikkate alınması oldukça önem arz etmektedir.

2.8.1. Belirsizlik Temsili

Belirsizlik, olayların olma/olmama veya değişkenlik durumu olarak ifade edilebilir. Bir sistemdeki belirsizliğin doğru tasviri sonraki değerlendirmelerdeki doğru yorumlamaları ve sonuçları ile doğrudan ilişkilidir. Belirsizlik genellikle kaynaklarda, aleatorik (seçkisiz) ve epistemik (bilgisel) belirsizlik olarak iki grupta tasvir edilmiştir. Aleatorik belirsizlik, yazı tura örneğinde olduğu gibi sonucu değiştirilemeyen ve kesin olan belirsizlik türüdür. Epistemik belirsizlik ise bilgi ve veri eksikliğinden kaynaklı belirsizlik türü olup bilgi edinildikçe belirsizlik azalmaktadır. Belirsizlik içeren bir rastgele değişkeni temsil etmede genellikle Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (PDF) ve aralık gösterimi kullanılır (Şekil 2.36). PDF, rastgele değişkenin izafi olarak frekansı veya olasılığı hakkında bilgi verir. Aralık gösterimi ise bir rastgele değişkene ait PDF'nin bilinmediği ve eksik veri olduğunda daha uygun olur.



Şekil 2.36. Temsili belirsizlik (Choi ve ark., 2007)

Rastgele bir değişken X , $-\infty < x < \infty$ aralığında çeşitli x değerleri alır. x değerlerinin sayısı sonlu veya sayılabilir ise kesikli rastgele değişken; belirli bir aralıkta süreklilik gösteriyorsa sürekli rastgele değişken adını almaktadır.

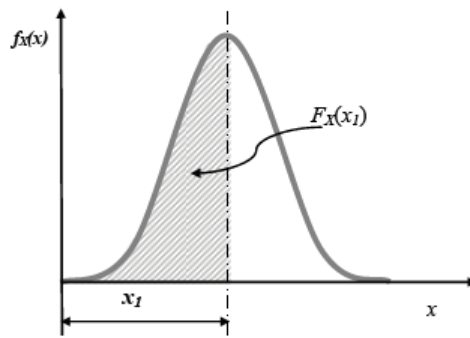
Sürekli rastgele değişkenin PDF'si, $f_X(x)$ olarak gösterilir. Kesikli rastgele değişken için ise Olasılık Kütle Fonksiyonu (PMF) kullanılır ve $p_X(x)$ ile gösterilir. Bu iki tür rastgele değişkenin olasılık dağılımı aynı zamanda, Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF) ile belirlenir ve $F_X(x)$ simgesi ile gösterilir. PDF ve CDF ilişkisi Şekil 2.37'de verilmiştir.

Mühendislik hesaplamalarında belirsiz değişkenlerin genellikle sürekli rastgele değişken olduğu kabul edilmektedir. Sürekli rastgele bir değişkende, bir X rastgele değişkeninin x değerinden küçük veya eşit olma olasılığı; diğer bir ifade ile kümülatif dağılım değeri, aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir (Choi ve ark., 2007):

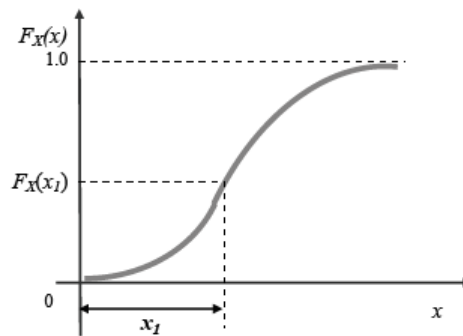
$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(x) dx \quad 1.16$$

Örneğin, sürekli bir X rastgele değişkeninin x_1 ile x_2 arasında bir değere sahip olma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$F_X(x_2) - F_X(x_1) = \int_{x_1}^{x_2} f_X(x) dx \quad 1.17$$



(a) Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu



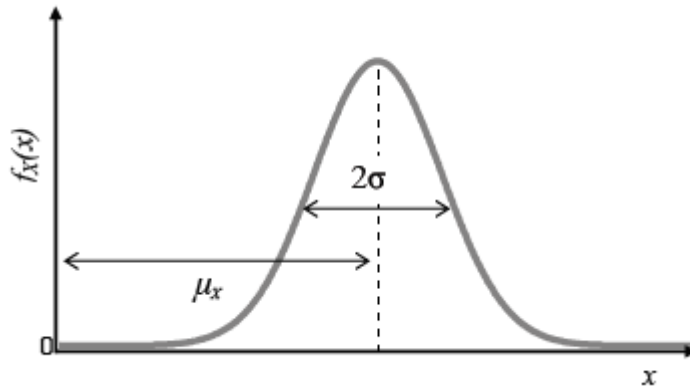
(b) Kümülatif Dağılım Fonksiyonu

Şekil 2.37. PDF ve CDF ilişkisi (Choi ve ark., 2007)

Bir rastgele değişkenin belirsizlik temsili veya modeli için Normal (Gaussian), Lognormal, Gama ve Weibull gibi birçok standartlaştırılmış olasılık dağılım türü ortaya atılmıştır. Bir rastgele değişkenin dağılım türü, histogram ve dağılım uydurma yaklaşımlarıyla belirlenebilmektedir. Gaussian veya Normal dağılım olarak bilinen temsil modeli basitliğinden dolayı stokastik analizlerde en çok kullanılan temsil türüdür (Şekil 2.38). Normal dağılıma sahip bir rastgele değişkenin PDF'si şöyle bulunmaktadır:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_X}{\sigma_X} \right)^2 \right], \quad -\infty < x < \infty \quad 1.18$$

μ_X ve σ_X sırasıyla X rastgele değişkeninin ortalama ve standart sapmasıdır ve $N(\mu_X, \sigma_X)$ olarak tanımlanır.



Şekil 2.38. Normal dağılım fonksiyonu (Choi ve ark., 2007)

Normal dağılımın PDF'si, Şekil 2.38'de görüldüğü gibi simetrik bir yoğunluk eğrisinden oluşmaktadır. Ortalama değer, merkez değer kabul edildiğinde bir, iki ve üç standart sapma kadar (σ , 2σ , 3σ) genişlikteki alanlar sırasıyla toplam alanın yaklaşık % 68, % 95,5 ve % 99,7'si olup özellikle güven aralığının belirlenmesinde de bu üç alan değeri sıkça kullanılmaktadır. Diğer dağılım türleri hakkında detaylı bilgilere ise (Choi ve ark., 2007) referansından ulaşılabilir. Ayrıca, tez kapsamında stokastik mukavemet ve ömür analizi sonucunda elde edilen istatistiksel parametrelerin istatistiksel temsilde dağılım

türü ve değişim katsayısı (COV) bilgileri kullanılmıştır. COV, basit bir şekilde bir rastgele değişkenin standart sapmasının aritmetik ortalamasına (veya beklenen ortalama değer) oranı ile hesaplanmaktadır.

2.8.2. Stokastik Analiz

Güvenilirlik, bir sistemin verilen görevi, belirli bir süre boyunca ve belirtilen koşullar altında yerine getirebilme olasılığıdır. Belirsizliğe dayalı güvenilirlik analizini gerçekleştirmek amacıyla birçok stokastik analiz yöntemi ortaya çıkmıştır. Bunlardan; en çok kullanılan birinci ve ikinci dereceden güvenilirlik yöntemleri ile Monte Carlo Simülasyonu yöntemi aşağıda tanıtılacaktır.

2.8.2.1. Birinci ve İkinci Dereceden Güvenilirlik Yöntemi

Birinci ve ikinci dereceden güvenilirlik yöntemleri (FORM ve SORM), yapısal mekanik analizde kullanılan düşük hesaplama maliyetine sahip en yaygın sayısal yöntemlerdir. Bu yöntemlerde, güvenli tasarım bölgesi ile güvenli olmayan tasarım bölgesinin birbirinden ayrıldığı sınırı durumunu (limit-durum $g(X) = 0$) linerleştirmek için Taylor serisi açılımı birinci ve ikinci derecelerden yapılmaktadır. Diğer bir ifade ile $g(X) = 0$ tepki yüzeyi üzerindeki en muhtemel noktaya (MPP) birinci dereceden açılım kullanılırsa bu yöntem birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (FORM) adını; ikinci dereceden açılım kullanılırsa bu yöntem ikinci dereceden güvenilirlik yöntemi adını (SORM) almaktadır. FORM, daha kolay uygulanabilir matematiksel işlemler içerir ve dolayısıyla hesaplama maliyeti düşüktür. SORM ise nispeten daha karmaşık işlemler içerir ve yüksek hesaplama maliyeti gerektirir. Bununla birlikte yapılan örnek tasarım analizlerinde SORM ile ulaşılan sonuç hassasiyeti FORM sonuçlarına çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı, güvenilirlik analizlerinde daha çok FORM kullanılmaktadır. Burada, FORM yöntemlerinden olan ve en çok kullanılan ortalama

değer birinci dereceden ikinci moment (MVFOSM) yöntemi ile Hasofer ve Lind (HL) yöntemi açıklanacaktır.

