

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİNÇ HALATLARININ MODELLENMESİ, TEST VE ANALİZİ

BURAK BAYRAKTAROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI

DANIŞMAN
DR.ÖĞR.ÜYESİ BERNA BOLAT

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİNÇ HALATLARININ MODELLENMESİ, TEST VE ANALİZİ

Burak BAYRAKTAROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 26.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr.Öğr.Üyesi Berna BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr.Öğr.Üyesi Berna BOLAT

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Muharrem BOĞOÇLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Serpil KURT

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Çelik halatlar, esneklikleri ve yüksek mukavemete sahip olmaları sebebiyle yük kaldırma makinalarında kullanılan vazgeçilmez elemanlardır. Bir öz etrafına sarılmış birçok ince telden oluşmuşlardır. İnce teller karmaşık geometrik yolları izleyerek bir araya gelirler ve halatı oluştururlar. Bu nedenle tel halatlar, sanayide kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmada karmaşık yapıya sahip tel halatların bilgisayar modelleri Solidworks yazılımında oluşturulmuş ve Ansys yazılımı kullanarak anaşizleri gerçekleştirilmiştir.

Tez konumun belirlenmesinden itibaren her aşamada yardımlarını esirgemeyen, sonuca ulaşma konusunda her zaman cesaretlendiren değerli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Berna BOLAT'a; manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim eşim ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2018

Burak BAYRAKTAROĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTIMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
ÇELİK HALATLAR.....	3
2.1 Çelik Halatların Tarihçesi.....	3
2.2 Tel Halatların Yapısı.....	6
2.3 Tel Halat Bölümleri ve İsimlendirilmesi [3].....	7
2.3.1 Dış Teller	7
2.3.2 İç Teller	7
2.3.3 Dolgu Telleri.....	7
2.3.4 Merkez Telleri	8
2.3.5 Öz Telleri	8
2.3.6 Yük Taşıyıcı Teller.....	8
2.3.7 Bağlantı Teli veya Demeti	8
2.3.8 Yardımcı Tel veya Demet.....	8
2.4 Demet Çeşitlerine Göre Halatlar	8
2.4.1 Yuvarlak Demet	8
2.4.2 Üçgen Demet.....	10
2.4.3 Oval Demet.....	10
2.4.4 Yassı Şerit Demet.....	10

2.4.5	Sıkıştırılmış Demet	11
2.5	Demet Sarım Çeşitlerine Göre Tel Halatlar	11
2.5.1	Katları Tek İşlemden Oluşturulan Demet	11
2.5.2	Katları Çok İşlemden Oluşturulan Demet	11
2.6	Özlerine Göre Tel Halatlar	12
2.6.1	Lif Özlü Halatlar (FC)	12
2.6.2	Çelik Özlü Halatlar (WC)	12
2.6.2.1	Demet Öz (WSC)	12
2.6.2.2	Bağımsız Çelik Halat Öz (IWRC).....	12
2.6.3	Katı Polimer Öz (SPC).....	13
2.6.4	Çok Özlü Halatlar	13
2.7	Tiplerine Göre Halatlar	14
2.7.1	Demetli Halatlar.....	14
2.7.2	Spiral Demetli Halatlar.....	16
2.7.3	Kaplamalı veya Dolgulu Halatlar.....	16
2.8	Örüm Şekillerine Göre Halatlar.....	17
2.9	Çelik Halatların Kullanım Alanları.....	19
2.9.1	Vinç Halatları.....	19
2.9.2	Teleferik Halatları	19
2.9.3	Denizcilik Halatları	20
2.9.4	Madencilik Halatları.....	20
2.9.5	Asansör Halatları.....	20
2.9.6	Özel Halatlar	20
BÖLÜM 3		
HALAT ÜRETİMİ.....		21
3.1	Yüzey Temizleme	21
3.2	Tel Çekme İşlemi	22
3.3	Patentleme İşlemi	23
3.4	Demetlerin Oluşturulması.....	24
3.5	Kapatma	25
BÖLÜM 4		
HALATIN MODELLENMESİ.....		26
4.1	Modeli Oluşturulan Halat Bilgisi	26
4.2	Halat Modelinin Oluşturulması	26
4.2.1	Çelik Özü Oluşturan Sarımların Modellenmesi.....	27
4.2.2	Dış Sarımların Oluşturulması	33
4.2.3	Oluşturulan Model Bilgileri.....	40
BÖLÜM 5		
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (FEM)		42
5.1	Sonlu Elemanlar Yöntemi İşlem Adımları	44

BÖLÜM 6

ANALİZ İŞLEMLERİ	48
6.1 Program Arayüzü ve Modelin Tanıtılması	48
6.2 Malzeme Tanımlanması	50
6.3 Temas Yüzeylerinin Belirlenmesi.....	50
6.4 Mesnet Noktaları ve Yükler	52
6.5 Mesh İşlemi	55
6.6 Sonuçlar	58
6.6.1 Model 1 Sonuçları.....	59
6.6.2 Model 2 Sonuçları.....	61
6.6.3 Model 3 Sonuçları.....	64

BÖLÜM 7

TEST İŞLEMLERİ	68
7.1 Çekme Testi.....	68
7.1.1 Çekme Testi Esasları	68
7.1.2 Halatlarda Çekme Testi.....	70
7.2 Test Numunelerinin Hazırlanması.....	70
7.2.1 D Numunelerinin Hazırlanması.....	73
7.2.2 K ve I Numunelerinin Hazırlanması	73
7.3 Test İşlemi ve Sonuçlar	75
7.3.1 D Numunesi	75
7.3.2 K ve I Numuneleri	76

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGE LİSTESİ

h	Demet adım uzunluğu
H	Halat adım uzunluğu
D	Büyüklik alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör
R	Bilinmeyen yük vektörü
K	Rijitlik matrisi
D'	Bilinmeyen yer değiştirmeler
R'	Bilinen kuvvetler
E	Elastisite modülü
ρ	Yoğunluk
ν	Poisson oranı
μ	Sürtünme katsayısı
σ_m	Gerilme
P_i	Herhangi bir anda uygulanmakta olan yük
ΔL	Herhangi bir anda uzama miktarı
A_0	Numunenin ölçü bölgesinin başlangıçtaki kesiti
L_0	Numunenin başlangıçtaki ölçü boyutu

KISALTMA LİSTESİ

CAD	Computer aided design
CAE	Computer aided engineering
EN	European norm
FEM	Finite element metod
FC	Lif öz
IWSC	Bağımsız çelik halat öz
stu	Serbest tel uzunluğu
TS	Türk standardı
WC	Çelik öz
WSC	Demet öz

