

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSENEL YÜKLÜ EĞİLMİYE MARUZ
TEL HALATLARDA OLUŞAN TEL GERİLMELERİNİN İNCELENMESİ**

100 900

100900

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Erkan YARDIBİ
F0396Y067**

Tezin Enstitüye Varıldığı Tarih : 07 Ocak 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Şubat 2000

Tez Danışmanı : Doç. Dr. C. Erdem İMRAK *Erdem İmra*
Diger Juri Üyeleri Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ *İsmail Gerdemeli*
Doç. Dr. Vahit MERMERTAS *Vahit Mermertas*

ŞUBAT 2000

ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışmada çoğu çeşitli yapılarda yüklerin taşınmasında, çatıların ve ekseriyetle köprülerin desteklenmesinde, kıyıdan uzak yapılarda bağlantı elemanı şeklinde ve elektrik taşıma hatlarında kullanılan halatların yük karşısında incelenen davranışları, eksenel yüklenmiş bir halatın aynı zamanda eğilmeye maruz kalması durumunda tel yükleri ve gerilmeleri sunulmuştur.

Günümüz teknolojisi açısından halatın emniyetli ve de verimli bir şekilde kullanılabilmesi, böyle bir incelemeyi doğurmaktadır ve halat tellerinde oluşacak gerilimlerin bilinmesiyle, kullanılması gereken halat boyutunun tespitinin daha verimli bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır.

Öncelikle bu çalışmayı yapabilmek aşamasına gelmemi sağlayan aileme ve ağabeyime, desteklerini esirgemeyen AJANS 99 Tur.Tan.Org.Ltd.Şti.'ne ve Sayın Türkay ÖZGÜR'e, ve de çalışmalarımın hazırlanması esnasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen hocam, Doç. Dr. Sayın C. Erdem İMRAK'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda sorularımı cevaplamaktan kaçınmayan Prof. Dr. George COSTELLO ve Prof. Dr. J. PHILLIPS'e de teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş	1
2. TEL HALATLAR.....	2
2.1 Tel Halatlar	2
2.2 Tel Halatlarının İmalatı	3
2.2.1 Halat Teli İmalatı	3
2.2.2. Halat İmalatı	3
2.2.2.1. Halat Çapı.....	3
2.2.2.2. Halat Çelik Kesiti	4
2.2.2.3. Halat Sarım Yönü	4
2.2.2.4. Halat Adımı.....	4
2.2.2.5. Çapraz ve Düz Dolamlı Halatlar.....	5
2.2.2.6. Performe (Ön Şekilli) Halatlar	5
3. TEL HALATLARIN TIPLERİ, SEÇİMİ VE KULLANILAN NORMLAR	7
3.1 Tel Halat Tipleri.....	7
3.1.1 Yuvarlak Demetli Halatlar	7
3.1.2 Üçgen Demetli Halatlar.....	7
3.1.3 Oval Demetli Halatlar.....	8
3.1.4 Kapalı Tip Halatlar.....	8
3.1.5 Dönmez Tip Halatlar.....	8
3.1.6 Çimalar.....	9
3.2 Tel Halat Demet Konstrüksyonları.....	9
3.2.1 Tek Operasyonlu Demetler (Paralel Tel Sarımlı Demetler)	9
3.2.1.1 Seale Demeti.....	9
3.2.1.2 Warrington Demeti.....	10
3.2.1.3 Warrington – Seale Demeti.....	10
3.2.1.4 Filler (Dolgu) Demet.....	10
3.2.1.5 Seale – Filler Demet	11

3.2.2 Çok Operasyonlu Demetler (Basit Sarımlı Demetler).....	11
3.2.3 Lif Özlü Demetler.....	11
3.3 Tel Halatların Seçimi ve İmalat Parametrelerine Göre İncelenmesi.....	12
4 İNCE BİR TELİN DENGESİ.....	21
4.1 İnce Bir Telin Kinematikleri.....	21
4.2 Denge Denklemleri	22
4.3 Yükler ve Deformasyonlar Arasındaki Bağıntılar	26
5 BİR DEMETİN STATİK DAVRANIŞI.....	27
5.1 Bir Demetin Geometrisi.....	27
5.2 Basit Düz Bir Demetin Eksenel Davranışı	29
5.3 Basit Bir Demetin Gerilim Değerlerinin Belirlenmesi.....	35
5.4 Basit Bir Demet İçin Yük Deformasyonları İlişkisi	36
5.5 Basit Düz Bir Demetin Sadece Eğilmeye Maruz Kalması	37
5.6 Eğilmeye Maruz Kalan Bir Demetin Gerilim Tespiti	41
5.7 Bir Tambura Sarılı Demette Oluşan Gerilimlerin Tespiti	42
5.8 Çok Katmanlı Demetler.....	43
5.9 Kontak Gerilimleri.....	44
5.10 Dış Tellerin Birbirine Temas Etmesi	45
6. TEL HALATIN STATİK DAVRANIMI.....	48
6.1 Bağımsız Bir Tel Halat Çekirdeğinin Eksenel Davranımı	48
6.2 Tel Halatin Eksenel Davranımı.....	51
6.3 Eksenel Yükleme İle Halatta Meydana Gelen Gerilimler	51
6.4 Halatta Eksenel Yükleme ve Eğilmeden Dolayı Oluşan Gerilmeler	52
6.4.1 Halat Tel Gerilimlerinin Fonksiyonel İfadesi	53
6.4.2 Halat Tellerindeki Gerilimlerinin Fonksiyon Olarak Belirlenmesi....	55
7. OLUŞTURULAN DENKLEMLERİN SAYISAL ÖRNEKLERİ.....	61
Örnek 7.1.....	61
Örnek 7.3.....	67
Örnek 7.4.....	72
Örnek 7.5.....	79
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	89
KAYNAKLAR	90
EKLER.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	96

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Halat Çapı Ovallık Toleransı	6
Tablo 4.1 Kuvvetler için doğrultu kosinüsleri	24
Tablo 7.1 İki tabakalı demete ait tabakaların taşıdıkları yük oranları	63
Tablo 7.2 Verilen ömek için hesaplanan tel gerilimleri.....	64
Tablo 7.3 Dış teldeki pozisyon'a göre değişen toplam normal gerilmeler	70
Tablo 7.4 6x19 SEALE IWRC için geometrik veriler	81
Tablo 7.5 Halata ait geometric katsayılar	82
Tablo 7.6 Hesaplanan tel helis yarı çapları.....	83
Tablo 7.7 6x19 Seale IWRC Halatın 0,001 eksenel uzaması için halat, demet ve tel uzamaları ve yükleri (Burulma =0).....	88

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Tel Halat Bileşenleri	2
Şekil 2.2. Halat Çapının Ölçülmesi (doğru ölçme ve yanlış ölçme).....	4
Şekil 2.3. Halat Sarımı (S) Sol Sarım (Z) Sağ Sarım	4
Şekil 2.4. Halat Adımı.....	5
Şekil 2.5. Düz Sarımlı Halat ve Çapraz Sarımlı Halat.....	5
Şekil 3.1 Yuvarlak Demetli Halatlar	7
Şekil 3.2 Üçgen Demetli Halatlar.....	7
Şekil 3.3 Oval Demetli Halatlar.....	8
Şekil 3.4 Kapalı Tip Halatlar.....	8
Şekil 3.5 Dönmez Tip Halatlar.....	9
Şekil 3.6 Çima Tipi Demet Kesiti	9
Şekil 3.7 Tek operasyonlu demetler	9
Şekil 3.8 Seale Demetleri.....	10
Şekil 3.9 Warrington Demeti	10
Şekil 3.10 Warrington – Seale Demetleri.....	10
Şekil 3.11 Filler Demeti	11
Şekil 3.12 Seale – Filler Demetleri	11
Şekil 3.13 Çok operasyonlu demetler.....	11
Şekil 3.14 Lif özlü demetler	12
Şekil 3.15 Basit Sarılılı Spiral Halat	15
Şekil 3.16 Herkules Halatı.....	16
Şekil 3.17 Elyaf ve Tel Özlü Halatların Yük Altında Uzama Durumları.....	18
Şekil 3.18 Verilen halatlara ait yük-uzama eğrileri.....	18
Şekil 4.1 Eğrilmiş telin deforme ve deformesiz halleri.....	21
Şekil 4.2 Dikdörtgen kesitli yüksüz helisel yay	23
Şekil 4.3 İnce tele etki eden yükler	23
Şekil 4.4 İnce telin kesit merkez eksen çizgisi (y ekseni aşağı dönük) (kuvvet çifti yok) ..	24
Şekil 4.5 İnce Telin Kesit Merkez Eksen Çizgisi (x ekseni aşağı dönük) (kuvvet çifti yok) ..	24
Şekil 4.5 İnce Telin Kesit Merkez Eksen Çizgisi (x ekseni aşağı dönük) (kuvvet çifti yok) ..	25
Şekil 4.7 İnce telin kesit merkez eksen çizgisi (x ekseni aşağı dönük) (kuvvet yok) ..	26
Şekil 5.1 Yük altındaki basit düz demet.....	27

Şekil 5.2 Demet eksenine dik tel kesiti	28
Şekil 5.3 Helişel tele etki eden yükler	31
Şekil 5.4 Dış tellerin merkez eksenlerinin geliştirilmiş görüntüsü	31
Şekil 5.5 Kuvvet çifti ile eğilmiş helisel yay	37
Şekil 5.6 Bir tambura sarılmış basit bir demet	42
Şekil 5.8 Dış tel ile merkez tel arasındaki temas	45
Şekil 5.9 Dış teller arasındaki çizgi teması	46
Şekil 5.10 Dış teldeki kontak yükleri	47
Şekil 6.1 Bağımsız Tel Halat Çekirdeği (IWRC) (Independent Wire Rope Core) ..	48
Şekil 6.2 Örnek grafik	54
Şekil 6.3 Tambura sarılı eksenel yük altındaki halat	58
Şekil 7.1 İki tabaklı basit düz bir demet	61
Şekil 7.2 2 Tabaklı demetin tabaka yük oranları grafiği	63
Şekil 7.3 Hesaplanan sonuçlar ile tel gerilimlerinin karşılaştırılması	65
Şekil 7.4 Merkez tel etrafında dolanan dış teldeki eğilme gerilmesi hesap noktaları ..	68
Şekil 7.5 3 tabaklı demete ait tabaka gerilim karşılaştırması	71
Şekil 7.6 3 tabaklı demette tabakalara ait yük dağılımı	72
Şekil 7.7 (IWRC) Bağımsız Tel Halat Çekirdeği	74
Şekil 7.8 6x19 Seale IWRC	79
Şekil 7.9 SEALE halat için gama geometrik açı	82
Şekil 7.10 $s = 1$, $i = 1$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı	92
Şekil 7.11 $s = 1$, $i = 2$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı	92
Şekil 7.12 $s = 2$, $i = 1$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı	93
Şekil 7.13 $s = 2$, $i = 2$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı	93
Şekil 7.14 $s = 3$, $i = 1$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı	94
Şekil 7.15 $s = 3$, $i = 2$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı	94
Şekil 7.16 $s = 3$, $i = 3$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı	95

SEMBOL LİSTESİ

A*	: Demetin eğilme katılığı
A	: Halt kesiti metalsei alanı [mm^2]
C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄	: Demet ya da halat sabitleri
E	: Halat malzemesinin elastisite modülü [daN/mm^2]
E _{eff}	: Efektif elastisite modülü
v	: Halat malzemesi poisson sayısı.
s	: Helisel telin yay uzunluğu [mm]
T	: Teldeki eksenel kuvvet [kN]
G	: Tel kesitindeki x ekseni doğrultusundaki eğilme momenti [Nmm]
G'	: Tel kesitindeki y ekseni doğrultusundaki eğilme momenti [Nmm]
H	: Teldeki burulma momenti [Nmm]
X, Y ve Z	: Sırasıyla x,y ve z eksenleri doğrultusundaki telin kesit merkez eksenel çizgisi üzerindeki birim boydaki harici çizgisel yükler [N/mm]
K, K' ve Θ	: x,y ve z doğrultularındaki birim boydaki harici momentler
κ ve κ'	: Helisin x ve y doğrultularındaki eğrilik komponentleri.
τ	: Telin birim boydaki burulmasıdır.
ε	: Halatın eksenel uzamasıdır
ξ	: Demetin yada tellerin eksenel uzaması.
β	: Telin, demetin yada halatın dönme değeridir.
s, i	: Demet ve tel katman numara indisleri
α	: Tel sarım açısı (Helis açısı)
r	: Helis yarıçapı [mm]
R	: Tel yarıçapı [mm]
d	: Halat çapı [mm]
D	: Tambur çapı [mm]
p	: Tambur yarıçapı [mm]
ϕ	: Halat eğilme açısı
p	: Helisel tel hatvesi [mm]
p, q	: Birim boydaki çizgi yükü ve birim boydaki burulma çiftidir

m_s	: Tel eğilme momenti. [Nmm]
M_b	: Halat eğilme momenti [Nmm]
M_t	: Halat burulma momenti [Nmm]
F	: Halata etki eden eksenel kuvvet [N]
h	: Yay boyu [mm]
l	: Tel boyu [mm]
Q	: Birim boydaki normal kontak kuvveti [N/mm]
m	: Tel ya da demet katmanındaki tel ya da demet sayısı
Δr_{si}	: Poisson sayısı etkisi ile demetteki tellerin helis açılarındaki değişim
Z_{si}^T	: Düz halat faktörü
Z_{si}^B	: Eğilme faktörü
$F \sigma_i$: i nolu teldeki eksenel tel gerilimi
$M \sigma_i$: Kesitteki maksimum kesme gerilimi
$T \sigma_i$: T_i yükünden kaynaklanan eksenel gerilim.
$G \sigma_i$: G'_i eğme momenti ile oluşan normal gerilim.
$H \sigma_i$: H_i burulma momentinden kaynaklanan maksimum kesme gerilmesi;
σ_{si}^T	: Sadece eksenel yükleme ile tel kesitindeki maksimum çekme gerilmesi [N/mm^2]
σ_{si}^B	: Sadece eğilmeden kaynaklanan tel kesitindeki maksimum çekme gerilmesi [N/mm^2]
σ_{nom}	: Halatın nominal çekme gerilmesi [N/mm^2]

EKSENEL YÜKLÜ EĞİLMİYE MARUZ TEL HALATLARDA OLUŞAN TEL GERİLMELERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, eksenel olarak yüklenmiş ve aynı zamanda bir tambur etrafında eğilmeye zorlanmış kompleks kesitli bir IWRC (bağımsız tel halat özü) konstrüksiyonuna sahip halatın bireysel tellerindeki gerilmeler incelenmektedir. Halat tellerinin gerilimlerinin incelenmesinde Love, Phillips ve Costello'nun teorileri kullanılmıştır. Hesaplamalarda sürtünme etkileri ihmal edilmiştir; bunun sonucunda elde edilen sonuçların sadece çok iyi yaylanmış veya sadece eksenel eğilmeye maruz halat için uygulandığı varsayılmaktadır.

Dönmeye karşı sınırlanmış 6 x 19 Seale IWRC halatı için elde edilen sonuçlarda maksimum tel geriliminin, nominal gerilimin 1,5 - 3 katı olduğu tespit edilmiştir. Analizler sonucu, eksenel yük altındaki ve aynı zamanda bir tambur etrafında eğilmeye zorlanan 6 x 19 Seale IWRC halatı için $(D/d)\sigma_{nom}/E = \sigma_{max}/\sigma_{nom}$ diagramı çizilmiştir. Diagramın kullanılmasıyla, halata ait çapın, kesit alanının, yükün ve tambura ait çap değerinin bilinmesiyle, halat tellerindeki gerilimler bulunabilmektedir.

Bölüm 2 ve 3'te halat yapıları, tipleri ve konstrüksyonları anlatılmaktadır. Bir çok halat tipinin mevcut olmasına rağmen, bir halat genellikle 3 bölümden meydana gelmektedir. (1) demeti oluşturan tel, (2) halat özü, (3) halat özü etrafında helisel olarak sarılan tellerin oluşturduğu demet.

Bölüm 4, ince bir telin kinematiklerinin incelenmesiyle başlamaktadır. Denge denklemeleri ince bir tel için türetilerek, tel yükleri ile telin eksenel davranışları arasında bağıntılar sunulmaktadır. Bölüm 5'te, daha sonra teller bir demet formu oluşturacak şekilde bir araya getirilmektedir ve oluşan demetin eksenel yükleme ve eksenel burulma momentine maruz kaldığı düşünülerek eksenel davranışını incelenmektedir. Demetin eğilmesi daha sonra incelenmektedir ve demetin bir tambur üzerinde eğildiği düşünülerek sonuçlar oluşturulmaktadır.

Demetin statik davranışını belirlendikten sonra, sonuçlar bölüm 6'da bir halat için genişletilmiştir. Öncelikle bağımsız tel halat özü (IWRC) göz önünde bulundurulmaktadır. İfadeler halat tellerindeki gerilimler için tekrar sunulmuştur ve

halatın bireysel tellerindeki maksimum gerilimleri gösteren diyagram IWRC halat için çizilmiştir. Bölüm 7'de meydana getirilen ifadelerin kullanıldığı sayısal örnekler verilmiştir ve 6×19 Seale IWRC halat için $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E = \sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{nom}}$ diyagramı çizilmiştir.



ANALYSIS OF WIRE STRESSES OF AXIAL LOADED AND BENT WIRE ROPE

SUMMARY

In this work the stresses in the individual wires of complex wire rope are determined for loaded and simultaneously bent over a sheave rope constructions having an internal-wire-rope (IWRC). In the analysis of wire rope stresses, the Love, Phillip's and Costello's theories were used. The effects of friction are neglected; consequently the results are expected to apply only for rope that is well lubricated or for rope that is loaded only in tension (without twisting or bending). Specific results for a 6 x 19 Seale IWRC Rope that is prevented from twisting indicate that the maximum stresses (exclusive of contact stresses) are typically 1.5 to 3 times as large as the nominal rope stress based on rope load and metallic area. By analysing the stresses of individual wires for loaded and bent 6 x 19 Seale IWRC, the $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E - \sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{nom}}$ diagram was plotted. Once the sheave and rope diameter and load is known, the stresses of individual wires for 6 x 19 Seale IWRC can be determined by using this diagram.

The rope constructions, components and general information about the ropes are treated in Chapter 2 and 3. Although there are many different types of constructions, a rope is generally regarded as having three components: (1) wires that form the strand, (2) a core, and (3) multiwire strands that are helically wrapped around a core.

Chapter 4 begins with an investigation of the kinematics of a thin wire. The equations of equilibrium are then derived for a wire, and the relations between the internal loads and deformations are presented. The wires are then placed together to form a strand, in Chapter 5, where consideration is given to the static response of a strand subjected to an axial tensile force and an axial twisting moment. The bending of a strand is next investigated, and results are applied to a strand passing over a sheave. Expressions are presented for the axial wire stresses in the above cases.

Once the static response of a strand is determined, the results are extended to wire rope, in Chapter 6. An independent wire rope core (IWRC) is considered first,

and then more complex cross sections are investigated. Expressions are again presented for the stresses in the rope, and plots depicting the maximum axial wire stresses in the individual wires are drawn. Some numerical examples occupied in Chapter 7. In this chapter, $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E = \sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{nom}}$ diagram was plotted for 6 x 19 Seale IWRC Rope.



1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Çoğu çeşitli yapılarda yüklerin taşınmasında, köprülerin ve çatıların desteklenmesinde, kıyıdan uzak yapılarda bağlantı elemanı ve elektrik taşıma hatlarında halatlar genellikle kullanılmaktadır.

Babylon yakınlarındaki Ninevah harabesinde bulunan bakır bir kablo bu tip kablolardan M.Ö. 685 yıllarından beri kullanıldığı göstermektedir. Pompei'de yapılan kazı çalışmalarında bulunan parçalar da Romalıların bronz tel halat kullandıklarını ortaya koymaktadır.

Bu gün kullanılan manada, demetlerin örülmesiyle elde edilen ilk tel halat Almanya'da A.Albert tarafından 1834'de üretilmiştir. Bu halatın üretilebilmesi için yapılan uzun süreli araştırmalarda halatın yeteri kadar sağlam ve elastik olması aynı zamanda da sürekli tekrarlanan bükülmeye karşı da dayanıklı olması amaçlanmıştır. Bu ilk üretilen tel halat, dörder telden oluşan üç demetin bir araya getirilmesiyle yapılmıştır ve kömür çıkartılmasında kullanılmıştır.

Halatların uzun zamanдан beri bir yapı elemanı olarak kullanılmasına rağmen, modern uygulamalar emniyet ve verimlilik açısından halat davranışlarının anlaşılmaması gereksinimini doğurmaktadır.

Halat davranışlarının incelenmesinin ilk aşaması halatların yapımı ve yapısının anlaşılmamasıdır. Bu sebeple öncelikle halatlar genel açılarından tanıtılacaklardır.

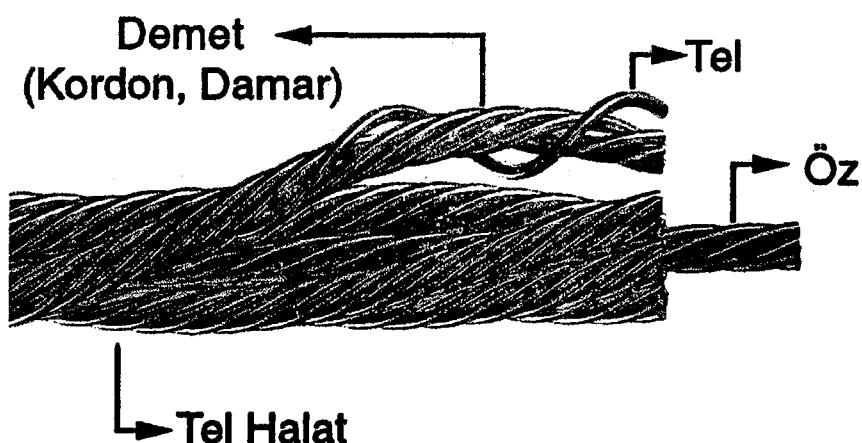
2. TEL HALATLAR

2.1 Tel Halatlar

Tel halatlar yüksek mukavemetli ince çelik tellerden yapılırlar. Bu çelik teller, ark çeliği, Siemens-Martin çeliği veya oksijen çeliğinden mamul; çapları 5,50 ile 16 mm arasında değişen yüksek karbonlu finmaşınlarından imal edilirler. Finmaşınların saflık derecesi en son olarak kullanılacağı yerin özelliklerine göre seçilmekle beraber, aşağıdaki elementler çelik tel halat imalatında genellikle kullanılan limitleri teşkil ederler.

- Mangan : % 0,30 - % 0,70
- Siliç : % 0,10 - % 0,30
- Fosfor : maksimum % 0,04
- Kükürt : maksimum % 0,04
- Fosfor+Kükürt : maksimum % 0,07
- Krom + Nikel + Bakır : maksimum % 0,25

Demetli tel halatlarda teller bir veya bir kaç çekirdek tel etrafında yine bir veya bir kaç katlı olmak üzere helis şeklinde bükülür ve bir kordon (demet) teşkil edilir. Daha sonra demetler de bir öz etrafında yine helis şeklinde bükülürler ve bütün bir halat şeklinde bağlanırlar.[6] Bir halatı oluşturan parçalar Şekil 2.1'de gösterilmiştir .



Şekil 2.1 Tel Halat Bileşenleri

2.2 Tel Halatlarının İmalatı

2.2.1 Halat Teli İmalatı

Tel halatı oluşturan çelik tellere aşağıdaki işlemler uygulanır.

- Patentleme – Tavlama
- Dekapaj ve Kaplama
- Soğuk tel çekme

Finmaşın, yapı değiştirme noktası üzerindeki bir sıcaklığı kadar ısıtılır, daha sonra $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kurşun banyosunda soğutularak "izotermik patentleme" adı verilen ısıl işleme tabi tutulur. Amaç, tel çekme işlemini sıhhatlı olarak gerçekleştirmek için malzemeye sorbitik veya troostitik yapı kazandırmaktır.

ısıl işleminden sonra telin mukavemeti karbon miktarına göre değişir. %0,40 karbonlu bir tel için mukavemet 80 kg/mm^2 , %0,85 karbonlu bir tel için yaklaşık 130 kg/mm^2 'dir.

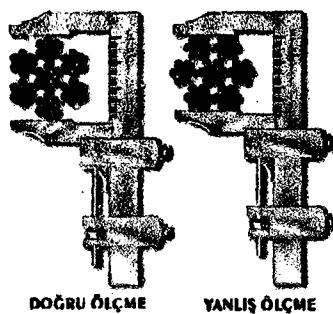
Patent fırını terk eden finmaşın yüzeyinde olabilecek tufal ve oksitlerden temizlenmek üzere uygun asit banyosundan geçirilir, soğuk ve sıcak yıkamalıyla asit hidrojeni ve kirinden arındırılır. Yüzeyi temizlenmiş tel oksitlenmesine mani olacak ve daha iyi bir soğuk çekim temin edecek fosfat kaplama banyosuna girer. Fosfat banyosunu takiben boraks banyosundan geçen tel son olarak üzerinde saklı kalan hidrojen ve nem kalıntılarından arındırılır. Böylece tel, soğuk çekme operasyonuna hazırlanır. Soğuk tel çekme, telin hesapsal kesit küçülmeleriyle çapının istenilen değere ullaştırılma işlemidir. Tel çapındaki hız ve miktarı elde etmek istenen nihai çap ve mukavemeti temin eder. Teller herhangi bir madde ile kaplanmamış olan "çıplak tel" veya dış korozif tesirlere karşı koruma sağlamak amacıyla, çinko tabakasıyla kaplanarak "kaplamalı tel" olarak imal edilirler. [6]

2.2.2. Halat İmalatı

Halat telleri, imal edilecek halatların kompozisyonuna göre önce demetlenir. Bu demetler de halat sarma makinalarında talebe uygun olarak, örgülü çelik öz veya lif (elyaf, fiber) öz üzerine sarılarak halatı meydana getirir. [6]

2.2.2.1. Halat Çapı

Bir halatin anma çapı (mm cinsinden), halatin dik kesitini tegett olarak sınırlayan dairenin çapıdır. Şekil 2.2 halat çapının doğru bir şekilde ölçülmesini göstermektedir.



Şekil 2.2. Halat Çapının Ölçülmesi (doğru ölçme ve yanlış ölçme)

2.2.2.2. Halat Çelik Kesiti

Halat metalik kesit alanı (mm^2 cinsinden), halatı oluşturan bütün çelik tellerin anma çaplarına göre, hesaplanan kesit alanlarının toplamıdır.

2.2.2.3. Halat Sarım Yönü

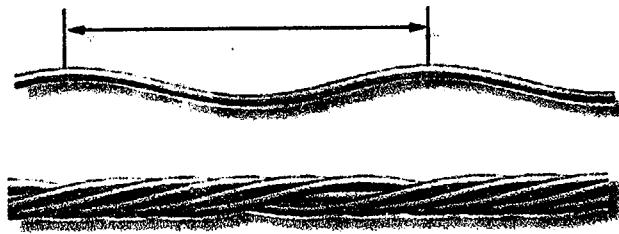
Halatın dolamı, halatı oluşturan demetlerin sanm yönüdür. Demetlerin sağ sanlısı büyük "Z", sola sanlısı büyük "S" ile gösterilir. Aksi belirtildiğince halatlarda demet sarma yönü sağdır. Takviyeli palanga ile kaldırımlarda ve bazı asansörlerde hem sağ hem sola sanlısı halatlar imal edilir. Demetleri teşkil eden tellerin sanm yönleri aynı isimlendirme ile sağ veya sola olabilir. Bu taktirde halatların sanm şekli dört değişik kompozisyon arz eder. Şekil 2.3 hayat sanm yönlerini göstermektedir. [6]



Şekil 2.3. (S) Sol Sarım (Z) Sağ Sarım

2.2.2.4. Halat Adımı

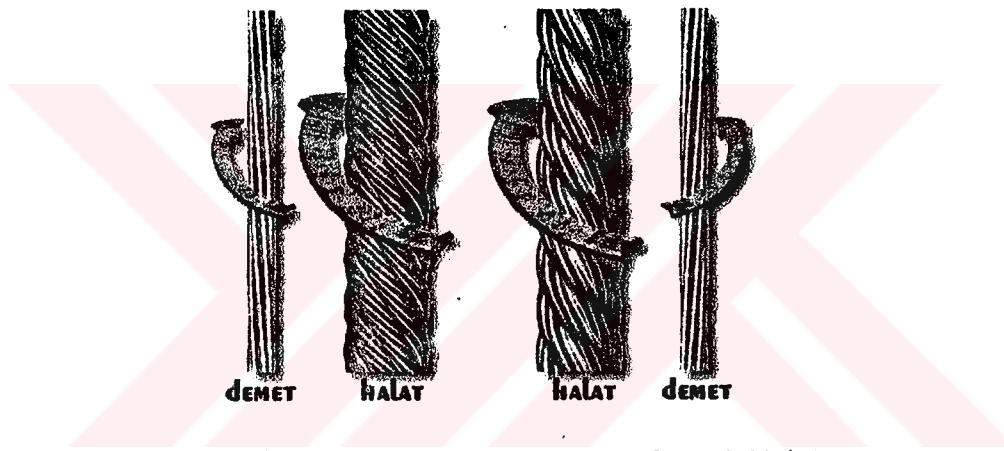
Halat üzerinde demet ekseninin meydana getirdiği helisin, halat eksenin boyunca ölçülen uzunluğudur (mm. cinsinden). Şekil 2.4 halat adımının anlamını ifade etmektedir. Şekildeki tel demet olarak düşünüldüğünde gösterilen mesafe halat adımı, tel olarak düşünüldüğünde demet adımı olarak isimlendirilmektedir. [6]



Şekil 2.4. Halat Adımı

2.2.2.5. Çapraz ve Düz Dolamlı Halatlar

Demeti teşkil eden tellerin sarılma yönleriyle, halatı teşkil eden demetlerin sarılma yönleri aksi istikamette ise “çapraz (regular) sarılmış halat”, aynı istikamette ise “düz sarılmış (lang) halat” denir. Şekil 2.5’de çapraz ve düz dolanımlı halatlar gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Düz Sarılmış Halat ve Çapraz Sarılmış Halat

Demetlerdeki tel dolam yönleri, küçük “s” ve küçük “z” harfleri ile, demet dolam yönlerinden önce yazılır. [6]

2.2.2.6. Performe (Ön Şekilli) Halatlar

Ön şekilli halat, kendisini meydana getiren elemanlara (teller, demetler) bir imalat operasyonu ile, halat sarıldıktan sonra alacakları şeklin, daha önceden kazandırılmasıdır. [6]

2.2.3.2.2 Çap Kontrolü

Halat gerçek çapı daha önce belirtildiği şekilde özel kumpasla ölçülerek (mm. cinsinden) bulunur.

Halat gerçek çapı, halat düz ve yüksüz olarak sarılmış halde iken en az iki komşu demete degecek geniş ağızlı kumpasla uçtan itibaren en az 1,5 m'den başlamak

üzere ve en az 1,5 m aralıklla iki noktadan ve her noktada birbirine dikey olmak üzere ölçülür. Bu dört ölçünün ortalaması halat kompozisyon foylerinde gösterilen boyut ve toleranslara uygun olmalı, dört ölçü arasındaki en büyük fark, Tablo 2.1'de verilen değerleri aşmamalıdır. [6]

Tablo 2.1 Halat Çapı Ovalilik Toleransı

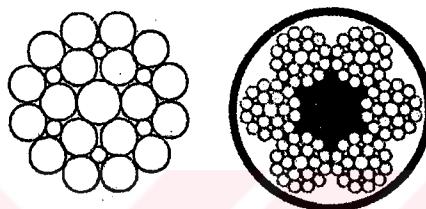
Halat Anma Çapı mm	Ovalilik toleransı anma çapı %	
	Çelik Özlü Halatlar	Lif Özlü Halatlar
2 ve 3	7	-
4 ve 5	6	8
6 ve 7	5	7
8 ve daha kalın	4	6

3. TEL HALATLARIN TİPLERİ, SEÇİMİ VE KULLANILAN NORMLAR

3.1 Tel Halat Tipleri

3.1.1 Yuvarlak Demetli Halatlar

Yuvarlak demetli halat, demetlerin en kesitleri yaklaşık olarak daire biçiminde olan halatlardır. Şekil 3.1'de yuvarlak demetli bir halatın kesiti görülmektedir. [17]

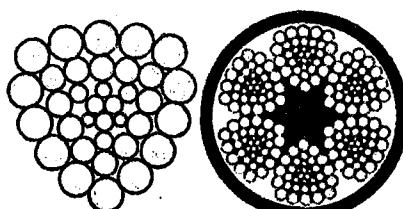


Şekil 3.1 Yuvarlak Demetli Halatlar

3.1.2 Üçgen Demetli Halatlar

Üçgen demetli (kordonlu) halat demetlerinin en kesitleri yaklaşık olarak üçgen biçimde olan halatlardır.