MVFOSM, aynı zamanda ortalama değer yöntemi olarak ta adlandırılır ve MVFOSM güvenilirlik indeksi β (ayrıca Cornell güvenilirlik indeksi olarak ta bilinir). β , merkez noktasından yaklaşık limit-durum eğrisine en kısa mesafe olarak tanımlanmaktadır. MVFOSM güvenilirlik indeksi β aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$\beta = \frac{\mu_{\tilde{g}}}{\sigma_{\tilde{g}}} \quad 1.19$$

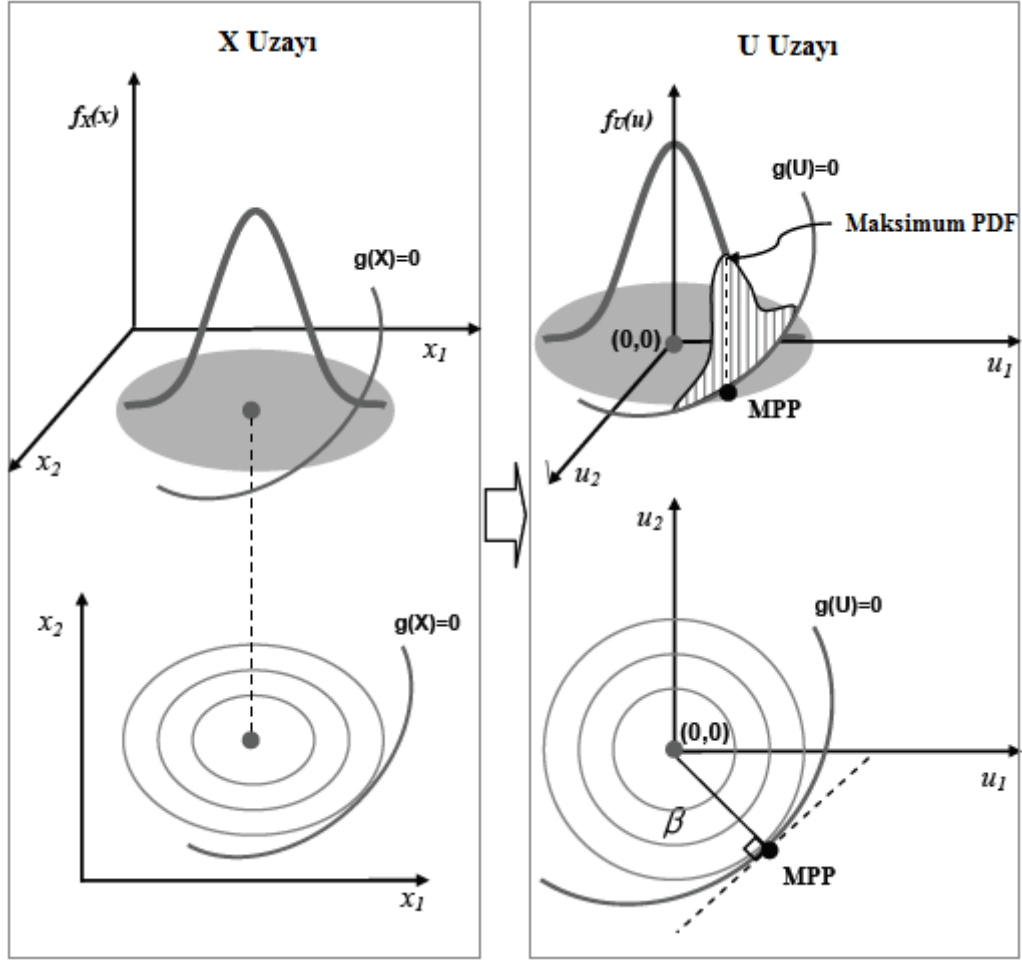
Burada, $\mu_{\tilde{g}}$, rastgele değişkenlerin ortalama değerindeki (μ_X) limit durum fonksiyonunun beklenen değeridir. Matematiksel olarak $\mu_{\tilde{g}} \approx E[g(\mu_X)] = g(\mu_X)$ şeklinde ifade edilir. $\sigma_{\tilde{g}}$ ise rastgele değişkenlerin ortalama değerindeki (μ_X) limit durum fonksiyonunun standart sapma değeri olup aşağıdaki bağıntı ile bulunmaktadır:

$$\begin{aligned} \sigma_{\tilde{g}} &= \sqrt{Var[\tilde{g}(X)]} = \sqrt{[\nabla g(\mu_X)^T]^2 Var(X)} \\ &= \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g(\mu_X)}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad 1.20$$

Burada, $\mu_X = \{\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}\}^T$, ve $\nabla g(\mu_X)$, μ_X de değerlendirilen g gradyanıdır

$$\nabla g(\mu_X) = \left\{ \frac{\partial g(\mu_X)}{\partial x_1}, \frac{\partial g(\mu_X)}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial g(\mu_X)}{\partial x_n} \right\}^T \quad 1.21$$

HL yönteminde ise, rastgele değişkenler bir U dönüşüm uzayına aktarılarak MVFOSM'dan farklı rastgele değişkenlerde hassasiyet analizi işlemi uygulanır ve böylece daha hassas güvenilirlik indeksi elde etmek amaçlanır. Bu dönüşüm işlemleri Şekil 2.39'da daha açıkça gösterilmiştir.



Şekil 2.39. Dönüşüm ve MPP (Choi ve ark., 2007)

Geliştirilmiş FORM yöntemi olan HL yöntemine ait iterasyon adımları sadeleştirilerek aşağıdaki adımlarda açıklanmıştır.

- İlk adımda, önce başlangıç noktası olarak 1.19 denklemindeki MVFOSM güvenilirlik indeksi hesaplanır.
- İkinci adımda, her rastgele değişkenin toplam değişim üzerindeki bağıl etkisini yön ve şiddet açısından vektör (α_i) olarak bulunur. Bu işlem aynı zamanda hassasiyet analizi olarak nitelendirilir. α_i aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$\alpha_i = - \frac{\frac{\partial g(X^*)}{\partial x_i} \sigma_{x_i}}{\left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g(X^*)}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad 1.22$$

- Üçüncü adımda, rastgele değişkenlerin değerleri orijinal uzayda aşağıdaki formülle güncellenir:

$$x_i^* = \mu_{x_i} + \beta \sigma_{x_i} \alpha_i \quad , (i = 1, 2, \dots, n) \quad 1.23$$

- Dördüncü adımda, rastgele değişkenlerin orijinal uzaydaki değerleri dönüşüm uzayında yeniden hesaplanır:

$$u_i^* = \frac{x_i^* - \mu_{x_i}}{\sigma_{x_i}} \quad 1.24$$

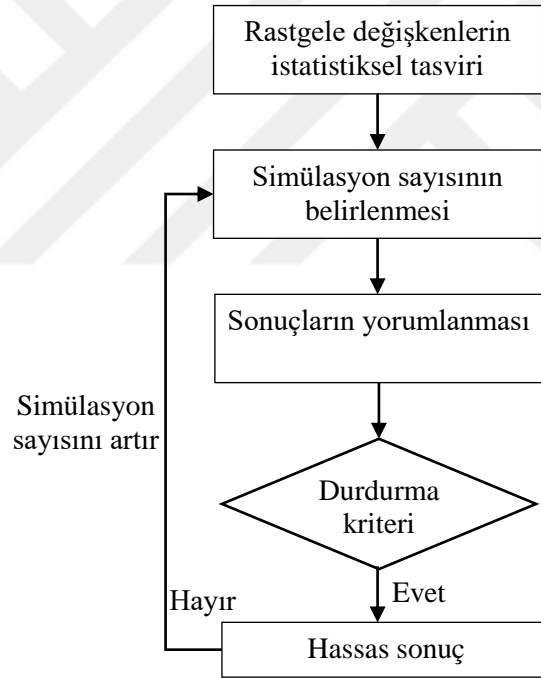
- Beşinci adımda, HL güvenilirlik indeksi aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\beta = \frac{g(U^*) - \sum_{i=1}^n \frac{\partial g(U^*)}{\partial x_i} \sigma_{x_i} u_i^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial g(U^*)}{\partial x_i} \sigma_{x_i} \right)^2}} \quad 1.25$$

- Son adımda, güvenilirlik indeksinin yakınsaması kontrol edilir ve istenilen hata düzeyine gelindiğinde iterasyon sonlandırılır.