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Çelik halatın kısımları 6
Şekil 2. 2	Çelik halatı meydana getiren elemanlar 7
Şekil 2. 3	Üçgen demet yapısı 10
Şekil 2. 4	Üçgen demet yapısı 10
Şekil 2. 5	Yassı şerit demet yapısı 10
Şekil 2. 6	Sıkıştırılmış demet 11
Şekil 2. 7	Katları tek işlemde oluşturulan halat 11
Şekil 2. 8	Çelik özlü halat 12
Şekil 2. 9	Bağımsız çelik özlü (IWRC) ve çelik özlü halatlar 13
Şekil 2. 10	Özlerine göre halatlar 14
Şekil 2. 11	Merkezinden iletken kablo geçen halat 14
Şekil 2. 12	Örgülü halat 15
Şekil 2. 13	Halat demetli halat 15
Şekil 2. 14	Yassı halat 15
Şekil 2. 15	Tam kenetli halat 16
Şekil 2. 16	Katı polimer kaplanmış ve dolgulu halat 16
Şekil 2. 17	Demetlerden oluşan halat kesitleri [4] 17
Şekil 2. 18	Demet adım uzunluğu ve halat adım uzunluğu 17
Şekil 2. 19	Teleferik halatı 19
Şekil 3. 1	Çelik halat üretimi 21
Şekil 3. 2	Tel çekmede kullanılan alaşımsız karbon çelikleri [6] 22
Şekil 3. 3	Tel çekme profilleri [6] 23
Şekil 3. 4	Patentleme işlemi grafiği 23
Şekil 3. 5	Halat dayanım sınıfları [7] 24
Şekil 3. 6	Demetlerin oluşturulması 24
Şekil 3. 7	Halat kapatma işlemi 25
Şekil 4. 1	Tasarlanan halatın kesit görünüşü 26
Şekil 4. 2	Çizim oluşturma ekranı 27
Şekil 4. 3	Referans yüzey oluşturulması 27
Şekil 4. 4	Referans yüzey katı modeli 28
Şekil 4. 5	Özü oluşturan sarım 28
Şekil 4. 6	Helis tabanı 29
Şekil 4. 7	Helis eğrisi 29

Şekil 4. 8	İç sarımlar	30
Şekil 4. 9	İç sarımlar	30
Şekil 4. 10	Merkez sarım etrafı sarımlar	31
Şekil 4. 11	Helis eğrisi	32
Şekil 4. 12	Tel demetinin döndürülmesi	32
Şekil 4. 13	Birinci ve ikinci sarımlar	33
Şekil 4. 14	Dış sarımların modellenmesi	33
Şekil 4. 15	Dış sarım helis eğrisi.....	34
Şekil 4. 16	Dış sarım helis eğrisi.....	35
Şekil 4. 17	Dış sarımların süpürülmesi	35
Şekil 4. 18	Halatı oluşturan tüm sarımlar	36
Şekil 4. 19	Birinci sarımların çoğaltılması	36
Şekil 4. 20	Halatın tüm sarımları	37
Şekil 4. 21	Son model	37
Şekil 4. 22	Modelin üstten görünüşü	38
Şekil 4. 23	Sarımların isimlendirilmesi	38
Şekil 5. 1	Sonlu elemanlara ayrılmış model.....	43
Şekil 5. 2	Mesh sayısı ile sonuçların değişimi	43
Şekil 5. 3	Sonlu elemanlara ayrılmış model.....	44
Şekil 5. 4	Eleman tipleri	45
Şekil 5. 5	Eleman tipleri	45
Şekil 5. 6	Sonuç ekranı.....	47
Şekil 6. 1	Analiz adımları.....	49
Şekil 6. 2	Geometri	49
Şekil 6. 3	Malzeme giriş arayüzü	50
Şekil 6. 4	Model 1 temas yüzeyleri.....	52
Şekil 6. 5	Tüm yönlerde serbest model ve sadece uzama yönünde serbest model ...	53
Şekil 6. 6	Uygulanan kuvvet ve tanımlamalar	53
Şekil 6. 7	Eleman sayısı – yer değiştirme grafiği.....	56
Şekil 6. 8	Face sizing	57
Şekil 6. 9	Mesh yapısı	57
Şekil 6. 10	Meshlenmiş model	58
Şekil 6. 11	Sonuç ekranı	58
Şekil 6. 12	Model 1 için kuvvet-yüzde uzama grafiği	60
Şekil 6. 13	2000 N yük altında oluşan gerilmeler	60
Şekil 6. 14	4000 N yük altında boyca uzama	61
Şekil 6. 15	Model 2 için kuvvet-yüzde uzama grafiği	63
Şekil 6. 16	4000 N yük altında oluşan gerilmeler	63
Şekil 6. 17	Model 3 için kuvvet-yüzde uzama grafiği	66
Şekil 6. 18	10000 N yük altında yer değiştirme.....	66
Şekil 6. 19	10000 N yük altında oluşan gerilmeler	67
Şekil 7. 1	Gerilme – birim uzama diyagramı.....	69
Şekil 7. 2	(a) tel ve (b) demet çekme grafikleri [12]	70
Şekil 7. 3	Kullanılan halat bilgileri.....	70
Şekil 7. 4	Numune hazırlanan bölümler	71
Şekil 7. 5	Halat ucu hazırlanması ve ultrasonik temizlik işlemi	72

Şekil 7. 6	Döküm kontrolü	72
Şekil 7. 7	D numunesi kalıbı ve dökülmüş numune.....	73
Şekil 7. 8	Delikli parça ve kullanılan kalıp	73
Şekil 7. 9	Döküm aşamaları	74
Şekil 7. 10	K ve I numuneleri	74
Şekil 7. 11	Serbest tel uzunluğu (stu)	74
Şekil 7. 12	D numunesi çekme işlemi	75
Şekil 7. 13	D numunesi tel kayması.....	76
Şekil 7. 14	K ve I numuneleri çekme işlemi	76