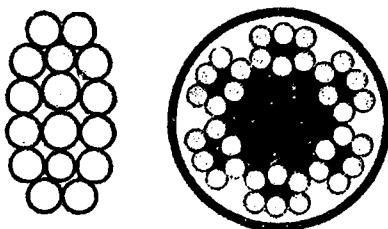
Halat, makara olduğu içinde mükemmel bir kaldırma işi temin etmek ve hatta burada tellerin aşınmasını da azaltmak amacıyla üç köşe demeti halat cinsi meydana getirilmiştir. Daima 6 demetli olan bu halatta, demetlerden her biri aşağı yukarı yuvarlaştırılmış bir eşkenar üçgen şekline sahiptir. Demetler genellikle kendir öz üzerine istinad ederler. Demet ise, bir veya iki yuvarlak tel katı ile kaplı, üçgen biçiminde bir özü ihtiva eder. Üç köşe demetli halatlar, iş şartlarının, kaldırma makarası üzerine yüksek tazyiki veya sadmelerle, aşınmaya maruz bütün hallerde kullanılırlar. Şekil 3.2'de üçgen demetli halata ait örnek kesit görülmektedir. [17]



Şekil 3.2 Üçgen Demetli Halatlar

3.1.3 Oval Demetli Halatlar

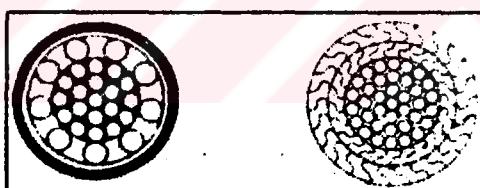
Oval demetli halat demetlerin en kesitleri yaklaşık olarak oval biçiminde olan halatlardır. Demet sayıları en az 6 ve daha fazla olabilir. Şekil 3.3'de bu tip bir halat kesiti örnek olarak gösterilmiştir. [17]



Şekil 3.3 Oval Demetli Halatlar

3.1.4 Kapalı Tip Halatlar

En dış telleri yuvarlak olmayıp profilleri yardımıyla birbirine kenetlenmiş halatlardır. Kapalı halatlar, üzeri bir veya birkaç profilli tel katı ile kaplı, yuvarlak tellerden oluşan birkaç sayıdaki katların meydana getirdiği tek demetli halatlardır. Bu sebeple, bu halatın yapımı, ona mükemmel düz bir yüzey verir. Bu da onun mesela teleferiklerde taşıyıcı halat olarak kullanılmasını elverişli kılar. Diğer taraftan, dış tellerin iç içe sokularak kaplanmış olmasıyla, iç kısım dış tesirlere karşı muhafaza edilmiş olur. Bu tip halatın aşınmaya ve dönmeye karşı mukavemeti yüksektir. Şekil 3.4'de kapalı tip halata ait örnek bir halat kesiti gösterilmektedir. [17]

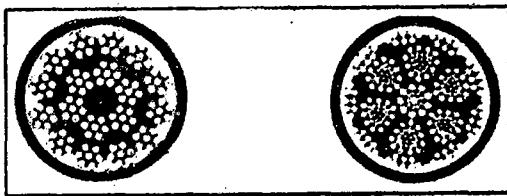


Şekil 3.4 Kapalı Tip Halatlar

3.1.5 Dönmez Tip Halatlar

İki veya daha çok demet katından meydana gelen ve yük altında dönme eğilimi az olan halatlardır.

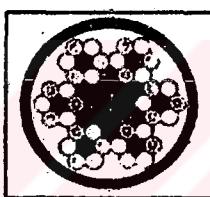
Kaldırma yüksekliği fazla ve yükün yönetilmediği hallerde, yani vinçlerde ve "Blondin" denilen baraj inşaatlarında kullanılan sistemde asılı yükün yönünü temin edecek dönmez teripler bulunur. Bir dönmez halatta, tepki kuvvetini mümkün olduğu kadar azaltarak, birçok demet katlarının genellikle ters yönde halatlaması yapılır. Kullanışı bir çok şartların yerine getirilmesini zorunlu kılar. Dönmez tip halata ait örnek bir kesit Şekil 3.5'de gösterilmektedir. [17]



Şekil 3.5 Dönmez Tip Halatlar

3.1.6 Çimalar

Bir kendir öz üzerinde veya yedinci bir halatın meydana getirdiği öz üzerine istinad eden 6 halatın kendi aralarında halatlama yapılarak elde edilir. Eşit çaptaki bir çimanın daha iyi bir bükülgendirlik verdiği tasarılanabilir. Elastiklik ve bükülgendirliğinden ötürü, genellikle sapan ve gemi palamarları yapımında kullanılırlar. Aksi halde, meydana getirdikleri tel genellikle çok ince olduğundan, sürtünme yoluyla aşınmaya maruz kaldığı zaman çimanın ömrü kısa olur. Şekil 3.6'da çimaya ait örnek görülmektedir. [17]



Şekil 3.6 Çima Tipi Demet Kesiti

3.2 Tel Halat Demet Konstrüksyonları

3.2.1 Tek Operasyonlu Demetler (Paralel Tel Sarımlı Demetler)

Demeti teşkil eden teller, en az iki kat olmak üzere bir tek operasyonda örülən konstrüksyonlardır. Bu tip demetlerdeki teller, aynı açı ve aynı yönde sarılmışlardır.

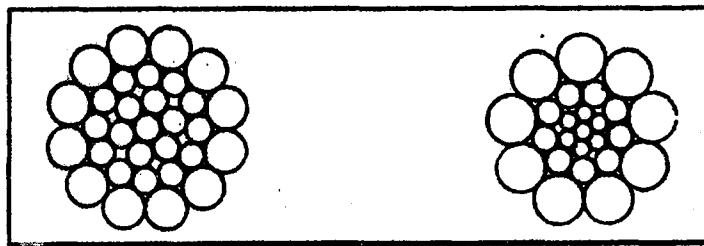
Tek operasyonlu demete ait örnek çizim Şekil 3.7'de gösterilmektedir. [17]



Şekil 3.7 Tek operasyonlu demetler

3.2.1.1 Seale Demeti

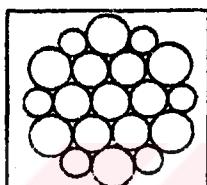
Demeti teşkil eden en dış kat tel sayısının bir alt katındaki tel sayısına eşit olduğu konstrüksyonlardır. Şekil 3.8 bir SEALE tipindeki demete ait kesiti göstermektedir.



Şekil 3.8 Seale Demetleri

3.2.1.2 Warrington Demeti

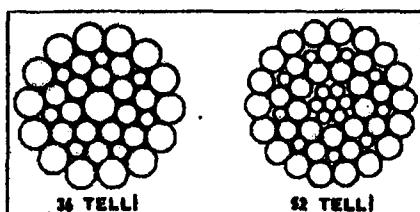
Demeti teşkil eden dış kat telleri, birbirine eşit sayıda iki farklı çaptaki tellerden örülmüş konstrüksiyonlardır. Bu demetlerin dış yüzeyleri son derece yuvarlak ve düzgündür. Şekil 3.9 Warrington tipi bir halat kesitini göstermektedir.



Şekil 3.9 Warrington Demeti

3.2.1.3 Warrington – Seale Demeti

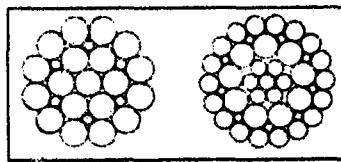
Demeti teşkil eden dış kat telleri Seale, altındaki kat ise Warrington dizilişli konstrüksiyonlardır. Şekil 3.10 Warrington-Seale tipi demete ait kesiti göstermektedir.



Şekil 3.10 Warrington – Seale Demetleri

3.2.1.4 Filler (Dolgu) Demet

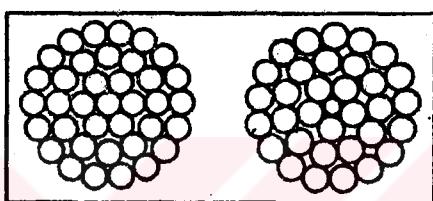
Demeti teşkil eden dış kat telleri, bir alt katında kalın tellere eş sayıdaki dolgu telleriyle örülmüş ve dış tellere yataklık yapan konstrüksiyonlardır. Bu tip demetlerde dış kat telleri dolgu tel sayısının iki katıdır. Şekil 3.11'de bu tip bir halata ait demet kesiti gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Filler Demeti

3.2.1.5 Seale – Filler Demet

Demeti teşkil eden dış kat telleri, bir alt katında kalın tellerle eş sayıdaki dolgu telleriyle örülmüş ve dış tellere yataklık yapan konstrüksiyonlardır. Bu tip demetlerde dış kat telleri dolgu tel sayısının iki katına eşittir. Filler demetlerden farklı olarak, dolgu telleri iki aynı katta olan kalın tellerin bir merkez teline değil, aynı sayıda kat teli üzerine oturur. Şekil 3.12'de bu tip bir demet kesitine örnekler verilmiştir.



Şekil 3.12 Seale – Filler Demetleri

3.2.2 Çok Operasyonlu Demetler (Basit Sanılı Demetler)

Demeti teşkil eden her kat telleri ayrı operasyonlar ile aynı yönde, farklı açı ile örülen konstrüksiyonlardır. Kat teller ile diğer kat telleri arasında küçük bir açı farkı mevcuttur. Bu açı farkı tellerin mütecanis sanmasını bir altındaki tel katına batmamasını sağlar. Ancak, halatın ani ve aşırı tazyike maruz kalması halinde katlar arasında tel kaymaları olabilir. Şekil 3.13.'te çok operasyonlu demetlere ait örnek çizim gösterilmektedir. [17]

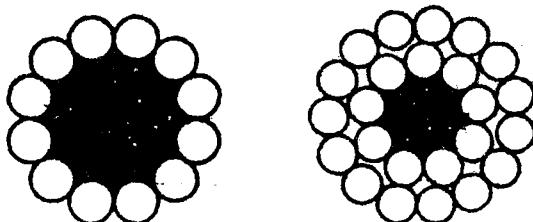


Şekil 3.13 Çok operasyonlu demetler

3.2.3 Lif Özülü Demetler

Demeti teşkil eden teller, bir lif öz üzerine sarılmış bir veya daha fazla tel katlarından meydana gelmişlerdir. Bu tip demetlerden yapılan halatlar

fevkalade esnek, bükülebilir konstrüksiyonlardır. Genellikle balıkçılıkta veya düşük yük kaldırma aparatlarında kullanılır. Şekil 3.14'te lif özlü demetlere ait çizim örnek sunulmaktadır.



Şekil 3.14 Lif özlü demetler

3.3 Tel Halatların Seçimi ve İmalat Parametrelerine Göre İncelenmesi

İşletmede kullanılmak üzere tel halat seçimi yapılırken, halatın istenilen işi en ekonomik ve en iyi şekilde yerine getirmesinin yanısıra, personel ve de mal güvenliğini sağlayacak özelliklere de sahip olması istenir. Hiç kuşkusuz bu seçim yapılırken tecrübe sahibi olmanın faydalari göz ardı edilemez, ancak yeteri kadar bilgi sahibi olmakla, halat seçiminde dikkat edilecek hususlar ana hatlarıyla canlandırılabilir. Bu bölümde tel halatların çeşitli özellikleri tanıtılrken, bir yandan da bu özelliklerin halat seçimine etkileri gösterilecektir. Bir tel halattan beklenen nitelikler, temel olarak 6 maddeye indirgenebilir:

- Tel halat işletmede gerekli olan maksimum yükü taşıyabilmelidir. Burada, mal taşımada emniyet katsayı 5:1, insan taşımada 12:1 olarak alınmalıdır.
- Halat sürekli eğilmeye karşı dayanıklı olmalı, eğilmeden dolayı halat telleri yorulmaya uğramamalıdır.
- Halat aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır.
- Bozulma ve ezilmeye karşı maksimum dayanım göstermelidir.
- Halat kolaylıkla dönmeyecek şekilde imal edilmiş olmalıdır.
- Korozyona karşı dayanıklı olmalıdır.

Tel halatlar bir çok şekilde gruplanabilmektedir. Kullanılan tellerin boyut ve materyalleri, demetteki tel sayısı ve kullanılan özün çeşidi bir tel halatın dayanıklılığını belirleyen ana parametrelerdir. Bir tel halatın tipik tanımlaması örnek olarak şu şekilde yapılabilir; 300 m. uzunluk, 13 mm. nominal çap, 6 x 19 (9/9/1) tel sayısı, ön şekil verilmiş, 180 kg/mm² mukavemet, fiber öz, düz bükümlü. Bütün bu özellikler bir tel halatın imalat parametrelerini oluştururlar. İmalatın amacı ise halatın kullanıldığı yerdeki görevini yerine getirebilmek üzere gerekli şekilde üretilmesidir. Sonuç olarak imalat parametreleri beş adettir. [6]

A. Tel Halatın Mukavemeti

- i) 200 kg/mm^2 , maksimum dayanımın gereği bazı özel uygulamalarda kullanılır.
- ii) 180 kg/mm^2 , 160 kg/mm^2 den daha büyük kırılma mukavemetinin gereği, makara ve tambur çapları açısından yüksek mukavemetin istediği durumlarda kullanılır.
- iii) 160 kg/mm^2 , en çok istenilen mukavemet değeridir, yüksek aşınma ve yorulma dayanımına sahiptir.
- iv) 145 kg/mm^2 , mukavemet gereksiminin yorulma dayanımına göre ikinci planda olduğu durumlarda kullanılır.

B. Demet (demet) çeşidi

Yukarıda demet çeşitlerine göre halat çeşitleri gösterilmiştir. Bu halat çeşitlerinden genellikle bütün kaldırma makinalarında yuvarlak demetli halatlar tercih edilmektedir.

Yuvarlak demetli halatlar, demetlerdeki tel sayısına göre sınıflandırılırlar. Demetteki tel sayısı arttıkça bir yandan halatın bükülme yorulmasına karşı direnci de artarken, bir yandan da aşınmaya karşı direnci azalır. Yuvarlak demetli halatlar, geometrik şekilleriyle belirtilerler. En sıradan haliyle yuvarlak demetli halatlarda bütün teller aynı kalınlıktadır. Seale tipi halatlarda dış tabakaları daha kalın teller oluştururken içinde ince teller bulunur. Bu durum halatın aşınma direncini ve esnekliği artırmak için değişik kombinasyonlarda yerleştirilmiştir. Dolgu (filler) tipi halatlarda ise iç ve dıştaki kalın tel tabakalarının aralarındaki boşluklar ince tellerle doldurulmuştur. Böylece halatın yorulmaya karşı direnci de artırılmıştır. Bütün bu halat tipleri farklı amaçlardaki uygulamalardaki gerekli değişken yorulma ile aşınma direnci ve esneklik değerlerini elde etmeyi mümkün kılmıştır. Değişik kombinasyonlardaki halat yapılarının bu değerlere etkileri daha özel olarak şu şekilde incelenebilir :

i) 19 Telli Demetler

- a) *19 Telli Seale* : Eşit sayıda bulunan iç ve dış tellerin, dış taraftakilerinin daha kalın olması iyi aşınma dayanımı sağlamıştır.
- b) *19 Telli Warrington* : Dış tabakadaki teller iki çeşittir ve içtekiler tarafından desteklenir. Bu konstrüksiyon küçük çaplı halatlar için daha uygundur.

- c) **25 Telli Dolgu – tipi** : Ince dolgu telleri dış tabakadaki kalın tellerin iç tabakadakilerin içine geçmesini öner. Dolgu – tipi konstrüksiyon iyi aşınma ve yorulma direnci sağlamlıktır.

ii) 37 Telli Demetler

- a) **31 Telli Warrington** : Bu tipte telli Warrington halat 12 kalın telli bir dış tabaka ile çevrilmiştir ve dış tabakadaki teller iç tabakadaki 12 telin aralarına yerleştirilmiştir. Bu yapı 25 telli bir dolgu – tipi halata eşdeğer aşınma direnci sağlarken aynı halata göre daha çok esneklik kazanmıştır.
- b) **41 Telli Dolgu – Tipi** : Bu halat 17 telli bir Seale halatının üzerine 16 telli bir dış tabaka ile bu iki tabakanın birbirine geçmesini önleyerek 6 dolgu telinden oluşmuştur. Büyük halat çapı ve yüksek esnekliğin gerektirdiği durumlar için uygundur.
- c) **49 Telli Dolgu – Tipi Seale** : 33 telli dolgu – tipi halatının 16 telinin üzerine yerleştirilmiş 16 telli bir dış tabaka eklenmesi ile oluşturulmuştur. Büyük halatın çapının yanında maksimum esneklik değerinin istediği durumlarda kullanılır.

C. Halat Yönü

Bir tel halatın sağ yönlü (saat dönüş yönünde) veya sol yönlü olabileceği daha önce belirtildi. Esas zorlanmaları bakımından tel halatları üçe ayrılır;

- i) İşletmede (çekme zorlaması altında), mükerrer olarak tamburlar, makaralar veya kasnaklar etrafında sarılarak eğilen halatlar. Kren, asansör veya (maden ocaklarındaki) transport halatları, halatlı trenlerin cer halatları (hareketli halatlar).
- ii) Üzerlerinde duran veya hareketli yükler asılı bulunan, dolayısıyla esas itibariyle çekmeye maruz olup eğilmenin ikinci planda kaldığı halatlar. Örneğin asma arabaların, kablolu krenlerin, asma köprülerin kiriş halatları (duran halatlar)
- iii) Hafif zorlamalara maruz ve bilhassa kolay eğilen halatlar. Gemî halatları, bağlama halatları, uçaklarda dümen halatları.

Birinci grupta kolay eğilebilir kendir özlü demet halatlar kullanılır. En eski yapı tarzında teller ve demetler aynı yönde bükülürdü. Buna "aynı bükümlü (sanlısı)", "uzun bükümlü" veya "Albert Bükümlü" (ing.lang lay) halat denir. Daha sonraları çapraz bükümlü halat kullanılmaya başlandı. Bunda demetlerdeki teller halattaki demetlerin doğrultusunda zit yönde bükülürler (ing. regular lay). Her iki büküm tarzında

da demetlerdeki teller aynı yönde bükülürler. Tel halatın büküm yönü, esnekliği ile aşınma ve yıpranmaya karşı olan direnci üzerinde önemli rol oynar. Düz sanılışlı halatlarda dış teller çapraz sanılışlardan daha uzun oldukları için daha büyük yüzeye sahiptirler, dolayısıyla aşınma dirençleri ve süreleri daha uzundur. Aynı zamanda düz sanılışlı halatlar daha esnek ve yorulmaya karşı da daha dayanıklıdır. Burulma ve dolanmaya karşı meyilleri yüksektir. Bundan dolayı düz sanılışlı halatların her iki ucu da sabitlenmelidir. Çapraz bükümlü halatlaren faydası, "Drall"ın azlığıdır. Drall ismi altında bir halatın, bükülmüş kısımlarının (tellerin ve demetlerin) geri yaylanması sonucunda, yüksüz iken kendi etrafında dönmesi, 8 şeklinde ilmikler yapması ve halat ucunun (uç bağının) çözülmesi halinde tellerin açılması eğilimi anlaşıılır. Halat ucunun sıkı tutulması halinde bile düz sanılışlı halatlar, çapraz sanılışlı halatlara nazaran daha çabuk burulma çabası gösterirler (bu bakımından örneğin kren yapımında tamamen çapraz sanılışlı halatlar kullanılır). Ayrıca çapraz sanılışlı halatlar hem daha dengeli hem de kısa dış tellerinden dolayı bozulma ve kopmaya karşı daha dayanıklıdır.

Tel halatlar normdur. Kren halatlarına ait normlar, Avrupa ülkelerinde pratik olarak aynıdır. Bu halatların karakteristik özelliği halat içindeki bütün tellerin aynı çapta olmasıdır. Normlar aşağıdaki üç grubu kapsar:

$$A - 6(1+6+12) = 6 \times 19 = 114 \text{ telli} \quad (\text{tel çapı } 0,4 \text{ ilâ } 1 \text{ mm})$$

$$B - 6(1+6+12+18) = 6 \times 37 = 222 \text{ telli} \quad (\text{tel çapı } 0,4 \text{ ilâ } 1,3 \text{ mm})$$

$$C - 6(1+6+12+18+24) = 6 \times 61 = 336 \text{ telli} \quad (\text{tel çapı } 0,7 \text{ ilâ } 1,5 \text{ mm})$$

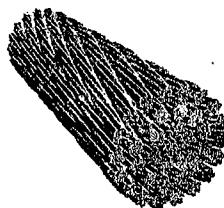
İkinci gruptaki kiriş halatlara gelince; bunlar hemen daima kalın telli spiral halatlardır. Drall'i azaltmak amacıyla ayrı tel tabakaları değişik olarak sol ve sağ yönde bükülür. Yalnız yuvarlak tellerden teşekkür eden (açık) halatların (Şekil 3.15) yağmur sularının girmesi ile paslanması sakıncası vardır. Bundan başka bir dış tel koptuğu vakit açılır (halattan dışarıya sıçrar) ve ciddi arızalara sebep olur. Bu sebepten, dış tabakası özel profilli tellerden yapılan kapalı halatlar (Şekil 3.4) tercih olunur. Bu suretle halat ve makaranın aşınması azaltılmış olur.



Şekil 3.15 Basit Sanılışlı Spiral Halat

Ancak profil telleri, maksimum çekme mukavemeti $K_2=140 \text{ kg/mm}^2$ olan çelikten yapılır, yani demet halatlarına nazaran daha zayıftır. Kapalı halatlar çok

rijid olurlarsa, o zaman **Herkules** halatları kullanılır. **Şekil 3.16'da Herkules** halatı çizimsel olarak görülmektedir.



Şekil 3.16 Herkules Halatı

Bu, demetleri (az sayıda) birkaç teli kapsayan ve pek çok demetin bir arada bükülmesinden meydana gelen kombine (demet spiral) bir halattır. Bu halatların üst yüzeylerinin düz olmayışi ve açık olmaları (paslı) sakıncalıdır. Buna karşılık, tel kopması halinde kopan uçların komşu demetler arasında sıkışıp kalması, dolayısıyle halat dışına fırlamaması gibi faydası vardır.

Demetlerin içlerine dahi birer kendir öz konulduğu taktirde, halatların eğilme kabiliyetleri 1 numaralı gruptakilerden (i) daha büyük olur. Böyle yumuşak halatlar gemi donanımında veya uçak dümen halatı olarak kullanılır fakat büyük zorlamlarda kullanılmazlar.

Ikinci gruptaki kiriş halatlar ise genellikle kalın telli spiral halatlardır. Drall'i azaltmak amacıyla aynı tel tabakaları değişik olarak sağ ve sol yönde bükülür. Demetlerin içlerine de birer kendir öz konulduğu taktirde, bu halatların eğilme kabiliyetleri birinci gruptakilerden daha büyük olur. Böyle yumuşak halatlar gemi donanımında veya uçak dümen halatı olarak kullanılır, fakat büyük zorlamlarda kullanılmaz.

D. Önsekil Verme

Önsekil verme işlemi, tellerin ve demetlerin bitmiş bir halattaki şekillerine önceden uygun hale getirilmesidir. Bu işlem tel ve demetlerin düzleşme eğilimlerini ortadan kaldırır. Neticede :

- a) Uçlarında bir sabit tutucu olmadan da halatlar kesilebilir.
- b) Halatın aynı zamanda bükülme eğilimini azalttığı için halatların kullanıma hazır hale getirilmesi ve daha sonraki kullanımı kolaylaşır.
- c) Halatın dolaşma ve karışma eğilimi azalır.
- d) Halatın bükülme yorulmasına karşı dayanımı artar.
- e) Bütün demetlerin eşit yüze maruz kalması sağlanır.

- f) Halatların, makara ve tamburlar üzerindeki yıprandırıcı etkisi azaltılır.
- g) Kopmuş tellerin halattan dışarı fırlaması önlenmiş olur. Bunun yerine teller halat eksenine göre konumlarını korular, sadece kopmuş olan uçlar arasında ufak bir ayrılma oluşur. Ancak tellerin koptuğu kolaylıkla anlaşılamayacağı için önskil verilmiş halatların kullanım esnasında çok dikkatli gözlemlenmeleri gereklidir.

Bunların yanında ön şekil vermenin bazı mahsulları da vardır:

- a) Özellikle kaldırma mesafesi kısa olan halatlarda dahi serbest yükün, ön şekilli halatı rahatlıkla döndürüp deformedeceği için tavsiye edilmez.
- b) Ön şekil verme tel ve demetleri imalinden önce, ciddi eğmelere maruz bırakıldığından, gerçek halat kopma yükünde, az da olsa düşüklüğe sebep verir.

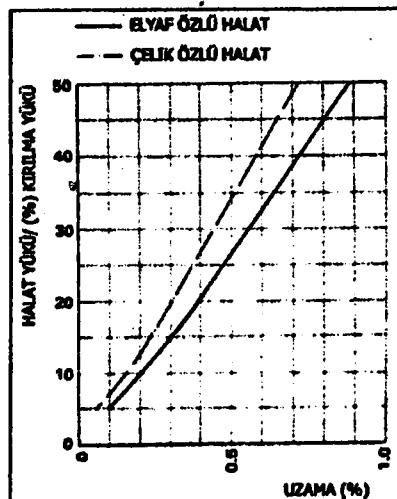
E. Özler

Öz tel halatın etrafında bütün demetlerin bulunduğu, en içte duran kısımdır. Öz bir yandan demetleri desteklerken bir yandan da yük altında ve elastik şekil değiştirme sırasında demetlerin birbirine değmesini ve karışmasını öner.

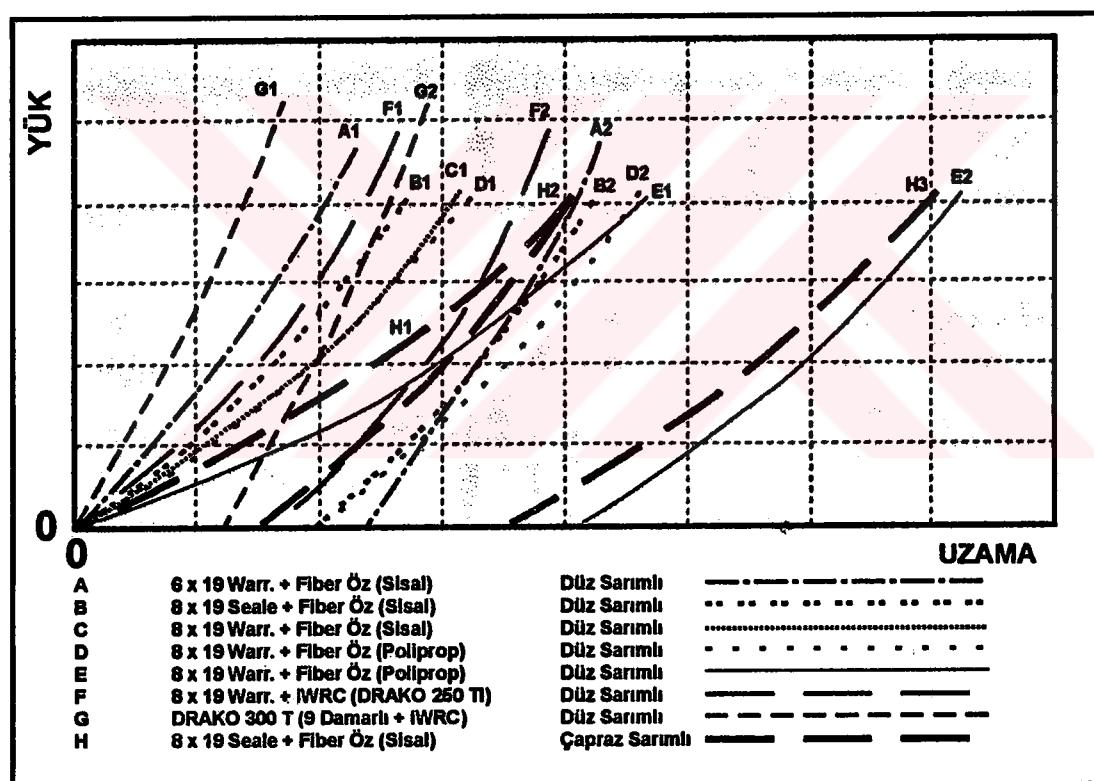
Özel uygulama koşullarına göre değişik formlarda olabilirler.

- a) Elyaf (tekstil, fiber) özler : Maksimum esneklik ve elastisite gerektiren uygulamalarda kullanılmak için uygundur. Genellikle sert fiberden veya kendirden yapılır, aynı zamanda polipropilen veya naylon gibi yapay malzemelerden de imal edilebilir. Bu sentetik yapılar özellikle nemli veya asidik ortamlarda ufanmaya karşı hassastır. Zarar görecekleri yüksek sıcaklıklarda da kullanılmamalıdır. Bu tür durumlarda telden yapılması özler veya diğer sığağa dayanıklı özler kullanılmalıdır.
- b) Tel özler : Tel özlerin en önemli özelliği dış tabakalardaki demetlerin yarattığı baskından kaynaklanan yüklerde dayanıklı olmasıdır. Böylece tekstil özlü halatlarda sıkça meydana gelen, özellikle küçük çaplı elemanların etrafına sarıldığında halat kesitinin yuvarlak şeşini yitirmesi tel özlü halatlarda önlenmiştir. Aynı zamanda tel özler, yorulma ile sonuçlanan, demetlerin birbirlerinin üzerine büyük kuvvetle bastırmalarını da öner. Tel özler daha az esneyerek halatın mukavemetini %7,5 mertebesinde artırır. Bütün bu avantajların yanında tel özler, fiber özlerle kıyasla ani yüklerle karşı daha az dayanıklılıklar ve de daha düşük rezilyans değerlerine sahiptirler.

Şekil 3.17'de elyaf ve tel özlü halatların yük altında uzama durumlarını gösteren deneyel diyagram görülmektedir. [5]



Şekil 3.17 Elyaf ve Tel Özlü Halatların Yük Altında Uzama Durumları



Şekil 3.18 Verilen halatlara ait yük-uzama eğrileri

Şekil 3.18; 13 mm'lik farklı yapıdaki halatların uzama farklılıklarını göstermektedir. Eğri 1 herzaman yeni halatın ilk kez halatın minimum kırılma dayanımının %10'unun yüklenmesindeki uzamayı göstermektedir. Eğri 2 ise Eğri 1'den sonra halatın 10 kez daha Minimum Kırılma Dayanımının %50 sinin yüklenmesinden sonraki eğri 1'e yapılan yükleme sonucu oluşan uzamayı göstermektedir.

Eğrilerdeki yükseklik farkı halatın elastik uzamasının bir ölçüsüdür. (Asansör kabininin zıplaması) Yatay farklılık ise asansör halatının plastik uzamasını göstermektedir. (Halatın kısaltılması operasyonlarının ölçüsüdür)

İmalat parametrelerinin dışında da, tel halat seçiminde göz önünde bulundurulması gereken bazı noktalar vardır.

1. Yorulma ve aşınma direnci :

Gerçekte yorulmaya ve aşınmaya karşı olan direnç, bir halatın seçiminde en çok dikkate alınması gereken konulardır. Zira servise alınmış bütün halatlar, yorulma ve aşınma yüzünden yavaş yavaş tıhip olmaktadır.

Yorulma, halatın sürekli olarak makara ve tambur gibi elemanlar üzerinde eğilmesinden kaynaklanan bir malzeme davranışıdır. Bir halat yük altında kaldığı zaman, bütün teller esner ve birbirlerine doğru yaklaşırlar. Birbirlerine doğru sıkıca basılmış olan teller makara etrafında eğildiği vakit ortaya çıkan yüksek gerilimler, bu olayın bazen ters yönde de (ikinci bir makara veya tambur etrafında) tekrarlanmasıyla tellerde yorulmaya yol açar. Bu olay ince bir telin, el ile sürekli olarak ileri geri bükülmeye benzetilebilir.

Eğilmenin sürekli olarak tekrarlanması sonucunda, zamanla teller üzerinde giderek büyüyen çatlaklar oluşmaya başlar. Bütün halatlarda meydana gelen bu olay, küçük çaplı makara ve tamburlar ile çalışan halatlarda ve de esnekliği az olan halatlarda daha hızlı olarak gelişir.

Genellikle, daha küçük çaplı ve daha çok telden meydana gelen halatlar daha esnektirler. Dolayısıyla yorulma sonucu meydana gelen hasarlar, daha ince telli halatlar ve daha büyük çaplı makara ve tamburlar kullanılarak azaltılabilir.

Aşınma ilk olarak halatın dış kısımlarında, makara ile olan sürtünmeler ve de toz ve kirin, makara ile halat arasında aşındırıcı bir etki yaratması sonucu oluşur. Bir başka oluşum şekli de halatın sert veya keskin yüzeylerle temas etmesi durumudur. Birden fazla halatın, makara veya tambur etrafında aynı anda kullanılması sonucu ortaya çıkan aşınma ise hiç şüphesiz en tehlikelisidir.

Aşınmanın en az düzeyde oluşması için, bir halat şu özelliklere sahip olmalıdır:

- a) Dış tellerin maksimum temas yüzeyine sahip olması,
- b) Dış tellerin daha kalın olması,
- c) Yüksek karbon ve manganez içeriği,
- d) Tel çekirdeğinin gerekli ısıl işlemlerden geçmiş olması.

Aşınmanın en çok olacağı ortamlarda, düz dolamlı halatlar tercih edilmelidir. Zira bu tipte, tellerin ve demetlerin aynı yönde sarılmış olmaları, dıştaki tellerin daha geniş temas yüzeyine sahip olmalarını sağlamıştır.