2.8.2.2 Monte Carlo Simülasyonu (MCS)

Monte Carlo Simülasyonu (MCS), belirsiz değişkenler için rastgele örnekleme kümeleri oluşturarak istatistiksel denemelerle istenilen sonuca gitme yöntemi olarak tanımlanabilir. MCS, bilgisayarların gelişimine bağlı olup mevcut ve gelecek gerek güvenilirlik analiz gerekse optimizasyon problemleri için en güçlü matematiksel araçlardan biri olarak yerini almaya başlamıştır (Choi ve ark., 2007). MCS'nin olumsuz yönü ise, doğru sonuçlara ulaşabilmesi için yüksek sayıda simülasyon gerektirdiğinden hesaplama maliyetinin yüksek olmasıdır. MCS işleminin bir akış şeması Şekil 2.40'ta verilmiştir.



Şekil 2.40. MCS işleminin bir akış şeması

MCS işleminde ilk adım, rastgele değişkenlerin istatistiksel tasvirinin yapılmasıdır. Burada bir rastgele değişkenin hangi dağılım türüne ait olduğunu belirlemek stokastik analizde sonucu doğrudan etkileyeceğinden oldukça büyük önem arz etmektedir. Uygun

dağılım türünü belirlemek için genellikle dağılım uydurma tekniklerinden faydalanılmaktadır. Bu amaçla pek çok yazılım (Matlab, newtab v.b.) hâlihazırda mevcuttur. İkinci adım olarak, minimum hesaplama maliyeti için en uygun simülasyon sayısı tespit edilmelidir. Başlangıç olarak belirli bir simülasyon sayısı seçilir ve arkasından, rastgele değişkenlerin girdi kabul edildiği önceden tanımlanmış bir işlem veya fonksiyona göre çıktı değerleri için simülasyonlar gerçekleştirilir. Sonraki adımda, bu çıktı değerleri ilgili fonksiyonda yorumlanır. Örneğin stokastik veya güvenilirlik analizinde bu fonksiyon için limit durum fonksiyonu $g(X)$ kabul edilecektir. Burada, $g(X) \leq 0$ ihtimalini yani başarısızlık ihtimalini (P_f) hesaplamak amaçlanmıştır. Sonuç olarak bu ihtimal değeri istenilen hata oranı içerisinde oluncaya kadar simülasyon sayısı artırılır. N adet simülasyon yapılırsa ve bunlardan N_f adet başarısızlık varsa ($g(X) \leq 0$ şartının ihlal edildiği durumlar), P_f değeri aşağıdaki basit olasılık formülü ile hesaplanabilir:

$$P_f = \frac{N_f}{N} \quad 1.26$$

MCS ile benzer işlem adımları yürütülerek pek çok çözülmesi zor matematiksel optimizasyon problemleri ve güvenilirlik analiz problemleri hassas bir şekilde çözülebilecektir. Kullanımın basit ve ayrıca hassas sonuçlara ulaşmada güvenilir ve güçlü olması nedeniyle, tez kapsamında yürütülen stokastik analizlerde yöntem olarak MCS kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde; bu asansör sistemine ait teknik bilgiler, deterministik ve stokastik analiz için gerekli değişkenler ve analizlerin nasıl uygulanacağı açıklanmıştır.

3.1. Asansör Sistem Bilgileri

Bu çalışmada beş katlı bir konutta kullanılacak dört kişi kapasiteli elektrikli bir insan asansörü sistemindeki değişkenlerin sabit ve rastgele olması durumunda bu sisteme ait askı halatının mukavemet ve ömür analizi gerçekleştirilmiştir. Asansör sisteminin deterministik (sabit) ve varsayılan rastgele değişkenleri, Çizelge 3.1’de verilmiştir. Burada, asansör sistem değişkenlerinden halat çapı, kabin anma yükü ve elastikiyet modülü belirgin şekilde belirsizlik içerdiği için bu üç değişken rastgele değişken ve belirsizliğin az olabileceği diğer değişkenler ise sabit değişken olarak varsayılmıştır.


Çizelge 3.1. Mukavemet ve ömür analizinde kullanılacak asansör sistemi değişkenleri

Değişken Adı	Simge	Değeri / kaynağı	Türü
Kabin Ağırlığı (kg)	G_k	450	Sabit
Halat Ağırlığı (kg)	G_h	25	Sabit
Yer Çekim İvmesi (m/s^2)	g	9,81	Sabit
Halat Uzunluğu (mm)	l	18.000	Sabit
Halat Sayısı (adet)	n	4	Sabit
Askı Oranı	i	1	Sabit
Tahrik Kasnağı Çapı (mm)	D_t	480	Sabit
Saptırma Kasnağı Çapı (mm)	D_p	400	Sabit
V Kanal Açısı (derece)	α	38	Sabit
Halat Hızı (m/s)	v	1	Sabit
Durak Sayısı		5	Sabit
Halat Çapı (mm)	d_r	Numune ölçümü	Rastgele
Kabin Anma Yükü (kg)	G_y	TÜİK verileri (TÜİK, 2015)	Rastgele
Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	E	Literatür (Liu ve ark. 2016)	Rastgele

3.2. Halat Bilgileri

Asansör sisteminde 8x19 S-FC (Seale lif özlü) çelik tel halat kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de 8x19 Seale lif özlü halata ait özellikler verilmiştir. Deterministik hesaplarda halat nominal çapı 10 mm alınmıştır.

Çizelge 3.2. Asansör halatının teknik özellikleri ve kesit görünüşü

Demet Kompozisyonu	8x19 Seale
Öz Tipi	Lif
Halat Çapı	10 mm
Tel Anma Dayanımı (R_o)	1570 N/mm ²
En Küçük Kopma Kuvveti Faktörü (K_1)	0,293
Anma Uzunluğunun Kütle Faktörü (W_1)	0,340
Metalik Enine Kesit Anma Alanı Faktörü (C_1)	0,349
Kesit Görünüşü	

TS EN 12385-1 Madde 6.3.1’e göre ölçüm yapıldığında yüksüz ve F_{min} kuvvetinin % 5’i veya % 10’una eşit bir kuvvet ile yüklendiğinde halat gerçek çapı Çizelge 3.3’te verilen değerlerden daha fazla olmamalıdır.

Çizelge 3.3. Lif özlü halatların çap toleransları (TS 12385-5, 2005)

Halat Anma Çapı (d) mm	Anma Çaplarına Göre Yüzde Toleranslar		
	Yüksüz En Fazla	F_{min} %5 yüklendiğinde	F_{min} %10 yüklendiğinde
$d \leq 10$	+6	+1	0
$d > 10$	+5	+1	0

Halat çapındaki belirsizliğin istatistiksel modellenmesi amacıyla Şekil 3.1’de gösterilen 30 cm uzunluğunda 8x19 S-FC çelik tel halat numunelerin 5 farklı noktasından dijital

kumpas ile çapları ölçülmüş ve bu sonuçlar izelge 3.4'te sunulmuştur. Yapılan ölçümlerde çaplarda çok küçük bir miktar farklılıklar çıkmıştır. Bunun sebebi halat çapındaki daralmalar, ölçen kişiden kaynaklanan sebepler ve ölçü aletindeki hassasiyetten dolayı oluşmuştur.



a)



b)

Şekil 3.1. Halat numunelerinin iki farklı açıdan görünüş (a ve b)



Şekil 3.2. Dijital kumpas

Çizelge 3.4. Halat çapı numune ölçüm değerleri

Numune	1. Ölçüm (mm)	2. Ölçüm (mm)	3. Ölçüm (mm)	4. Ölçüm (mm)	5. Ölçüm (mm)	Ortalama (mm)
1	10,33	10,34	10,33	10,33	10,34	10,33
2	10,47	10,46	10,46	10,47	10,47	10,47
3	10,38	10,38	10,39	10,39	10,39	10,39
4	10,51	10,51	10,50	10,50	10,51	10,51
5	10,57	10,58	10,57	10,57	10,58	10,57
6	10,52	10,53	10,52	10,51	10,53	10,52
7	10,49	10,48	10,47	10,48	10,48	10,48
8	10,27	10,27	10,29	10,28	10,29	10,28
9	10,15	10,16	10,15	10,17	10,16	10,16
10	10,19	10,20	10,18	10,19	10,18	10,19

3.3. Kabin Anma Yüğü

Asansör sisteminde kabin 4 kişilik yani 320 kg beyan yüküne (kabin anma yükü) göre seçilmiştir. Deterministik koşullarda bu nominal değer (320 kg) doğrudan alınmaktadır. Stokastik koşullarda ise kabin anma yükündeki insan ağırlığına bağlı belirsizliğin istatistiksel modellenmesi amacıyla TÜİK verileri incelenmiştir. Türkiye’de TÜİK’in 2008-2014 yılları arasında 15 yaş üstü kişilerde yapmış olduğu istatistikte devamlı olarak yıllara göre kilogram ortalamalarında artış olduğu görülmektedir. Çizelge 3.5’te Türkiye’de 2008-2014 yılları arası 15 yaş üstü kilo ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 3.5. Türkiye’de 2008-2014 yılları arası 15 yaş üstü kilo ortalamaları (TÜİK,2015)