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Halatların tarihsel gelişimi..... 4
Çizelge 2. 2	Yuvarlak demet çeşitleri39
Çizelge 2. 3	Sarım tipleri ve özellikleri18
Çizelge 4. 1	Sarımların dışında bulunan tellerin izledikleri rotalar 39
Çizelge 4. 2	Sarımların merkez tellerin izledikleri rotalar..... 40
Çizelge 4. 3	Model görünüşleri 41
Çizelge 4. 4	Model bilgileri 41
Çizelge 6. 1	Malzeme özellikleri 50
Çizelge 6. 2	Temas yüzey sayıları..... 51
Çizelge 6. 3	Farklı modeller için sabitleme ve kuvvet etkime yüzey sayıları 53
Çizelge 6. 4	Farklı modellere uygulanan kuvvetler..... 54
Çizelge 6. 5	Model 1 eleman sayısı – yer değiştirme değeri ilişkisi..... 55
Çizelge 6. 6	Mesh tipleri 56
Çizelge 6. 7	Eleman ve node sayıları..... 57
Çizelge 6. 8	Model 1 Bounded sonuçları 59
Çizelge 6. 9	Model 1 Frictional yer değiştirme sonuçları 59
Çizelge 6. 10	Model 2 Bounded sonuçları 61
Çizelge 6. 11	Model 2 Frictional sonuçları 62
Çizelge 6. 12	Model 3 Bounded sonuçları 64
Çizelge 6. 13	Model 3 Frictional sonuçları 65
Çizelge 7. 1	Serbest tel uzunlukları..... 75

VİNÇ HALATLARININ MODELLENMESİ, TEST VE ANALİZİ

Burak BAYRAKTAROĞLU

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Berna BOLAT

Tel halatlar, esneklikleri ve yüksek mukavemete sahip olmaları sebebiyle yük kaldırma makinalarında kullanılan vazgeçilmez elemanlardır. Bir öz etrafına sarılmış birçok ince telden oluşmuşlardır. Şekil bağı ile bir arada duran tellere, yükün eşit olarak paylaştırılması esasına göre çalışırlar.

Bu tez kapsamında, karmaşık yapıya sahip çelik halatların üç boyutlu modelleri oluşturulmuş ve modellere aksenal kuvvetler uygulanarak, yük altında uzamaları tespit edilmiştir. Yapılan çekme testleri ile bilgisayar analizlerinin uyumu araştırılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde çelik halatlar ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde halat üretimi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, Solidwork yazılımı kullanılarak halatın modellenmesi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Beşinci bölümde sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi verilmiş ve altıncı bölümde oluşturulan modellerin Ansys yazılımı kullanarak aksenal yük altında analiz işlemleri açıklanmıştır. Yedinci bölümde numunelerin hazırlanması, çekme testi ve çekme testi sonuçları açıklanmış ve sekizinci bölümde analiz ve test sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son kısmında sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Literatürde çelik halatları konu alan çok sayıda çalışma mevcuttur. Tezin amacı; tasarım işleminin, üretim sonrası ölçüleri dikkate alarak tasarım programı ile tek seferde yapılan çelik halat modellerinin doğruluğunu test işlemleriyle karşılaştırmaktır. Çizimin

bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi için yeni bir yol aranmış ve karmaşık tasarımı analizinin yapılabilirliği ve gereğe uygunluğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Vin halatları, tel halat, elik halat analizleri, tel halat modellemesi, tel halat ekme testi



MODELING, TESTING AND ANALYSIS OF CRANE ROPES

Burak BAYRAKTAROĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist.Prof.Dr. Berna BOLAT

Wire ropes are indispensable elements used in load lifting machines due to their flexibility and high strength. They consist of several thin wires wound around a core. They work according to the principle of equally sharing the burdens to the ties that lie together with the shape tie.

In this thesis, 3D models of wire ropes with complex structures are formed and axial forces are applied to the models to determine the elongation under load. The consistency of the computer analyzes with the tensile tests made has been investigated.

In the second part of the thesis, general information about wire ropes is given. In the third chapter, information on rope production is given. In the fourth chapter, modeling of the rope using Solidwork software is explained in detail. In the fifth section, information about the finite element method is given and analysis processes under axial load are explained using the Ansys software of the models created in the sixth section. In the seventh section, the preparation of the samples, the tensile test and the tensile test results are explained and the analysis and test results are compared in the eighth section. Results and suggestions were presented at the end of the workshop.

There are many studies in the literature on wire ropes. The aim of the thesis; to compare the validity of the design program and the wire rope models made in one go with the test procedures, taking into account the post-production measurements of

the design process. A new way of performing the drawing in the computer environment has been searched and the feasibility and the suitability of the analysis of the complex design have been investigated.

Keywords: Crane ropes, wire rope, wire rope analysis, wire rope modeling, wire rope tensile test



1.1 Literatür Özeti

İmrak'ın [1] yapmış olduğu çalışma karmaşık şekilli, birden çok sarımdan oluşan halatların modellerinin oluşturulmasına yöneliktir. Halatı oluşturan tellerin denklemleri çıkartılarak, teller için Matlab yazılımında rotalar çizilmiş ve Hypermesh® programıyla mesh yapıları oluşturulmuştur. Modelin analizleri Abaqus/CAE® programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bir başka çalışmada [2], Catia yazılımı kullanılarak halatın CAD tasarımı oluşturulmuş ve analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da halatı oluşturan teller tek tek tasarlanarak, montaj işlemiyle birleştirilmiştir.

MA Jun'un [3] çalışmasında oluşturulan 6x19 çelik halatlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Oluşturulan CAD modelleri ile yapılan analiz sonuçları ile çekme deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, farklı sarım tiplerine sahip aynı ölçülerdeki halatların analiz sonuçları ve farklı halat boyları için yapılan test işlemi sonucu ölçülen boyca uzamalar, bilgisayar analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Gordana'nın çalışmasında [4] 7x7 ve 7x19 halatlar modellenerek, Ansys yazılımıyla farklı temas koşulları için analizler gerçekleştirilmiş ve karşılaştırması yapılmıştır. Tek bir sarımdan oluşan halatlarda temas koşullarının değişiminin boyca uzama üzerinde belirgin bir etki yaratmadığı, fakat çok sayıda sarımdan oluşan halatlarda temas koşullarındaki değişimin boyca uzamayı değiştirdiği bu çalışma kapsamında yapılan analiz sonuçlarından görülmektedir.

Du Wenzhang'ın çalışmasında [5] 6x36 boyutunda, çelik özlü olmayan bir halatın CAD tasarımı oluşturularak, ABAQUS programında gerilme dağılımı ve deformasyon değerleri incelenmiştir. Bu çalışmada halatın özünü oluşturan kısım için ayrı malzeme tanımları kullanılmıştır.