Bir halatın bozulma ve ezilmesine karşı da, daha büyük çaplı dış tellere sahip olması gerekmektedir.

Kaldırma makinalarında kullanılacak olan bir halat seçilirken, yukarıdaki bütün özelliklerin iyi bir kombinasyonu gerekmektedir. Kararsız kalınan durumlarda, bir halatın en kolay şekilde kullanıma hazır hale gelmesini sağlayacak özellikler diğerlerine tercih edilmelidir.

2. Emniyet Faktörleri :

İşletmede kullanılan bir halatın ani olarak tahrip olmaması için, halatın taşıyacağı ortalama yükün, taşıyabileceği maksimum yükün bir kesri olması gereklidir. Buradan yola çıkarak bir halatın yeterli "emniyet faktörü" ne sahip olması gerektiği anlaşılır. En basit haliyle emniyet faktörü şu şekildedir:

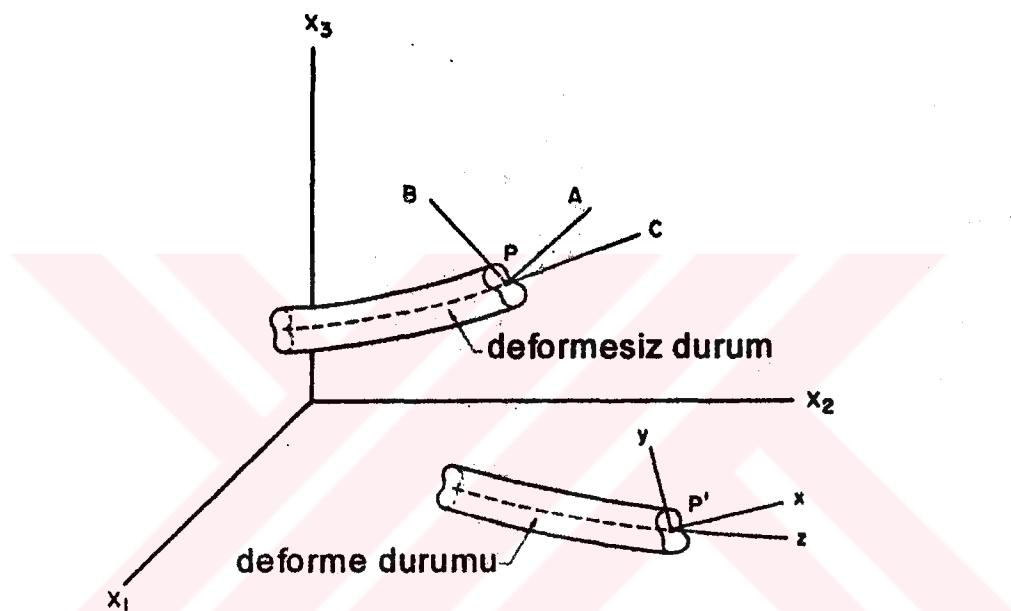
$$\text{Emniyet Faktörü} = \frac{\text{Halatın Min. Kopma Gerilmesi}}{\text{Taşıyacağı Maksimum Yük}}$$

Kaldırma makinelerinde kabul edilebilir en küçük emniyet faktörü değeri, mal taşıyanlarda 6, insan taşıyanlarda ise 12 dir. [5]

4 İNCE BİR TELİN DENGESİ

4.1 İnce Bir Telin Kinematikleri

Üniform kesitli, ön gerilimi olmayan bükülmüş bir tel göz önüne alınacaktır. İnce bir tel, kesitinin maksimum karakteristik uzunluğunda, çapının, vb. boyuna ve eğrilik yarıçapına kıyasla küçük olması şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 4.1 Eğriliş telin deformе ve deformesiz halleri

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi bu telin iki tane simetri eksen olsun. Simetri ekseni kesitimizin ana eksenleri olacaktır. A, B ve C eksen sistemini göz önüne alalım ve burada C eksen eğri telin eğrilik merkez çizgisinin P noktasından itibaren teget uzantısı, A ve B eksenleri de bu C eksenine dik eksenler olsun. a, b ve c; P noktasından başlayan A, B ve C doğrultularında telin üç sonsuz küçük çizgi elemanı olsun.

Şimdi telimiz deformе durumda olsun. Bu a, b ve c elemanları genelde birbirlerine dik kalmazlar. a ve c elemanları deformе durumda birbirine dik kalır ve bir düzlemler oluşturur. z eksen, deformе c elemanı doğrultusunda ve x eksen z eksenine dik ve a-c düzleminde olsun. y eksen de x-z eksenlerine dik bir eksen olsun. x, y, z

eksen sistemi sağ el ortogonal eksen sistemi haline gelir. Sonuç olarak deformel telin merkez eksenini boyunca bu x-y-z eksen sistemi mevcuttur. Deforme eksen üzerindeki herhangi bir nokta için bu kurduğumuz eksen sistemine "principle torsion-flexure axes" yani ana burulma, eğrilmə eksenleri adı verilir. [2]

x-y-z eksen sisteminin orijin noktası P', deformel ince telin merkez eksenini üzerinde birim hızla hareket etsin. Bu dönen eksen sistemi bir $\vec{\omega}$ açısal hızı meydana getirir. Bu vektörün x, y ve z eksenlerindeki izdüşümleri (projeksyonları) eğrilik κ , κ' ve birim boyda burulma τ komponentleri ile ifade edilecektir. Deformesiz durumdaki açısal hız vektörü $\vec{\omega}_0$ (aynı şekilde birim hız ile eksen takımının deform olmamış eğrilik eksenini boyunca hareket etmesi ile oluşur), ve bu vektörün X, Y ve Z eksenlerindeki izdüşümleri (projeksyonları) eğrilik κ_0 , κ'_0 ve birim boyda burulma τ_0 komponentleridir.

Şekil 4.2'deki gibi yük altında olmayan kare kesitli bir yay göz önünde bulunduralım. Kesit merkez eksen çizgisinin teğeti ile X_1 , X_2 düzlemi ile yaptığı açı α_0 ve yayın helis yarıçapı da r_0 olsun. Kesit merkez eksen çizgisindeki herhangi bir noktada A eksenin şekilde görüldüğü gibi X_3 ekseninininden geçmektedir. Eğer A-, B- ve C- eksen takımı kesit merkezi eksen çizgisi boyunca birim hız ile hareket ederse A,B ve C takımının çevresel dönme hızı; [1]

$$\vec{\omega}_0 = \frac{2\pi}{2\pi r_0 / \cos \alpha_0} \vec{k} = \frac{\cos \alpha_0}{r_0} \vec{k} \quad (4.1)$$

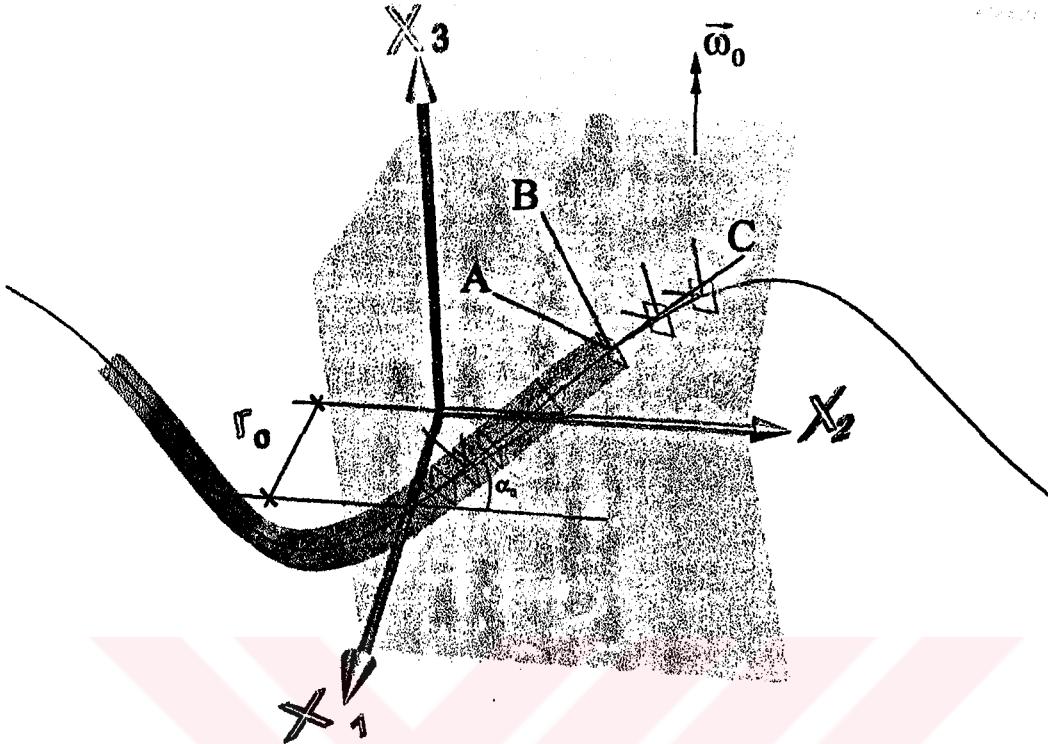
Bu formüldeki \vec{k} , X_3 eksenini doğrultusunda birim vektördür ve sonuçta,

$$\kappa_0 = 0; \quad \kappa'_0 = \frac{\cos^2 \alpha_0}{r_0} \quad \text{ve} \quad \tau_0 = \frac{\sin \alpha_0 \cos \alpha_0}{r_0} \quad (4.2)$$

4.2 Denge Denklemleri

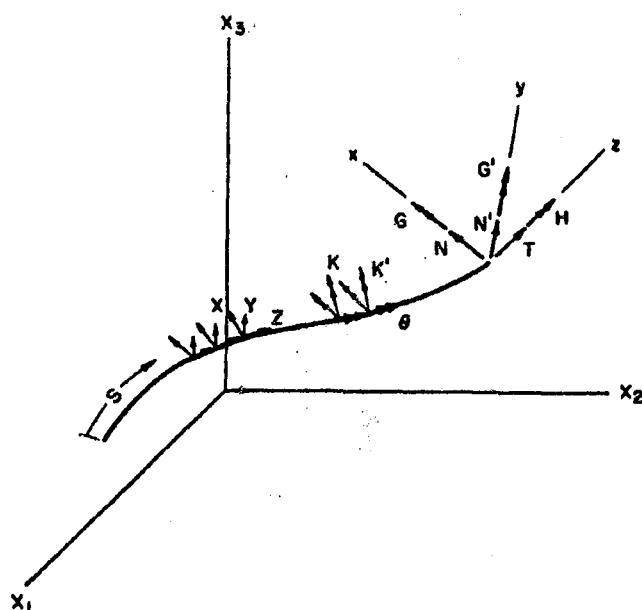
Şekil 4.3'de gösterilen, yük altındaki ince teli göz önünde bulunduralım. s, bu tel boyunca sahip olduğu yay uzunluğu olsun. N, kesitteki x eksenin doğrultusundaki, N' de y eksenin doğrultusundaki kesme kuvvetleridir. T teldeki eksenel gerilim; G tel kesitindeki x eksenin doğrultusundaki G' de y eksenin doğrultusundaki eğilme momentleri; H teldeki burulma momenti; X, Y ve Z, sırasıyla x,y ve z eksenleri doğrultusundaki telin kesit merkez eksenel çizgisi üzerindeki birim boydaki harici çizgisel yükler; K, K' ve Θ , x,y ve z doğrultularındaki birim boydaki harici

momentler, κ ve κ' x ve y doğrultularındaki eğrilik komponentleri ve τ telin birim boyundaki burulmadır. [1]

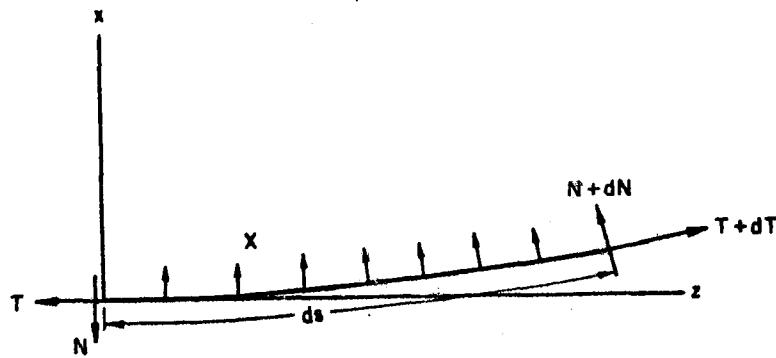


Şekil 4.2 Dikdörtgen kesitli yüksüz helisel yay

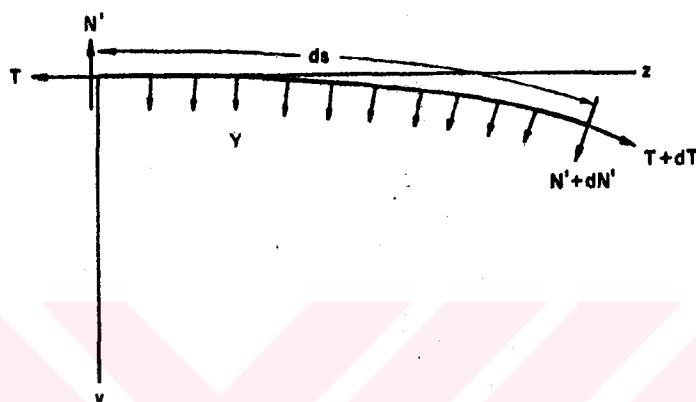
Şekil 4.4 ince telin kesit merkez eksen çizgisinin ds yay boyundaki yükleri y eksenini aşağı bakar durumındaki görüntüsünü, **Şekil 4.5** de benzer şekilde x ekseninin aşağıya bakar durumındaki görüntüsünü göstermektedir. [1]



Sekil 4.3 İnce tele etki eden yükler



Şekil 4.4 İnce telin kesit merkez eksen çizgisi (y eksenini aşağı dönük) (kuvvet çifti yok)



Şekil 4.5 İnce Telin Kesit Merkez Eksen Çizgisi (x eksenini aşağı dönük) (kuvvet çifti yok)

Tablo 4.1 $N+dN$, $N'+dN'$ ve $T+dT$ kuvvetlerinin x,y ve z doğrultularındaki doğrultu kosinüslerini listelemektedir.

Tablo 4.1 Kuvvetler için doğrultu kosinüsleri

Doğrultu kosinüsü	$N+dN$	$N'+dN'$	$T+dT$
l	l	$-\tau ds$	$\kappa' ds$
m	τds	l	$-\kappa ds$
n	$-\kappa' ds$	κds	l

x doğrultusundaki kuvvetlerin birbirlerine eklenmesiyle;

$$Xds + dN + T\kappa' ds - N'\tau ds = 0 \quad (4.3)$$

her bir denklem elemanının ds ile bölümnesiyle;

$$\frac{dN}{ds} - N'\tau + T\kappa' + X = 0 \quad (4.4)$$

Benzer şekilde y ve z doğrultularındaki kuvvetlerin birbirlerine eklenmesiyle;

$$\frac{dN'}{ds} - T\kappa + N\tau + Y = 0 \quad (4.5)$$

$$\frac{dT}{ds} - N\kappa' + N'\kappa + Z = 0 \quad (4.6)$$

Şekil 4.6 ve 4.7 aynı ds elemanın elemannı etki eden sadece kuvvet çiftlerini göstermektedir. $G+dG$, $G'+dG'$ ve $H+dH$ çiftleri x-, y- ve z- eksenleri ile yaptıkları açı, $N+dN$, $N'+dN'$ ve $T+dT$ yüklerinin yaptıkları açı ile aynıdır. Sonuç olarak Tablo 4.1 tekrar kullanılabilir. x eksenindeki momentlerin birbirine eklenmesiyle;

$$dG - G'\tau ds + H\kappa' ds - N'ds + Kds = 0 \quad (4.7)$$

her bir denklem elemanın ds ile bölünmesiyle;

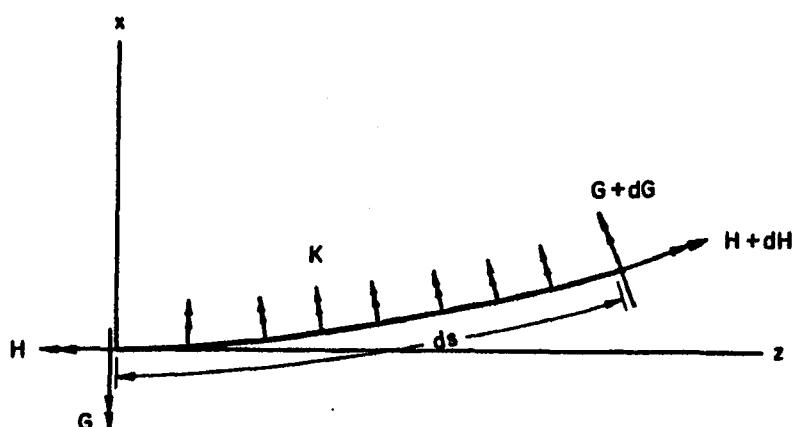
$$\frac{dG}{ds} - G'\tau + H\kappa' - N' + K = 0 \quad (4.8)$$

Benzer şekilde y ve z doğrultularındaki momentlerin birbirlerine eklenmesiyle;

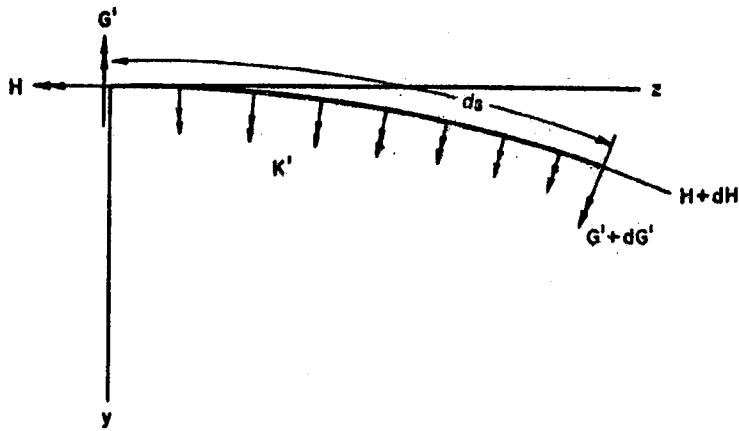
$$\frac{dG'}{ds} - H\kappa + G\tau + N + K' = 0 \quad (4.9)$$

$$\frac{dH}{ds} - G\kappa' + G'\kappa + \Theta = 0 \quad (4.10)$$

Denklem (4.4)'de (4.6)'ya ve Denklem (4.8)'den (4.10)'a kadar olanlar Şekil 4.3'de gösterilen tele ait altı tane denge diferansiyel denklemleridir. [1]



Şekil 4.6 İnce telin kesit merkez eksen çizgisi (y eksenin aşağı dönük) (kuvvet yok)



Şekil 4.7 İnce telin kesit merkez eksen çizgisi (x ekseni aşağı dönük) (kuvvet yok)

4.3 Yükler ve Deformasyonlar Arasındaki Bağıntılar

Şimdi bu ince telin x- ve y- doğrultularında I_x ve I_y atalet momentine sahip elastik olduğunu düşünelim. C de, burulma sertliğini ifade edecektir. Eğrilikteki değişme ve birim boyda burulma değerinin dahili yüklerle ilişkileri şu denklemlerle ifade edilir.[2]

$$G = EI_x(\kappa - \kappa_0); \quad G' = EI_y(\kappa' - \kappa'_0) \quad \text{ve} \quad H = C(\tau - \tau_0) \quad (4.11)$$

E tel malzemesinin elastisite modülüdür. Kesitin daire şeklinde olduğu durumda da R tel kesit yarıçapı olmaktadır. Denklem (4.11) şu şekli alır;

$$G = \frac{\pi R^4}{4} E(\kappa - \kappa_0); \quad G' = \frac{\pi R^4}{4} E(\kappa' - \kappa'_0) \quad \text{ve} \quad H = \frac{\pi R^4 E}{4(1+\nu)} (\tau - \tau_0) \quad (4.12)$$

ν tel malzemesinin poisson katsayısıdır. Teldeki T gerilmesi şu denklem ile verilmektedir,

$$T = AE\xi \quad (4.13)$$

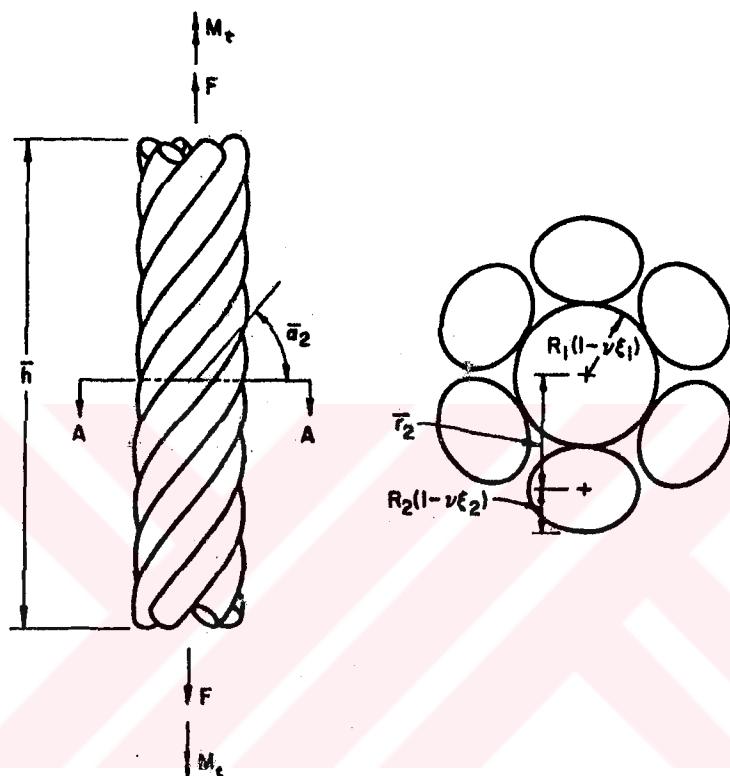
A, telin kesit alanı, ξ telin eksenel uzamasıdır. Dairesel kesit için Denklem (2.13) şu hali alır;

$$T = \pi R^2 E \xi \quad (4.14)$$

Yukardaki denklemler, F eksenel kuvvet ve M_t eksenel burma momenti tesiri altında kalan basit düz demetin eksenel davranışını denklemlerinin oluşturulmasında kullanılacaktır. Basit düz bir demet, merkezde R₁ yarıçaplı tele m₂ sayıdaki R₂ yarıçaplı telin sarılması şeklinde tarif edilebilir. [1]

5 Bir Demetin Statik Davranışı

5.1 Bir Demetin Geometrisi



Şekil 5.1 Yük altındaki basit düz demet

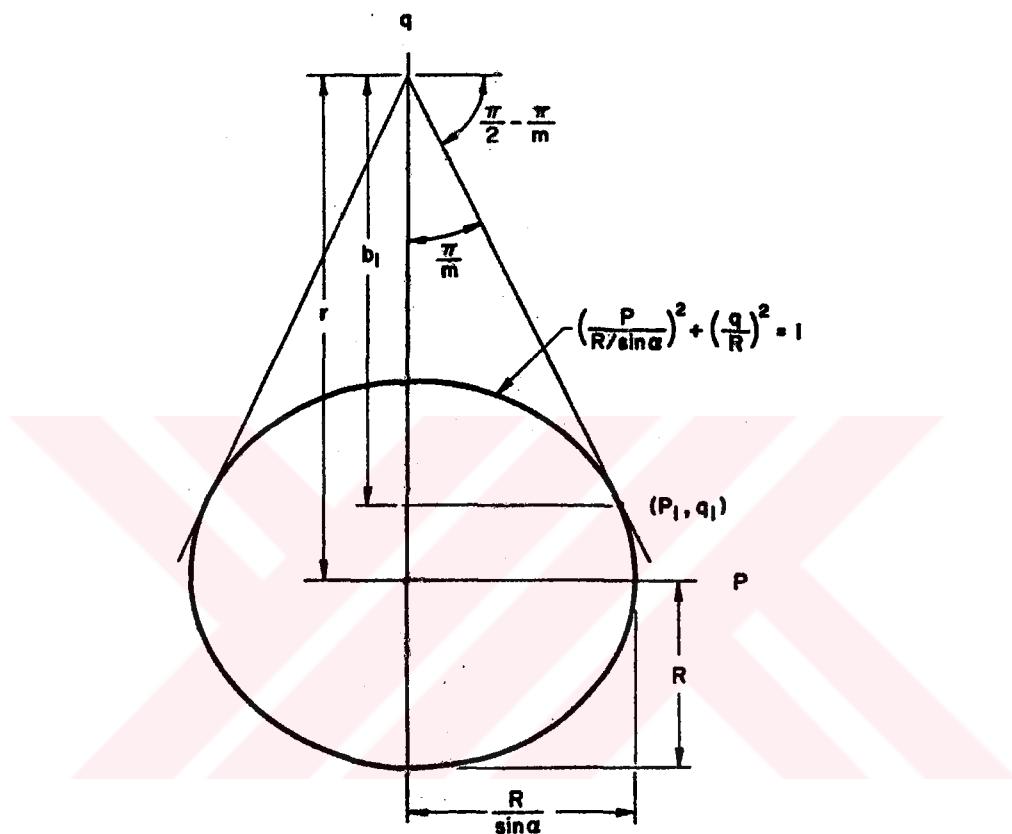
Şekil 5.1 yük altındaki bir demetin konfigürasyonunu ve kesitini göstermektedir. Başlangıç için bu demet R_2 yarıçaplı m_2 tane telin, R_1 yarıçaplı düz bir merkez tele sarılmasıından ibarettir. Sunum için, merkez telin dış tellerin birbirlerine temas etmemeleri için uygun ölçüye sahip olduğu kabul edilir. Bu şekilde eğilmedeki sürtünme faktörleri en aza indirilmiş olacaktır. Sonuç olarak verilen demet için helis yarıçapının başlangıç değeri (yüksüz haldeki) şu ifade ile bulunur; [1]

$$r_2 = R_1 + R_2 \quad (5.1)$$

Şimdi dış tellerin birbirleri ile temasta olmamaları için gereken R_1 değerinin tespiti için bir ifade oluşturulacaktır.

Demette m tane helisel telin birbirlerine noktasal temas ettiğini düşünelim. r , helis yarıçapı, R tel yarıçapı ve α helis açısı olsun. Şekil 5.2 demet eksen çizgisine dik düzlemdeki bir telin kesitini göstermektedir. Tel inceyken, kesitin denklemi elips olarak kabul edilir ve sonuç olarak :

$$\left(\frac{p}{R/\sin \alpha}\right)^2 + \left(\frac{q}{R}\right)^2 = 1 \quad (5.2)$$



Sekil 5.2 Demet eksenine dik tel kesiti

(p,q) elips üzerindeki herhangibir noktadır.

$$\frac{dp}{dq} = \pm \frac{p \sin^2 \alpha}{R \sqrt{1 - \left(\frac{p \sin \alpha}{R}\right)^2}} \quad (5.3)$$

Aynı zamanda (p_1, p_2) noktasındaki teğet çizgisinin eğimi de $-\tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right)$ dir.

Sonuç olarak:

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right) = \frac{p_1 \sin^2 \alpha}{R \sqrt{1 - \left(p_1 \frac{\sin \alpha}{R}\right)^2}} \quad (5.4)$$

p_1 'in çözümü;

$$p_1 = \frac{R}{\sin \alpha} \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right) \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \alpha + \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right)}} \quad (5.5)$$

Denklem (5.2)'de bu sonuç ile q_1 :

$$q_1 = \frac{R \sin \alpha}{\sqrt{\sin^2 \alpha + \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right)}} \quad (5.6)$$

Şekil 5.2 şunu göstermektedir;

$$b_1 = p_1 \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right) \quad (5.7)$$

ve sonuçta $r=b_1+q_1$ iken;

$$r = R \sqrt{1 + \frac{\tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m}\right)}{\sin^2 \alpha}} \quad (5.8)$$

Denklem 5.8 ile dış teller birbirlerine noktasal temas ettiğinde olması gereken helis açısını vermektedir. Sonuç olarak dış tellerin birbirine temas etmemesi için şu şart geçerli olmalıdır; [1]

$$R_2 \sqrt{1 + \frac{\tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right)}{\sin^2 \alpha_2}} < R_1 + R_2 \quad (5.9)$$

5.2 Basit Düz Bir Demetin Eksenel Davranışı

Şekil 5.1 deki konfigürasyonu yük altında düşünelim. α_2 dış tellerin yüksüz haldeki helis açısı ve şu ifade ile bu açı bulunmaktadır;

$$\tan \alpha_2 = \frac{p_2}{2\pi r_2} \quad (5.10)$$

p_2 başlangıç durumunda (yani yüksüz halde) dış tellerin sahip olduğu hatve değeri. Eğrilik ve birim boyda burulma orjinal değerleri de Denklem (5.11) dir. [Bkz Denk. (4.2)]

$$\kappa_2 = 0; \quad \kappa'_2 = \frac{\cos^2 \alpha_2}{r_2} \quad \text{ve} \quad \tau_2 = \frac{\sin \alpha_2 \cos \alpha_2}{r_2} \quad (5.11)$$

Şimdi bu demet F ve M_t eksenel yükleri ile deform olsun. F toplam eksenel kuvvet, M_t toplam eksenel burulma momentidir. Dış teller bu yükleme altında farklı bir helis açısına kavuşur ve;

$$\bar{\kappa}_2 = 0; \quad \bar{\kappa}'_2 = \frac{\cos^2 \bar{\alpha}_2}{\bar{r}_2} \quad \text{ve} \quad \bar{\tau}_2 = \frac{\sin \bar{\alpha}_2 \cos \bar{\alpha}_2}{\bar{r}_2} \quad (5.12)$$

Üst çubuklu semboller daha önce ifadesi yapılan değerlerin deformasyon sonrası aldığı yeni değerleri ifade etmektedir.

Şimdi dış tellerin birim boyda herhangi bir harici eğilme momenti etkisi altında kalmadıklarını ($K_2=K'_2=0$) ve eksenel tel geriliminin (T_2) tel boyunca sabit olduğunu kabul edelim. Denklem (4.12), (5.11) ve (5.12) sayesinde denge denklemleri [Denk. (4.4)'den (4.6)'ya ve (4.8)'den (4.10)'a kadar] şu hali alır. [1]

$$-N'_2 \bar{\tau}_2 + T_2 \bar{\kappa}'_2 + X_2 = 0 \quad (5.13)$$

$$Y_2 = 0 \quad (5.14)$$

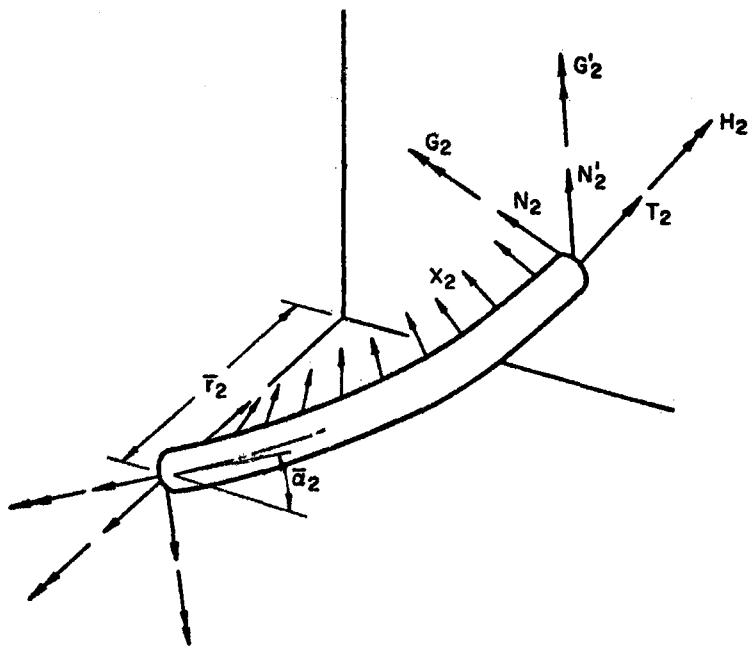
$$Z_2 = 0 \quad (5.15)$$

$$-G'_2 \bar{\tau}_2 + H_2 \bar{\kappa}'_2 - N'_2 = 0 \quad (5.16)$$

$$N_2 = 0 \quad (5.17)$$

$$\Theta_2 = 0 \quad (5.18)$$

2 indisi (2) dış teller için kullanılmaktadır. Şekil 5.3 helisel tele etkiyen yükleri göstermektedir, yüklerin pozitif yönleri gösterilmektedir.