Yaş grubu	2008			2010			2012			2014		
	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın
Türkiye	70,8	75,2	66,3	71,5	75,8	66,9	72,3	76,7	67,8	72,5	77,1	68,1
15-24	62,0	67,4	56,7	62,3	67,4	57,2	63,2	68,4	58,1	63,2	69,0	57,4
25-34	69,9	75,5	63,9	70,5	76,4	64,2	71,1	77,2	64,8	71,1	77,7	64,4
35-44	74,8	79,2	70,1	75,8	80,7	70,4	76,2	81,2	71,0	75,9	80,8	71,0
45-54	76,4	78,8	73,8	77,5	79,5	75,2	77,7	80,4	74,9	79,0	81,6	76,4
55-64	75,9	78,0	73,7	76,8	78,2	75,3	77,5	79,2	75,8	77,8	79,4	76,4
65-74	74,2	77,3	71,2	74,0	76,2	72,0	74,6	76,9	72,6	73,7	75,7	71,9
75+	67,5	72,3	63,6	68,6	71,2	65,9	69,1	72,2	66,7	69,1	73,3	66,3

Çizelge 3.5’teki veriler, regresyon analizi yapılarak 2008-2038 yılları arası 15 yaş üstü ağırlık ortalamaları hesaplanmış ve Çizelge 3.6’te gösterilmiştir. Kabin anma yükü için Çizelge 3.6’da hesaplanan değerler dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.6. Türkiye’de 2008-2038 yılları arası 15 yaş üstü kilo ortalamaları

Yıllar	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022
Kg	70,89	71,48	72,07	72,66	73,25	73,84	74,43	75,02
Yıllar	2024	2026	2028	2030	2032	2034	2036	2038
Kg	75,61	76,20	76,79	77,38	77,97	78,56	79,15	79,74

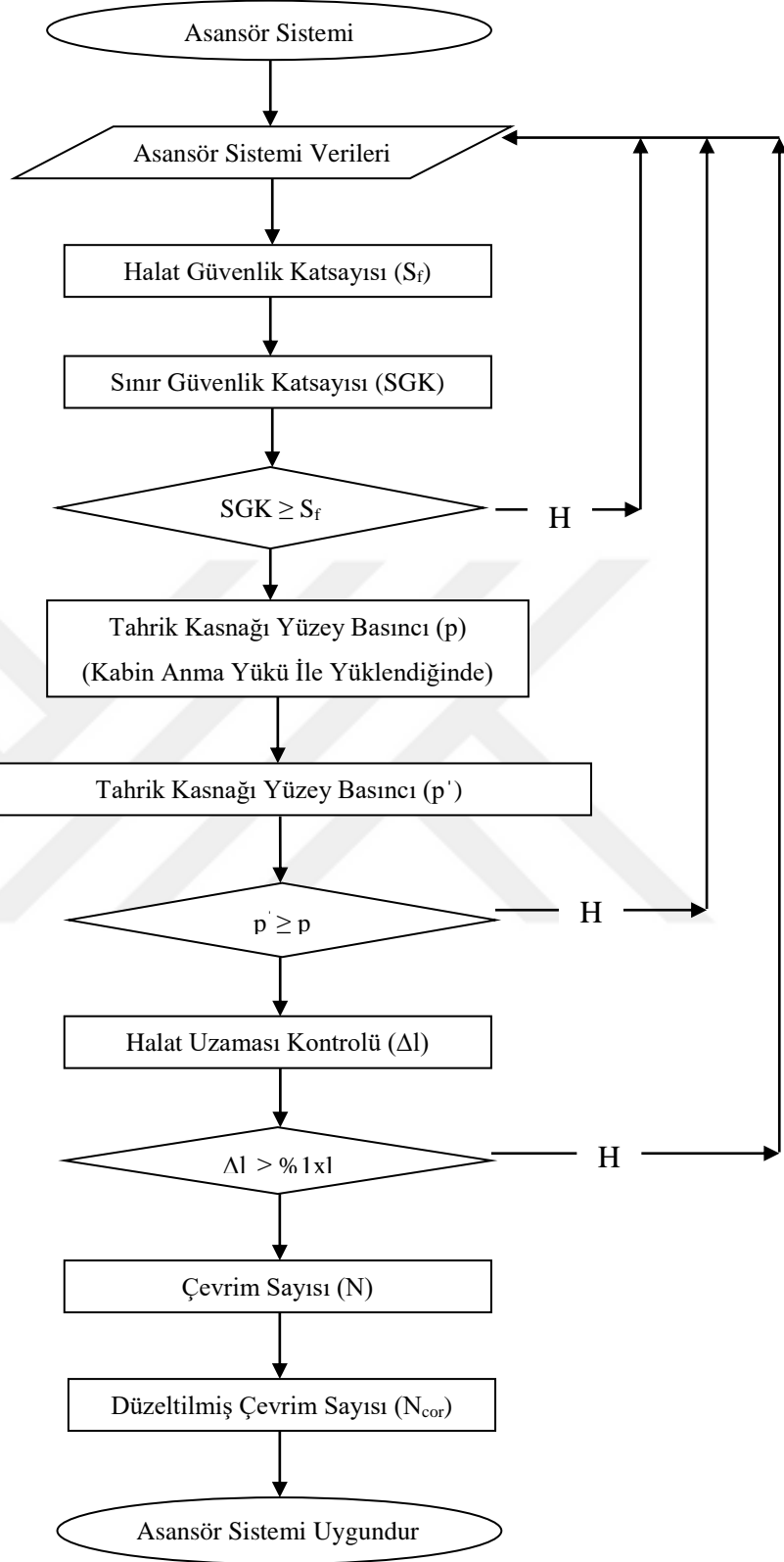
3.4. Elastikiyet Modülü

Mekanik gerilme etkileri altında halatların uzaması elastikiyet modülü ile doğrudan ilişkilidir. Tel malzemesinin elastikiyet modülü halatların uzama miktarını belirler, ancak tel halat elastikiyet modülü ile tel elastikiyet modülü birbirinden farklıdır. Ayrıca halatların elastikiyet modülü değişken olup deneylere göre belirlenir. Asansör

halatlarında nominal elastikiyet modülü 63.000 N/mm^2 alınmıştır. Burada, elastikiyet modülündeki belirsizliğin modellenmesinde doğrudan Liu ve ark., (2016)'nın çelik tel halat için yaptığı deneysel çalışmada ulaştıkları 0,05 COV değeri (% 5) ve lognormal dağılım türü esas alınmıştır.

3.5. Uygulanacak Yöntem

Çelik tel halatın mukavemet ve ömür analizinde takip edilecek işlem akış şeması Şekil 3.3'te verilmiştir. Birinci aşamada ilk olarak, asansör sistem değişkenlerine göre halat güvenlik katsayısı hesaplanır. Sonra, sınır güvenlik katsayısı bulunur. Hesaplanan bu iki değer karşılaştırılmasında sınır güvenlik katsayısı, halat güvenlik sayısına eşit veya büyük ise ikinci aşamaya, geçilir değil ise asansör sistem verilerine geri dönlür. İkinci aşamada halat hızına bağlı olarak halatın kasnak yüzeyine yapmış olduğu basınç bulunur. Sonra kabin anma yükü ile yüklendiğinde halatın kasnak yüzeyine yapmış olduğu basınç bulunur. Bu iki değerden hıza bağlı olarak hesaplanan basınç, kabin anma yükü ile yüklendiğinde oluşan basınca eşit veya daha büyük ise bir sonraki aşamaya geçilir değilse asansör sistem verilerine geri dönlür. Üçüncü aşamada ise halatın uzama miktarı hesaplanır. Bu değer halatın %1 uzunluğu değerini aşmıyor ise ömür analizlerine geçilir değilse asansör sistem verilerine dönlür. Bu üç aşama asansör askı halatı mukavemet analizleri içindir. Dördüncü ve beşinci aşama ise sırasıyla ortama çevrim sayısı ve düzeltilmiş çevrim sayılarının hesaplanmasıdır. Bu aşamalarda halatın ömür analiz sonuçlarına ulaşılmıştır. Bütün bu şartlar sağlandığı zaman asansör askı halatı mukavemet ve ömür analiz sonuçları uygundur diyebiliriz.