Ghoreishi'nin çalışmasında [6] farklı sarım açılarının etkileri araştırılmıştır. Analitik çözümler ile bilgisayar analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Halatların çekme testiyle ilgili detaylı çalışma İmrak [7] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, test numunelerinin çekme cihazı çenelerine bağlanabilmesi için farklı yöntemler denenmiş ve sonuçlar listelenmiştir. Halat çekme deneyi uçlara yapılan çinko döküm işleminin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Literatürde çelik halatların bilgisayar ortamında tasarım ve analizlerinin yapıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, halat çizimleri ideal ölçüler dikkate alınarak kusursuz olarak yapılmıştır. Halatı oluşturan teller, izledikleri yollara göre ayrı ayrı tasarlanmakta ve montaj işlemiyle birleştirilmektedir. Tezin amacı; tasarım işleminin, üretim sonrası ölçüleri dikkate alarak tasarım programı ile tek seferde yapılan çelik halat modellerinin doğruluğunu sınamaktır. Çizimin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi için yeni bir yol aranmış ve karmaşık tasarımın analizinin yapılabilirliği ve gerçeğe uygunluğu araştırılmıştır.

1.3 Hipotez

Yapılan çalışmayla, çelik halat modellenmesi için daha kolay bir yol uygulanabilir ve kolaylaşan uygulamayla pek çok farklı durum için değerlendirme yapılabilir.

BÖLÜM 2

ÇELİK HALATLAR

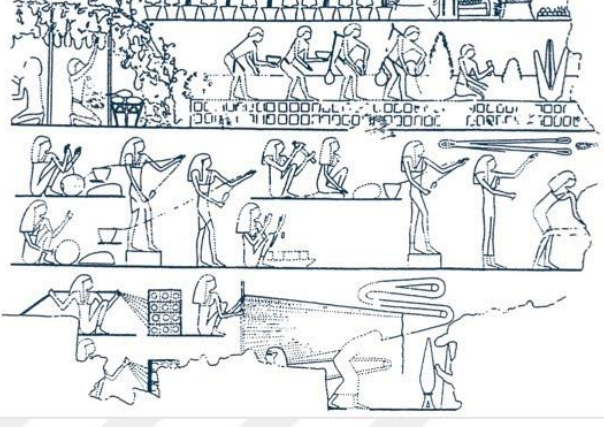
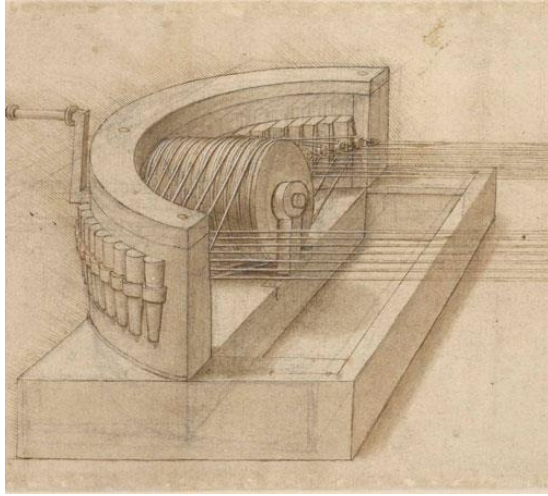
Tel halatlar, esneklikleri ve yüksek mukavemete sahip olmaları sebebiyle yük kaldırma makinalarında kullanılan vazgeçilmez elemanlardır. Bir öz etrafına sarılmış birçok ince telden oluşmuşlardır. Şekil bağı ile bir arada duran tellere, yükün eşit olarak paylaştırılması esasına göre çalışırlar. En önemli özellikleri büyük aksnel yükleri düşük eğilme ve burulma rijitliği ile taşımalarıdır. Esnek yapıları, makara üzerinde bükülüp, tambura sarılmalarına imkan tanır. Tel halatlar birçok telden oluştuğu ve her telin yük taşıma görevi olduğundan, her bir telin kusursuz olması gerekmektedir.

Malzemesi çelik olan tellerden oluşan halatlar çelik halat olarak isimlendirilmektedir. Çelik halatlar genellikle merkezi bir öz etrafına belli bir düzende sarılmış çelik tellerden oluşur. Bireysel tellerin birbiri üzerine belirli bir düzende sarılmalarıyla oluşturulan yapıya halat özü denir. 6 demetli bir halat, bağımsız tel halat öz üzerine sarılmış demet başına 49, toplamda ise 343 adet birbirinden ayrı telden meydana gelmektedir.

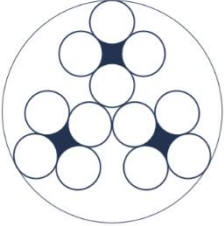
2.1 Çelik Halatların Tarihçesi

Halatlar eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. İnsanlar bitki, saç, deri gibi malzemelerden yaptıkları halatları, malzeme taşımak amacıyla kullanmışlardır. Halat kullanımıyla ilgili ilk çizimler M.Ö. 12000-9000 yıllarına tarihlenmektedir. Mısır'da bulunan, deve kılından yapılmış halatlar 4000 yıldan daha eskidir [8]. Halatlar balık ağı yapımı, yüklerin kaldırılması ve ağır yüklerin çekilmesinde kullanılmıştır. Halatın tarihsel gelişimi Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Halatların tarihsel gelişimi

Tarih	Yapılan Yenilik
M.Ö. 9000	Halat kullanımıyla ilgili ilk çizimler bu yıllara tarihlenmektedir.
M.Ö. 2000	Antik Mısır'da halat üretimini ve kullanımı gösteren gravürler yapılmıştır. 
1452-1569	Leonardo da Vinci halat üretiminde kullanılmak üzere bir cihaz tasarlamıştır. Üretilmemiş olan bu cihazın iki taslak çizimi bulunmaktadır. Bu çalışmada, aynı zamanda tel halatların yapıtaşını oluşturan tellerin üretimi için bir kalıp çizimi de vardır. 
1556	İlk maden mühendisi olarak bilinen Georgius Agricola "De Re Metalica" adlı eserinde yaşadığı dönemde halatların madenlerdeki taşıma işleri için önemini açıklamıştır.