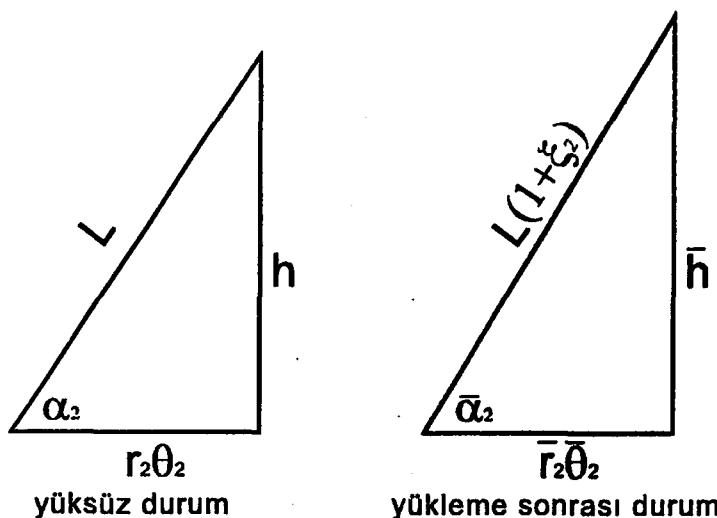


Şekil 5.3 Helisel tele etki eden yükler

Denklem (5.13) ve (5.16), dış helisel tellerin verilen $\bar{\alpha}_2$, \bar{r}_2 ve T_2 değerleri ile dengede kalabilmesi için gereken X_2 ve N'_2 değerlerinin belirlenmesinde dikkate alınabilir.

Şuna dikkat edilmelidir ki; denge denklemleri ve Denklem (4.12), büyük sapmalar için geçerli olan lineer olmayan denklem sistemi meydana getirirler. Büyük sapmalar örneğin helisel ince telin α_2 değerinin küçük olması durumlarında meydana gelebilir. Halat durumunda α_2 genellikle büyktür ve α_2 deki değişim $\Delta\alpha_2$ küçüktür. [1]

$$\Delta\alpha_2 = \bar{\alpha}_2 - \alpha_2 \quad (5.19)$$



Şekil 5.4 Dış tellerin merkez eksenlerinin geliştirilmiş görüntüsü

Bunun kullanımı ileride çözümün kolaylaştırılmasını sağlayacaktır.

ε eksenel uzama şu şekilde ifade edilmektedir. [1]

$$\varepsilon = \frac{\bar{h} - h}{h} \quad (5.20)$$

Burada h , demetin orjinal boyu, ve \bar{h} de demetin sonuç buyudur. Şekil 5.4 dış tellerin merkez ekseninin geliştirilmiş görüntüsüdür. Dış telin dönme değeri β_2 , şu şekilde belirlenecektir.

$$\beta_2 = r_2 \frac{(\bar{\theta}_2 - \theta_2)}{h} \quad (5.21)$$

Burada θ_2 ve $\bar{\theta}_2$, başlangıçtaki ve sonuç durumundaki açılardır. Yük altında dış teller merkez telin dışında açılmakta ve demetin eksenine dik bir düzlemden bu açayı oluşturmaktadır. Demetin birim boyda burulma açısı τ_s , aşağıdaki ifadeyle belirlenmektedir.

$$\tau_s = \frac{(\bar{\theta}_2 - \theta_2)}{h} \quad (5.22)$$

Şekil 5.4'ün bir analiziyle;

$$\varepsilon = \frac{\bar{h} - h}{h} = \xi_1 = (1 + \xi_2) \frac{\sin \bar{\alpha}_2}{\sin \alpha_2} - 1 \quad (5.23)$$

ve

$$\beta_2 = r_2 \tau_s = \frac{r_2}{\bar{r}_2} \frac{(1 + \xi_1)}{\tan \bar{\alpha}_2} - \frac{1}{\tan \alpha_2} \quad (5.24)$$

elde edilir. Burada ξ_1 , merkez telin eksenel uzamasıdır ($\varepsilon = \xi_1$) ve ξ_2 , dış telin eksenel uzamasıdır.

$$|\Delta \alpha_2| = |\bar{\alpha}_2 - \alpha_2| \ll 1 \quad (5.25)$$

olsun. Bu metalsem demetler için geçerlidir. Sonuç olarak $\sin \bar{\alpha}_2$, şu şekilde ifade edilebilir;

$$\sin \bar{\alpha}_2 = \sin(\alpha_2 + \Delta \alpha_2) = \sin \alpha_2 + \Delta \alpha_2 \cos \alpha_2, \quad (5.26)$$

Denklem 5.23 şu şekilde yazılabilir;

$$\xi_1 = \xi_2 + \frac{\Delta\alpha_2}{\tan\alpha_2} = \varepsilon \quad (5.27)$$

ξ_1 ve ξ_2 burada küçük olduğu varsayılar. Benzer bir işlemle Denklem (5.24) şu şekli alır;

$$\beta_2 = \frac{r_2}{\bar{r}_2} \left(\frac{1+\xi_2}{\tan\alpha_2} - \Delta\alpha_2 \right) - \frac{1}{\tan\alpha_2} \quad (5.28)$$

Poisson sayısı etkisi ile son helis yarı çapı \bar{r}_2 şu hali alır.

$$\bar{r}_2 = R_1(1-\nu\xi_1) + R_2(1-\nu\xi_2) \quad (5.29)$$

Burada merkez tel ile dış teller arasındaki temastan dolayı oluşan deformasyonlar ihmal edilmiştir. $\frac{r_2}{\bar{r}_2}$ oranı ξ_1, ξ_2 küçük iken, şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{r_2}{\bar{r}_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 - \nu(R_1\xi_1 + R_2\xi_2)} = 1 + \nu \frac{(R_1\xi_1 + R_2\xi_2)}{r_2} \quad (5.30)$$

Denklem (5.28) sonuç olarak şu şekli alır;

$$\beta_2 = r_2\tau_s = \frac{\xi_2}{\tan\alpha_2} - \Delta\alpha_2 + \nu \frac{(R_1\xi_1 + R_2\xi_2)}{r_2 \tan\alpha_2} \quad (5.31)$$

Eğriderdeki değişim $\Delta\kappa'_2$ ve birim boyda burulma değişimi $\Delta\tau_2$, aynı zamanda linerize edilebilir. Sonuçlar;

$$\begin{aligned} R_2\Delta\kappa'_2 &= \frac{\sin\bar{\alpha}_2}{\bar{r}_2/R_2} - \frac{\cos\bar{\alpha}_2}{r_2/R_2} \\ &= -\frac{2\sin\alpha_2\cos\alpha_2}{r_2/R_2}\Delta\alpha_2 + \nu \frac{(R_1\xi_1 + R_2\xi_2)}{r_2} \frac{\cos^2\alpha_2}{r_2/R_2} \end{aligned} \quad (5.32)$$

$$\begin{aligned} R_2\Delta\tau_2 &= \frac{\sin\bar{\alpha}_2\cos\bar{\alpha}_2}{\bar{r}_2/R_2} - \frac{\sin\alpha_2\cos\alpha_2}{r_2/R_2} \\ &= \frac{(1-2\sin^2\alpha_2)}{r_2/R_2}\Delta\alpha_2 + \nu \frac{(R_1\xi_1 + R_2\xi_2)}{r_2} \frac{\sin\alpha_2\cos\alpha_2}{r_2/R_2} \end{aligned} \quad (5.33)$$

Dış tel için aşağıdaki ifadeler yazılabilir;

$$\frac{G'_2}{ER_2^3} = \frac{\pi}{4} R_2 \Delta \kappa'_2 \quad (5.34)$$

$$\frac{H_2}{ER_2^3} = \frac{\pi}{4(1+\nu)} R_2 \Delta \tau_2 \quad (5.35)$$

$$\frac{N'_2}{ER_2^2} = \frac{H_2}{ER_2^3} \frac{\cos^2 \alpha_2}{r_2 / R_2} - \frac{G'_2}{ER_2^3} \frac{\sin \alpha_2 \cos \alpha_2}{r_2 / R_2} \quad (5.36)$$

$$\frac{T_2}{ER_2^2} = \pi \xi_2 \quad (5.37)$$

$$\frac{X_2}{ER_2} = \frac{N'_2}{ER_2^2} \frac{\sin \alpha_2 \cos \alpha_2}{r_2 / R_2} - \frac{T_2}{ER_2^2} \frac{\cos^2 \alpha_2}{r_2 / R_2} \quad (5.38)$$

Denklem (5.36) ve (5.38) deplasmanların küçük olarak kabul edilmesiyle Denklem (5.16) ve (5.13)'den elde edilmiştir.

Demet ekseni yönünde dış tellere etki eden kuvvetlerin projeksyonu ile;

$$\frac{F_2}{ER_2^2} = m_2 \left(\frac{T_2}{ER_2^2} \sin \alpha_2 + \frac{N'_2}{ER_2^2} \cos \alpha_2 \right) \quad (5.39)$$

F_2 , demetteki m_2 tane dış tele etki eden toplam eksenel kuvvet. Dış tellere etki eden toplam eksenel burulma momenti M_2 ise;

$$\begin{aligned} \frac{M_2}{ER_2^3} = m_2 & \left[\frac{H_2}{ER_2^3} \sin \alpha_2 + \frac{G'_2}{ER_2^3} \cos \alpha_2 + \right. \\ & \left. + \frac{T_2}{ER_2^2} \frac{r_2}{R_2} \cos \alpha_2 - \frac{N'_2}{ER_2^2} \frac{r_2}{R_2} \sin \alpha_2 \right] \end{aligned} \quad (5.40)$$

Merkez tele etki eden eksenel kuvvet F_1 ve eksenel burulma momenti M_1 şu ifadelerle verilmektedir;

$$\frac{F_1}{ER_1^2} = \pi \xi_1 \quad (5.41)$$

$$\frac{M_1}{ER_1^3} = \frac{\pi}{4(1+\nu)} R_1 \tau_s \quad (5.42)$$

Şimdi demete etki eden toplam eksenel kuvveti F , ve toplam burulma momenti M 'yi şu şekilde bulabiliyoruz;

$$F = F_1 + F_2 \quad (5.43)$$

ve

$$M = M_1 + M_2 \quad (5.44)$$

Birim boydaki kontak kuvveti X_2 demet gözönünde bulundurulduğunda iç kuvvet halini alır. Bu kuvvet bilindiği takdirde, kontak gerilimleri hesabı yapılabilir. [3]

5.3 Basit Bir Demetin Gerilim Değerlerinin Belirlenmesi

Bir önceki bölümde, eksenel yükleme sonucunda bireysel tellere etki eden yüklerin tespiti yapıldı. Bu bölümde, bu yüklerden dolayı oluşan tel gerilimleri bulunacaktır. Tellerin ön gerilimsiz oldukları varsayılarak hesaplamalar yapılacaktır.

Merkez teldeki eksenel tel gerilimi;

$$F\sigma_1 = \frac{F_1}{\pi R_1^2} \quad (5.45)$$

kesitteki maksimum kesme gerilimi;

$$M\sigma_1 = \frac{2M_1}{\pi R_1^3} \quad (5.46)$$

Dış teller N'_2 kesme yükünün yanısıra eksenel, eğme ve burulma yüklerine maruz kalırlar. N'_2 kesme yükünden kaynaklanan gerilmeler diğer gerilmelerin yanında çok küçüktür ve ihmal edilecektir. T_2 yükünden kaynaklanan eksenel gerilim;

$$T\sigma_2 = \frac{T_2}{\pi R_2^2} \quad (5.47)$$

G'_2 eğme momenti ile oluşan normal gerilim;

$$G'\sigma_2 = \frac{4G'_2}{\pi R_2^3} \quad (5.48)$$

Dış tellerden birindeki H_2 burulma momentinden kaynaklanan maksimum kesme gerilmesi;

$$_{\text{H}} \sigma_2 = \frac{2H_2}{\pi R_2^3} \quad (5.49)$$

şeklinde ifade edilmektedir. [1]

5.4 Basit Bir Demet İçin Yük Deformasyonları İlişkisi

Genel olarak demete etki eden toplam eksenel kuvvet F ve toplam burulma momenti M şu şekilde ifade edilmektedir;

$$\frac{F}{AE} = C_1 \varepsilon + C_2 \beta \quad (5.50)$$

ve

$$\frac{M}{ER^3} = C_3 \varepsilon + C_4 \beta \quad (5.51)$$

Burada;

$$A = \sum \pi R_i^2 \quad (5.52)$$

A demetin toplam sahip olduğu metalik alandır, R_i bireysel tel yarıçapı, C_1, \dots, C_4 sabit katsayılardır ve bunlar analitik olarak bulunabilirler, R demetin kendi yarıçap değeri, ε eksenel uzama ve β da demetin dönme değeridir.

$$\beta = R \tau_s \quad (5.53)$$

τ_s , demetin birim boyda burulma açısıdır.

Daha önce bahsettiğimiz üzere Denklem (5.50) ve (5.51)'deki c sabitleri analitik olarak verilen demet için bulunabilmektedir. Bunların bulunmasında şu prosedür takip edilmektedir; [1]

Örneğin $\beta = R \tau_s = 0$ ve $\varepsilon = \xi_1$ olsun. Denklem (5.43) ve (5.44), F ve M_t 'nin belirlenmesinde kullanılır. Sonuç olarak bu denklemlerle F , M_t , ε ve β nin bilinmesiyle, Denklem (5.50) ve (5.51) ile C_1 ve C_3 bulunabilir. Daha sonra $\varepsilon=0$ kabul edilir ve β için bir değer atanır. Benzer şekilde F ve M_t hesaplanır ve Denklem (5.50) ve (5.51) sayesinde C_2 ve C_4 bulunur.

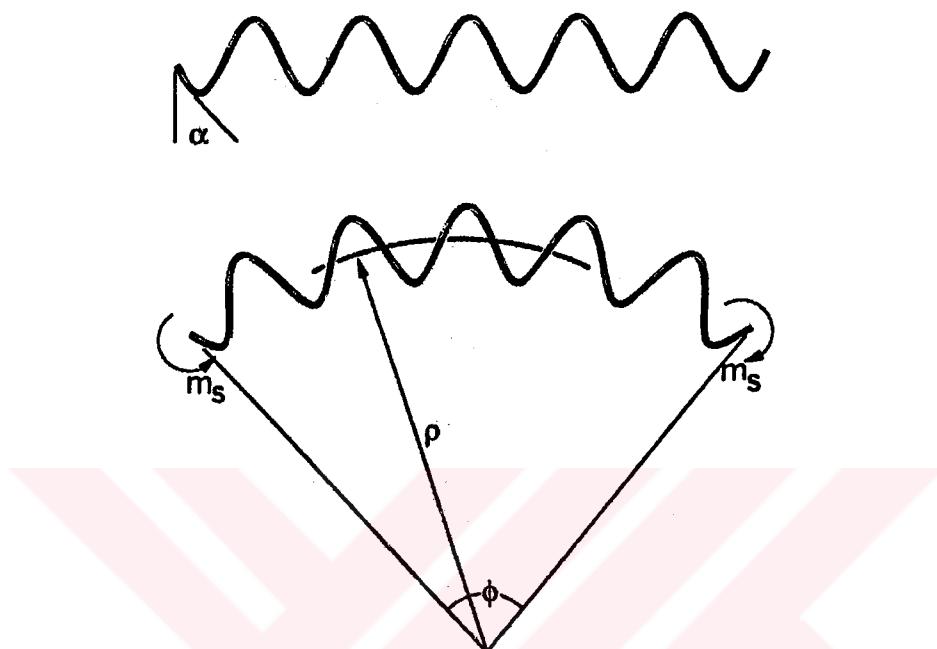
Demete ait efektif elastiklik modülü şu bağıntı ile bulunur;

$$E_e = C_1 E \quad (5.54)$$

$\beta = R\tau_s = 0$ iken bu demete ait bir elastiklik modulu dür ve;

$$\frac{F}{A} = C_1 E \varepsilon = E_e \varepsilon \quad (5.55)$$

5.5 Basit Düz Bir Demetin Sadece Eğilmeye Maruz Kalması



Şekil 5.5 Kuvvet çifti ile eğilmiş helisel yay

Başlangıçta α helis açısına sahip düz helisel bir yayı gözönüne alalım ve bu yay Şekil 5.5'deki gibi m_s eğilme momentine maruz kalsın.

Başlangıçta helisel olan bu yay için, başlangıç için egrilik ve birim boydaki burulma değerleri;

$$K = 0; \quad K' = \frac{\cos^2 \alpha}{r} \quad ve \quad \tau = \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r} \quad (5.56)$$

r burada helisel yay olan telin başlangıçtaki helis yarıçapıdır. Sadece eğilmeye maruz kalan tel sonuçları meydana getirir;

$$X = Y = Z = K = K' = \Theta = N = N' = T = 0 \quad (5.57)$$

Denklem (4.4)'den (4.6)'ya ve (4.8)'dan (4.10)'a kadar olan denge denklemlerinden;

$$\frac{dG}{ds} - G'\tau_1 + H\kappa'_1 = 0 \quad (5.58)$$

$$\frac{dG'}{ds} - H\kappa_1 + G\tau_1 = 0 \quad (5.59)$$

ve

$$\frac{dH}{ds} - G\kappa'_1 + G'\kappa_1 = 0 \quad (5.60)$$

κ_1, κ'_1 ve τ_1 deformel telin eğriliğin ve birim boydaki burulma değerleridir. Böylece Denklem (4.12) ve (5.56) yardımıyla Denklem (5.58)'den (5.60)'a kadar olan denge denklemleri şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{dG}{ds} - \frac{4}{\pi R^4 E} \nu G' H - \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r} G' + \frac{\cos^2 \alpha}{r} H = 0, \quad (5.61)$$

$$\frac{dG'}{ds} + \frac{4}{\pi R^4 E} \nu G H + \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r} G = 0, \quad (5.62)$$

ve

$$\frac{dH}{ds} - \frac{\cos^2 \alpha}{r} G = 0. \quad (5.63)$$

Denklem (5.61)'den (5.63)'e kadar bu denklemler, birinci dereceden numerik olarak integre edilebilen (uygun başlangıç koşullarıyla (Euler veya Picard metodu)) lineer olmayan diferansiyel denklem sistemi oluştururlar. Eğer bu üç denklem sırası ile G , G' ve H ile çarpılırlarsa ve sonuçlanan denklem eklenirse şu aşağıdaki sonuç ortaya çıkar; [1]

$$\frac{1}{2} \frac{d}{ds} (G^2 + G'^2 + H^2) = 0 \quad (5.64)$$

Bu sonuç kesitin her noktasında sonuç momentin s'den bağımsız olarak sabit olduğu düşünüldüğünde oluşturulur.

Denklem 5.61-5.63 denklemleri, G , G' ve H için numerik olarak integre edildiğinde, Denklem 4.12 deformel durumda eğriliğin ve burulmanın hesaplanması sırasında kullanılabilir. Eğrilik ve burulma bilindiği taktirde, deformel telin merkez ekseninin deformasyonu pozisyonundan ayrı olarak tamamıyla belirlenebilir. [4]

Çoğu mühendislik problemlerinde, deformel telin merkez çizgisinin tam olarak belirlenmesine ihtiyaç duyulmaz. Daha pratik bir yaklaşım şu olur ki; sadece

eğilme m_s momenti altında, yay bir kırış gibi davranır. (Şekil 5.1)'deki gibi. Yayın sahip olduğu düz helis ekseni, daha sonra eğilme ile ρ yarıçapı ile ve ϕ açısı ile变形 olur. (Şekil 5.5)

Örneğin $v=0$ durumunu düşünelim. Böylece Denklem 5.61, 5.62 ve 5.63 lineer hale gelir ve sonuçta çözümü sahip olurlar.

$$G = C_1 \cos ks + C_2 \sin ks \quad (5.65)$$

$$H = C_1 \cos \alpha \sin ks - C_2 \cos \alpha \cos ks + C_3 \quad (5.66)$$

ve

$$G' = -C_1 \sin \alpha \sin ks + C_2 \sin \alpha \cos ks + \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} C_3, \quad (5.67)$$

burada

$$k = \frac{\cos \alpha}{r} \quad (5.68)$$

$s=0$ pozisyonunda $G=m_s$, $H=0$ ve $G'=0$ olsun. Buradan şu yazılabılır;

$$G = m_s \cos ks; \quad H = m_s \cos \alpha \sin ks; \quad G' = -m_s \sin \alpha \sin ks. \quad (5.69)$$

Yaydaki gerilme enerjisi U , şu şekilde yazılabılır;

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{2} \int_0^l \left[\frac{\pi R^4 E}{4} (\kappa_1 - \kappa)^2 + \frac{\pi R^4 E}{4} (\kappa'_1 - \kappa')^2 + \frac{\pi R^4 E}{4} (\tau_1 - \tau)^2 \right] ds \\ &= \frac{1}{2} \int_0^l \frac{4}{\pi R^4 E} (G^2 + G'^2 + H^2) ds = \frac{2}{\pi R^4 E} \int_0^l m_s^2 ds = \frac{2m_s^2 l}{\pi R^4 E}, \end{aligned} \quad (5.70)$$

l telin boyudur.

m_s , gerilme enerjisine eşitlendiğinde şu sonuç bulunur;

$$\int_0^l m_s(\phi) d\phi = \frac{2m_s^2 l}{\pi R^4 E} \quad (5.71)$$

Denklem 3.71'in diferansiyeli ile;

$$m_s = \frac{4m_s l}{\pi R^4 E} \frac{dm_s}{d\phi} \quad (5.72)$$

$m_s = 0$ iken Denklem (5.72)'ün integrasyonu ile;

$$m_s = \frac{\pi E R^4}{4!} \phi \quad (5.73)$$

Şimdi aşağıdaki kabulu yapalım;

$$h = l \sin \alpha \quad (5.74)$$

h yayın boyudur. Böylece Denklem (5.73) şu hali alır;

$$\frac{4m_s}{\pi E R^4 \sin \alpha} = \frac{\phi}{h} = \frac{1}{\rho} \quad (5.75)$$

Denklem (5.73)'e bakıldığında m_s 'nin ϕ değeriyle bağıntılı olduğu görülmektedir ve ilk bakışta halat geriliminin bir fonksiyonu olan m_s 'nin farklı ϕ değerleri ile bağıntılı olarak değiştiği zannedilmektedir. Fakat denklemde bulunan l değeri ϕ ile bağıntılı olması ($h=l \cdot \sin \alpha$) yani ϕ değerinin artması h değerinin de artmasına neden olması ϕ/h oranını sabit kılmaktadır. Geometrik olarak da radyan cinsinden ϕ değerinin h değerine bölünmesi, $1/\rho$ değerine karşılık gelmektedir. Sonuç olarak eğilmeden kaynaklanan tel geriliminin direk sarım açısı değeri ile bir etkileşimi yoktur. ϕ değeri ne olursa olsun eğrilik değeri aynı olduğundan tel geriliği ρ ile bağıntılıdır.

Yukarıdaki denklem $v=0$ için geçerlidir.

$v=0$ için elde edilen kesin sonuç $v \neq 0$ için gereken sonucun bulunması için Picard metodunda kullanılrsa; [1]

$$\frac{1}{\rho} = \frac{(2 + v \cos^2 \alpha)}{2 \sin \alpha} \frac{4m_s}{\pi R^4 E} \quad (5.76)$$

Denklem (5.76) sadece eğrilikte büyük değişimler varoluğunda geçerlidir. Şuna dikkat edilmelidir ki, $\alpha=90^\circ$ ye yaklaştığında, eğrilik $1/\rho$ düz kirişinkine yaklaşır.

Şimdi demetin ρ yarıçaplı bir çembere M_b lik bir moment ile eğilmiş olduğunu düşünelim. Bu durumda sürtünmeler ihmali edilecektir ve demetin eğilme katılığı A^* , yaklaşık olarak her bir telin eğilme katılığının birlikte oluşturdukları eğilme katılığı olarak düşünülecektir. [9]. Dış teller birbirine temas etmediğinde bu yaklaşımın mantıklı olduğu görülür. Sonuç olarak basit demet eğildiğinde dış teller bağımsız olarak hareket edebilmektedir. Sürtünmeler ihmali edildiğinde merkez tel, dış tellerden bağımsız şekilde hareket ediyor olacaktır. Bu sürtünmelerin hesapları elde edilen sonuçlarına göre, demetin eğilme katılığında çok küçük bir rol oynadığı görülmüştür. [1]

Daha önce tartıştığımız konu üzerine şu ifadeyi yazabiliriz;

$$M_b = \frac{\pi E}{4} \left[\frac{2m_2 \sin \alpha_2}{(2 + \nu \cos^2 \alpha_2)} R_2^4 + R_1^4 \right] \frac{1}{\rho} = \frac{A^*}{\rho} \quad (5.77)$$

M_b ; demete etki eden toplam eğilme momenti, ρ demetin eğilme yarıçapı ve A^* da demetin eğilme katılığıdır ve A^* şu şekilde yazılabilir;

$$A^* = \frac{\pi E}{4} \left[\frac{2m_2 \sin \alpha_2}{(2 + \nu \cos^2 \alpha_2)} R_2^4 + R_1^4 \right] \quad (5.78)$$

5.6 Eğilmeye Maruz Kalan Bir Demetin Gerilim Tespitİ

Denklem (5.69), G_2 , G'_2 ve H_2 (m_s eğilme momentlerinin komponentleri) (dış teldeki $\nu=0$ için) değerlerini belirlemektedir. Daha önceki denklemlerin üzerine, $\nu \neq 0$ durumunda bu denklemin iyi bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir ve bundan ötürü eğilmeye maruz demetin dış tellerindeki gerilimin belirlenmesinde kullanılacaktır. Sonuç olarak;

$${}_G \sigma_2 = \frac{4m_s}{\pi R_2^3} \cos k_2 s \quad (5.79)$$

$${}_G' \sigma_2 = \frac{4m_s}{\pi R_2^3} \sin \alpha_2 \sin k_2 s \quad (5.80)$$

$${}_H \sigma_2 = \frac{2m_s}{\pi R_2^3} \cos \alpha_2 \sin k_2 s \quad (5.81)$$

burada;

$$k_2 = \frac{\cos \alpha_2}{r_2} \quad (5.82)$$

$$m_s = \frac{\pi R_2^4 E \sin \alpha_2}{2\rho(2 + \nu \cos^2 \alpha_2)} \quad (5.83)$$

olarak yazılmaktadır. [1]

${}_G \sigma_2$ ve ${}_G' \sigma_2$; G_2 ve G'_2 eğilme momentlerinden kaynaklanan verilen kesitteki maksimum eğilme gerilimleridir. ${}_H \sigma_2$; H_2 burulma momentinden kaynaklanan

kesitte gerçekleşen maksimum kesme gerilmesidir. ${}_m\sigma_2$ kesitteki maksimum normal gerilim $s=0$, $s=\pi(r_2/\cos\alpha_2), \dots$ de meydana gelmektedir. Bundan ötürü;

$${}_m\sigma_2 = \frac{4m_s}{\pi R_2^3} \quad (5.84)$$

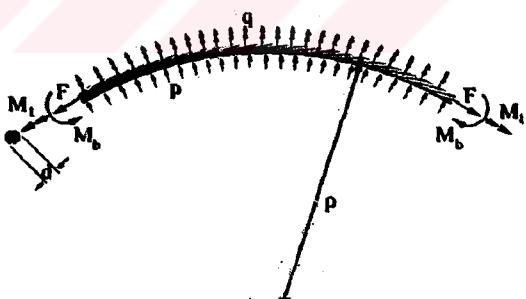
Merkez tel de eğilmeye maruz kalmaktadır, böylece merkez teldeki maksimum eğilme momenti ${}_m\sigma_1$;

$${}_m\sigma_1 = \frac{ER_1}{\rho} \quad (5.85)$$

Maksimum eğilme gerilimi her zaman merkez telde meydana gelir. Bunun nedenleri (1) merkez tel yarıçapı her zaman dış tellere nazaran daha büyük çapa sahiptir $R_1 < R_2$ ve (2) α_2 helis açısı eğilme katılığını azaltma eğilimindedir. Örneğin helisel bir yay aynı çaptaki düz bir tele kıyasla daha ufak bir eğilme katılığına sahiptir. [1]

5.7 Bir Tambura Sarılı Demette Oluşan Gerilimlerin Tespitİ

Bir demet bir tambura sarıldığı zaman o demet dönmeye karşı sınırlanır yani $\tau_s=0$ olur ve eksenel burulma momenti demet boyunca bir gerilme ve burulma ile gelişir.



Şekil 5.6 Bir tambura sarılmış basit bir demet

Şekil 5.6 demetin denge konfigürasyonunu göstermektedir ve herhangi kesitteki eksenel kuvvet, eksenel burulma momenti ve eksenel eğme momenti F , M_t ve M_b dir.

p yükü, birim boydaki çizgi yükü ve q yükü birim boydaki burulma çiftidir ve bunlar demete etkiyen, demet eksen çizgisi üzerindeki tambur tarafından uygulanan dengeyi oluşturmak için oluşan yüklerdir.

$$F = p\rho \quad (5.86)$$

ve

$$M_t = q\rho \quad (5.87)$$

Şuna dikkat edilmelidir ki; demete etki eden birim boydaki çizgi yükleri, demetin merkez eksen çizgisi üzerinde gerçekleşmektedir.

Eğilmeden kaynaklanan gerilmelerin ve eksenel yüklerin birbirine eklenebilir olduğunu kabul ediyoruz [9]. Örneğin eğer elastik bir çubuk eksenel yük ile yüklenip, ve de eğilmeye maruz bırakıldığı zaman, gerilmeler, eksenel gerilmelerin sadece eğilmeden kaynaklanan gerilmelere eklenmesi ile tespit edilir. Burada sürünmeler ve radyal gerilmeler ihmali edilmektedir. Şuna dikkat edilmelidir ki, demette düz olan kısımdan eğilmeye başlayan kısma bir geçiş bölgesi vardır. Bu bölgede, radyal yükler tambur üzerindeki eğilmiş halattaki kadar büyük değildir. Bu, bir telin diğerine göre hareket etmesine izin veren sürünenmenin azalması eğilimini doğurmaktadır.

Demetin tambur üzerinde eğilmesi durumunda gerilmeler daha önce bahsedildiği gibi Bölüm 5.3 ve 5.6'da belirtilen üstüne koyma (superposition) ile elde edilir. [1]

5.8 Çok Katmanlı Demetler

Daha önceki bölmelerde sunulan analizler çok katlı demetler için genişletilebilir. Şekil 5.1 üzerinde 3. bir katmanı gözönüne alalım. Bu katman 2. katmanın aksi yönünde sarılacaktır. ($\alpha_3 > 90^\circ$) Bu eksenel burulma momentini demette azaltmak için yapılır.

Bir önceki analizlerin geliştirilmesiyle [10];

$$r_3 = R_1 + 2R_2 + R_3 \quad (5.88)$$

$$\frac{r_3}{\bar{r}_3} = 1 + \nu \frac{(R_1\xi_1 + 2R_2\xi_2 + R_3\xi_3)}{r_3} \quad (5.89)$$

$$\xi_1 = \xi_3 + \frac{\Delta\alpha_3}{\tan\alpha_3} \quad (5.90)$$

$$\beta_3 = r_3\tau_s = \frac{\xi_3}{\tan\alpha_3} - \Delta\alpha_3 + \nu \frac{(R_1\xi_1 + 2R_2\xi_2 + R_3\xi_3)}{r_3 \tan\alpha_3} \quad (5.91)$$

$$R_3 \Delta \kappa'_3 = -\frac{2 \sin \alpha_3 \cos \alpha_3}{r_3/R_3} \Delta \alpha_3 + \nu \frac{(R_1 \xi_1 + 2R_2 \xi_2 + R_3 \xi_3) \cos^2 \alpha_3}{r_3 r_3 / R_3} \quad (5.92)$$

$$R_3 \Delta \tau_3 = \frac{(1 - 2 \sin^2 \alpha_3)}{r_3/R_3} \Delta \alpha_3 + \nu \frac{(R_1 \xi_1 + 2R_2 \xi_2 + R_3 \xi_3) \sin \alpha_3 \cos \alpha_3}{r_3 r_3 / R_3} \quad (5.93)$$

$$\frac{G'_3}{ER_3^3} = \frac{\pi}{4} R_3 \Delta \kappa'_3 \quad (5.94)$$

$$\frac{H_3}{ER_3^3} = \frac{\pi}{4(1+\nu)} R_3 \Delta \tau_3 \quad (5.95)$$

$$\frac{N'_3}{ER_3^2} = \frac{H_3}{ER_3^3} \frac{\cos^2 \alpha_3}{r_3/R_3} - \frac{G'}{ER_3^3} \frac{\sin \alpha_3 \cos \alpha_3}{r_3/R_3} \quad (5.96)$$

$$\frac{T_3}{ER_3^2} = \pi \xi_3$$

$$\frac{X_3}{ER_3} = \frac{N'_3}{ER_3^2} \frac{\sin \alpha_3 \cos \alpha_3}{r_3/R_3} - \frac{T_3}{ER_3^2} \frac{\cos^2 \alpha_3}{r_3/R_3} \quad (5.97)$$

$$\frac{F_3}{ER_3^2} = m_3 \left[\frac{T_3}{ER_3^2} \sin \alpha_3 + \frac{N'_3}{ER_3^2} \cos \alpha_3 \right] \quad (5.98)$$

$$\frac{M_3}{ER_3^3} = m_3 \left[\frac{H_3}{ER_3^3} \sin \alpha_3 + \frac{G'}{ER_3^3} \cos \alpha_3 + \frac{T_3}{ER_3^2} \frac{r_3}{R_3} \cos \alpha_3 - \frac{N'_3}{ER_3^2} \frac{r_3}{R_3} \sin \alpha_3 \right] \quad (5.99)$$

$_3$ İndisi parametrelerin Üçüncü tabakaya ait olduklarını göstermektedir.