Şekil 3.3. Asansör sistemi analiz akış şeması

Öncelikle halatın mukavemet ve ömür analizi deterministik koşullarda tüm değişkenlerin sabit (nominal) değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Arkasından, stokastik koşullarda rastgelen değişkenler (halat çapı (d_f), kabin anma yükü (G_y) ve elastikiyet modülü (E)) yukarıda tespiti yapıldığı istatistiksel temsillerine göre yeniden mukavemet ve ömür analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece gerçek yaşam koşullarında (stokastik koşullarda) bir asansör çelik tel halatın mukavemet ve ömür açısından gösterdiği davranışlar MCS yöntemi ile istatistiksel olarak detaylı şekilde modellenmesi ve sonuçların geleneksel (deterministik) koşullardaki davranışlarla karşılaştırılması yapılmıştır. Burada istatistiksel işlemlerde 10.000 MCS simülasyonu yapılmıştır. Stokastik analiz sonucunda mukavemet değişkenleri halat güvenlik katsayısı (S_f), sınır güvenlik katsayısı (SGK), kasnak yüzey basıncı (p), halat yüzde uzaması ($\% \Delta l$) ve ömür parametreleri (ortalama çevrim sayısı (N_1 ve N_2), düzeltilmiş çevrim sayısı (N_{cor1} ve N_{cor2})) için uygun dağılım türleri, COV değerleri ile minimum ve maksimum değerleri elde edilmiştir. Dağılım türünü bulurken dağılım uydurma tekniklerinden olan log-olasılık tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte; dağılım türleri karşılaştırıldığında en yüksek log-olasılık değeri en uygun dağılım türünü göstermektedir. Son olarak, deterministik ve stokastik koşullarda mukavemet ve ömür değişkenlerindeki yüzde değişimler verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

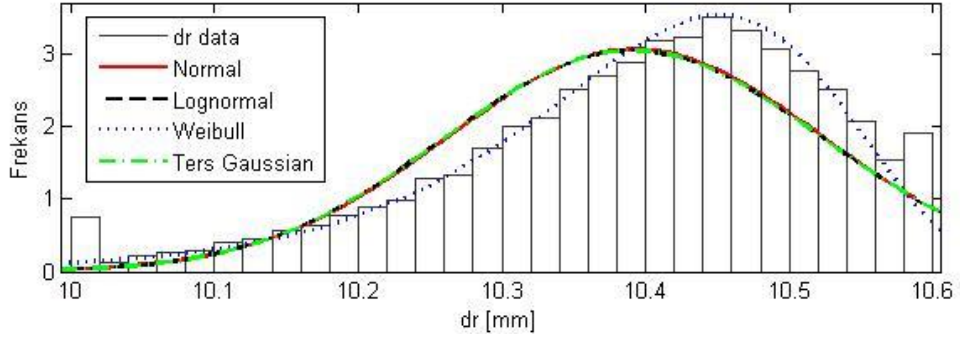
Bu bölümde; çelik tel halatın belirsizliğe dayalı mukavemet ve ömür analizi yapılmış, istatistiksel özellikler modellenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

4.1. Rasgele Girdi Değişkenlerinin Dağılım Türlerini Belirleme

Öncelikle üç girdi değişkenine (d_r , G_y ve E) ait dağılım türleri verilmiştir. Arkasından, stokastik analiz sonucunda mukavemet ve ömür değişkenlerinin dağılım türleri verilmiştir.

4.1.1. Halat Çapı

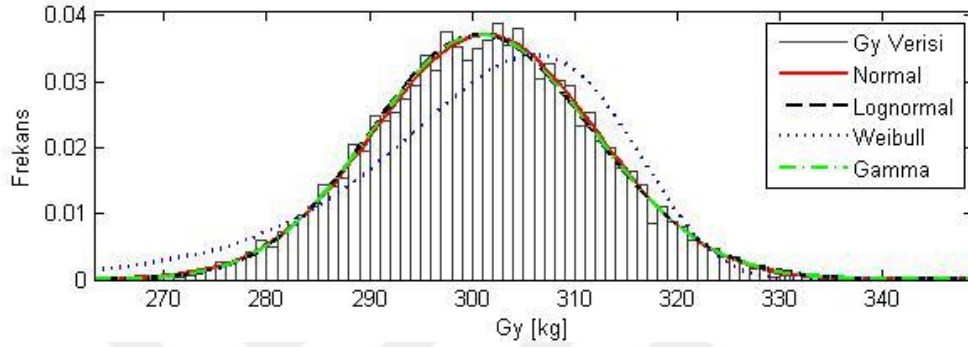
Çizelge 3.4'teki ortalama d_r değerlerin histogram grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir. Uygun dağılım türünü belirlemek amacıyla Normal, Lognormal, Weibull ve Ters Gaussian dağılım türleri denenmiş ve log-olasılık değerlerine bakıldığında en yüksek log-olasılık değerine sahip olan Weibull dağılım türü halat çapı için en uygun tür olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Halat çapı dağılım türü

4.1.2. Kabin Anma Yüğü

Çizelge 3.6’da verilen ortalama insan ağırlıklarına ait histogram grafiğı Şekil 4.2’de verilmiştir. Uygun dağılım türünü belirlemek amacıyla Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri için log-olasılık değerlerine bakılmıştır. Buna göre Gamma dağılım türü kabin anma yüğü için en uygun tür olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Kabin yüğü dağılım türü

4.1.3. Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülü için Liu ve ark. (2016) çalışmasında verilen 0,05 COV değeri ve lognormal dağılım türü doğrudan referans bilgi olarak alınmıştır. Bu nedenle, elastikiyet modülü için dağılım türü uydurma işlemi yapılmamıştır.

Sonuç olarak, d_r , G_y ve E rastgele değişkenlerin stokastik mukavemet ve ömür analizi öncesinde ulaşılan ortalama (μ), standart sapma (σ) ve COV değerleri ile dağılım türü ve parametreleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Rasgele değişkenlerin (girdilerin) istatistiksel özellikleri

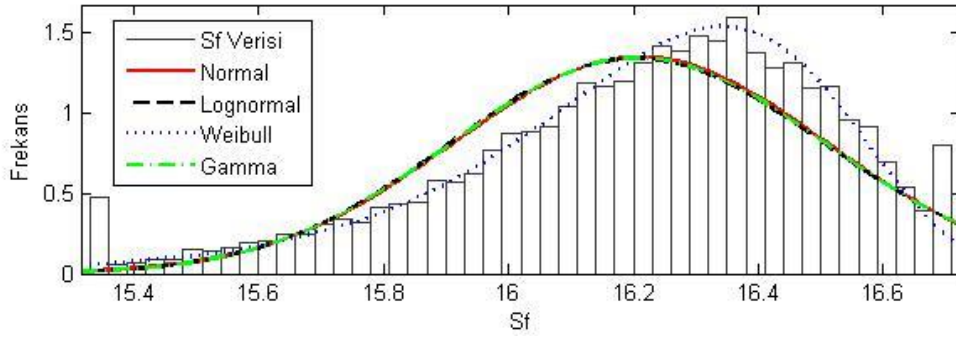
Değişken	Ortalama (μ)	Standart Sapma (σ)	COV	En İyi Uydurulan Dağılım Türü	Dağılım Parametreleri
d_r (mm)	10,3931	0,1303	0,01254	Weibull	W (10,4; 95,6)
E (N/mm ²)	63.000	3150	0,05	Lognormal	L (63.000; 3150)
G_y / Kişi (kg)	75,3178	2,6894	0,03571	Gamma	G (766,102; 0,0983)

4.2. Mukavemet ve Ömür Değişkenlerinin Dağılım Türlerini Belirleme

Aşağıda stokastik analiz sonucunda ortaya çıkan mukavemet ve ömür sonuçlarının dağılım türleri verilmiştir.