Çizelge 2. 1 Halatların tarihsel gelişimi (devamı)

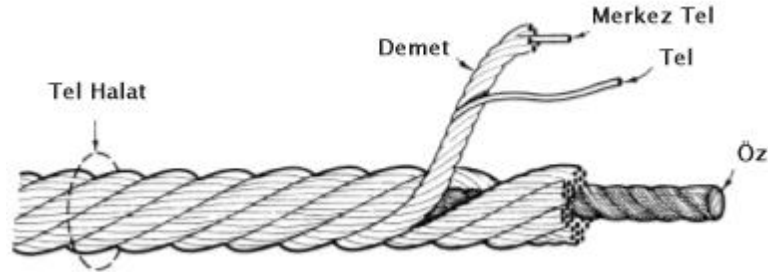
<p>1824-1838</p>	<p>1824-1838 yılları arasında Alman maden mühendisi Albert'in lif halat ve demir zincirlerin birleştirilmesi için yaptığı çalışma tel halatların oluşmasını sağlamıştır. Tarihte üretilen ilk tel halat Albert halatıdır. Albert halatı 18 mm çapındadır. Her bir sarımında 4 adet tel bulunan 3 sarımdan oluşmaktadır. Tel çapı 3,5 mm'dir ve halat el ile bükülerek oluşturulmuştur.</p>  <p>484 m uzunluktaki Albert halatı; aynı çaptaki lif halattan 6 kat daha fazla yük taşıyabilmekte, demir zincirden 4 kat daha fazla yük taşıyabilmektedir ve demir zincirden 8 kat daha hafiftir. Albert halatının tüm telleri dışarıdan kontrol edilebiliyordu.</p>
<p>1884</p>	<p>Paralel sarımlı tel halatlar 1884 yılında Tom Seak tarafından geliştirilmiştir. Paralel sarımlı halatlar, halen kullanımda olan California kablo araçlarında kullanılmıştır. Kablolu araçların işletilmesinde, en büyük gider kalemi sistemde kullanılan tel halatlar ve onların tamir masraflarıydı. Bu nedenle Tom Seale halatların servis ömrünü uzatmak için çalışmalar yapmıştır. Halatların içsel hatalar nedeniyle kullanım dışı kaldığının fark etmiş ve farklı çaplarda teller kullanarak seale yapısını geliştirmiştir.</p>
<p>1894</p>	<p>Seale'in tasarımından birkaç yıl sonra Amerikalı mühendis James Stone, Seale'in patentinin zayıf noktasını tespit ederek, 19 telden oluşan paralel sarımlı bir demet üretmiş ve oluşan boşlukları küçük çaplı tellerle desteklemiştir. Küçük çaplı tellere dolgu telleri (filler) denilmektedir.</p>

Çizelge 2. 1 Halatların tarihsel gelişimi (devamı)

1883	Halatların gelişim süreci yüksek dayanımlı çelik halatların üretilmesiyle ivme kazanmıştır. Bu sayede, çelik halatlar yapı sektöründe de kullanım olanağı bulmuştur. Halat üretiminde çelik teller ilk defa Brooklyn Köprüsü'nde kullanılmıştır. Geçen yüzyıldan uzun süreye rağmen taşıyıcı halatlar halen kullanılmaktadır.
1884-1890	Warrington halatlar 1884-1890 yılları arasında tasarlanmıştır. Tasarımcısı bilinmemektedir. Tasarım merkez tel, merkez telin etrafına sarılmış aynı çapta 2 sarım ve dış sarımdaki tellerin arasını dolduracak şekilde konumlandırılmış ince çaplı tellerden oluşmaktadır.
1886	Mr. Moxhan tarafından, çelik tellerden demetlerin oluşturulmasını sağlayan düzeneğin patenti alınmıştır.
1885	Telford C. Batchelor tarafından ilk kenetli tel halat üretilmiştir.

2.2 Tel Halatların Yapısı

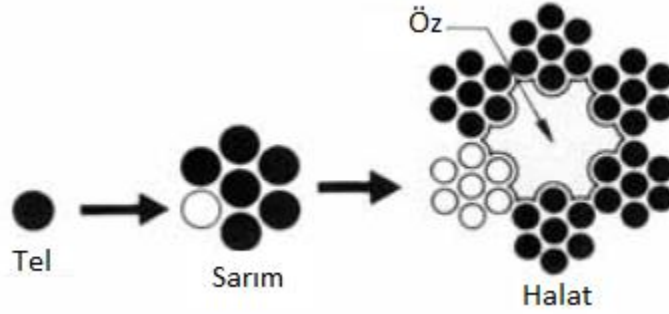
Tel halat, tellerin sarılmasıyla oluşan demetlerin, lif öz veya tel sarımın etrafına sarılmasıyla oluşan mamüldür.



Şekil 2. 1 Çelik halatın kısımları

Bir halatı meydana getiren elemanlar;

- Teller,
- Tellerin sarılmasıyla oluşan demetler,
- Halatın merkezinde, demetlere destek görevini yapan özdür.



Şekil 2. 2 Çelik halatı meydana getiren elemanlar

Özü ve sarımları oluşturan teller buldukları yere göre değişik isimler almaktadır.

2.3 Tel Halat Bölümleri ve İsimlendirilmesi [9]

2.3.1 Dış Teller

Spiral bir halatta en dış kata yerleştirilmiş bütün teller ile demetli bir halatta dış demetlerin en dış katına yerleştirilmiş bütün teller dış telleri oluşturur.

2.3.2 İç Teller

Spiral bir halatta merkez ile en dış kat telleri arasına yerleştirilmiş bütün teller ile demetli bir halatta merkez, dolgu, öz ve dış teller haricindeki bütün teller iç telleri oluşturur.

2.3.3 Dolgu Telleri

Dolgu yapılar da tel katları arasındaki boşlukları doldurmak için kullanılan teller dolgu telleri oluşturur.

2.3.4 Merkez Telleri

Spiral bir halatta merkezde bulunan teller, demetli bir halatta demetlerin merkezlerinde bulunan teller merkez telleri oluşturur.

2.3.5 Öz Telleri

Demetli bir halatın özünde bulunan bütün teller öz telleri olarak isimlendirilir.

2.3.6 Yük Taşıyıcı Teller

Halatın kopma yüküne etki eden tellerdir.

2.3.7 Bağlantı Teli veya Demeti

Yassı halatları bir arada tutmak için kullanılan tek tel veya demetlerdir.

2.3.8 Yardımcı Tel veya Demet

Helisel olarak kapalı bir sarım yapmak için kullanılan, halatın tellerinin birleşik konumda tutulmasını sağlayan tek tel veya demettir.