Demete etki eden toplam eksenel kuvvet;

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (5.100)$$

ve toplam eksenel burulma momenti;

$$M_t = M_1 + M_2 + M_3 \quad (5.101)$$

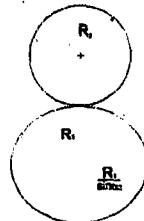
5.10 Kontak Gerilimleri

Dış tel ile merkez tel arasındaki temas çizgisi R_1 yarıçaplı bir helistir. Eğer birim boydaki temas kuvveti bilinirse, temas gerilimi hesaplanabilir. Şu bilinmelidir ki; birim boyda ortaya çıkan kuvve X_2 dış telin merkez eksen boyunca birim boy için

hesaplanabilir ve sonuç olarak temas çizgisi birim uzunluğunda hesaplanmalıdır.
Yaklaşık olarak elde edilen denklem;

$$X_c \sqrt{p_2^2 + (2\pi R_1)^2} = -X_2 \sqrt{p_2^2 + (2\pi(R_1 + R_2))^2} \quad (5.102)$$

X_c ; temas çizgisi üzerinde rol oynayan birim boydaki temas kuvvetidir.



Şekil 5.8 Dış tel ile merkez tel arasındaki temas

Şekil 5.8 temas çizgisi üzerindeki temas noktasını göstermektedir ve dış tel dairesel olarak gösterilmiştir. Şekilde merkez telin kesiti elips olarak gösterilmiştir ve sonuç olarak merkez telin yüzeyinin eğrilik yarıçapı temas noktasında ρ_1 'dır;

$$\rho_1 = \frac{R_1}{\sin^2 \alpha_2} \quad (5.103)$$

Şimdi temas gerilimlerinin, çizgi temasındaki iki silindirik bobinin arasında meydana gelen gerilim ile aynı olduğu varsayılacaktır [3]. Sonuç olarak maksimum kontak gerilimi σ_c şu formülle verilmektedir;

$$\sigma_c = -\frac{b}{\Delta} \quad (5.104)$$

$$\Delta = \frac{4(1-\nu^2)}{\left[\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{R_2} \right] E} \quad (5.105)$$

$$b = \sqrt{\frac{2X_c \Delta}{\pi}} \quad (5.106)$$

5.11 Dış Tellerin Birbirine Temas Etmesi

Yedi tanesi dairesel kesitli ve aynı çapa sahip düz tel düşünelim ve bir merkez tel etrafına diğer altı tel düz bir şekilde çevretegensin. Bu durumda dış teller birbirine temas edecek halde olacaklardır ve merkez tel de karşılıklı olarak temas

durumunda olacaktır. Eğer dış teller helisel olarak merkez tel etrafına sarılırlarsa bu teller sadece birbirleriyle temas halinde olacaklardır.

Bu dış telin merkez tel eksenine dik düzlemdeki kesitinin elipsel olması durumunda meydana gelir. Denklem (5.8) bunu göstermek için kullanılabilir.

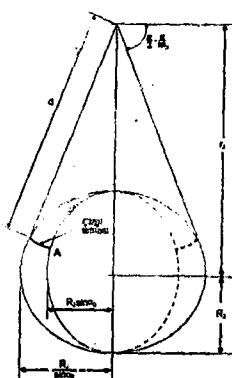
Şekil 5.9, dairesel kesitli bir dış telin merkez tel eksenine dik bir düzleme izdüşümünü göstermektedir. Komşu dış tellerin temas çizgileri d yarıçaplı helistir. **Şekil 5.9'un bir analizi ile;**

$$d = \frac{R_2 \tan\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right)}{\sin \alpha_2 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right) \sqrt{\sin^2 \alpha_2 + \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right)}} \quad (5.107)$$

Şekil 5.10 dış telin gerçek kesitini göstermektedir ve γ kontak açısıdır. **Şekil 5.9 ve 5.10'un analizi ile;**

$$\cos \gamma = \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} \left[\sqrt{1 + \frac{\tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right)}{\sin^2 \alpha_2}} - \sqrt{\tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right) \left\{ 1 + \frac{1}{\tan^2 \alpha_2 \cos^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right) \left[\sin^2 \alpha_2 + \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2}\right) \right]} + \sin^4 \alpha_2 \right\}} \right] \quad (5.108)$$

Şekil 5.9 Dış teller arasındaki çizgi temasını geometrik çizim olarak göstermektedir. **Şekil 5.10** dış tel üzerindeki kontak yüklerini göstermektedir.

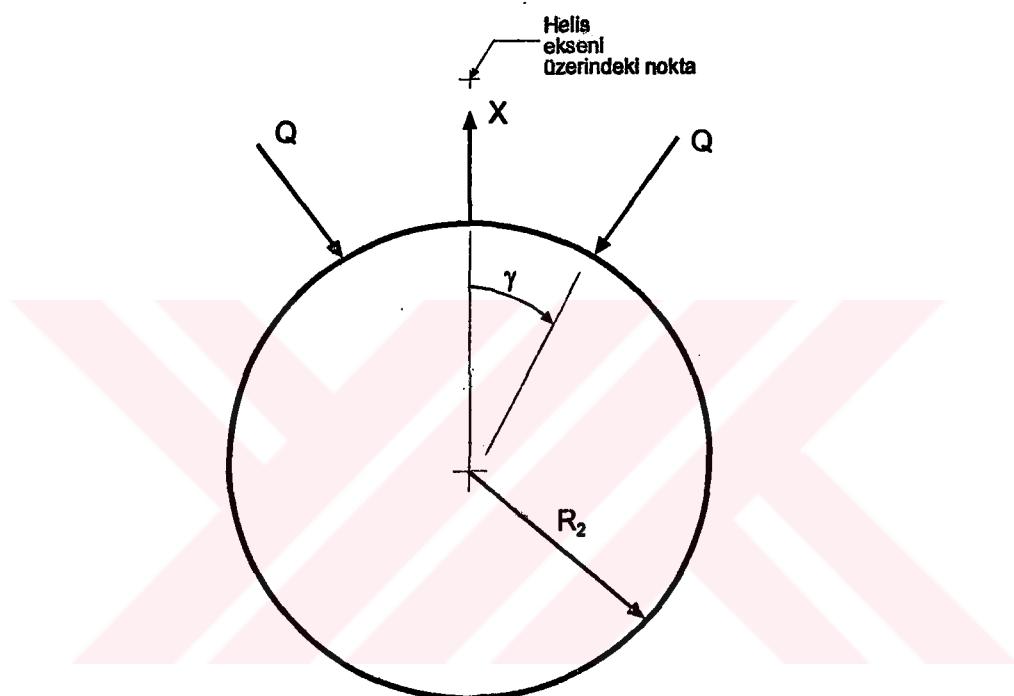


Şekil 5.9 Dış teller arasındaki çizgi teması

Sonuç olarak birim boydaki normal kontak kuvveti Q;

$$Q = -\frac{X}{2 \cos \gamma} \quad (5.109)$$

Şuna dikkat edilmelidir ki; eğer dış teller birbirleri ile temas halindelerse, Denklem (5.1) geçerliliğini yitirmektedir. Denklem (5.8) yüksüz durumda, gerçek r_2 değerini verecektir. Eğer demet yük altında ise, Denklem (5.8) ile \bar{r}_2 değerini α değerinin $\bar{\alpha}_2$ olduğunda ve R_2 değerinin $R_2(1 - \nu_{\xi_2})$ olduğunda bulabiliriz. Tekrar bu denklem \bar{r}_2 / r_2 oranını belirlemek için lineer hale getirilebilir. [1]

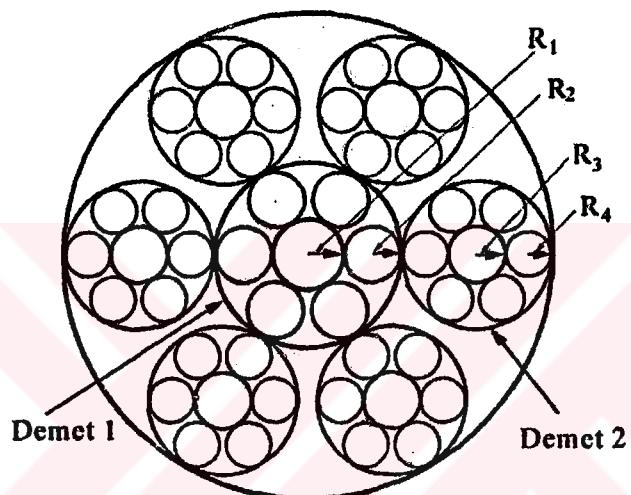


Şekil 5.10 Dış teldeki kontak yükleri

6. TEL HALATIN STATİK DAVRANIMI

6.1 Bağımsız Bir Tel Halat Çekirdeğinin Eksenel Davranımı

Daha önceki bölümlerde geliştirilen denklemler şimdi kompleks kesitli tel halatların çözümünü oluşturmak için kullanılacaktır. Göz önünde bulundurulacak kesit Şekil 6.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.1 Bağımsız Tel Halat Çekirdeği (IWRC) (Independent Wire Rope Core)

Şekil 6.1'de Demet 2 de helisel olarak Demet 1 çevresine sanılmıştır. Bu tip kesitler sık olarak daha kompleks tel halatların çekirdeklerinde kullanılmaktadır ve IWRC (Independent wire rope core) (bağımsız tel halat çekirdeği) olarak adlandırılmaktadır. Merkez demet Demet 1, dış demet ise Demet 2 olarak adlandırılmaktadır.

Demet 2'nin eğilme katılımı yaklaşık olarak bu demetteki tellerin eğilme katılıklarının birbirine eklenmesiyle bulunacaktır. Bu nedenle demet 2 için eğilme katılımı A_2^* şu ifadeyle verilmektedir [Bakınız Denklem (5.78)]

$$A_2^* = 6 \frac{\pi E R_4^4}{4} \frac{2 \sin \alpha_4}{(2 + \nu \cos^2 \alpha_4)} + \frac{\pi E R_3^4}{4} \quad (6.1)$$

R_3 , demet 2'deki merkez telin yarıçapı, R_4 , demet 2'deki dış tellerin yarıçapı ve α_4 demet 2'deki dış tellerin helis açısıdır. Önceki teoride, demet 1 için, demet içindeki tellerin burulma momenti ve eksenel kuvveti $\Delta\tau_2$ birim boydaki burulma açısına ve ξ_2 eksenel uzama sahip düz katı telin özelliklerile belirlenir ki $H = \pi E R_2^4 \Delta\tau_2 / 4(1+\nu)$ ve $T = \pi E R_2^2 \xi_2$ dir. Sonuç olarak, eğer şekildeki gibi demetlerimiz var ise eksenel uzama ve birim boydaki burulma açısı, helis halindeki demetin eksenel kuvvet ve eksenel burulma momentinin belirlenmesinde kullanılacaktır [11].

Demet 2'nin helis açısı α_{*2} olsun. Halat yüklenikten sonra demet 2 için yeni helis açısı $\bar{\alpha}_{*2}$ olur. Demet 2 için birim boydaki burulma açısı şu olur;

$$\Delta\tau_{*2} = \frac{\sin \bar{\alpha}_{*2} \cos \bar{\alpha}_{*2}}{\bar{r}_{*2}} - \frac{\sin \alpha_{*2} \cos \alpha_{*2}}{r_{*2}} \quad (6.2)$$

$$r_{*2} = R_1 + 2R_2 + 2R_4 + R_3 \quad (6.3)$$

ve Poisson sayısı etkisiyle

$$\bar{r}_{*2} = r_{*2} - \nu(R_1\xi_1 + 2R_2\xi_2 + 2R_4\xi_4 + R_3\xi_3) \quad (6.4)$$

Burada, ξ_1, ξ_2, ξ_3 ve ξ_4 sırasıyla 1, 2, 3, ve 4 nolu tellerin eksenel uzamalarıdır. Tekrar Denklem (6.2) lineer hale getirilebilir.

Demet 1'in analiz yardımları sayesinde şu denklemler yazılabilir;

$$\xi_1 = \xi_3 + \frac{\Delta\alpha_{*2}}{\tan \alpha_{*2}} \quad (6.5)$$

$$\xi_3 = \xi_4 + \frac{\Delta\alpha_4}{\tan \alpha_4} \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} r_{*2} \tau &= \frac{r_{*2}}{\bar{r}_{*2}} \left(\frac{(1 + \xi_3)}{\tan \alpha_{*2}} - \Delta\alpha_{*2} \right) - \frac{1}{\tan \alpha_{*2}} \\ &= \frac{\xi_3}{\tan \alpha_{*2}} - \Delta\alpha_{*2} + \frac{\nu}{r_{*2}} \frac{(R_1\xi_1 + 2R_2\xi_2 + 2R_4\xi_4 + R_3\xi_3)}{\tan \alpha_{*2}} \end{aligned} \quad (6.7)$$

ve

$$\begin{aligned}
(R_3 + R_4)\Delta\tau^*_2 &= \frac{\xi_4}{\tan\alpha_4} - \Delta\alpha_4 + \nu \frac{(R_3\xi_3 + R_4\xi_4)}{(R_3 + R_4)\tan\alpha_4} \\
&= \frac{(R_3 + R_4)}{r^*_2} [(1 - 2\sin^2\alpha^*_2)\Delta\alpha^*_2 \\
&\quad + \nu \frac{(R_1\xi_1 + 2R_2\xi_2 + 2R_4\xi_4 + R_3\xi_3)}{r^*_2} \sin\alpha^*_2 \cos\alpha^*_2] \quad (6.8)
\end{aligned}$$

τ halatın birim boydaki burulma değeri ve $\Delta\tau^*_2$ demet 2'nin birim boydaki burulma açısıdır. Aynı zamanda demet 1 için;

$$\xi_1 = \xi_2 + \frac{\Delta\alpha_2}{\tan\alpha_2} \quad (6.9)$$

ve

$$(R_1 + R_2)\tau = \frac{\xi_2}{\tan\alpha_2} - \Delta\alpha_2 + \nu \frac{(R_1\xi_1 + R_2\xi_2)}{(R_1 + R_2)\tan\alpha_2} \quad (6.10)$$

Denklem (5.53) ile dönme değeri bulunur. Bu nedenle halat için;

$$\beta = R\tau \quad (6.11)$$

burada;

$$R = R_1 + 2R_2 + 2R_3 + 4R_4 \quad (6.12)$$

Takip eden prosedür şekil 4.1'deki halatın eksenel davranışının belirlenmesi için kullanılabilir. Önce ε eksenel gerininim ve β dönme değerleri seçilir. $\varepsilon = \xi_1$ ve $\beta = R\tau$ iken denklem (6.9) ve (6.10) ξ_2 ve $\Delta\alpha_2$ değerlerinin çözülmesinde kullanılır. Denklem (6.5)'den (6.8)'e kadar olan formüller ξ_3 , ξ_4 , $\Delta\alpha^*_2$ ve $\Delta\alpha_4$ değerlerinin çözümü için kullanılır. ξ_3 ve $\Delta\tau^*_2$ [denklem (6.8)] bilindiği taktirde demet 2'deki toplam eksenel kuvvet T^*_2 ve toplam eksenel burulma momenti H^*_2 Bölüm 2'deki denklemler vasıtasıyla belirlenebilir. Demet 2 için lineer hale getirilebilən eğilme momenti G'_2 şu ifade ile belirlenir; [1]

$$G'_2 = A^*_2 \Delta\kappa^*_2 = A^*_2 \left(\frac{\cos^2 \bar{\alpha}^*_2}{r^*_2} - \frac{\cos^2 \alpha^*_2}{r^*_2} \right) \quad (6.13)$$

Denklem (5.36)'dan N'_2 değeri çıkarılır;

$$N'_2 = H^*_2 \frac{\cos^2 \alpha^*_2}{r^*_2} - G'_2 * \frac{\sin \alpha^*_2 \cos \alpha^*_2}{r^*_2} \quad (6.14)$$

ve Denklem (5.39) ve (5.40) demet 2 için halat ekseni doğrultusundaki eksenel kuvvet ve eksenel burulma momentinin belirlenmesinde kullanılabilir. Sonuç olarak;

$$F^*_2 = 6(T^*_2 \sin \alpha^*_2 + N'_2 \cos \alpha^*_2) \quad (6.15)$$

ve

$$M^*_{t2} = 6(H^*_2 \sin \alpha^*_2 + G'_2 \cos \alpha^*_2 + T^*_2 r^*_2 \cos \alpha^*_2 - N'_2 r^*_2 \sin \alpha^*_2) \quad (6.16)$$

Halattaki toplam eksenel kuvvet ve burulma momenti elbetteki şu şekilde olur;

$$F = F^*_1 + F^*_2 \quad (6.17)$$

$$M_t = M^*_{t1} + M^*_{t2} \quad (6.18)$$

Denklem (6.13)ün lineer hali gerekeceğinden bu aşağıda listelenmiştir;

$$\begin{aligned} G'_2 &= A^*_2 \Delta \kappa^*_2 = A^*_2 \left(\frac{\cos^2 \bar{\alpha}^*_2}{\bar{r}^*_2} - \frac{\cos^2 \alpha^*_2}{r^*_2} \right) \\ &= A^*_2 \left[\nu \frac{\cos^2 \alpha^*_2}{(r^*_2)^2} (R_1 \xi_1 + 2R_2 \xi_2 + 2R_4 \xi_4 + R_3 \xi_3) \right. \\ &\quad \left. - \frac{2 \sin \alpha^*_2 \cos \alpha^*_2}{r^*_2} \Delta \alpha^*_2 \right] \end{aligned} \quad (4.19)$$

Bu formüllerin çözümün hızlandırılması için bilgisayar programları kullanılmaktadır.

6.2 Tel Halatın Eksenel Davranımı

Önceki denklemlerin daha kompleks kesitli halatlar için nasıl geliştirileceği açıkça ortadadır. Konu ile ilgili örneklerde sunulacaktır.

6.3 Eksenel Yükleme İle Halatta Meydana Gelen Gerilimler

İlk olarak IWRC için konu işlenecektir. Merkez demet (Demet 1) için, daha önceki bölümlerde bulunan eksenel ve dönme değerlerinin bilinmesi eksenel yükleri

ortaya çıkarır (F_1^* ve M_{11}^*). Aynı zamanda demet 1 için eksenel uzama ve dönme değerlerini tel gerilimlerini de Bölüm 5.3'de ortaya çıkartmaktadır. Bir önceki bölümde de Demet 2 için eksenel yükler T_2^* ve H_2^* ve eğilme momenti G_2^* belirlendi. Tekrar buradaki tel gerilimlerinin tespiti Bölüm 5.7'deki yöntemlerle bulunabilir.

Gerilme ve eğilme durumunda demetteki merkez tel genellikle en büyük gerilime sahiptir. Sonuç olarak, dikkatler demet 1 ve demet 2'nin merkez tellerine yoğunlaşacaktır.

Demet 1 için dönmeye sınırlanıldığı durumda ($\beta=0$), basitçe maksimum eksenel gerilim;

$$\sigma_1 = E\varepsilon \quad (6.20)$$

Demet 2 için maksimum eksenel gerilim ξ_3 ile meydana gelmektedir ve uzama da $\Delta\kappa_2^*$ eğrilik değişiminden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak demet 2'nin merkez telindeki maksimum normal gerilim;

$$\sigma_2 = E\xi_3 + ER_3\Delta\kappa_2^* \quad (6.21)$$

Burada $\Delta\kappa_2^*$ Denklem (6.19) ile belirlenmektedir.

Daha önce bahsedildiği gibi, Demet 2'deki dış tellerin gerilimleri, bu demetin T_2^* ve H_2^* eksenel yükler ve G_2^* eğilme momentine sahip düz bir demet olduğu düşünülderek bulunur. Eğilme momenti G_2^* , $\Delta\kappa_2^*$ eğrilik değişimini oluşturur ve sonuçta Bölüm 5.6 eğilmeden kaynaklanan gerilimlerin tespit edilmesinde kullanılabilir. Bölüm 5.6'da gösterildiği gibi dış tel boyutca yay uzunluğu ve kesitteki pozisyonuna bağlı olan gerilmeler problemin karışmasına yol açar. Eğilme gerilimindeki bu değişim bir dış teldeki maksimum gerilimle kıyaslanmasıyla belirlenir. Sonuç olarak $\Delta\kappa_2^*$ 'den kaynaklanan maksimum eğilme gerilimi, T_2^* ve H_2^* ile oluşan gerilimlere eklenmektedir ve ilmeli bir yaklaşımla $\Delta\kappa_2^*$ ile meydana gelen bu gerilim şu ifade ile belirlenebilir; [1]

$$\sigma = \frac{2 \sin \alpha_4}{(2 + \nu \cos^2 \alpha_4)} \Delta\kappa_2^* ER_4 \quad (6.22)$$

6.4 Halatta Eksenel Yükleme ve Eğilmeden Dolayı Oluşan Gerilmeler

Bir önceki bölümde halatın sadece eksenel yükleme oluşturan gerilimleri ile uğraştık. Eksenel yüklemeye ek olarak aynı zamanda eğilmeye de maruz kalan halattaki

gerilimlerin belirlenmesi için, üstüste koyma (superposition) prensibi tekrar kullanılacaktır.

Bir yayın sadece eğilme durumunda Denklem (5.76) şunu gösterir;

$$m_s = EI\Delta\kappa = EI \frac{2 \sin \alpha}{(2 + \nu \cos^2 \nu)} \frac{1}{\rho} \quad (6.23)$$

Burada m_s yaya uygulanan eğilme momenti, $\Delta\kappa$ telin eğriliğindeki maksimum değişim (m_s tel kesitindeki maksimum eğilme momenti iken), E tel malzemesine ait elastiklik modülü, I tel kesitin atalet momenti, α helis açısı, ν poisson sayısı ve ρ yay merkez eksen çizgisinin eğrilik yarıçapı. Bunun anlamı şudur ki; helis açısından dolayı bir dış teldeki maksimum eğrilik değişimi;

$$\Delta\kappa = \left(\frac{2 \sin \alpha}{2 + \nu \cos^2 \alpha} \right) \left(\frac{2 \sin \alpha^*}{2 + \nu^* \cos^2 \alpha^*} \right) \frac{1}{\rho} \quad (6.24)$$

Burada ρ , halat merkezinin eğilme eğrisi yarıçapı, α^* demet helis açısı, ν^* demet poisson sayısı (ν değerine eşit alınacak çünkü $\nu^* \cos^2 \alpha^*$ değeri 2'ye kıyasla çok küçütür), α demetteki dış tellerin helis açısı ve ν tel malzemesinin poisson sayısıdır.

Bu halattaki eğilmeden kaynaklanan gerilimlerin bulunmasında kullanılacak olan eğri değişim değeridir. [1]

6.4.1 Halat Tel Gerilimlerinin Fonksiyonel İfadesi

Konuya başlarken şöyle basit bir örnek vererek konumuzun ne içerdığını açıklamamız, amacımız için faydalı olacaktır.

Silindirik d çaplı düz bir çubukumuz olsun. Bu çubuk hem eksenel yükle hemde D çaplı bir tamburda eğilerek eğilmeye maruz kaldığında çubuktaki maksimum normal gerilim şu bilinen formül ile bulunur;

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2} + E \frac{d}{D} \quad (6.25)$$

ve bu denklem şu şekilde yazılabilir (yani denklemin heriki tarafını σ_{nom} nominal gerilimine böldüğümüzde);

$$\frac{\sigma}{\sigma_{nom}} = 1 + \frac{Ed}{\sigma_{nom}D} = 1 + \frac{1}{\frac{\sigma_{nom}}{E} \times \frac{D}{d}} \quad (6.26)$$

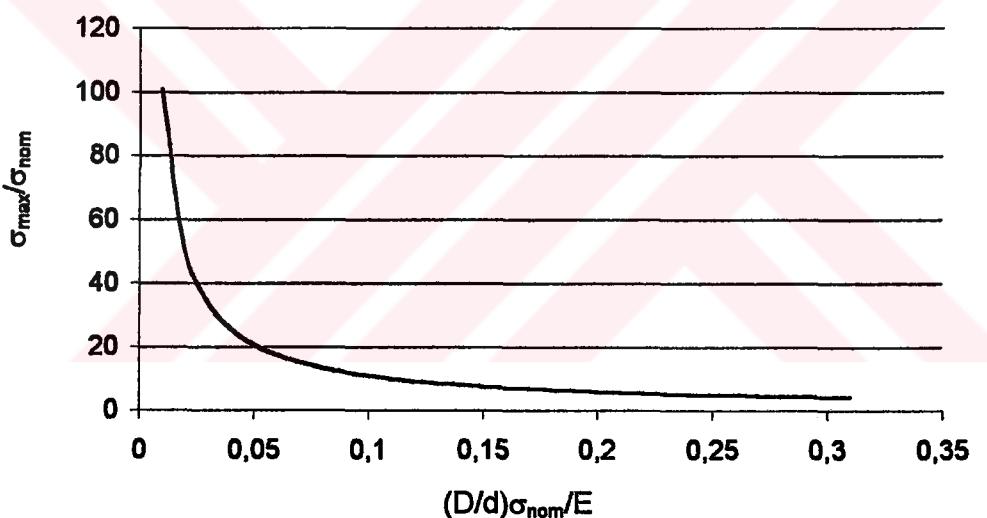
Burada nominal gerilim;

$$\sigma_{nom} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (6.27)$$

Denklem (6.26); (σ/σ_{nom}) değerinin, $(\sigma_{nom}D/Ed)$ değerinin bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Fonksiyona ait örnek grafik Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

$(\sigma/\sigma_{nom}) = y$; $(\sigma_{nom}D/Ed) = x$ olarak belirlersek bu bağıntının bir $y=1+\frac{1}{x}$

fonksiyonu olduğu anlaşılmaktadır. Bu fonksiyon aynı şekilde kompleks kesitli halatlar için de bu şekildedir. Bu ileride daha iyi anlaşılacaktır. Bu prosedür ile ilgili bilgisayar programları mevcuttur [15].



Şekil 6.2 Örnek grafik

Örneğin bu çubuk 1 mm^2 kesit alanına sahip olsun ve 100 daN luk eksenel yükle tabi olsun. Nominal gerilim;

$$\sigma_{nom} = \frac{100}{1} = 100 \text{ daN}$$

D/d oranımız da 30 olursa ve çubugumuz da çelik ise yani $E=20684.27 \text{ daN/mm}^2$

$\frac{D}{d} \times \frac{\sigma_{nom}}{E}$ değerimiz; $\frac{D}{d} \times \frac{\sigma_{nom}}{E} = 0,145$ olarak bulunur.

Elde ettiğimiz grafikten bu değere karşılık gelen $\sigma_{\max}/\sigma_{\text{nom}}$ değeri;

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nom}}} = 7.896552 \text{ olarak tespit edilir.}$$

Demek ki çubuktaki maksimum gerilim :

$$\sigma_{\max} = 7.896552 \times \sigma_{\text{nom}} = 7.896552 \times 100 = 789,6552 \text{ daN/mm}^2 \text{ olarak bulunmuş olur.}$$

Görüldüğü gibi bu tip bir grafik ile tellerdeki gerilimleri nominal yükü ve D/d oranının tespit ederek bulabilmekteyiz.

Benzer prosedür halattaki teller için yapılacaktır ve her tel için bu tip bir grafik çizilecektir.

6.4.2 Halat Tellerindeki Gerilimlerinin Fonksiyon Olarak Belirlenmesi

Burada denklemler kompleks kesitli tel halatlar için geliştirilerek yazılmıştır. Bu denklemler ile halatın herhangi bir teline etki eden yükler ve gerilmeler çekme ve eğilme durumları için bulunmaktadır.

$$X = N' \tau - Tk' \quad (6.28)$$

$$N' = -G' \tau + Hk' \quad (6.29)$$

Burada; $k_{si} = 0, \quad k'_{si} = \frac{\cos^2 \alpha_{si}}{r_{si}} \quad \text{ve} \quad \tau_{si} = \frac{\sin \alpha_{si} \cos \alpha_{si}}{r_{si}}$ (6.30)

$$T_{si} = \pi R_{si}^2 \varepsilon_{si} E \quad (6.31)$$

$$G'_{si} = \frac{\pi E R_{si}^4}{4} \Delta k'_{si} \quad (6.32)$$

ve

$$H_{si} = \frac{\pi E R_{si}^4}{4(1+\nu)} \Delta \tau_{si} \quad (6.33)$$

r_{si} ve α_{si} deki küçük değişimler direk olarak karşılıklı eğrilik ve burulmadaki küçük değişimler ile bağıntılıdır. Denklem 6.30'un kısmi diferansiyeli ile;

$$\frac{\Delta r_{si}}{r_{si}} = -2 \tan \alpha_{si} (r_{si} \Delta \tau_{si}) + (\tan^2 \alpha_{si} - 1) (r_{si} \Delta k'_{si}) \quad (6.34a)$$

ve

$$\Delta\alpha_{si} = (r_{si}\Delta\tau_{si}) - \tan\alpha_{si}(r_{si}\Delta\kappa'_{si}) \quad (6.34b)$$

α_{si} , $\Delta\alpha_{si}$ ve ε_{si} değerlerine sahip tellerden oluşan bir demetin sahip olacağı eksenel uzama;

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{si} + \cot\alpha_{si}\Delta\alpha_{si} \quad (6.35)$$

Benzer olarak demetin birim boydaki burulma değeri demetteki tellere bağlı olarak;

$$\Delta\tau_s = \frac{1}{r_{si}} \left[\cot\alpha_{si} \left(-\frac{\Delta r_{si}}{r_{si}} + \varepsilon_{si} \right) - \Delta\alpha_{si} \right] \quad (6.36)$$

Burada r_{si} değeri demetteki tel yarıçapları ile bağıntılı olarak şu ifade ile bulunur;

$$r_{si} = \sum_{j=1}^i \eta_{sij} R_{sj} \quad (6.37)$$

η_{sij} değerleri seçilen halatın bilinen boyutsuz geometrik katsayılarıdır. Bu değerler verilen örnek için verilecektir ve örnekte bu değerlerin neler oldukları daha iyi anlaşılacaktır.

Poisson sayısı etkisi ile demetteki tellerin helis açılarındaki değişim;

$$\Delta r_{si}^P = \Delta r_{si}^P - \nu \eta_{sii} R_{si} \varepsilon_{si} \quad (6.38a)$$

ve

$$\Delta r_{si}^P = -\nu \sum_{j=1}^{i-1} \eta_{sij} R_{sj} \varepsilon_{sj} \quad (6.38b)$$

Elde ettiğimiz denklemlerin birleştirilmesi ile demetteki tellerin ε_{si} , $\Delta\tau_{si}$, $\Delta\kappa'_{si}$ değerlerini demetin ε_s , $\Delta\tau_s$ ve demetteki tellerin sahip olduğu α_{si} , r_{si} ve Δr_{si}^P değerlerine bağlı olarak şu şekilde bulabiliriz;

$$\begin{bmatrix} 1 & \cot\alpha_{si} & -1 \\ \cot\alpha_{si} & 1 & \cot\alpha_{si} \\ \nu\eta_{sii}(R_{si}/r_{si})\cot^2\alpha_{si} & -2\cot\alpha_{si} & (1-\cot^2\alpha_{si}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{si} \\ r_{si}\Delta\tau_{si} \\ r_{si}\Delta\kappa'_{si} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_s \\ r_{si}\Delta\tau_s \\ (\cot^2\alpha_{si}/r_{si})\Delta r_{si}^P \end{Bmatrix} \quad (6.39)$$

Bu formdaki denklem sistemini çözmek için demete ait uzamaları ve birim boydaki burulma değişim değerlerini öncelikle tespit etmemiz gerekecektir. Bunları tespit etmek için şu yol izlenmekteidir; [12]

Halatı, halatı oluşturan demetleri sadece bir bütün tel olarak düşündüğümüzde oluşacak yeni bir demet şeklinde düşünerek çözeriz. Örneğin halat 3 demet tabakasından oluşuyorsa, yeni gözönünde bulunduracağımız demet 3 tabakalı bir demet olacaktır ve bu demetteki tellerin yarıçapları halattaki demetlerin yarı çapları olacaktır. Demetlerin bu değerlerini tespit etmek için 3 tabakalı bir demet için daha önce verilmiş olan ömekteki prosedür kullanılacaktır. Bu sayede her bir demetin eksenel uzamaları ve birim boydaki burulma değişim değerleri, eğrilik değişim değerleri tespit edilir. Elde edeceğimiz bu değerleri de yukarıdaki denklemlerin çözülmesinde kullanabiliriz. Böylece her telin eksenel uzamaları, birim boydaki burulma değişim değerlerini ve binormal eğrilik değişim değerlerini elde tespit edebiliriz.

Demete etki eden çekme gerilmesi;

$$T_s = \sum_{i=1}^{ls} m_{si} (T_{si} \sin \alpha_{si} + N'_{si} \cos \alpha_{si}) \quad (6.40)$$

Burulma momenti;

$$H_s = \sum_{i=1}^{ls} m_{si} [(H_{si} \sin \alpha_{si} + G'_{si} \cos \alpha_{si}) + r_{si} (T_{si} \cos \alpha_{si} - N'_{si} \sin \alpha_{si})] \quad (6.41)$$

$T_{si}, N'_{si}, H_{si}, G'_{si}$ değerleri denklem (6.29), (6.31), (6.32) ve (6.33) ile elde edilebilir.