4.2.1. Halat Güvenlik Katsayısı

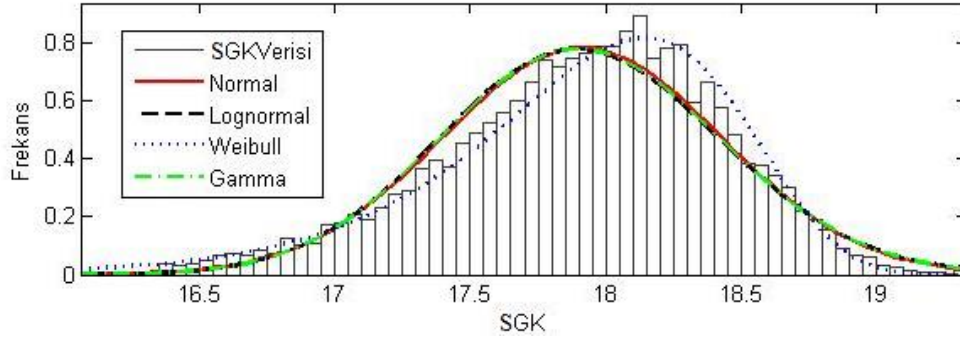
Analiz sonucunda ortaya çıkan halat güvenlik katsayısı dağılımı Şekil 4.3'te histogram grafiği ile verilmiştir. Ayrıca aynı grafikte uygun dağılım türünü belirlemek amacıyla Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri için log-olasılık değerlerine bakılmıştır. Buna göre en uygun dağılımın Weibull dağılım olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.3. Halat güvenlik katsayısı dağılım türü

4.2.2. Sınır Güvenlik Katsayısı

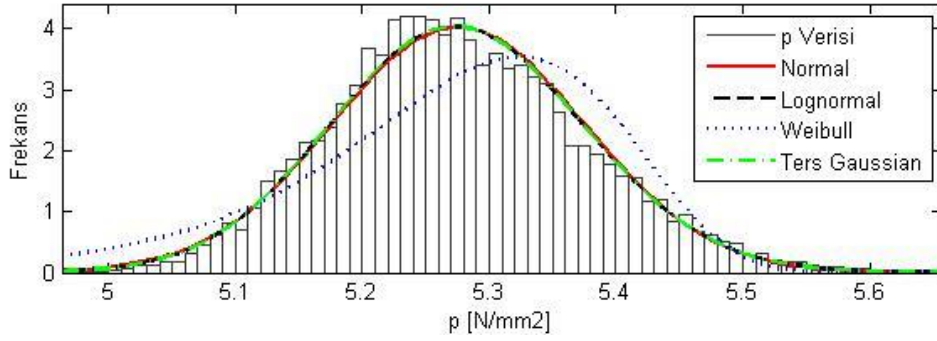
Sınır güvenlik katsayısı dağılımı, Şekil 4.4'te histogram grafiği ile verilmiştir. Aynı grafikte uygun dağılım türünü belirlemek amacıyla Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri denenmiş ve log-olasılık değerine göre en uygun dağılımın Weibull dağılım olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.4. Sınır güvenlik katsayısı dağılım türü

4.2.3. Tahrik Kasnağı Yüzey Basıncı

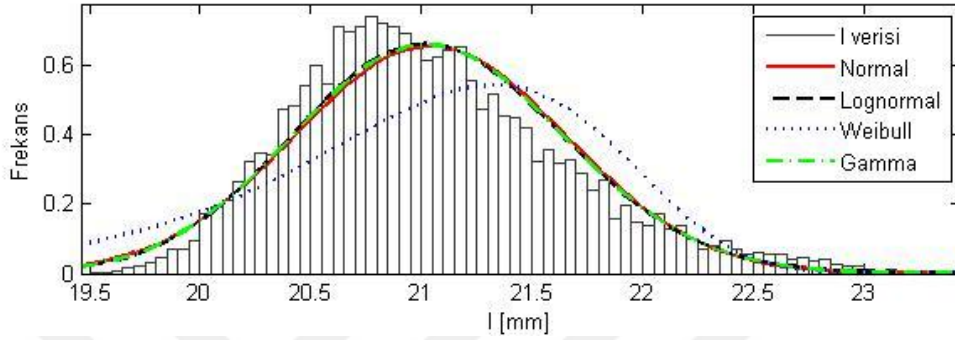
Tahrik kasnağı yüzey basıncının dağılımı, histogram grafiğinde Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Uygun dağılım türünü belirlemek amacıyla Normal, Lognormal, Weibull ve Ters Gaussian dağılım türleri denenmiş ve log-olasılık değerine göre en uygun dağılımın Lognormal ve Ters Gaussian dağılımları olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Tahrik kasnağı yüzey basıncı dağılım türü

4.2.4. Halat Uzama Miktarı

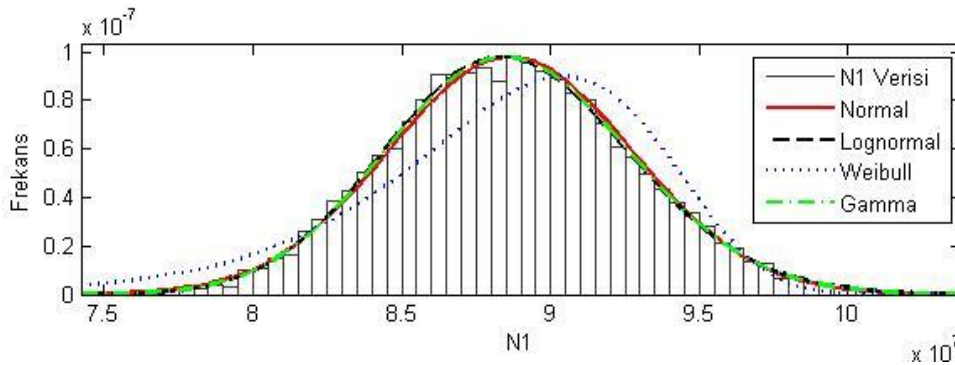
Halat uzama miktarına ait dağılım, histogram grafiğinde Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri arasından log-olasılık değerine göre en uygun dağılımın Lognormal dağılım olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Halat uzama miktarı dağılım türü

4.2.5. Feyrer Denklemi Çevrim Sayısı 1

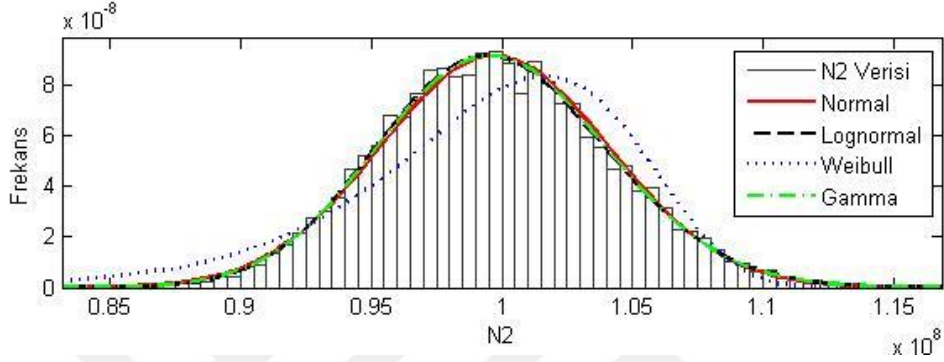
Feyrer denklemine göre bulunan çevrim sayısı 1 değişkeninin dağılımı, histogram grafiğinde Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri arasından log-olasılık değerine göre en uygun dağılımların Lognormal ve Gamma dağılımları olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.7. Çevrim sayısı 1 dağılım türü

4.2.6. Feyrer Denklemi Çevrim Sayısı 2

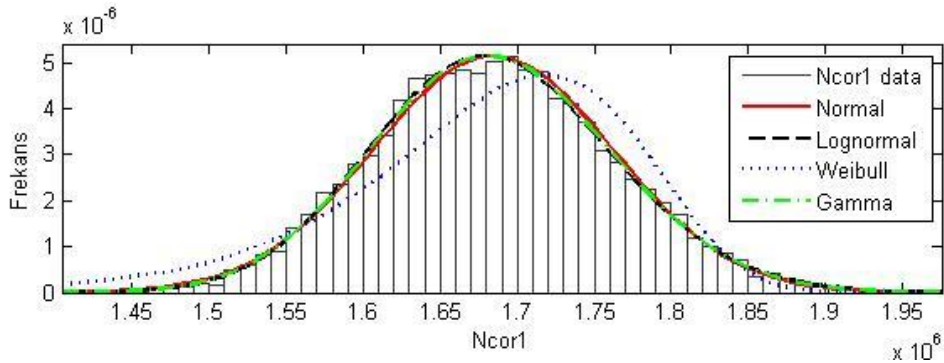
Feyrer denklemine göre bulunan çevrim sayısı 2 değişkeninin dağılımı, histogram grafiğinde Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri arasından log-olasılık değerine göre en uygun dağılımın Lognormal dağılım olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.8 Çevrim sayısı 2 dağılım türü

4.2.7. Feyrer Denklemi Düzeltilmiş Çevrim Sayısı 1

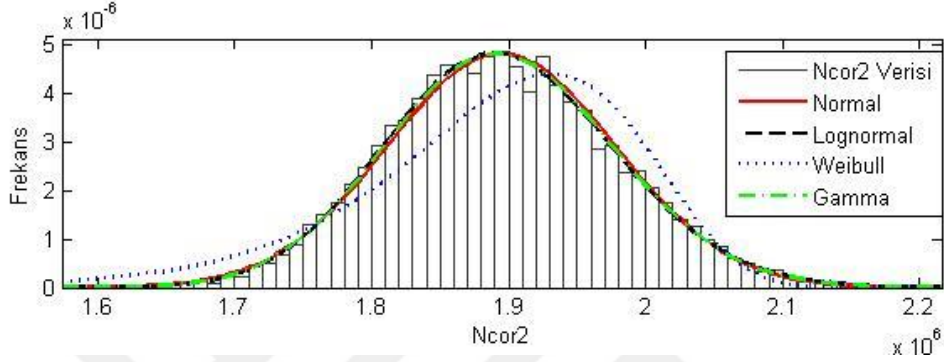
Feyrer denklemine göre bulunan düzeltilmiş çevrim sayısı 1 değişkeninin dağılımı, histogram grafiğinde Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri arasından log-olasılık değerine göre en uygun dağılımın Gamma dağılımı olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.9 Düzeltilmiş çevrim sayısı 1 dağılım türü

4.2.8. Feyrer Denklemi Düzeltilmiş Çevrim Sayısı 2

Feyrer denkleminde bulunan düzeltilmiş çevrim sayısı 2 değişkeninin dağılımı, histogram grafiğinde Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Normal, Lognormal, Weibull ve Gamma dağılım türleri arasında log-olasılık değerine göre en uygun dağılımın Lognormal dağılımı olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.10 Düzeltilmiş çevrim sayısı 2 dağılım türü

Buraya kadar her rastgele değişkenin dağılım türünün bulunması histogram grafikleri ile gösterilmiştir. Dağılım uydurmada seçilen dağılımların hangisinin en iyi uyduğunu daha açık göstermek için log-olasılık değerleri, Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu değerlerden en yüksek olanlar en iyi uyan dağılımları göstermektedir.