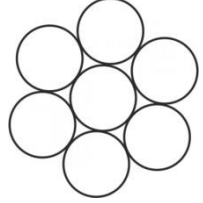
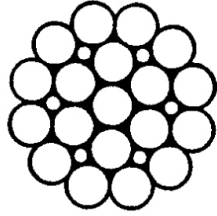
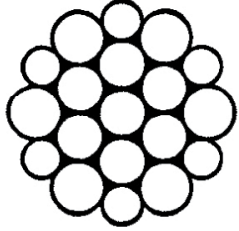
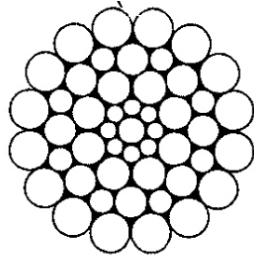
2.4 Demet Çeşitlerine Göre Halatlar

Tellerin bir merkez etrafında birbirlerine sarılmasıyla oluşan yapıya demet adı verilmektedir. Halatlar tek demetli olabildikleri gibi, birçok demetin birleştirilmesiyle de oluşabilirler.

2.4.1 Yuvarlak Demet

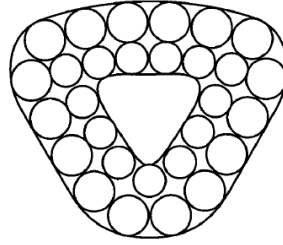
Kesiti daire şekilli olan demetler, yuvarlak demet olarak adlandırılır. En çok kullanılan demet çeşididir.

Çizelge 2. 2 Yuvarlak demet çeşitleri

<p>Tek Katlı Demet</p>	<p>Sadece bir kat tel içeren demettir. En basiti aynı çaptaki 7 telden oluşan demettir.</p>	
<p>Seale Yapısı</p>	<p>Bu yapıda, merkez etrafında aynı sayıda tel içeren iki kat vardır. Her kattaki teller aynı çaptadır. Daha küçük çaplı teller, büyük çaplı teller arasındaki boşlukları doldurmak için kullanılır.</p>	
<p>Dolgu Yapısı</p>	<p>Bu sarım, merkez etrafına sarılmış aynı çaptaki iki tel katmanından oluşur. Dış katman orta katmanın iki katı sayıda tele sahiptir. Orta katmanla dış katman arasında, tel boşluklarını doldurmak için küçük çaplı teller kullanılmıştır.</p>	
<p>Warrington Yapısı</p>	<p>Bu sarım, merkez etrafında sarılmış iki tel katmanından oluşmaktadır. Dış katman farklı çaplarda tellerden oluşur. Küçük çaplı teller büyük çaplı tellerin arasına yerleştirilmiştir. Dış katman orta katmanın iki katı tel içerir.</p>	
<p>Birleşik Paralel Kollu</p>	<p>Seale ve dolgu yapısının birlikte kullanılmasıyla oluşan demetlerdir. Üç veya daha fazla katın tek bir işlemde sarılmasıyla meydana gelirler.</p>	

2.4.2 Üçgen Demet

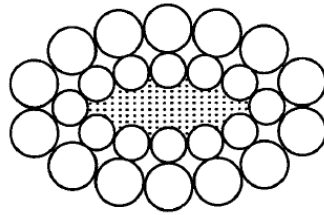
Dikey kesiti yaklaşık üçgen şeklinde olan halat demetleridir. Konsantrik halat olarak ta isimlendirilmektedir. Üçgen şeklindeki bir özün etrafını saran tel katlarından oluşur. Teller aynı çapta olabilecekleri gibi, sayı ve tasarıma bağlı olarak farklı çaplarda da olabilirler.



Şekil 2. 3 Üçgen demet yapısı

2.4.3 Oval Demet

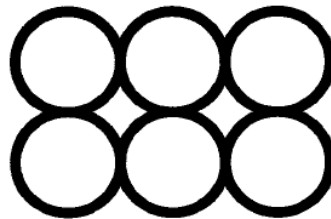
Dikey kesiti yaklaşık oval şeklinde olan halat demetidir. Oval şekilli öz etrafına sarılmış tellerden oluşur. Teller aynı çapta olabilecekleri gibi, sayı ve tasarıma bağlı olarak farklı çaplarda da olabilirler.



Şekil 2. 4 Üçgen demet yapısı

2.4.4 Yassı Şerit Demet

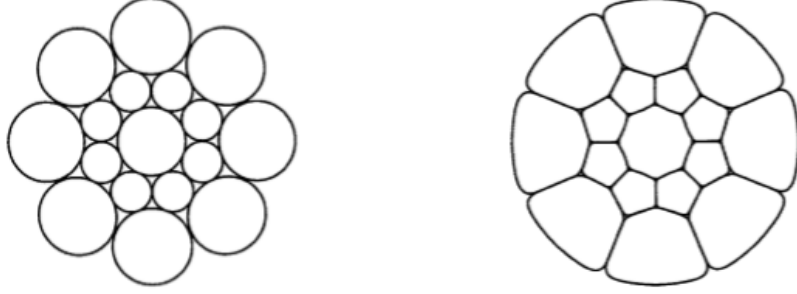
Dik kesiti yaklaşık dikdörtgen şeklinde olan halat demetidir. Yassı şerit demetlerde merkez teli bulunmaz.



Şekil 2. 5 Yassı şerit demet yapısı

2.4.5 Sıkıştırılmış Demet

Bu demet tipinde, demeti oluşturan teller örme işleminden sonra mekanik işlemlerle sıkıştırılır. Metalik kesit alanı değişmez fakat tellerin şekilleri değişir.

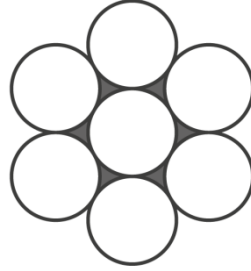


Şekil 2. 6 Sıkıştırılmış demet

2.5 Demet Sarım Çeşitlerine Göre Tel Halatlar

2.5.1 Katları Tek İşlemde Oluşturulan Demet

Bu demetlerde, tüm sarım tek bir işlemde oluşturulur. 7 telden oluşan, basit sarımlı halatlar bu gruba girmektedir.



Şekil 2. 7 Katları tek işlemde oluşturulan halat

2.5.2 Katları Çok İşlemde Oluşturulan Demet

Bu demetler birbirinin üzerine farklı işlemlerle sarılmış çok sayıda tel katmanından oluşmaktadır. Katları çok işlemde oluşturulan demetler çapraz sarımları alt katmanlara göre çapraz veya alt katmanla aynı yönde olabilmektedir.