Demetin maruz kaldığı eğilme momenti;

$$G'_s = \left(\sum_{i=1}^{ls} m_{si} \frac{\sin \alpha_{si}}{1 + \frac{1}{2} \nu \cos^2 \alpha_{si}} \frac{\pi E R_{si}^4}{4} \right) \Delta \kappa'_s \quad (6.42)$$

IWRC halat sistemleri genellikle 3 tabaka demet tabakasından oluşmaktadır ve ilk iki tabakayı IWRC oluşturmaktır, 3. tabakayı ise halatın ismini olan tipteki bir demet tabakası oluşturmaktadır. (Seale, Warrington, filler-wire veya flatten (düz) demet). R_s halatın $s_{(inc)}$ demet tabakasındaki demetlerin yarıçapı ise ve demet tabakasını oluşturan tel sayısı da l_s ise demet yarıçapı;

$$R_s = r_{si} + R_{si} \quad (i=l_s \text{ sadece}) \quad (6.43)$$

s sayılı demetin helis açısı ise;

$$r_s = \sum_{t=1}^s \eta_{0st} R_t \quad (6.44)$$

η_{0st} değerleri tipik olarak tam sayı olacaktır. Bu sayıların ne olduğunu verilmektedir, verilmese bile ne olduğunu mantık olarak bulunabilir. Sonuç olarak halat yarıçapı;

$$R = r_s + R_s \quad (s=1 \text{ sadece}) \quad (6.45)$$

Demet için;

$$\tau_s = \frac{\sin \alpha_s \cos \alpha_s}{r_s} \quad \text{ve} \quad k'_s = \frac{\cos^2 \alpha_s}{r_s} \quad (6.46 \text{ a,b})$$

Halatın maruz olduğu toplam eksenel kuvvet ve burulma momenti şu denklemlerle toplanabilir;

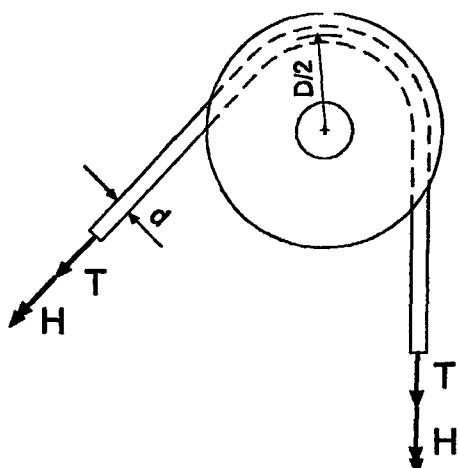
$$T = \sum_{s=1}^l m_s (T_s \sin \alpha_s + N'_s \cos \alpha_s) \quad (6.47)$$

ve

$$H = \sum_{s=1}^l m_s [(H_s \sin \alpha_s + G'_s \cos \alpha_s) + r_s (T_s \cos \alpha_s - N'_s \sin \alpha_s)] \quad (6.48)$$

Burada m_s s nolu demet tabakasındaki demet sayısı ve l ise de halatı oluşturan demet tabakalarının sayısıdır. [12]

Şu ana kadar halatın sadece eksenel zorlanma durumundaki davranışlarından bahsettiğimiz. Şimdi eksenel yükleme altındaki halatın bir tambura sarılmasıyla oluşan durumu gözönünde bulunduralım. IWRC halatlar genellikle hem eksenel hem de eğilme durumlarını bulunduran ortamlarda kullanılmaktadır.



Şekil 6.3 Tambura sarılı eksenel yük altındaki halat

Eksenel yük altındaki tambura sarılarak eğilmeye zorlanan halattaki tellerde oluşacak tel gerilimleri, sadece eksenel durumda tellerde oluşan gerilimlere eğilme durumunda tellerde oluşacak tel gerilimlerinin birbirine eklenmesi yaklaşımı ile bulunmaktadır. Bu yaklaşım, McConnell ve Zemke'nin [15] konu ile ilgili deney sonuçlarında belirtildiği üzere; komşu tellerin birbirleri üzerinde bağımsız hareket edebilmeleri açısından çok iyi yağlanmış halatlar için gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Düz bir demetteki helisel bir telin maksimum normal eğrilik değişim değeri $\Delta\kappa_{sl}$, telin bulunduğu $\Delta\kappa_s$ değerine sahip demetin bu değerine nazaran oldukça küçük bir değere sahip olduğu gösterilebilir [14]

$$\Delta\kappa_{sl} = \frac{\sin \alpha_{sl}}{1 + \frac{1}{2}\nu \cos^2 \alpha_{sl}} \cdot \Delta\kappa_s \quad (6.49)$$

α_{sl} s numaralı demetteki i numaralı tel tabakasının helis açısıdır. Genel olarak demetin maksimum eğrilik değişimi $\Delta\kappa_s$, demet D/2 yarıçaplı tambur üzerinde eğilmeye maruz kaldığında ortaya çıkmaktadır ve;

$$\Delta\kappa_{sl} = \frac{\sin \alpha_s}{1 + \frac{1}{2}\nu_s \cos^2 \alpha_s} \cdot \frac{1}{D/2} \quad (6.50)$$

α_s halat içindeki s numaralı demet tabakasındaki demetin helis açısıdır. $1/2.\nu_s.\cos^2\alpha_s$ değeri, ν_s yerine ν değerinin kullanılmasıyla ihmal edilebilir bir farklılık gösterdiğinden demetin poisson sayısı yerine halat tel malzemesinin poisson sayısı kullanılabilir. Denklem (6.45), (6.49) ve (6.50) şimdi D/d eğriliğindeki eğilmeden kaynaklanan σ_{sl}^B eğilme gerilimi değerinin tespit edilmesinde kullanılabilir. d halat çapı olmaktadır ($d=2R$);

$$\sigma_{sl}^B = ER_{sl}\Delta\kappa_{sl} = E \frac{R_{sl}}{R} \frac{\sin \alpha_s}{1 + \frac{1}{2}\nu \cos^2 \alpha_s} \cdot \frac{\sin \alpha_{sl}}{1 + \frac{1}{2}\nu \cos^2 \alpha_{sl}} \left(\frac{D}{d}\right)^{-1} \quad (6.51)$$

Denklemde $\sin \alpha_s$ ve $\sin \alpha_{sl}$ değeri 0.9 ve 1 arasında değişmektedir. Eğilmeden kaynaklanan meydana gelen gerilimlerin en aza indirilmesi için R_{sl}/R faktörü, verilen D/d değeri için halatta ince ve çok sayıda tellerin kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Düz bir demet için eksenel yüklemeden kaynaklanan halat içindeki verilen telde meydana gelen maksimum çekme gerilmesi;

$$\sigma_{si}^T = \frac{1}{\pi R_{si}^2} T_{si} + \frac{R_{si}}{\pi R_{si}^4 / 4} |G'_{si}| + \frac{ER_{si} \sin \alpha_{si}}{1 + \frac{1}{2} \nu \cos^2 \alpha_{si}} |\Delta K'_s| \quad (6.52)$$

Halatın nominal gerilim değeri; $\sigma_{nom} = \frac{T}{A}$ dir ve A halatın metalsel kesit alanı ise;

$$A = \sum_{s=2}^l m_s \sum_{i=1}^{l_s} m_{si} \pi R_{si}^2 \quad (6.53)$$

Boyutsuz oran (düz halat faktörü) ;

$$Z_{si}^T = \frac{\sigma_{si}^T}{\sigma_{nom}} \quad (6.54)$$

Bu oran daima 1 veya 1'den büyük bir değerdir. Halatın efektif elastisite modülü değeri [16]

$$E_{eff} = \sigma_{nom}/\epsilon = T/(A\epsilon) \quad (6.55)$$

E_{eff} değeri E değerinden daha küçük çıkmaktadır. ϵ_{si} değeri $(E_{eff}/E)\cdot\epsilon$ değerinden de büyüktür ve sonuç olarak teldeki eksenel gerilim mütemadiyen nominal gerilimden büyük olacaktır.

Önceki bölümlerde anlatılan ve ortaya çıkarılan denklemler bir fonksiyon oluşturacak şekilde düzenlenendiklerinde şu denklemler ortaya çıkmaktadır;

$$\frac{\sigma_{si}}{\sigma_{nom}} = Z_{si}^T + Z_{si}^B \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{\sigma_{nom}}{E} \right)^{-1} \quad (6.56)$$

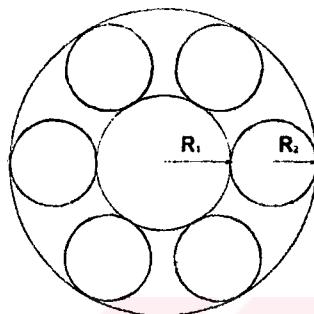
$$Z_{si}^B = \frac{R_{si}}{R} \cdot \frac{\sin \alpha_s}{1 + \frac{1}{2} \nu \cos^2 \alpha_s} \cdot \frac{\sin \alpha_{si}}{1 + \frac{1}{2} \nu \cos^2 \alpha_{si}} \quad (6.57)$$

Bu denklemde Z_{si}^T düz halat faktöründür, Z_{si}^B eğilme faktöründür ve bu iki faktör de E ve σ_{nom} değerlerinden bağımsızdır. σ_{si} değeri σ_{nom} değerine bölünerek normalize edildiğinde, Z_{si}^B faktörü de doğal olarak E ve σ_{nom} değerlerinden bağımsız olmaktadır ve ayrıca σ_{nom} değeri Z_{si}^B ile çarpılan parametrede ortaya çıkmaktadır zira eğilme gerilmesi gerçekte σ_{nom} değerinden bağımsızdır. D/d oranının önerilen değerleri 60 ile 100 arasındadır. Bu değer seçimi halat çapına, halat tipine ve uygulama tiplerine bağlı olarak seçilir.

7. OLUŞTURULAN DENKLEMLERİN SAYISAL ÖRNEKLERİ

Örnek 7.1

Basit iki tabakalı düz bir demeti gözönünde bulunduralım. Bu demet Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 İki tabakalı basit düz bir demet

$$R_1=2,6162 \text{ mm. (merkez tel yarıçapı)}$$

$$R_2=2,5654 \text{ mm. (dış tel yarıçapı)}$$

$$p_2=247,65 \text{ mm. (dış tel helisinin hatve değeri)}$$

$$E=19650 \text{ daN/mm}^2 \text{ (Elastiklik Modülü)}$$

$$\nu=0,25 \text{ (poisson katsayısı)}$$

$$m_2=6 \text{ (dış tel sayısı)}$$

Dış tellerin birbirlerine temas etmediği varsayılmaktadır.

Denklem 5.1 ile;

$$r_2 = 2,6162 + 2,5654 = 5,1816$$

Denklem (5.10) ile helis açısı α_2

$$\tan \alpha_2 = \frac{247,65}{2\pi \times 5,1816} = 7,60667$$

$\alpha_2=82,5106^\circ$. Hesaplamalar için gereken şu değerler yazılabılır;

$$\sin \alpha_2 = 0,99147, \quad \sin^2 \alpha_2 = 0,98301, \quad \cos \alpha_2 = 0,13034, \quad \cos^2 \alpha_2 = 0,016989,$$

$$\sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 = 0,12923 \text{ ve } r_2/R_2 = 2.01980$$

Dış tellerin birbirlerine temas edip etmediklerinin kontrol edilmesi gerekmektedir ve Denklem (5.9) ile

$$R_2 \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2} \right)}{\sin^2 \alpha}} < R_1 + R_2$$

$$5.16382 < 5.1816$$

Bu şartın gerçekleşmesi ile dış tellerin birbirlerine temas etmediğini tespit etmektediriz.

Şimdi demetimiz dönmeye karşı sınırlandırılmış olsun yani demetin birim boydaki burulması $\tau_s=0$ olsun ve demetin eksenel uzamasını $\varepsilon = \xi_1 = 0,003$ olsun. Denklem (5.27) ve (5.31) ile;

$$0,003 = \xi_2 + \frac{\Delta \alpha_2}{7,60667} \quad (1)$$

$$0 = \frac{\xi_2}{7,60667} - \Delta \alpha_2 + 0,25 \frac{(2,6162 \times 0,003 + 2,5654 \xi_2)}{5,1816 \times 7,60667} \quad (2)$$

Denklem (1) ve (2)'nin çözümlerinden;

- $\xi_2 = 0,002936$
- $\Delta \alpha_2 = 0,00048359$

Denklem (5.32) ve (5.33) ile $R_2 \Delta \kappa'_2$ ve $R_2 \Delta \tau_2$ hesaplanır;

$$R_2 \Delta \kappa'_2 = - \frac{2 \times 0,012923 \times 0,00048359}{2,01980} + \frac{0,25 \times (2,6162 \times 0,003 + 2,5654 \times 0,002936) \times 0,016989}{5,1816 \times 2,0198}$$

$$= -0,00005564$$

ve

$$R_2 \Delta \tau_2 = \frac{(1 - 2 \times 0,98301) \times 0,00048359}{2,01980} + \frac{0,25(2,6162 \times 0,003 + 2,5654 \times 0,002936) \times 0,12923}{5,1816 \times 2,0198}$$

$$= -0,0001838$$

Denklem (5.34)'den (5.44)'e kadar elde edilen sonuçlar;

$$\frac{G'_2}{ER_2^3} = -0,00004370; \quad \frac{H_2}{ER_2^3} = -0,000115491; \quad \frac{N'_2}{ER_2^2} = 0,000001825; \quad \frac{T_2}{ER_2^2} = 0,00922505$$

$$\frac{X_2}{ER_2} = -0,000077474; \quad \frac{F_2}{ER_2^2} = 0,054879; \quad \frac{M_2}{ER_2^3} = 0,013828; \quad \frac{F_1}{ER_1^2} = 0,00942478$$

$$\frac{M_1}{ER_1^3} = 0$$

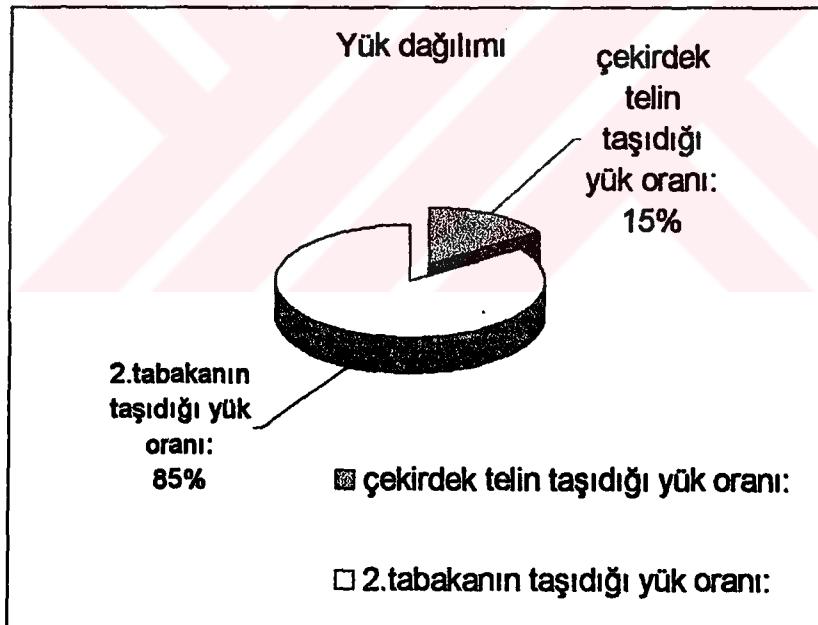
$$F = F_1 + F_2 = 1267,580544 + 7097,137204 = 8364,717748 \text{ daN.}$$

Elde edilen sonuçlarla Tablo 7.1'de gösterilen iki tabakalı demete ait tabakaların taşıdığı yük oranları bulunabilir. Şekil 7.2'de bu tablonun bir grafiği çizilmiştir.

Tablo 7.1 İki tabakalı demete ait tabakaların taşıdıkları yük oranları

çekirdek telin taşıdığı yük oranı:	%15.15
2.tabakanın taşıdığı yük oranı:	%84.85

$$M_t = M_1 + M_2 = 0 + 4587,841083 = 4587,841083 \text{ daNm.}$$



Şekil 7.2 2 Tabakalı demetin tabaka yük oranları grafiği

Göründüğü gibi çekirdek tel yükün %15'ini, dış teller yani ikinci tabakanın taşıdığı yük oranı ise %84,85'dir.

Eksenel uzama artması veya azalması denklemlerin lineer olması nedeniyle yüklerde de benzer artmaya ve azalmaya yol açacaktır. Yani $\epsilon=0,003$ iken $F=8364,71$ çıkmıştı, eğer $\epsilon=0,0015$ olsaydı $F=4182,358874$ olurdu.

Şimdi bu demet eksenel olarak $F = 8364,7177$ daN'luk eksenel yükle maruz kalsın ve yine dönmeye karşı sınırlı olsun.

Bir önceki ömek sonuçları ve Denklem (5.45)'den (5.49)'a kadar denklemler ile;

$$_F \sigma_1 = \frac{F_1}{\pi R_1^2} = \frac{1267,580544}{\pi \times 2,6162^2} = 58,95 \text{ daN/mm}^2$$

$$_M \sigma_1 = \frac{2M_1}{\pi R_1^3} = 0 \text{ daN}$$

$$_T \sigma_2 = \frac{T_2}{\pi R_2^2} = \frac{1193,440651}{\pi \times 2,5654^2} = 57,709 \text{ daN/mm}^2$$

$$_G \sigma_2 = \frac{4G'_2}{\pi R_2^3} = \frac{4 \times 570,91}{\pi \times 2,5654^3} = 1,09 \text{ daN/mm}^2$$

ve

$$_H \sigma_2 = \frac{2H_2}{\pi R_2^3} = \frac{2 \times 38,31559245}{\pi \times 2,5654^3} = 1,44474233 \text{ daN/mm}^2$$

Kesme kuvveti $N'_2 = 0.235840248$ daN dur. Dış bir tele etki eden maksimum normal çekme gerilmesi;

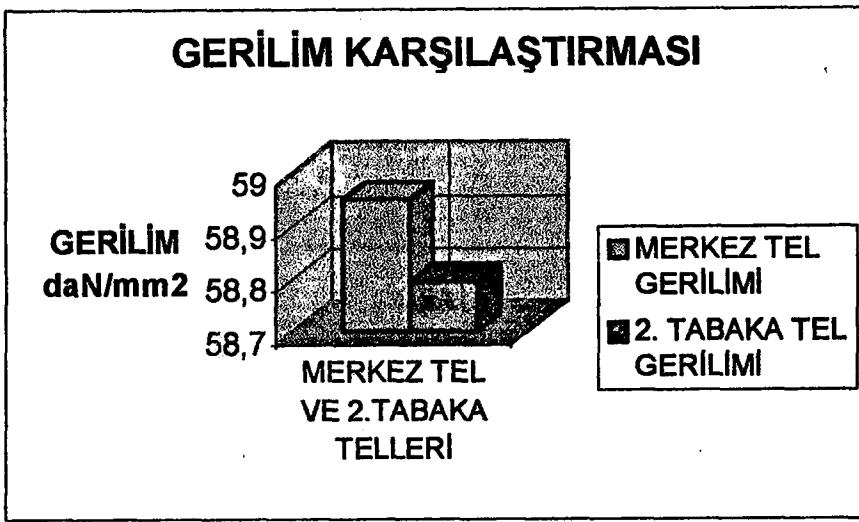
$$_T \sigma_2 + _G \sigma_2 = 57,709 + 1,580 = 59,289 \text{ daN/mm}^2$$

Bu gerilim dış telin içinde meydana gelmektedir.

Tablo 7.2 Verilen örnek için hesaplanan tel gerilimleri

$F\sigma_1 = \sigma_1$ (merkez tel gerilimi)	58,95 daN/mm ²
$T\sigma_2 + G\sigma_2 = \sigma_2$ (Dış tel gerilimi)	59,289 daN/mm ²

Göründüğü üzere merkez teldeki gerilim dış teldeki gerilime nazaran biraz daha fazladır. $\tau_s=0$ iken eksenel yükte artma veya azalma gerilmelerde de orantılı olarak benzer artma ve azalmaya yol açar. Tabii ki burada kontakt gerilimleri gözönüne bulundurulmamaktadır. Tablo 7.2 hesaplanan tel gerilimlerini göstermektedir ve Şekil 7.3 bu tablo değerlerinin tel gerilimlerinin karşılaştırılabilmesi için grafik halinde gösterimidir.



Şekil 7.3 Hesaplanan sonuçlar ile tel gerilimlerinin karşılaştırılması

Metalsel Alan;

$$A = \pi(2,6162)^2 + 6 \times \pi(2,5654)^2 = 145,5567904 \text{ mm}^2$$

ve

Demet Yarıçapı;

$$R = 2,6162 + 2 \times 2,5654 = 7,747 \text{ mm}$$

Denklem (5.50) ve (5.51)'den;

$$\bullet C_1 = \frac{F}{AE\epsilon} = \frac{8364,717748}{145,557 \times 19650 \times 0,003} = 0,975$$

$$\bullet C_3 = \frac{M_t}{ER^3\epsilon} = \frac{4587,84}{19650 \times 7,747^3 \times 0,003} = 0,167$$

Diğer C katsayılarının tespiti için şu kabul yapılacaktır;

$\xi_1 = \epsilon = 0$ ve $\xi_2 = 0,001$ olarak kabul edelim.

Denklem (5.27) ile;

$$0 = 0,001 + \frac{\Delta\alpha_2}{7,6067} \text{ ve buradan } \Delta\alpha_2 = -0,0076067 \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem (5.31) ile;

$$5,1816 \times \tau_s = \frac{0,001}{7,6067} + 0,0076067 + \frac{0,25(2,5654 \times 0,001)}{5,1816 \times 7,6067} \text{ ve buradan } \tau_s = 0,001496527$$

olarak bulunur ve $\beta = R \times \tau_s = 7,747 \times 0,001496527 = 0,011593596$ çıkar.

Denklem (5.32)'den (5.44)'e kadar;

$$R_2 \Delta \kappa'_2 = \frac{2 \times 0,012923 \times 0,0076067}{2,01980} + \frac{0,25 \times (2,5654 \times 0,001) \times 0,016989}{5,1816 \times 2,0198} = 0,00097441$$

ve

$$R_2 \Delta \tau_2 = -\frac{(1 - 2 \times 0,98301) \times 0,0076067}{2,01980} + \frac{0,25(2,5654 \times 0,001) \times 0,12923}{5,1816 \times 2,0198} = 0,003679119$$

$$\frac{G'_2}{ER_2^3} = 0,00076530; \quad \frac{H_2}{ER_2^3} = 0,002311659; \quad \frac{N'_2}{ER_2^2} = -0,000029521; \quad \frac{T_2}{ER_2^2} = 0,003141593$$

$$\frac{X_2}{ER_2} = -0,000028314; \quad \frac{F_2}{ER_2^2} = 0,018665665; \quad \frac{M_2}{ER_2^3} = 0,019667279; \quad \frac{F_1}{ER_1^2} = 0$$

$$\frac{M_1}{ER_1^3} = 0,002460002$$

$$F = F_1 + F_2 = 2413,882883 \text{ daN.}$$

$$M_t = M_1 + M_2 = 7390,460789 \text{ daNm.}$$

Denklem 5.50 ve 5.51 ile;

$$\bullet C_2 = \frac{F}{AE\beta} = \frac{2413,88}{145,557 \times 19650 \times 0,011593596} = 0,0728$$

$$\bullet C_3 = \frac{M_t}{ER^3 \beta} = \frac{650,5}{19650 \times 7,747^3 \times 0,011593596} = 0,0694$$

Bulunan sonuçlarla bu demet için şu yük-eksenel davranış ifadeleri tespit edilmiş olmaktadır;

$$\frac{F}{AE} = 0,975\varepsilon + 0,0728\beta$$

$$\frac{M_t}{ER^3} = 0,167\varepsilon + 0,0694\beta$$

Şuna dikkat edilmelidir ki; c katsayıları E'den bağımsız fakat α_2 , R_2/R_1 ve v ile bağıntılıdır.

Şimdi bu demetin Denklem (5.78) ile eğilme katılığını bulalım;

$$A^* = \frac{\pi \times 19650}{4} \left[\frac{6 \times 2 \times 0,99147 \times 2,5654^4}{(2 + 0,25 \times 0,016989)} + 2,6162^4 \right] = 4693828,78 \text{ daNm}^2$$

Bu demetin $\rho=2438,4 \text{ mm}$ (8 ft.) yarıçaplı bir tambur üzerinde eğilmeğe maruz kalsın.

Denklem (5.76)'dan makaraya sarılan demet içindeki bir tele etki eden eğme momenti;

$$m_s = \frac{\pi \times 19650 \times 2 \times 0,99147 \times 2,5654^4}{4(2 + 0,25 \times 0,016989) \times 2438,4} = 271.2225041 \text{ daNm}$$

Denklem (5.77) ile demete etki eden toplam eğilme momenti;

$$M_b = \frac{A^*}{\rho} = \frac{4693828,78}{2438,4} = 1923.839499 \text{ daNm}$$

ν değerinin A^* değerinde küçük bir etkisi olduğu dikkat çekicidir.

Bu demetin $\rho=2438,4 \text{ mm}$ (8 ft.) yarıçaplı bir tambur üzerinde eğilmeğe maruz kalması ve $m_s=271.22 \text{ daNm}$ olması durumunda tel kesitlerinde meydana gelən maksimum gerilmeler;

Denklem (5.84) ile kesitteki maksimum gerilme;

$$_m \sigma_2 = \frac{4m_s}{\pi R_2^3} = \frac{4 \times 271.2225041}{\pi \times 2,5654^3} = 20.45363816 \text{ daN/mm}^2$$

Denklem (5.85) ile merkez teldeki maksimum eğilme gerilmesi;

$$_m \sigma_1 = \frac{ER_1}{\rho} = \frac{19650 \times 2,6162}{2438,4} = 21.0828125 \text{ daN/mm}^2$$

Denklem (5.81) ile maksimum kesme gerilmesi;

$$_H \sigma_2 = \frac{2 \times 271.2225041 \times 0,13034}{\pi \times 2,5654^3} = 1.332984717 \text{ daN/mm}^2$$

Bu demet $F= 4449.816 \text{ daN}$ değerinde yük altında kalsın ve $\tau_s=0$ (dönmeye engellenmiş) $\rho=2438,4 \text{ mm}$ yarıçaplı tambura sarılarak eğilmeye zorlansın. Yani demet hem eksenel yüklemeye hem de eğilmeye maruz kalsın. Bu durumda denklemlerimizin lineer olması nedeniyle ortaya çıkan sonuçlar orantılı yoluyla bu

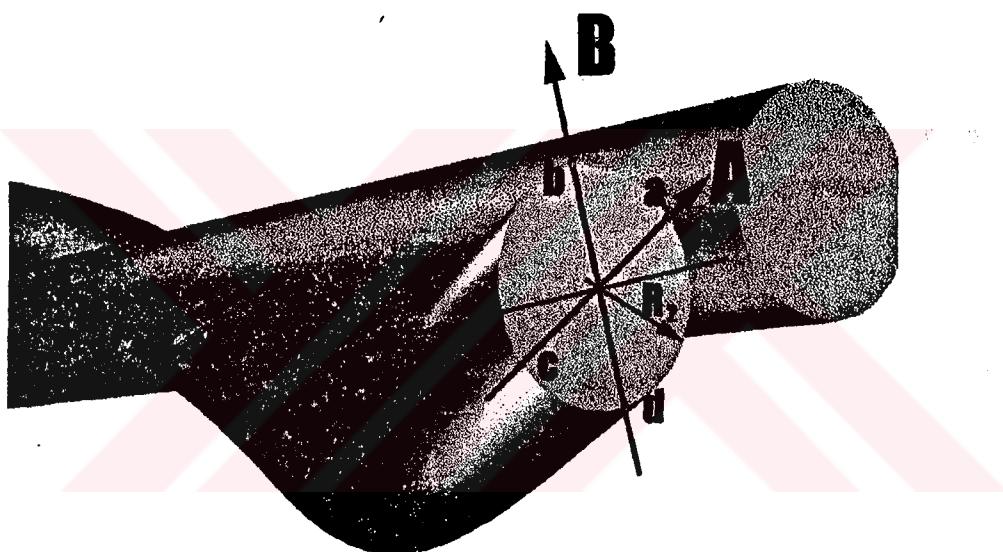
eksenel yük için kullanılabilir ve eksenel yükleme ile meydana gelecek burulma momenti şu orantıyla bulunabilir;

$$M_t = 4587,841083 \times \frac{4449,816}{8364,717748} = 2440.614169 \text{ daNm}$$

Denklem (5.86) ve (5.87) sayesinde birim boydaki çizgi yükü p ve birim boydaki burulma çifti q ;

$$p = \frac{4449,816}{2438,4} = 1.825475698 \text{ daN/mm}$$

$$q = \frac{2440,614169}{2438,4} = 0,039417661 \text{ daN/mm}$$



Şekil 7.4 Merkez tel etrafında dolanan dış teldeki eğilme gerilmesi hesap noktaları

Dış teldeki gerilmeler, değişik s değerleri için (s =tel boyunca geometrik yay uzunluğu) a, b, c ve d noktalarında hesaplanacaktır. Şekil 7.4 yüksüz durumda bu a, b, c ve d noktalarını göstermektedir. Noktalar dış telin kesit sınır çizgisi üzerindedir ve a noktası dış tel ile merkez tel temas noktasıdır. a noktası A ekseninin pozitif yönünde, b noktası da B ekseninin pozitif yönündedir. c noktası a noktasının aksi yönünde, d noktası da b noktasının aksi yönündedir. Gerilmeler, $s=0$, $s=\pi r_2/(2\cos\alpha_2)$, $s=\pi r_2/\cos\alpha_2$ ve $s=3\pi r_2/(2\cos\alpha_2)$ değerleri için bu a,b,c ve d noktalarında belirlenecektir ve s değerleri sırasıyla $\theta=0$, $\theta=\pi/2$, $\theta=\pi$, ve $\theta=3\pi/2$ değerlerine karşılık gelmektedir.

Gerilmeler sadece eksenel durumda herhangi bir s değeri için:

a noktasında; $\sigma = (57.700 + 1.0933) \times \frac{4449.816}{8364.7177} = 31.27695 \text{ daN/mm}^2$

b noktasında; $\sigma = 57.70074604 \times \frac{4449.816}{8364.717748} = 30.69532178 \text{ daN/mm}^2$

c noktasında; $\sigma = (57.7007 - 1.09333) \times \frac{4449.816}{8364.7177} = 30.1137 \text{ daN/mm}^2$

d noktasında; $\sigma = 57.70074604 \times \frac{4449.816}{8364.717748} = 30.69532178 \text{ daN/mm}^2$

Gerilmeler sadece eğilme durumunda:

s=0 için:

a noktasında; $\sigma = 0 \text{ daN/mm}^2$

b noktasında; $\sigma = -\frac{4m_s}{\pi R_2^3} = -\frac{4 \times 271.2225041}{\pi \times 2.5654^3} = -20.45363816 \text{ daN/mm}^2$

c noktasında; $\sigma = 0 \text{ daN/mm}^2$

d noktasında; $\sigma = 20.45363816 \text{ daN/mm}^2$

$s=\pi r_2/(2\cos\alpha_2)$ için:

a noktasında; $\sigma = -\frac{4m_s \sin \alpha_2}{\pi R_2^3} = -\frac{4 \times 271.222 \times 0,99147}{\pi \times 2.5654^3} = -20.27915 \text{ daN/mm}^2$

b noktasında; $\sigma = 0 \text{ daN/mm}^2$

c noktasında; $\sigma = 20.27914991 \text{ daN/mm}^2$

d noktasında; $\sigma = 0 \text{ daN/mm}^2$

$s=\pi r_2/\cos\alpha_2$ için:

a noktasında; $\sigma = 0 \text{ daN/mm}^2$

b noktasında; $\sigma = 20.45363816 \text{ daN/mm}^2$

c noktasında; $\sigma = 0 \text{ daN/mm}^2$

d noktasında; $\sigma = -20.45363816 \text{ daN/mm}^2$

$s=3\pi r_2/(2\cos\alpha_2)$ için:

a noktasında; $\sigma = 20.27914991 \text{ daN/mm}^2$

b noktasında; $\sigma = 0$ daN/mm²

c noktasında; $\sigma = -20.27914991$ daN/mm²

d noktasında; $\sigma = 0$ daN/mm²

Tablo 7.3 Dış teldeki pozisyonuna göre değişen toplam normal gerilmeler

s	θ	a	b	c	d
0	0	31.27695	10.24168	30.1137	51.14896
62.44521	$\pi/2$	10.9978	30.69532	50.39285	30.69532
124.8904	π	31.27695	51.14896	30.1137	10.24168
187.3356	$3\pi/2$	51.5561	30.69532	9.834548	30.69532

Tablo 7.3 bir dış teldeki toplam normal gerilimlerin değişik s değerleri ve buna karşılık gelen θ değeri için a, b, c ve d noktalarındaki değerlerini göstermektedir.

Merkez teldeki maksimum normal gerilim ise;

$$\sigma_1 = \sigma_1 + E \frac{d}{D} = 58.95 \times \frac{4449.816}{8364.717748} + \frac{19650 \times 2.6162}{2438.4} = 52.44271 \text{ daN/mm}^2$$

Tekrar merkez teldeki gerilimin bir dış teldeki maksimum çekme geriliminden daha büyük olduğunu görebiliriz.