Çizelge 4.2. Analizdeki tüm rastgele değişkenlerin dağılım türü uydurma için Log-Olasılık değerleri

	Dağılım Türleri Log-Olasılık Değerleri				
	Normal	Lognormal	Weibull	Gamma	Ters Gaussian
Halat Çapı	6192.97	6142.21	6863.63	-	6142.18
Kabin Yüğü	-37945.1	-37946.4	-38669.4	-37943.9	-
Elastikiyet Modülü	-54379.3	-54379.1	-55264.3	-	-54379.1
Halat Güvenlik Katsayısı	-2028.65	-2099.51	-1422.62	-2075.37	-
Sınır Güvenlik Katsayısı	-7483.96	-7556.43	-7409.55	-7530.95	-
Tahrik Kasnağı Yüzey Basıncı	8929.35	8952.95	7838.74	-	8952.95
Halat Uzama Miktarı	-9255.91	-9171.11	-10736.4	-9198.03	-
Feyrer Denklemi Çevrim Sayısı 1	-166408	-166399	-167112	-166399	-
Feyrer Denklemi Çevrim Sayısı 2	-167093	-167079	-167841	-167080	-
Feyrer Denklemi Düzeltilmiş Çevrim Sayısı 1	-126775	-126766	-127479	-126765	-
Feyrer Denklemi Düzeltilmiş Çevrim Sayısı 2	-127460	-127446	-128208	-127447	-

Ayrıca mukavemet ve ömür değişkenlerinin dağılım türleri ve COV değerleri, Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde, değişkenlerin çoğunluğunun Lognormal ve Weibull dağılım türlerine uyduğu görülmüştür. Ayrıca, N_{Cor1} ve N_{Cor2} değişkenlerinin COV değerleri diğer değişkenlere göre daha düşük olduğundan dolayı bu değişkenlerde belirsizliğin daha az olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.3. Mukavemet ve ömür değişkenlerinin bulunan istatistiksel bilgileri

	Stokastik Değişkenler	Dağılım Türü	COV
Mukavemet	S_f	Weibull	0,0185
	SGK	Weibull	0,0287
	p	Lognormal - Ters Gaussian	0,0189
	Δl	Lognormal	0,0292
Ömür	N1	Lognormal - Gamma	0,0464
	N2	Lognormal	0,0443
	N_{Cor1}	Gamma	0,0025
	N_{Cor2}	Lognormal	0,0024

4.3. Deterministik ve Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deterministik ve stokastik analiz sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla tüm değişkenlerin deterministik analizdeki nominal değerleri, stokastik analizdeki minimum ve maksimum değerleri Çizelge 4.4’te detaylı şekilde verilmiştir. Burada girdi olan ilk üç rastgele değişken sadece deterministik değer belirsizlik altında hangi aralıklarda ve nasıl değiştiğini göstermek amacıyla verilmiştir. Diğer çıktı değişkenleri ise doğrudan girdi değişkenlerindeki belirsizliğin deterministik tasarıma etkisini göstereceğinden karşılaştırmada sadece çıktı değişkenleri (mukavemet ve ömür değişkenleri) dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.4. Tüm değişkenlerin deterministik nominal değerleri, stokastik minimum ve maksimum değerleri

	Analiz Değişkenleri	Simge	Deterministik Değer	Stokastik Minimum Değer	Stokastik Maksimum Değer
Rastgele Değişkenler (Girdiler)	Halat Çapı (mm)	d_r	10	10	10,6
	Kabin Anma Yüğü (kg)	G_y	320	261,6486	342,1923
	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	E	63.000	62.783	63.218
Rastgele Değişkenler (Çıktılar)	Sınır Güvenlik Katsayısı	SGK	16,1876	15,9293	19,3071
	Halat Güvenlik Katsayısı	S_f	15,3306	15,3306	16,6887
	Halat Uzama Miktarı (mm)	Δl	23,2644	19,5137	23,6739
	Tahrik Kasnağı Yüzey Basıncı (N/mm ²)	p	5,6144	4,9653	5,7055
	Çevrim Sayısı -1	N1	77.863.000	73.364.000	105.130.000
	Çevrim Sayısı -2	N2	89.679.000	83.584.000	117.670.000
	Düzeltilmiş Çevrim Sayısı -1	N_{cor1}	1.479.400	1.393.900	1.997.500
	Düzeltilmiş Çevrim Sayısı -2	N_{cor2}	1.703.900	1.588.100	2.235.700

Stokastik analizin deterministik askı halat tasarımını nasıl ve ne derecede etkileyeceğini görmek için güvenilir stokastik değerlerin nominal (deterministik) tasarım değerlerini % ne kadar değiştirdiği incelenebilir. Bu amaçla Çizelge 4.5'te askı halatı tasarımındaki mukavemet ve ömür değişkenlerinin nominal değişken değerleri, karşılık gelen güvenilir stokastik değişken değerleri ve % olarak değişme miktarları verilmiştir. Güvenilir stokastik değişken değerleri belirlenirken; diğer bir ifade ile minimum veya maksimum değerlerden hangisinin referans alındığı emniyetli tasarım ilkesine belirlenmiştir. Örneğin, Çizelge 4.4'e göre SGK değişkeninin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 15,9293 ve 19,3071'tir. Burada, emniyet açısından minimum değer 15,9293 dikkate alınmalıdır. Farklı olarak, p değişkeninin de emniyet açısından maksimum basınç alınmalıdır. Benzer şekilde diğer değişkenlerin güvenilir stokastik değişken değerleri belirlenmiştir. Son adımda ise, deterministik ve karşılık gelen güvenilir stokastik değerler arasındaki değişim miktarı % olarak hesaplanmıştır. Bu değişim değerleri incelendiğinde stokastik koşullarda, S_f değişkeninin etkilenmediği, diğer

mukavemet değişkenlerinin birbirine yakın etkilendiği, ömür değişkenlerinin mukavemet değişkenlerine göre daha fazla etkilendiği görölmüştür. Ömür değişkenleri kendi içinde ise, stokastik koşullardan N_2 ve N_{Cor2} değişkenleri % 6.8 oranla daha fazla etkilenmişlerdir. Düzeltilmiş çevrim sayısının (N_{Cor2}) askı halat tasarımında çok etkili bir faktör olması ve aynı zamanda stokastik koşullarda en çok etkilenen değişkenlerden biri olması sebebiyle asansör askı halatlarındaki hangi değişkenin ne derece belirsizlik içerdiğinin çok hassas bir şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Çizelge 4.5 Stokastik analizin nominal değişken değerleri üzerindeki etkisi

	Stokastik Değişkenler	Deterministik Değişken Değeri	Güvenilir Stokastik Değişken Değeri	% Değişim
Mukavemet	S_f	15,3306	15,3306	0
	SGK	16,1876	15,9293	-1,6
	p (N/mm ²)	5,6144	5,7055	1,6
	Δl (mm)	23,2644	23,6739	1,8
Ömür	N_1	77.863.000	73.364.000	-5,8
	N_2	89.679.000	83.584.000	-6,8
	N_{Cor1}	1.479.400	1.393.900	-5,8
	N_{Cor2}	1.703.900	1.588.100	-6,8