2.6 Özlerine Göre Tel Halatlar

Etrafına demetlerin helisel olarak sarıldığı halatın merkezinde bulunan yapıya halatın özü denir. Öz lif, çelik veya katı polimerden oluşabilir. Öz haricinde, bazı halatlarda sarımlar arasında da lif ve katı polimer kullanılmaktadır.

2.6.1 Lif Özlü Halatlar (FC)

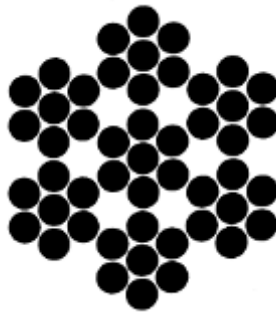
Halatın özü liflerden meydana gelmiştir. Esnekliğin ön planda tutulduğu durumlarda kullanılır. Lifler doğal veya sentetik olabilir. Manila gibi sert bir lif, kenevir, plastik, kağıt veya kendir lif özlü halatların özünü oluşturabilir. Lif öz esneklik avantajı sunar. Aynı zamanda ani zorlanma ve hareket etkilerini azaltmak için bir yastık görevi görür ve yağ deposu gibi davranarak demeti ve telleri sürtünme etkilerine karşı korur. Öz, yağlamayı sağlar. Lif özlü halatlar doğal, sentetik ve katı polimer lif özlü halatlar olarak sınıflandırılmaktadır.

2.6.2 Çelik Özlü Halatlar (WC)

Halatın özü belirli bir çapa kadar tek telden, veya çelik tel demetinden oluşur.

2.6.2.1 Demet Öz (WSC)

Halat özü, dış sarımlarla aynı özelliktedir. Damar öz olarak da isimlendirilmektedir.

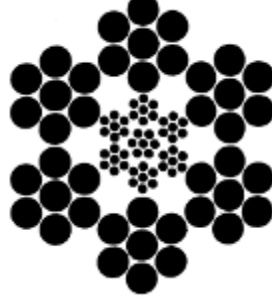


Şekil 2. 8 Çelik özlü halat

2.6.2.2 Bağımsız Çelik Halat Öz (IWRC)

Halatın özü belirli bir çapa kadar tek telden, veya çelik tel demetinden oluşur. Bağımsız çelik halat özlü (IWRC) halatlar da bu gruba dahildir. Bağımsız çelik halat özü yüksek

mukavemet ve ısının önemli olduğu kalın halatlarda tercih edilir. Bağımsız çelik öz, demetlerin etrafına sarıldığı bir çelik halattır ve dayanımı büyük oranda arttırır, ezilmeye dirençlidir ve maksimum ısı dayanımını sağlar. Çelik öz lif öze göre ısıya daha dayanıklıdır ve halata yüzde onbeş daha fazla mukavemet kazandırır fakat lif özlü halatlar çelik özlü halatlardan daha esnektir. Yağlamayı sağlayacak, yağ depolayan bir öz olmadığından, yağlanarak kullanılmalıdır.



Şekil 2. 9 Bağımsız çelik özlü (IWRC) ve çelik özlü halatlar

2.6.3 Katı Polimer Öz (SPC)

Halat özünü katı polimer malzeme oluşturmaktadır. Katı polimer malzemenin içinde dayanımı, esnekliği arttırmak için lif veya teller bulunabilir.

2.6.4 Çok Özlü Halatlar

Özel uygulamalar için geliştirilen halatlarda, öz birden çok yapıdan oluşabilir. Etrafı polimer tabakayla kaplanan çelik öz bu gruba örnektir.

Eleman	Sembol
Tek katlı halat: Lif özlü <ul style="list-style-type: none"> - Doğal lif özlü - Sentetik lif özlü - Katı polimer özlü Çelik özlü <ul style="list-style-type: none"> - Demet özlü - Halat özlü - Sıkıştırılmış demetli halat özlü - Bir polimer kaplı halat özlü 	FC NFC SFC SPC WC WSC IWRC IWRC(K) EPIWRC
Paralel sarımlı halat: Paralel halat merkezli Sıkıştırılmış demetli paralel halat merkezli	PWRC PWRC(K)
Dönme dirençli halat Merkez eleman <ul style="list-style-type: none"> - Lif merkezli - Demet merkezli - Sıkıştırılmış demet merkezli 	FC WSC KWSC

Şekil 2. 10 Özlerine göre halatlar

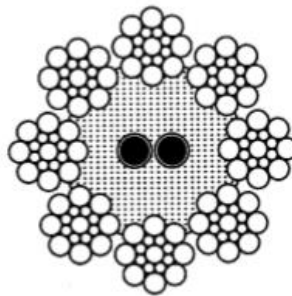
2.7 Tiplerine Göre Halatlar

2.7.1 Demetli Halatlar

Merkez veya özün etrafına sarılan demetlerden oluşan halatlardır. Merkez etrafında tek kat demet sarımından oluşan halatlar tek katlı halat, birden fazla demet sarımı içerenler halatlar çok demetli halatlar olarak adlandırılır. Çok demetli halatlar, dönmeyi engellemek için tasarlandığından, dönme direçli halatlar olarak da isimlendirilmektedir.

Demetli halatları oluşturan demetler yuvarlak, üçgen, yassı şekili olabilmektedir. Ayrıca sıkıştırılmış demetler kullanılarak örülen demetli halatlar da vardır.

Merkezinden elektrik iletimin sağlanması için kablo v.b. ekipmanlar geçen demetli halatlar işletmelerde kullanılmaktadır. Bu tür halatlar elektro-mekanik halat olarak isimlendirilmektedir.



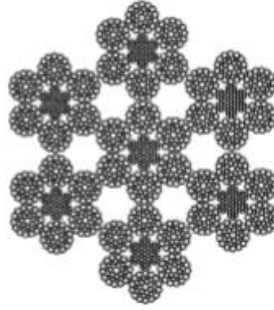
Şekil 2. 11 Merkezinden iletken kablo geçen halat

Yuvarlak demetlerin, farklı şekillerde örülmesiyle ouşturulan halatlara örgülü halatlar denilmektedir. Örgülü halatlar özel işlerde, halatların birbirine bağlanmasında ve halat tamiratlarında kullanılmaktadır.