Bir dış teldeki maksimum kesme gerilimi ise;

$${}_{H\sigma_2} = {}_H\sigma_2(\text{çekme}) + {}_H\sigma_2(\text{eğilme}) = 1.4447 \times \frac{4449.816}{8364.717} + 1.3329 = 2.101$$

Örnek 7.2

Şimdi bu demete bir tabaka daha ekleyelim ve bu demet şu değerlere sahip olsun;

$R_1=2,6162$ mm. (merkez tel yarıçapı)

$R_2=2,5654$ mm. (2. tabaka tellerinin yarıçapı)

$R_3=2,4384$ mm. (3. tabaka tellerinin yarıçapı)

$p_2=247,65$ mm. (2. tabaka tel helisinin hatve değeri)

$p_3=247,65$ mm. (3. tabaka tel helisinin hatve değeri)

$E=20684.27$ daN/mm² (Elastiklik Modülü)

$\nu=0,25$ (poisson katsayısı)

$m_2=6$ (2. tabaka tel sayısı) (bu tabaka sağ sarılmış)

$m_3=12$ (3. tabaka tel sayısı) (bu tabaka sol sarılmış)

Böylece demetin toplam yarıçapı;

$$R=2,6162 + 2 \times 2,5654 + 2 \times 2,4384 = 12.6238 \text{ mm}$$

Metalik Alan;

$$A=\pi[(2,6162)^2 + 6 \times (2,5654)^2 + 12 \times (2,4384)^2] = 369.7079646 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_2=82,51^\circ \text{ ve } \alpha_3=104,49^\circ$$

Önceki örnekte uygulanan yöntemler uygulandığında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır;

$$\frac{F}{AE} = 0,9274\varepsilon + 0,0967\beta$$

$$\frac{M_t}{ER^3} = -0,2208\varepsilon + 0,0758\beta$$

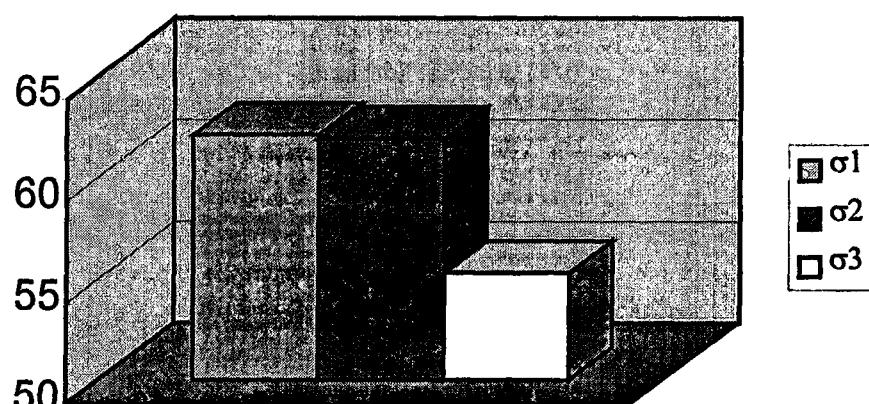
$\varepsilon=0,003$ ve $R\tau_s=\beta=0$ ise

GERİLİMLER;

$$\sigma_1 = 62.05281565 \text{ (daN/mm}^2)$$

$$\sigma_2 = 61.88868536 \text{ (daN/mm}^2)$$

$$\sigma_3 = 55.28487443 \text{ (daN/mm}^2)$$

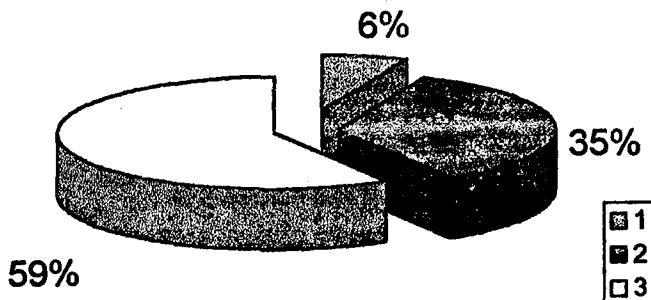


Şekil 7.5 3 tabakalı demete ait tabaka gerilim karşılaştırması

Şekil 7.5'de her tabakadaki eksenel gerilimler görülmektedir.

Toplam eksenel kuvvet ise;

$F=1334.299 + 7470.693 + 12420.313 = 21225.30554$ daN dur. Tellere göre yük dağılımı ise Şekil 7.6'da gösterilmektedir.



Şekil 7.6 3 tabakalı demette tabakalara ait yük dağılımı

Göründüğü gibi merkez tel yükün %6'sını, ikinci tabak telleri ise yükün %35'ini ve üçüncü tabaka ise yükün %59'unu taşımaktadır.

Demetteki burulma momenti $\varepsilon=0,003$ ve $\tau_s=0$ iken M_t ise;

$$\frac{M_t}{ER^3} = -0,2208\varepsilon + 0,0758\beta \text{ ile}$$

$$M_t = -20684.27 \times (12.6238)^3 \times 0,2208 \times 0,003 = -27428.99317 \text{ daNm}$$

M_t 'nin negatif olması dış tabakanın sol sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Örnek 7.3

Örnek 7.1'deki demeti gözönüne aldığımızda

$$R_1=2,6162 \text{ mm. (merkez tel yarıçapı)}$$

$$R_2=2,5654 \text{ mm. (dış tel yarıçapı)}$$

$$E=19650 \text{ daN/mm}^2 \text{ (Elastiklilik Modülü)}$$

$$\nu=0,25 \text{ (poisson katsayısı)}$$

$$\alpha_2=82,5106^\circ \text{ (dış tel helis açısı)}$$

$$F=8364,71 \text{ daN (eksenel yük)}$$

durumunda temas çizgi yükü X_2 ;

$$\frac{X_2}{ER_2} = -0,000077474$$

$$X_2 = -0,000077474 \times 19650 \times 2,5654 = -3,90566 \text{ daN/mm}$$

Denklem (5.102) ile;

$$X_c \sqrt{p_2^2 + (2\pi R_1)^2} = -X_2 \sqrt{p_2^2 + (2\pi(R_1 + R_2))^2}$$

$$X_c = 3,90566 \frac{\sqrt{(247,65)^2 + (2\pi \times 5,1816)^2}}{\sqrt{(247,65)^2 + (2\pi \times 2,6162)^2}} = 3,930616298 \text{ daN/mm}$$

Denklem (5.103) ile;

$$\rho_1 = \frac{R_1}{\sin^2 \alpha_2} = \frac{2,6162}{0,98301} = 2,661417483 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{4(1-\nu^2)}{\left[\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{R_2} \right] E} = \frac{4(1-0,25^2)}{\left(\frac{1}{2,6614} + \frac{1}{2,5654} \right) 19650} = 0,000149572 \text{ mm}^3/\text{daN}$$

$$b = \sqrt{\frac{2X_c \Delta}{\pi}} = \sqrt{\frac{2 \times 3,9306 \times 0,000149572}{\pi}} = 0,01934 \text{ mm.}$$

Kontak gerilimi σ_c

$$\sigma_c = -\frac{b}{\Delta} = -\frac{0,01934}{0,000149572} = -129,35 \text{ daN/mm}^2$$

Şuna dikkat edilmelidir ki bu gerilim F yükü ile 1/1 orantılı değildir. Eksenel yükün kareköküyle doğru orantılıdır. Eğer eksenel yük 5000 daN olsaydı;

$$\sigma_c = -\sqrt{\frac{5000}{8364,71}} \times 129,35 = 100 \text{ daN olurdu.}$$

Yukardaki gerilim malzemenin elastik kaldığı varsayımlı üzerine hesaplanmıştır.

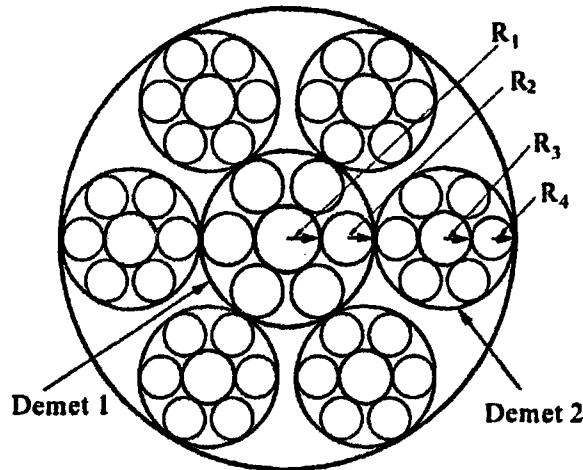
Örnek 7.3

Halatımız Şekil 7.7'de gösterilmektedir ve şu değerlere sahiptir;

$$R_1 = 0,8001 \text{ mm} ; R_2 = 0,734695 \text{ mm} ; R_3 = 0,704215 \text{ mm} ; R_4 = 0,655701 \text{ mm}$$

$$E = 20684,2719 \text{ daN/mm}^2; \nu = 0,29; p_2 = 33,02 \text{ mm}; p_4 = 54,356 \text{ mm} ;$$

$$p_2^* = 77.47 \text{ mm}; m_2 = 6; m_4 = 6; m_2^* = 6$$



Şekil 7.7 (IWRC) Bağımsız Tel Halat Çekirdeği

Şimdi demet 1 deki dış tellerin birbirlerine temas edip etmediğini kontrol edeceğiz;

Denklem (5.1) ile;

$$r_2 = R_1 + R_2 = 0,8001 + 0,734695 = 1,534795 \text{ mm}$$

Denklem (5.10) ile;

$$\tan \alpha_2 = \frac{P_2}{2\pi r_2} = \frac{33,02}{2\pi \times 1,534795} = 3.424103 \text{ buradan } \alpha_2 = 73.71970^\circ$$

\$\alpha_2\$'nin bu değeri ile Denklem (5.9);

$$r = R_2 \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{m_2} \right)}{\sin^2 \alpha_2}} = 0,7351 \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6} \right)}{0,921411337}} = 1,516 \text{ mm} < r_2 = 1,535 \text{ mm}$$

bu şartın gerçekleşmesiyle dış tellerin birbiri ile temas etmedikleri anlaşıılır.
Böylece

\$\alpha_2=73.71970^\circ\$ ve \$r_2=1,534795\$ mm olarak bulunur.

Denklem (5.50) ve (5.51) demet 1 için belirlenebilir ve prosedürümüz Bölüm 5 ile aynıdır. Sonuç olarak demet 1 için aşağıdaki sonuçlar elde edilir;

$$\frac{F}{AE} = 0.88655575\epsilon + 0.14350965\beta \quad (a)$$

$$\frac{M}{ER^3} = 0.3189384\epsilon + 0.11838099\beta \quad (b)$$

Demet 2 için ise;

$$\frac{F}{AE} = 0.9641777\epsilon + 0.08532588\beta \quad (c)$$

$$\frac{M}{ER^3} = 0.19282079\epsilon + 0.07215705\beta \quad (d)$$

Denklem 6.1 ile demet 2 için eğilme katılığı;

$$\begin{aligned} A_2^* &= 6 \frac{\pi ER_4^4}{4} \frac{2 \sin \alpha_4}{(2 + \nu \cos^2 \alpha_4)} + \frac{\pi ER_3^4}{4} = \\ &= \frac{6\pi \times 20684.2719 \times 0.655701^4 \times 2 \sin(81.06637831)}{4 \times (2 + 0.29 \cos^2 81.06637831)} + \\ &+ \frac{\pi \times 20684.2719 \times 0.704215^4}{4} = 21095.88615 \text{ daNm} \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Şuna deðinilmelidir ki demet 2 dış tellerinin birbirlerine temas etmedikleri ve demet 2'nin bulunduğu katmandaki demetlerin de birbirlerine temas etmedikleri kontrol edilmiştir.

Halat için $\epsilon = 0,0015$ ve $\tau=0$ olsun.

Denklem (6.9) ve (6.10);

$$0,0015 = \xi_2 + \frac{\Delta\alpha_2}{3.424103}$$

ve

$$0 = \frac{\xi_2}{3,424103} - \Delta\alpha_2 + \frac{0,29(0,8001 \times 0,0015 + 0,734695 \times \xi_2)}{(0,8001 + 0,734695) \times 3,424103}$$

bu iki denklemin çözümünden $\xi_2=0,001349572$ ve $\Delta\alpha_2=0,000515081$ olarak bulunur.

Denklem (6.5)'den (6.8)'e kadar;

$$\xi_1 = \xi_3 + \frac{\Delta\alpha_2^*}{\tan \alpha_2^*} = 0,0015 = \xi_3 + \frac{\Delta\alpha_2^*}{2.877345523}$$

$$\xi_3 = \xi_4 + \frac{\Delta\alpha_4}{6.361441506}$$

$$0 = \frac{\xi_3}{2.87734} - \Delta\alpha^*_2 + \\ + \frac{0.29}{4.285107} \frac{(0.8001 \times 0.0015 + 2 \times 0.7347 \times 0.00135 + 2 \times 0.656 \times \xi_4 + 0.704215 \times \xi_3)}{2.877345523}$$

ve

$$\frac{\xi_4}{6.3614415} - \Delta\alpha_4 + 0.29 \frac{(0.704215 \times \xi_3 + 0.655701 \times \xi_4)}{(0.704215 + 0.655701)6.361441506} = \\ = \frac{(0.704215 + 0.655701)}{4.285107} [(1 - 2 \sin^2 70.83548542) \times \Delta\alpha^*_2 + \\ + 0.29 \frac{(0.8001 \times 0.0015 + 2 \times 0.734695 \times 0.0013495 + 2 \times 0.655701 \xi_4 + 0.704215 \xi_3)}{4.285107} \\ \cdot \sin 70.84 \cos 70.84]$$

Üç bilinmeyenli bu üç denklemin çözümü ile:

$$\xi_3 = 0.001296564, \xi_4 = 0.001244863, \Delta\alpha_4 = 0.000328899 \text{ ve } \Delta\alpha^*_2 = 0.000585354$$

Denklem (6.8), $\Delta\tau^*_2$ için çözüldüğünde;

$$(R_3 + R_4)\Delta\tau^*_2 = \frac{\xi_4}{\tan\alpha_4} - \Delta\alpha_4 + \nu \frac{(R_3\xi_3 + R_4\xi_4)}{(R_3 + R_4)\tan\alpha_4} \\ = \frac{(R_3 + R_4)}{r^*_2} [(1 - 2 \sin^2 \alpha^*_2) \Delta\alpha^*_2 \\ + \nu \frac{(R_1\xi_1 + 2R_2\xi_2 + 2R_4\xi_4 + R_3\xi_3)}{r^*_2} \sin \alpha^*_2 \cos \alpha^*_2]$$

$$\Delta\tau^*_2 = -5.53266 \times 10^{-5} \text{ 1/mm olarak bulunur.}$$

Sonuç olarak demet 2 için β değeri;

$$\beta = (0.8001 + 2 \times 0.734695) \times -5.53266 \times 10^{-5} = -0.000125563$$

Demet 1 için metalik kesit alanı $A_1 = 12.18567389 \text{ mm}^2$ ve Demet 2 için metalik kesit alanı $A_2 = 9.66222448 \text{ mm}^2$ dir.

Eksenel kuvvet ve eksenel burulma momenti denklem (a) ve (b) tarafından hesaplanabilir;

$$F^*_1 = 20684.2719 \times 12.18567389 \times 0.88655575 \times 0.0015 = 335.1869478 \text{ daN}$$

ve

$$M^*_{12} = 20684.27(0.8001 + 0.734695)^3 \times 0.31888117 \times 0.0015 = 115.6706363 \text{ daNm}.$$

olarak bulunur.

Demet 2 için denklem (c) ve (d)'nin çözümlerinden;

$$T^*_2 = 20684.2719 \times 9.6622 (0.9642 \times 0.001296564 - 0.08532588 \times 0.00012556) \\ = 247.7025798 \text{ daN}$$

ve

$$H^*_2 = 20684.2719 \times (0.704215 + 2 \times 0.655701)^3 \times (0.1928 \times 0.0012965 - 0.07216 \times 0.000125563) = 40.81135218 \text{ daNm}$$

olarak bulunur.

Denklem (6.19) şimdi G'_2 'nin değerinin hesaplanması için kullanılabilir.

$$G'_2 = 21732.642 \left[0.29 \frac{\cos^2 70.84}{(4.2851)^2} (0.8001 \times 0.0015 + 2 \times 0.734695 \times 0.001349572 + \right. \\ \left. + 2 \times 0.655701 \times 0.001244863 + 0.704215 \times 0.001296564 \right. \\ \left. - \frac{2 \sin 70.84 \cos 70.84}{4.285107} 0.000585354 \right] = -1.629226754 \text{ daNm}$$

Denklem (6.14) ile N'_2 'bulunabilir;

$$N'_2 = 40.81135218 \frac{\cos^2 70.84}{4.285107} + 1.629226754 \frac{\sin 70.84 \cos 70.84}{4.285107} = 1.144288232 \text{ daN}$$

olarak bulunur.

T^*_2 , N'_2 , G'_2 ve H^*_2 biliniyorken, Denklem (6.15) ve (6.16) F^*_2 ve M^*_{12} değerlerinin bulunması için kullanılabilir. Sonuç olarak;

$$F^*_2 = 6(T^*_2 \sin \alpha^*_2 + N'_2 \cos \alpha^*_2) = 6(247.7025798 \times \sin 70.84 + 1.144288232 \times \cos 70.84) \\ = 1406.103115 \text{ daN}$$

ve

$$M^*_{12} = 6(H^*_2 \sin \alpha^*_2 + G'_2 \cos \alpha^*_2 + T^*_2 r^*_2 \cos \alpha^*_2 - N'_2 r^*_2 \sin \alpha^*_2) \\ = 6(40.8 \times \sin 70.84 - 1.63 \times \cos 70.84 + 247.71 \times 4.285 \times \cos 70.84 - 1.1443 \times 4.285 \times \sin 70.84) \\ = 2290.990814 \text{ daNm}$$

Denklem (6.17) ve (6.18) ile halata etki eden toplam eksenel yük ve burulma momenti;

$$F = F_{*1} + F_{*2} = 335.1869478 + 1406.103115 = 1741.290063 \text{ daN}$$

ve

$$M_t = M_{*1} + M_{*2} = 115.6706363 + 2290.990814 = 2406.66145 \text{ daNm}$$

Halatın toplam metalik kesit alanı Denklem (5.52) ile;

$$A = 70.15902077 \text{ mm}^2$$

Halatın yarıçapı;

$$R = 6.300724 \text{ mm}$$

$\beta = 0$ iken Denklem (5.50) ve (5.51) ile;

$$\frac{F}{AE} = C_1\varepsilon + C_2\beta \Rightarrow \frac{1741,29}{70,16 \times 20684.2719} = C_1 \times 0,0015 + C_2 \times 0$$

$$\frac{M}{ER^3} = C_3\varepsilon + C_4\beta \Rightarrow \frac{2406,66145}{20684.2719 \times 6.300724^3} = C_3 \times 0,0015 + C_4 \times 0$$

Buradan $C_1=0.79993759$ ve $C_3=0.3101074$ olarak bulunur.

Diğer C_2 ve C_4 katsayılarının bulunması için aynı prosedür uygulanmaktadır, $\varepsilon=0$ ve β için istenilen bir değer seçilir. Denklemlerin çözümünden;

$$\frac{F}{AE} = 0,798\varepsilon + 0,180\beta$$

$$\frac{M_t}{ER^3} = 0,309\varepsilon + 0,084\beta$$

olarak bulunur.

İşte bu örnek ile verilen halatın eksenel davranışını ile ilgili bağıntıyı bulduk. Bu bağıntı ile tespit edilen halat uzaması ve burulması ile halatın ne kadar eksenel bir kuvvette ve eksenel burulma momentine maruz kaldığını tespit edebiliriz. Halatlar için bu bağıntılar bazı bilgisayar programları tarafından hesaplanarak verilebilmektedir.

Şimdi bu halat için gerilim hesaplamalarımızı yapalım.

Eksenel yükümüzün 1741,29 daN olduğunu ve halatın dönmeye karşı sınırlandırılmış olduğunu ($\beta=0$) kabul edelim. Yukardaki hesabımızda bu eksenel

kuvvet değeri için eksenel uzama değerimiz $\xi_1=0,0015$ idi. Sonuç olarak merkez teldeki maksimum eksenel gerilim denklem (6.20) ile;

$$\sigma_1 = 20684.2719 \times 0,0015 = 31.0264 \text{ daN/mm}^2$$

$G'_2 * = A *_2 \Delta \kappa *_2$ iken eğrilikteki değişim;

$$\Delta \kappa *_2 = \frac{1.629478165}{21732.642} = 0.00007497837 \text{ mm}^{-1}$$

Sonuç olarak demet 2'nin merkez telindeki gerilim Denklem (6.21) ile;

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= E \xi_3 + E R_3 \Delta \kappa *_2 = 20684.27 \times 0.001296 + 20684.27 \times 0.704 \times 0.00007497 \\ &= 27.90846534 \text{ daN/mm}^2\end{aligned}$$

Tekrar demet 2' deki merkez tel eksenel geriliminin demet 1 merkez tel eksenel geriliminden daha az olduğunu görmekteyiz.

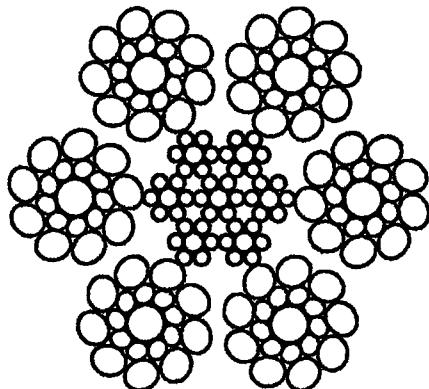
Halatın nominal gerilimi ile elde ettiğimiz gerilimin karşılaşılması oldukça ilginçtir. Nominal gerilim halata uygulanan eksenel kuvvetin halat kesitinin metalik alanına bölünmesidir ve;

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A} = \frac{1741.260744}{70.16541035} = 24.81651195 \text{ daN/mm}^2$$

Görmektedir ki nominal gerilim merkez telde hesaplanan gerilimden oldukça küçüktür.

Örnek 7.4

Aynı prosedürler 6 x 19 Seale halat için uygulandığında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu tip bir halat kesiti Şekil 7.8'de görülmektedir.



Şekil 7.8 6x19 Seale IWRC

Halat şu değerlere sahiptir:

$$R_1 = 0.80137 \text{ mm}; R_2 = 0.734695 \text{ mm}; R_3 = 0.704215 \text{ mm}; R_4 = 0.655701 \text{ mm}$$

$$R_5 = 1.455674 \text{ mm}; R_6 = 0.71247 \text{ mm}; R_7 = 1.268171 \text{ mm}$$

$$E = 20684.2719 \text{ daN/mm}^2; v = 0.29; \alpha_2 = 73,7069^\circ; \alpha_4 = 81,0664^\circ; \alpha_6 = 102,2670^\circ$$

$$\alpha_7 = 111,2312^\circ; \alpha_2^* = 70,8302^\circ; \alpha_3^* = 70,2389^\circ$$

Daha önceki teoriler sonucu elde edilen sonuçlar;

Demet 1 için:

$$\frac{F}{AE} = 0,8864\epsilon + 0,1436\beta \quad (a)$$
$$\frac{M}{ER^3} = 0,3189\epsilon + 0,1182\beta$$

Demet 2 için:

$$\frac{F}{AE} = 0,9642\epsilon + 0,0853\beta \quad (b)$$
$$\frac{M}{ER^3} = 0,1928\epsilon + 0,0721\beta$$

Demet 3 için:

$$\frac{F}{AE} = 0,8295\epsilon - 0,1765\beta \quad (c)$$
$$\frac{M}{ER^3} = -0,4240\epsilon + 0,1480\beta$$

Burada dikkat edilecek bir husus vardır; Demet 2 için C_1 değeri 0,9642 ve demet 3 için C_1 değeri daha küçük bir değer olan 0,8295 'tir. Bunun başlıca sebebi α_4 değerinin α_6 ve α_7 değerlerine nazaran 90° 'ye daha yakın olmasıdır ve sonuç olarak demet 2, demet 3'e nazaran daha rijiddir.

Daha önce uygulandığı gibi burada demet 1 ile demet 2 birlikte düşünüldüğünde şu bağıntılar ortaya çıkmaktadır;

$$\frac{F}{AE} = 0,7984 + 0,1799\beta \quad (d)$$

$$\frac{M}{ER^3} = 0,3092\epsilon + 0,0840\beta \quad (e)$$

C_1 değerinin 0,7984 değerine düşüğü görülmektedir.

(c) denkleminde negatif işaretinin nedeni demet 3'ün sol sarılımlı olmasıdır. Demet 1, 2 ve 3'ün birarada düşünülmesi ile yani tüm halat için elde edilen denklemler şe kildedir;

$$\frac{F}{AE} = 0,7020 + 0,1232\beta \quad (f)$$

$$\frac{M}{ER^3} = 0,2060\varepsilon + 0,0403\beta \quad (g)$$

Dikkat edilmelidir ki; C_1 değeri 0,702'ye düşmüştür.

Tellerin eksenel uzama değerlerinin karşılaştırılmasında ilginç sonuçlar ortaya çıkmaktadır; ($\varepsilon=0,0015$ ve $\beta=0$ için) $\xi_1=0,0015$, $\xi_2=0,00135$, $\xi_3=0,00130$, $\xi_4=0,0124$, $\xi_5=0,00129$, $\xi_6=0,00123$ ve $\xi_7=0,00111$. Bu göstermektedir ki dönme olmadığı durumda maksimum eksenel uzama merkez telde meydana gelmektedir. Ayrıca demetleri düşündüğümüzde halattaki eksenel yükün %3,78'ini demet 1; %13,74'ünü demet 2, %82,9'unu demet 3 taşımaktadır yani yaklaşık olarak IWRC (halat çekirdeği) yükün sadece %17'sini taşımaktadır [7].

Örnek 7.5

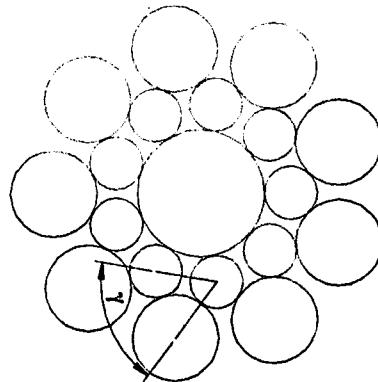
Bu örnekte Bölüm 6'da anlatılan halat denklemleri kullanılarak 6 x 19 Seale IWRC halatın her bir teline etki eden yük ve gerilimler tespit edilecek ve bu halat için $(\sigma_{nom}D/Ed) - (\sigma_{maks}/\sigma_{nom})$ diyagramı çizilecektir.

Halata ait geometrik veriler Tablo 7.4'de verilmiştir. Tablo 7.5'de halatın geometrik katsayıları bulunmaktadır.

Tablo 7.4 6x19 SEALE IWRC için geometric veriler

6x19 SEALE IWRC	DEMET VERİLERİ			TEL VERİLERİ			
	Halat Tabaka Sayısı	Halattaki Demet Sayısı	Hellis Açısı	Tel Tabaka Sayısı	Demeteki Tel Sayısı	Hellis Açısı	Yarıçap
	s	m _s	α_s	i	m _d	α_d	R _d (mm)
1	1	1	90°	1	1	90°	0.343
				2	6	83.5°	0.305
2	2	6	82.8°	1	1	90°	0.292
				2	6	84.4°	0.267
3	3	6	109.7°	1	1	90°	0.7642
				2	9	80°	0.3184
				3	9	73.96°	0.5165

Verilen halat için $\gamma = 63.6732^\circ$ dir. Gama değeri Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9 SEALE halat için gama geometrik açı

Geometrik katsayılar:

Tablo 7.5 Halata ait geometric katsayılar

η_{111}	0
η_{121}	1
η_{122}	1
η_{211}	0
η_{221}	1
η_{222}	1
η_{311}	0
η_{321}	1
η_{322}	1
η_{331}	$\cos(\pi/m_{32})$
η_{332}	$\cos(\pi/m_{32}) + \sin(\gamma)$
η_{333}	$\sin(\gamma)$

Tablo 7.5'deki katsayılar halatın geometrik katsayılarıdır. Örneğin;

$$r_{si} = \sum_{j=1}^i \eta_{sij} R_{sj}$$

formülünü demetteki telin helis yarıçapını bulmak için kullanacağız. Geometrik olarak halatımızın 3. demet tabakasındaki demetlerin 3. tabaka tel tabakasındaki tellerin helis yarı çapını yaklaşık olarak;

$r_{33} = (R_{31} + R_{32})\cos \frac{\pi}{m_{32}} + (R_{32} + R_{33})\sin \gamma$ formülü ile buluruz. η_{sij} katsayıları da bu bağıntıdan çıkartılmıştır. [13]

Halat malzemesi değerleri;

$$E = 20700 \text{ daN/mm}^2, \nu = 0.29$$

Gemoetrik verilerin Denklem (6.37)'de kullanılmasıyla tel helis yarıçaplarıımız Tablo 7.6 ile;

Tablo 7.6 Hesaplanan tel helis yarı çapları

si	r_{si} (mm)
11	0
12	0.648
21	0
22	0.559
31	0
32	1.0826
33	1.76561

Halatın ε (eksenel uzama) değerini hesaplama için $\varepsilon=0,001$ alacağız ve halatımızın dönmeye sınırlanmış olduğunu kabul edeceğiz. Nitekim bu tip halatlar asansör gibi kullanım alanlarında tabii ki dönmeye sınırlanmış olmaktadır. Dönmeye sınırlanmış olması halatın birim boyda burulma değerinin $\tau=0$ olması anlamına gelmektedir. Formüllerimizde halat için bu değeri 0 olarak kullanacağız.

Başlangıçta halatın merkez demeti göz önüne alınacaktır. Bu demet iki tabakalıdır ve Şekil 7.1'de gösterildiği gibidir.

$s=1$ nolu demet daha önce gerçekleştirdiğimiz Örnek 7.1'deki prosedür ile de çözülebilir. Bu prosedürde $R_1=R_{11}$ ve $R_2=R_{12}$ değerini alacaktır.

Halatımız için eksenel uzama değeri $\varepsilon=0,001$ iken tabii ki halatın merkez teli de halat ile eşit uzama yapacağından $\varepsilon_{11}=\varepsilon=\varepsilon_1=0,001$ olacaktır.

$R_{11}=0,343$ mm ve $R_{12}=0,305$ mm, $m_{12}=6$, $\alpha_{12}=83,5^\circ$ iken;

Örnek 7.1'deki prosedür ile;

$$\varepsilon_{11} = 1000 \times 10^{-6}; \varepsilon_{12} = 983.4976 \times 10^{-6} \text{ eksenel uzamaları,}$$

$$\Delta\tau_{11} = 0; \Delta\tau_{12} = -0.16784 \text{ birim boydaki burulma değişim değerleri,}$$

$$\Delta\kappa'_{11} = 0; \Delta\kappa'_{12} = -0.04459 \text{ binormal eğrilik değişim değerleri bulunmaktadır.}$$

Denklem (6.31) ile T_{11} ve T_{12} eksenel kuvvet değerleri;

$$T_{11} = 0.076508 \text{ kN, } T_{12} = 0.059497 \text{ kN olarak bulunur.}$$

Denklem (6.32) ile G'_{11} ve G'_{12} tel kesitinin y ekseni yönündeki eğilme momenti değerleri;

$$G'_{11} = 0; G'_{12} = -0.062733434 \text{ Nmm olarak bulunur.}$$

Denklem (6.33) ile H_{11} ve H_{12} burulma momentleri;

$$H_{11} = 0; H_{12} = -0.18305 \text{ Nmm} \text{ olarak bulunur.}$$

Denklem (6.28) ve (6.29) $X = N'\tau - Tk'$; $N' = -G'\tau + Hk'$ ile X_{11} ve X_{12} birim boydaki temas yükleri ve N'_{11} ve N'_{12} tel kesitindeki y ekseni yönündeki kesme kuvveti değerleri; $X_{11} = 0$; $X_{12} = -1.175356883 \text{ N/mm}$; $N'_{11} = 0$; $N'_{12} = 0.007269 \text{ N}$ olarak bulunmaktadır.

Demetin elimizdeki değerler karşısında maruz kaldığı topiam eksenel yük T_1 ise denklem (6.40) ile $T_1 = 0.431199 \text{ kN}$ olarak bulunur. Denklemdeki I_s parametresi demetteki tel demet sayısıdır ve bu bu demet için $I_s = 2$ 'dir.

Demete ait H_1 değeri denklem (6.41) ile $H_1 = 25.0246 \text{ Nmm}$ dir.

G'_1 değeri denklem (6.42) ile $G'_1 = 0$ dir. Çünkü sadece demeti düşündüğümüz zaman eksenel durumda herhangi bir eğilme momentine maruz kalmamaktadır, nitekim binormal eğrilik değişimi demet için 0'dır. Çünkü bu demet halat içinde helis şeklinde değildir, düzdür.

Tekrar Denklem (6.28) ve (6.29)'un kullanımı ile demete ait X_1 ve N'_1 değerleri bulunabilir. Bunlar;

$$X_1 = 0; N_1 = 0' \text{ dir.}$$

Şimdi halatımızın 2. tabaka demet değerleri bulunacaktır.