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında; beş katlı bir konutta kullanılacak dört kişi kapasiteli elektrikli insan asansörü askı halatının hem deterministik hem de stokastik koşullarda mukavemet ve ömür analizleri Monte Carlo Simülasyon yöntemi kullanılarak detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, önce geleneksel (deterministik) yöntemle bu askı halatının mukavemet ve ömür analizleri yapılmış; arkasından, bu asansör sistemindeki rasgele değişkenlerin belirlenmiş ve modellenmiş; bu rastgele değişkenler geleneksel hesaplama işlemine dâhil edilerek stokastik mukavemet ve ömür analizi gerçekleştirilmiş ve son olarak elde edilen stokastik mukavemet ve ömür değişkenlerinin istatistiksel temsili yapılmış ve bu iki analiz sonuçları detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Rastgele değişkenlerin istatistiksel temsili için stokastik analiz sonucunda mukavemet değişkenleri (güvenlik katsayısı (S_f), halat güvenlik katsayısı (SGK), kasnak yüzey basıncı (p), halat yüzde uzaması ($\% \Delta l$)) ve ömür değişkenleri (ortalama çevrim sayısı (N_1 ve N_2), düzeltilmiş çevrim sayısı (N_{cor1} ve N_{cor2})) için uygun dağılım türleri, COV değerleri ile minimum ve maksimum değerleri elde edilmiştir. Dağılım türünü bulurken dağılım uydurma tekniklerinden olan log-olasılık tekniği kullanılmıştır. Bu işlemlerin sonucunda değişkenlerin çoğunluğunun Lognormal ve Weibull dağılım türlerine uyduğu görülmüştür. Ayrıca, N_{cor1} ve N_{cor2} değişkenlerinin COV değerleri (0,0025 ve 0,0024 sırasıyla) diğer tüm değişkenlere göre belirgin şekilde düşük olması bu değişkenlerde belirsizliğin çok az olduğunu göstermiştir.

Stokastik yöntemin geleneksel halat tasarımına etkisini göstermek için deterministik ve karşılık gelen güvenilir stokastik değerler arasındaki değişim miktarı $\%$ olarak hesaplanmıştır. Bu değişim değerleri incelendiğinde stokastik koşullarda, S_f değişkeninin etkilenmediği, diğer mukavemet değişkenlerinin birbirine yakın etkilendiği, ömür değişkenlerinin mukavemet değişkenlerine göre daha fazla etkilendiği görülmüştür. Ömür değişkenleri kendi içinde ise N_2 ve N_{cor2} değişkenleri $\% 6.8$ eşit oranla stokastik koşullardan daha fazla etkilenmişlerdir. Düzeltilmiş çevrim sayısının (N_{cor2}) askı halat tasarımında ömür açısından çok etkili bir faktör olması ve aynı zamanda stokastik koşullarda en çok etkilenen değişkenlerden biri olması sebebiyle asansör askı

halatlarındaki başta N_{Cor2} olmak üzere tüm rastgele değişkenlerin belirsizliklerinin çok hassas bir şekilde belirlenmesi veya modellenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında belirsizlik seviyesi yüksek olduğu bilinen d_r , G_y ve E değişkenleri rastgele değişken varsayılarak asansör askı halatının mukavemet ve ömür analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları tartışılmıştır. Ancak, bu alanda daha hassas bir mukavemet ve ömür analizi yapabilmek için bu analizlerdeki tüm değişkenlerin sahip olabileceği belirsizlikler deneysel veya literatürden araştırılabilir ve bu yönde kapsamlı bir stokastik analiz yürütülebilir. Bu yaklaşımın farklı asansör ve halat tipleri üzerinde uygulanarak detaylı bir olasılıksal analiz ve optimizasyon işlemi yürütülmesi gelecekte yapılabilecek çalışmalara önemli bir yön ve zemin teşkil edebilir.

KAYNAKLAR

- Anıl,A.S., 2011. Eksenel Yüklü Tel Halat Demetlerinin Bilgisayar Ortamında Yorulma Ömürlerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aycan,O., 2017. Asansör Halatlarını Servis Dışı Bırakma Kriterlerinin Çekme Dayanımına Etkilerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak.
- Cookes Limited, 2007. *Wire rope handbook*, Auckland, New Zealand. <http://bridon.co.nz/uploads/catalogues/wire-rope.pdf>-(Erişim Tarihi :03.09.2017).
- Choi,S.K., Grandhi, R.V. ve Canfield,R.A., 2007. Reliability-based Structural Design, *Georgia Tech Savannah*, 309 p, Springer-Verlag London Limited
- Feyrer,K., 2015. Wire Rope Tension,Endurance,Reliability, *Stuttgart University*, 343 p, Springer Berlin Heidelberg New York
- Fontanari,V., Benedetti,M., Monelli,B.D. ve Degasperi,F., 2014. Fire behavior of steel wire ropes: Experimental investigation and numerical analysis. *Engineering Structures*, 84(2015), 340-349
- İmrak, C. E. ve Gerdemeli, İ., 2000. *Asansörler ve Yürüyen Merdivenler*. Birsen Yayınevi, İstanbul
- Kösemen,Ö., 2008. Asansör Taşıyıcı Halatlarının Statik Yük Altında Deneysel Gerilme Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Liu,Z., Guo,T. ve Chai,S., 2016. Probabilistic Fatigue Life Prediction of Bridge Cables Based on Multiscaling and Mesoscopic Fracture Mechanics. *Applied Sciences* 6(4): 99.
- Molnar,V., Fedorko,G., Kresak,J., Peterka,P. ve Fabianova,J., 2017. The influence of corrosion on the life of steel ropes and prediction of their decommissioning. *Engineering Failure Analysis*, 74(2017), 119-132
- Onur,Y.A., 2010. Halat Ömrüne Etki Eden Parametrelerin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Peng,Y., Chang,X., Sun,S., Zhu,Z. ve Gong,X., 2018. The friction and wear properties of steel wire rope sliding against itself under impact load. *Wear*, 400-401(2018), 194-206

- Salman,Ö., 2010. Taşıyıcı Halatlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Singh,R.P., Mallick,M. ve Verma.M.K., 2016. Studies on failure behaviour of wire rope used in underground coal mines. *Engineering Failure Analysis, 70(2016), 290-304*
- Şentürk,Ö., 2007. Eksenel Yüklü Tel Halat Demetlerinin Sonlu Elemanlar Metodu İle Modellenmesi Ve Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- TS EN 81-1, 2011. Asansörler-Yapım ve Montaj İçin Güvenlik Kuralları - Bölüm 1: Elektrikli Asansörler, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS 1812, 1988. Asansörlerin Hesap, Tasarım ve Yapım Kuralları (Elektrikle Çalışan İnsan ve Yük Asansörleri İçin), *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 12385-5, 2005. Çelik Tel Halatlar- Güvenlik- Bölüm 5: Asansörler İçin Halatlar, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TS EN 12385-2 + A1, 2009. Çelik Tel Halatlar-Güvenlik-Bölüm 2: Tarifler, Kısa Gösteriliş ve Sınıflandırma, 2. Baskı, *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.*
- TÜİK, 2015. Yaş grupları ve cinsiyete göre kilo ortalamaları. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1095, (Erişim Tarihi :03.06.2017).
- Url-1, <http://fetihasansor.com/>, (Erişim Tarihi :12.05.2017).
- Url-2, <http://www.sahinlift.com.tr/>, (Erişim Tarihi :12.05.2017).
- Url-3, <http://www.cetincelikhalat.com/>, (Erişim Tarihi :14.05.2017).
- Url-4, <http://www.globalcelik.com/>, (Erişim Tarihi :14.05.2017).
- Url-5, <http://www.adivarcelikhalat.com/>, (Erişim Tarihi :14.05.2017).
- Url-6, <http://www.guvencelikhalat.com.tr/>, (Erişim Tarihi :14.05.2017).
- Url-7, <http://www.celsancelik.com/>, (Erişim Tarihi :14.05.2017).
- Vallan,A., 2017. A System for the Measurement of Wire-rope Defect Positions. *Instrumentation and Measurement Technology Conference, Como, Italy*
- Verreet, R., 1998. Calculating the service life of running steel wire ropes, *Casarr Drahtseilwerk Saar GmbH Internal Report, 33 p, Kirkel, Germany.*
- Vogel,W., 2016. Influences on lifetime of wire ropes in traction lifts. *5th Symposium on the Mechanics of Slender Structures, Germany*

Yanbay,G., 2012. Asansör Halatları. <http://www.guven-kutay.ch/Asansor/80-1-1a-AsansorHalatlari.pdf>; (Erişim Tarihi :19.05.2017).



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ali ŞAHİN
Doğum Tarihi ve Yer : 22.01.1983/KARAMAN
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
Telefon : 0 505 332 02 69
e-mail : alisahin70@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	2018
Lisans	Selçuk Üniversitesi	2005
Lise	Karaman Y.D.A. Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2007	Biskot Bisküvi	Makine Mühendisi
2007-2009	Karaman Belediyesi	Makine Mühendisi
2009-2015	Burdur İl Özel İdaresi	Makine Mühendisi
2015-	Karaman Belediyesi	Makine Mühendisi