$R_{21}=0.292 \text{ mm}$ ve $R_{22}=0.267 \text{ mm}$; $\alpha_2=82.8^\circ$, $\alpha_{21}=90^\circ$, $\alpha_{22}=84.4^\circ$ ve $s=1$ nolu demet için bulunan değerler kullanılarak;

$$\varepsilon_2 = 979.7789 \times 10^{-6}; \varepsilon_{21} = 979.7789 \times 10^{-6}; \varepsilon_{22} = 964.1229 \times 10^{-6} \text{ eksenel uzamaları,}$$

$\Delta\tau_2 = -0.06707$; $\Delta\tau_{21} = -0.06707$; $\Delta\tau_{22} = -0.23121$ birim boydaki burulma değişim değerleri,

$\Delta\kappa'_2 = -0.019839364$; $\Delta\kappa'_{21} = 0$; $\Delta\kappa'_{22} = -0.050677566$ binormal eğrilik değişim değerleri bulunmaktadır.

Bir önceki demet için uygulanan prosedür ile;

$$T_{21} = 0.054327; T_{22} = 0.044697 \text{ kN}$$

$$G'_{21} = 0; G'_{22} = -0.041871741 \text{ Nmm}$$

$$H_{21} = -0.06145; H_{22} = -0.14809 \text{ Nmm}$$

$$N'_{21} = 0; N'_{22} = 0.004752 \text{ N}$$

$$X_{21} = 0; X_{22} = -0.760570787 \text{ N/mm}$$

Bu değerler ile s=2 nolu demet için;

$$T_2 = 0.324009 \text{ kN}; G'_2 = -0.121196612 \text{ Nmm}; H_2 = 13.64278 \text{ Nmm}; N'_2 = 0.1289 \text{ N}$$

$$X_2 = -2.851960733 \text{ N/mm} \text{ olarak bulunur.}$$

Yanlız, 3 nolu demetin ε_3 , $\Delta\tau_3$ ve $\Delta\kappa'_3$ değerlerinin tespit edilmesi için demetleri 3 tabakalı yeni bir demet oluşturacak şekilde düşüneceğiz.

Yaklaşımımız ile 3 tabaka telli bir demet oluşturmaktadır. Bu demette R_1 halatımızın s=1 nolu tabakasındaki demet yarıçapı, R_2 s=2 nolu demet tabakasındaki demet yarı çapı, R_3 ise s=3 nolu demet tabakasındaki demet yarıçapıdır. Bu demette R_1 yarıçaplı tel (artık tel olarak düşünüyoruz) yukarıda bulduğumuz ε_1 , $\Delta\tau_1$ ve $\Delta\kappa'_1$ değerlere; R_2 yarı çaplı tel ε_2 , $\Delta\tau_2$ ve $\Delta\kappa'_2$ değerlere sahiptir. ε_3 , $\Delta\tau_3$ ve $\Delta\kappa'_3$ değerlerni henüz bilmiyoruz. Bunları bulmak için daha önce 3 tabakalı demet için kullandığımız prosedürü kullanacağız. Bu prosedürün kullanılması ile;

$$\varepsilon_3 = 855.8565 \times 10^{-6}, \Delta\tau_3 = 0.04622 \text{ ve } \Delta\kappa'_3 = -0.046043062 \text{ değerlerini elde etmektedir.}$$

Artık s=3 nolu demet tabakasındaki demet telleri için bu değerleri bulabiliyoruz.

Bunların bulunması için oluşturduğumuz Denklem (6.39)'u kullanacağız.

$$\begin{bmatrix} 1 & \cot \alpha_{si} & -1 \\ \cot \alpha_{si} & 1 & \cot \alpha_{si} \\ v\eta_{ssi}(R_{si}/r_{si})\cot^2 \alpha_{si} & -2\cot \alpha_{si} & (1-\cot^2 \alpha_{si}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{si} \\ r_{si}\Delta\tau_{si} \\ r_{si}\Delta\kappa'_{si} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_s \\ r_{si}\Delta\tau_s \\ (\cot^2 \alpha_{si}/r_{si})\Delta r_{si}^p \end{Bmatrix}$$

Elimizdeki bu denklem sisteminin çözülmesinde ihtiyacımız olacak Δr_{si}^p değerini öncelikle bulmamız gerekektir. Denklemi s,i=3,1; s,i=3,2; s,i=3,3 için çözmemiz gerekecektir. Böylece ihtiyacımız olan Δr_{31}^p , Δr_{32}^p ve Δr_{33}^p değerlerini Denklem (6.38b) ile çözebiliriz.

s,i = 3,1 için:

$$\alpha_{31}=90^\circ; v=0.29; \eta_{311}=0; R_{31}=0.7642 \text{ mm}; r_{31}=0 \text{ mm}$$

$\varepsilon_3 = 855.8565 \times 10^{-6}$, $\Delta\tau_3 = 0.04622$ ve $\Delta\kappa'_3 = -0.046043062$; $\Delta r_{31}^p=0$ değerleri için denklemimizin çözümünde;

$$\varepsilon_{31}=855.8565 \times 10^{-6}, \Delta\tau_{31} = 0.04622 \text{ ve } \Delta\kappa'_{31} = 0 \text{ olarak bulunur.}$$

s,i = 3,2 için:

$$\alpha_{32}=80^\circ; v=0.29; \eta_{322}=1; R_{32}=0.3184 \text{ mm}; r_{32}=1.0826 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_3 = 855.8565 \times 10^{-6}, \Delta\tau_3 = 0.04622 \text{ m}^{-1} \text{ ve } \Delta\kappa'_3 = -0.046043062 \text{ m}^{-1}$$

$\Delta\tau_{32}^P = -0.00018967321$ değerleri için denklemimizin çözümünde;

$\varepsilon_{32} = 831.1852 \times 10^{-6}, \Delta\tau_{32} = -0.08257 \text{ m}^{-1} \text{ ve } \Delta\kappa'_{32} = -0.037349012 \text{ m}^{-1}$ olarak bulunur.

s,i = 3,3 için:

$$\alpha_{33} = 73.95^\circ; v = 0.29; \eta_{333} = 0.896279087; R_{33} = 0.5165 \text{ mm}; r_{33} = 1.76561464 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_3 = 855.8565 \times 10^{-6}, \Delta\tau_3 = 0.04622 \text{ m}^{-1} \text{ ve } \Delta\kappa'_3 = -0.046043062 \text{ m}^{-1}$$

$$\Delta\tau_{33}^P = -0.000319142$$

değerleri için denklemimizin çözümünde;

$\varepsilon_{33} = 793.7436 \times 10^{-6}, \Delta\tau_{33} = -0.06737 \text{ m}^{-1} \text{ ve } \Delta\kappa'_{33} = -0.054553998 \text{ m}^{-1}$ olarak bulunur.

s=3 nolu demet için;

$$T_{31} = 0.325039 \text{ kN}; T_{32} = 0.054798 \text{ kN}; T_{33} = 0.137702 \text{ kN}$$

$$G'_{31} = 0 \text{ Nmm}; G'_{32} = -0.062406752 \text{ Nmm}; G'_{33} = -0.631201637 \text{ Nmm}$$

$$H_{31} = 1.9866 \text{ Nmm}; H_{32} = -0.10696 \text{ Nmm}; H_{33} = -0.60429 \text{ Nmm}$$

$$N'_{31} = 0 \text{ N}; N'_{32} = 0.006879 \text{ N}; N'_{33} = 0.068812 \text{ N}$$

$$X_{31} = 0 \text{ N/mm}; X_{32} = -1.525201779 \text{ N/mm}; X_{33} = -5.946702024 \text{ N/mm}$$

$$T_3 = 2.183687 \text{ kN}; G'_3 = -7.789263 \text{ Nmm}; H_3 = 690.4869 \text{ Nmm}; N'_3 = 15.54909 \text{ N}$$

$$X_3 = -51.78396107 \text{ N/mm}$$

olarak bulunmaktadır. Denklem (6.47) ile tüm halata etki eden toplam eksenel kuvvet değeri T;

$$T = 14.66384 \text{ kN}$$

Bulunan bu değerler halatın sadece eksenel durumu içindir.

Halatın nominal gerilimi $\sigma_{nom} = \frac{T}{A}$ denklemi ile bulunur. A halat kesitinin metalsel alanıdır ve Denklem (6.53) ile $A = 85.25635 \text{ mm}^2$ olarak bulunur. $T = 14.66384 \text{ kN}$ olduğuna göre

$$\sigma_{nom} = 171.997 \text{ N/mm}^2$$

$$Z_{si}^T \equiv \frac{\sigma_{si}^T}{\sigma_{nom}}$$

bağıntısı ile düz halat faktörünü bulacağz fakat öncelikle Denklem (6.52) ile σ_{si}^T değerini bulmamız gerekmektedir. Bu denklem ile hesaplanan σ_{si}^T değerleri;

$$\sigma_{11}^T = 207 \text{ N/mm}^2; \sigma_{12}^T = 206.4 \text{ N/mm}^2; \sigma_{21}^T = 202,93 \text{ N/mm}^2; \sigma_{22}^T = 202,48 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{31}^T = 177,890 \text{ N/mm}^2; \sigma_{32}^T = 174,814 \text{ N/mm}^2; \sigma_{33}^T = 170,605 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunur ve bu değerlerle Z_{si}^T değerleri;

$$Z_{11}^T = 1,203; Z_{12}^T = 1,20; Z_{21}^T = 1,179; Z_{22}^T = 1,177; Z_{31}^T = 1,034$$

$$Z_{32}^T = 1,0163; Z_{33}^T = 0,9919$$

olarak tespit edilir.

Denklem (6.57) ile hesaplanan eğilme faktörleri;

$$Z_{11}^B = 0.047843; Z_{12}^B = 0.042191; Z_{21}^B = 0.040317; Z_{22}^B = 0.036638; Z_{31}^B = 0.098729$$

$$Z_{32}^B = 0.040334; Z_{33}^B = 0.063426$$

olarak bulunur. Verilen halat için elde edilen tüm değerler Tablo 7.7'de verilmiştir. verilmiştir.

Denklem (6.56) $\frac{\sigma_{si}}{\sigma_{nom}} = Z_{si}^T + Z_{si}^B \left(\frac{D}{d} \cdot \frac{\sigma_{nom}}{E} \right)^{-1}$ ile halatın her bir teli için $(D/d) \cdot \sigma_{nom}/E$ parametresine bağlı olarak maksimum tel gerilimini veren diyagramları çizebiliriz. Elde edilen diyagramlar EKLER Bölümünde Şekil 7.10, 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15, 7.16'da gösterilmiştir.

Tablo 7.7 6x19 Seale IWRC Halatın 0,001 eksenel uzaması için halat, demet ve tel uzamaları ve yükleri (Burulma =0)

s	i	$\xi \times 10^{-6}$	$\Delta r_1 (\text{m}^{-1})$	$\Delta \kappa'_1 (\text{m}^{-1})$	T (kN)	G' (Nm)	H (Nm)	N' (N)	X (N/mm)	Z_{si}^T	Z_{si}^B
1	Demet	1000	0	0	0.431	0	25.0	0	0	—	—
	1	1000	0	0	0.077	0	0	0	0	1,203	0.0478434
2	Demet	983	-0.168	-0.045	0.059	-0.063	-0.18	0.0073	-1.18	1,20	0.0421911
	2	980	-0.067	-0.020	0.324	-0.12	13.64	0.129	-2.85	—	—
2	1	980	-0.067	0	0.054	0	-0.06	0	0	1,179	0.0403166
	2	964	-0.231	-0.051	0.045	-0.042	-0.15	0.0048	-0.76	1,177	0.03666383
3	Demet	856	0.0462	-0.046	2.19	-7.79	690.5	15.55	-51.78	—	—
	1	856	0.0462	0	0.325	0	1.99	0	0	1,034	0.0987288
3	2	831	-0.0826	-0.037	0.055	-0.0624	-0.107	0.0069	-1.53	1,0163	0.0403336
	3	794	-0.0674	-0.055	0.138	-0.631	-0.604	0.069	-5.95	0.9919	0.0634264
HALAT											

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada bağımsız tel halat özlü (IWRC) halatlar için denge denklemleri oluşturulmuş, halatın eksenel davranış denklemleri ortaya çıkarılmış, halat tellerine ait ve halat demetlerine ait tüm yükler bulunmuş, ve halat tellerine ait ortaya çıkan maksimum çekme gerilmeleri halatın eksenel yükleme ve eğilmeye maruz durumu için ortaya çıkartılmıştır.

Eksenel yükle maruz halatın bir tambur etrafında eğilmeye zorlamasından dolayı ortaya çıkan tel gerilimlerinin $(D/d)\sigma_{nom}/E$ ile bağıntısı çıkarılarak $(D/d)\sigma_{nom}/E - \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramları çizilmiştir.

Önerilen D/d oranı halat çapı, halat konstrüksyonu ve uygulama alanına bağlı olarak 60 ile 100 değerleri arasındadır [16] ve $\sigma_{nominal}$ tipik olarak genel emniyet faktörü uygulanmış çelik bir halat için $0,003E$ 'dir. Sonuç olarak $(D/d)\sigma_{nom}/E$ değerinin maksimum değeri 0,3'tür ve çizilen grafikler bu değere göre çizilmiştir.

$(D/d)\sigma_{nom}/E$ parametresinin büyük değerleri için halatın merkez teli en büyük gerilmeye maruz kalmaktadır. D/d oranının büyük değerleri için bu yaklaşık $1,5 \times \sigma_{nominal}$ 'dır. $(D/d)\sigma_{nom}/E$ parametresinin 0,1'den küçük değerlerinde ise seale demetin merkez teli en büyük gerilime maruz kalmaktadır. Buradaki gerilim ise yaklaşık nominal gerilimin 2 veya 3 katıdır. Bu eğriler başka tip halatlar içinde çizilebilmektedir.

Bu eğri sayesinde halata etki eden yükü, halat çapını, halat kesit alanını, halat malzemesinin elastisite modülünü ve halatın sarıldığı tanbur ya da makara çapını bildiğimiz takdirde halat içindeki herhangi bir teldeki maksimum çekme gerilmesini bulabilmekteyiz.

Bulunan sonuçlar benzer konstrüksyona sahip fakat farklı çap değerlerdeki halat için oranlanabilemektedir. Kuvvet, halat çapının karesiyle moment ise küpü ile orantılıdır.

Yapılan hesaplamlarda sürtünme ve kontakt gerilimleri ihmal edilmiştir. Bu yüzden bu değerlere yakın olabilmesi için çok iyi yağlanmış bir halat kullanılmalıdır. Aksi takdirde gerilmeler daha yüksek olacaktır.

KAYNAKLAR

A) Kitap ve Kitap Bölümleri için gösterim

- [1] Costello, George A., 1997. *Theory of Wire Rope*, Springer-Verlag New York Inc., ISBN 0-387-98202-7 Mechanical Engineering Series
- [2] Love, A.E.H. *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*, New York: Dover Publications, 1944, Chaps. 18 and 19
- [3] Boresi, A.P. and Sidebottom, O.M. *Advanced Mechanics of Materials*, New York John Wiley and Sons, 1985, Chap. 14.
- [4] Eisenhart, L.P. *An Introduction to Differential Geometry*, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1940, pp 25-27
- [5] İmrak, Doç.Dr C.Erdem, Asansör Halatlarının Yapıları, Ders notları

B) Tezler için Gösterim

- [6] Eğilmez Sarp, Tel Halatlar, Lisans Bitirme Tezi, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Transport Tekniği
- [7] Velinsky, S.A., Analysis of Wire Ropes with Complex Cross-Sections, Thesis (Degree of Doctor of Philosophy in Theoretical and Applied Mechanics in the Graduate Collage of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 1981)
- [8] Yoo, Jeong Wahn, Axial and Torsional Analysis of Wire Ropes, MSD Thesis in The Ohio State University, Graduate Program in Civil Engineering, 1998

B) Süreli Dergilerdeki Makaleler için gösterim

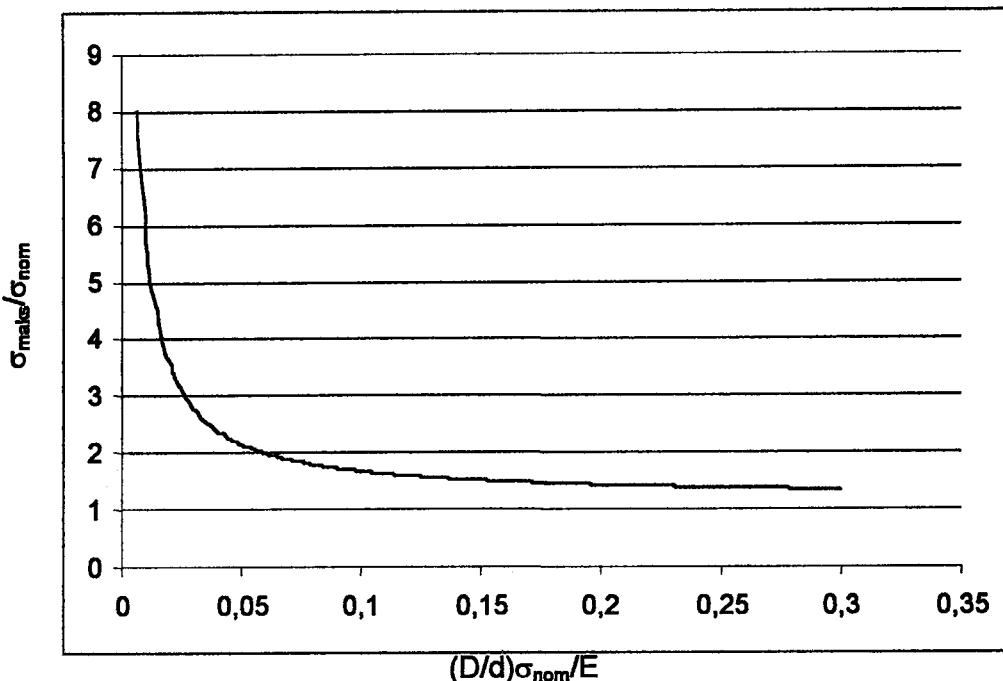
- [9] Costello, George A. and Butson, G.J. A simplified bending theory for wire rope, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, 103, (EM2, Proc. Paper 16984), 219-227, 1982
- [10] Costello, George A., Stresses in multilayered cables, *Journal of Energy Resources Technology, Trans. the ASME*, 105, 337-340, 1983

- [11] Costello, George A. and Miller, R.E. Lay effect of wire rope, *Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE*, 105 (No. EM4, Paper 14753), 597-608, 1979
- [12] Phillips J.W. and Costello G.A., Analysis of Wire Ropes With Internal Wire Rope Cores, *Journal of Applied Mechanics, Transactions of ASME*, Vol.52, September 1985 pp510-516
- [13] Velinsky S.A. Analysis of Fiber-Core Wire Rope *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of ASME*, Vol.107 September 1985, pp.389
- [14] Costello G.A., "Large Deflections of Helical Springs Due to Bending" *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE* , Vol.103, 1977, pp.481-487
- [15] McConnell, K.G., and Zemke, W.P., The Measurement of Flexural Stiffness of Multistranded Electrical Conductors while under Tension, *Experimental Mechanics*, Vol.20 1980 pp.237-244
- [16] Code of Federal Regulations, U.S. Government Printing Office, Washington, Vol. 30 (Mineral Resources), 1980, Article 57.19-39.

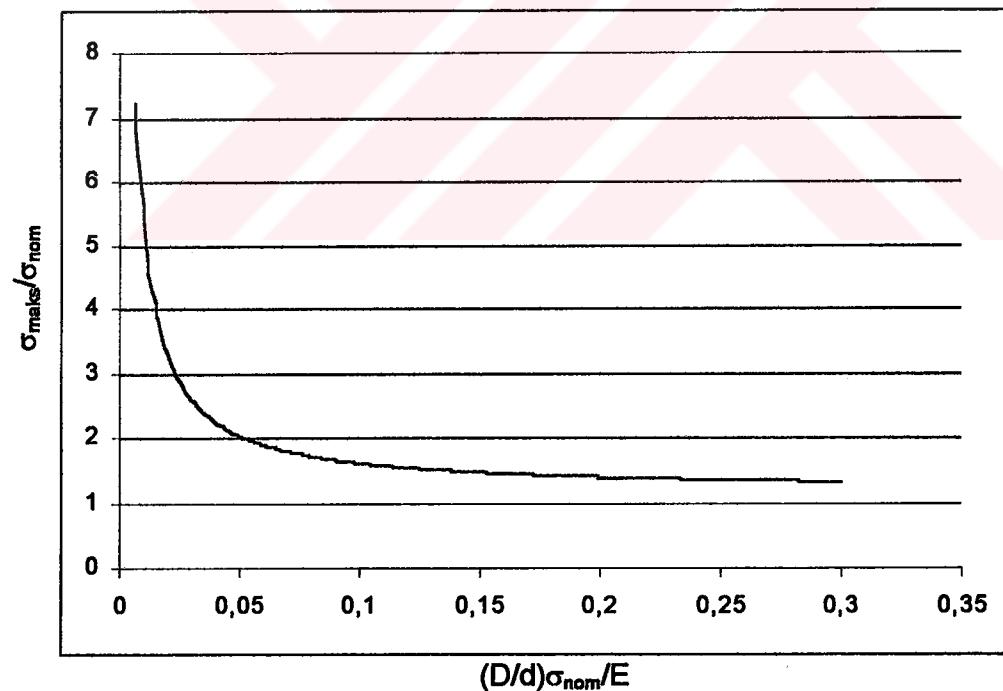
B) Katalog için gösterim

- [17] Çelik Halat ve Tel Sanayii A.Ş., Ürün Kataloğu

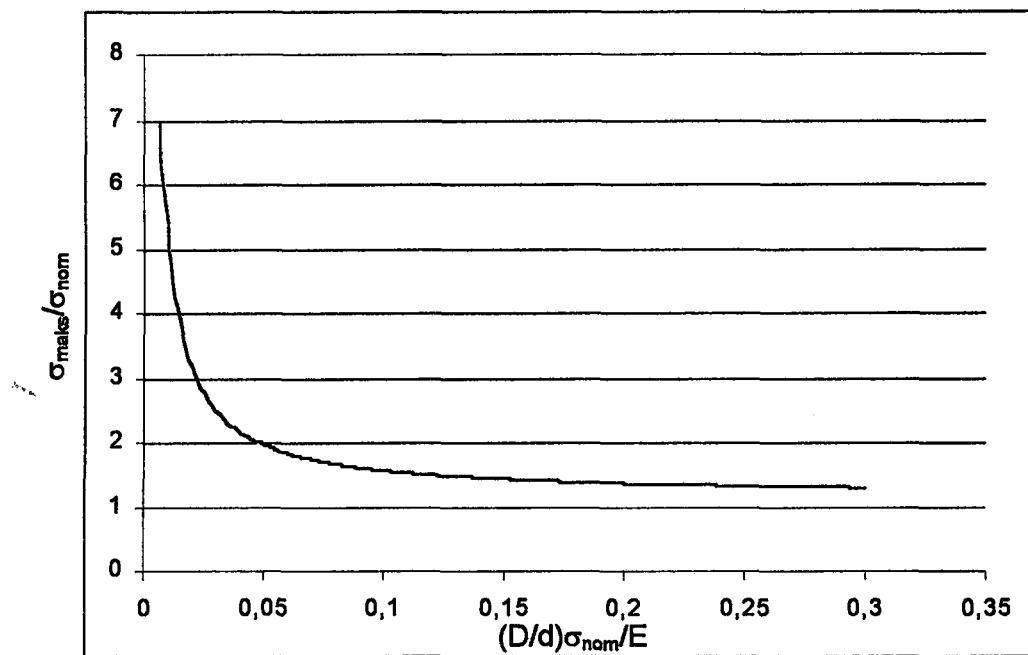
EKLER



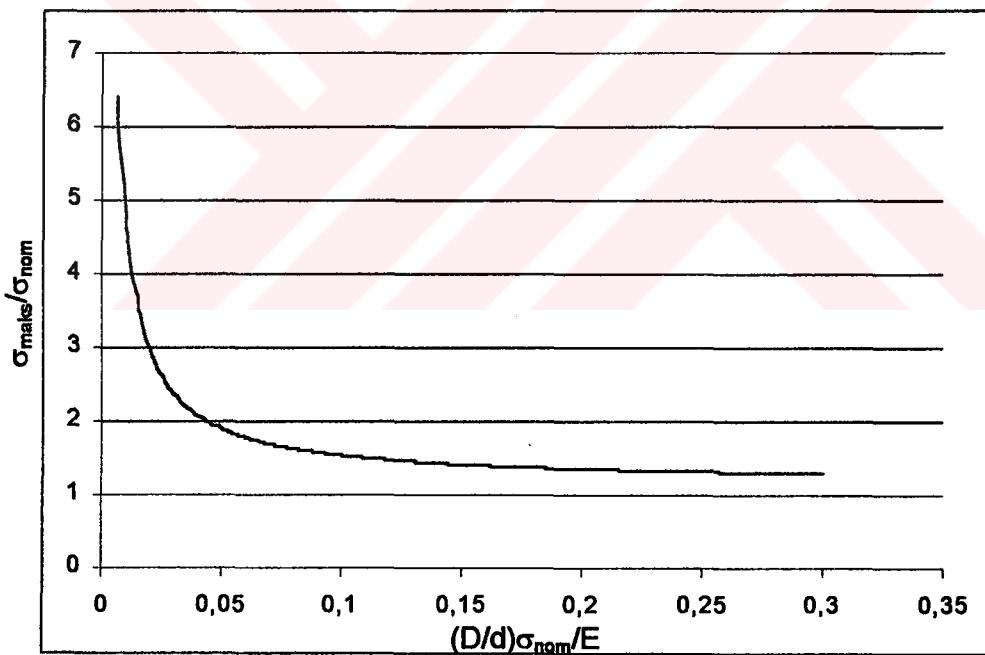
Şekil 7.10 $s = 1$, $i = 1$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E — \sigma_{\text{maks}}/\sigma_{\text{nom}}$ diyagramı



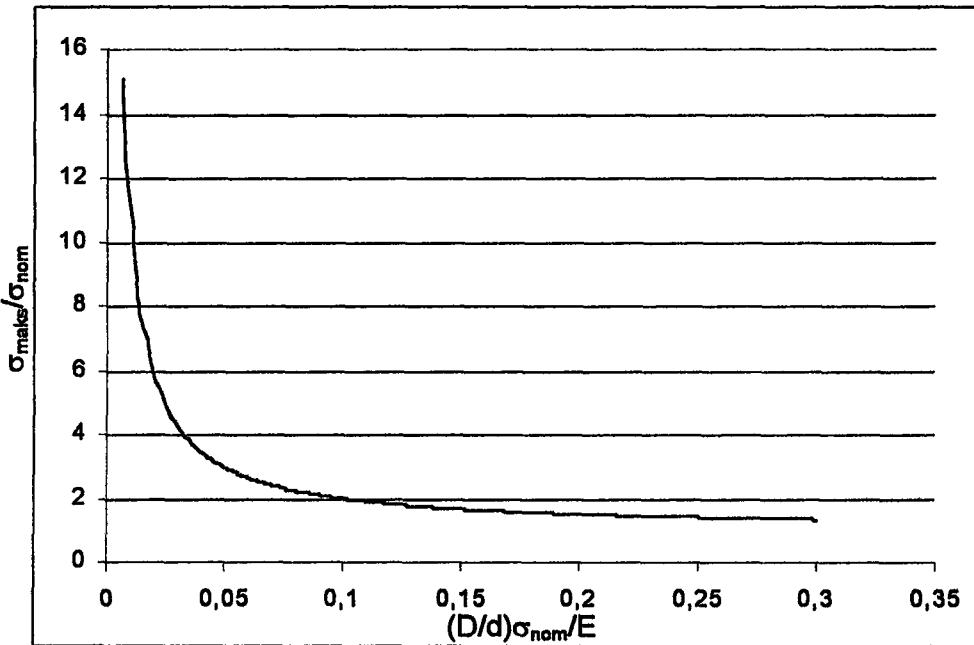
Şekil 7.11 $s = 1$, $i = 2$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E — \sigma_{\text{maks}}/\sigma_{\text{nom}}$ diyagramı



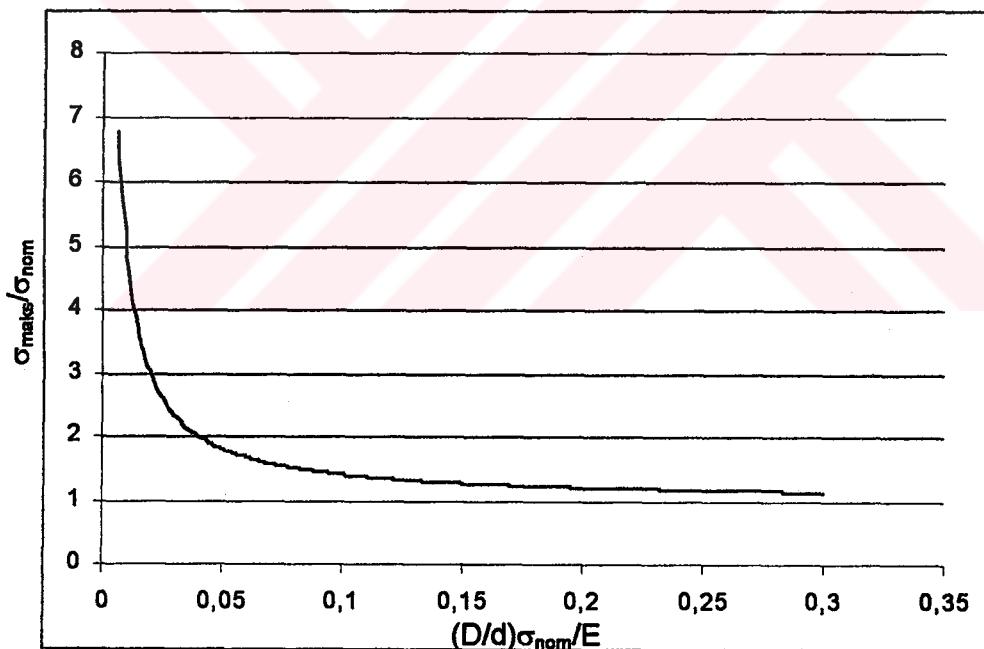
Şekil 7.12 $s = 2$, $i = 1$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E — \sigma_{\text{maks}}/\sigma_{\text{nom}}$ diyagramı



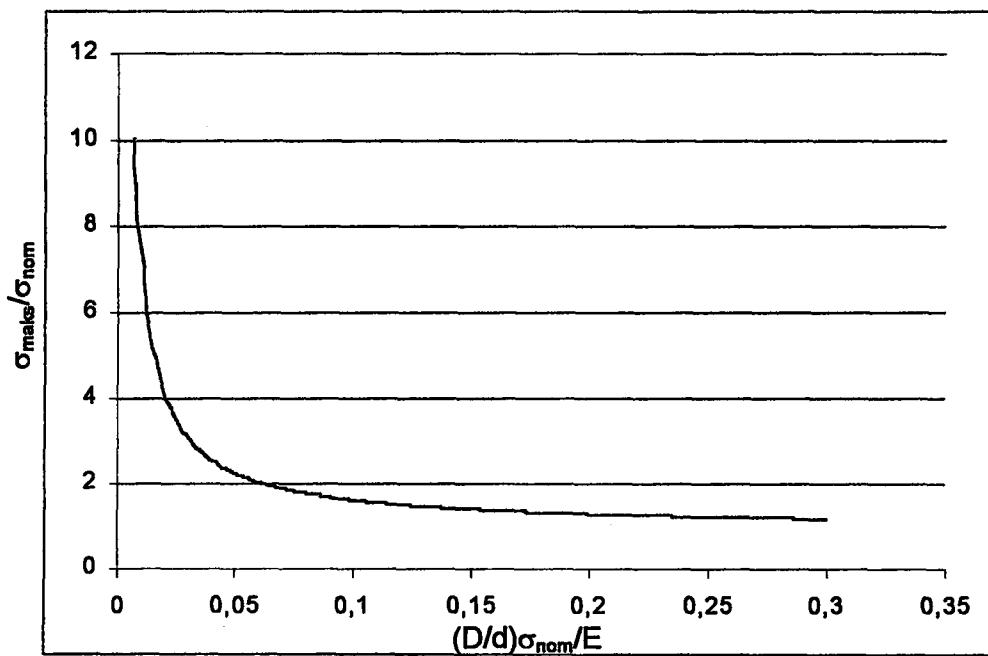
Şekil 7.13 $s = 2$, $i = 2$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E — \sigma_{\text{maks}}/\sigma_{\text{nom}}$ diyagramı



Şekil 7.14 $s = 3$, $i = 1$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E — \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı



Şekil 7.15 $s = 3$, $i = 2$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{nom}/E — \sigma_{maks}/\sigma_{nom}$ diyagramı



Şekil 7.16 $s = 3$, $i = 3$ nolu tel için çizilen $(D/d)\sigma_{\text{nom}}/E — \sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{nom}}$ diyagramı

ÖZGEÇMİŞ

21 Mayıs 1975 yılında Karabük'te doğdu. İlkokulu İzmir Karşıyaka Kenan Gamsız İlkokulu'nda, Ortaokulu İzmir Karşıyaka Lisesi'nde ve Liseyi de İzmir Atatürk Lisesi'nde okuduktan sonra Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde okumaya hak kazandı. 4 yıllık Lisans eğitiminden sonra İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Konstrüksiyon Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 1998 yılından bu yana Asansör Dünyası Dergisi Yazı İşleri Müdürlüğü görevini yürütmektedir.