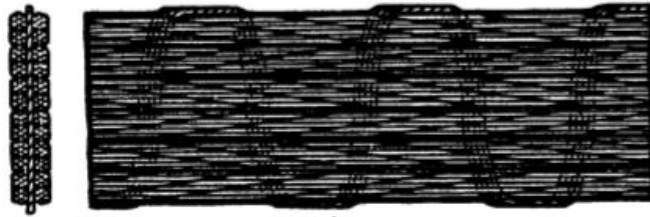
Şekil 2. 12 Örgülü halat

Aynı özellikte halatların birbiri etrafına sarılmasıyla oluşturulan halatlara halat demetli halat adı verilmektedir. Özü oluşturan halatın etrafına aynı özelliklerdeki altı adet halat sarılarak oluşturulurlar.



Şekil 2. 13 Halat demetli halat

Dört demetten oluşan halatların yan yana dizilerek, bağlantı teli, demet veya perçinlerle birleştirilmesiyle oluşan halatlara yassı halat adı verilmektedir. Altı, sekiz veya on halat bir araya getirilerek yassı halat oluşturulur.



Şekil 2. 14 Yassı halat

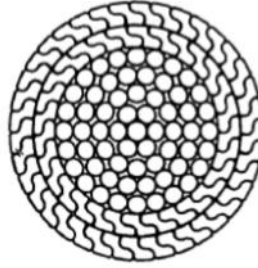
2.7.2 Spiral Demetli Halatlar

Spiral telli halatların merkezi yuvarlak şekilli telden, paralel sarımlı demet veya örgülü demetten oluşur. Merkezin üzerine tellerin iki veya daha fazla katman halinde sarılmasıyla oluşur. Dönmeye karşı direnci arttırabilmek için, tellerin bir veya daha fazla katı diğerlerine zıt yönde sarılır.

Yalnızca dairesel kesitli tellerden oluşan spiral halat spiral demetli halat adı verilmektedir.

En dış sarımlı kenetli tellerden oluşan spiral demetli halata yarı kenetli halat adı verilmektedir.

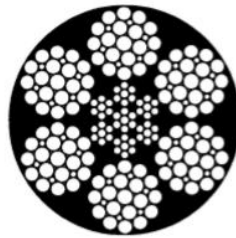
En dış sarımında z şeklinde teller olan spiral demetli halata tam kenetli halat adı verilmektedir. Z şekilli teller birbirine tam kenetlendiğinden bu ismi almıştır.



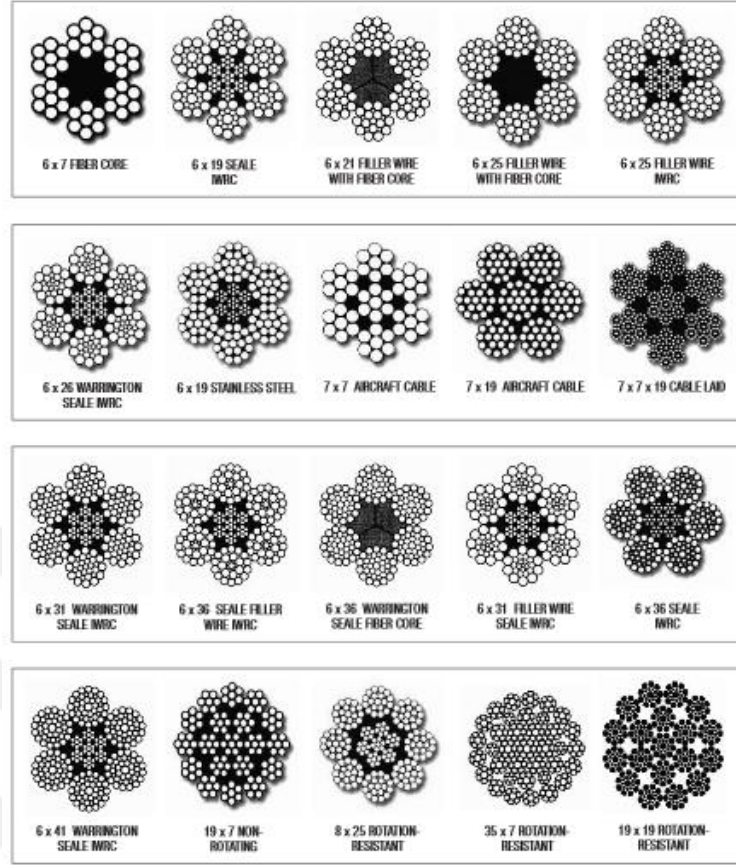
Şekil 2. 15 Tam kenetli halat

2.7.3 Kaplamalı veya Dolgulu Halatlar

Kaplamalı halatların imalatında katı polimer kullanılmaktadır. Halatın tamamı, sarımlar arası veya halat özü katı polimerle kaplanabilir. Dışarıdan katı polimerle kaplanan halat, katı polimer kaplamalı halat; sarımlar arası boşlukların katı polimerle doldurulduğu halat, katı polimer dolgulu halat; özü katı polimerle kaplanan halat ise özü kaplanmış halat olarak isimlendirilir.



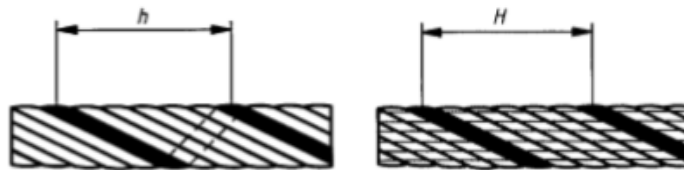
Şekil 2. 16 Katı polimer kaplanmış ve dolgulu halat



Şekil 2. 17 Demetlerden oluşan halat kesitleri [10]

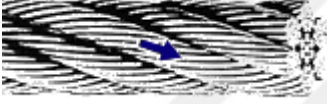


2.8 Örum Şekillerine Göre Halatlar

Bir halata ait sarım tipi, o halatın demetlerini oluşturan tellerin dizilimini, demetlerin dönüş şeklini ve yönünü tarif etmektedir. Halat adım uzunluğu, bir halatı oluşturan demetlerin halat eksenini üzerinde ve öz etrafında attığı bir tam tur mesafesidir. H harfiyle gösterilir. Halatı oluşturan demetlerin dış telerin demet eksenine göre etrafında attığı bir tur mesafeye demet adım uzunluğu adı verilmiştir, h harfiyle gösterilir.



Şekil 2. 18 Demet adım uzunluğu ve halat adım uzunluğu

Çizelge 2. 3 Sarım tipleri ve özellikleri

Sarım Tipi	Tanımı	Özellikleri
<p>Çapraz Sarım</p> 	En çok kullanılan sarım çeşididir. Teller ve demet farklı yönlerde sarılmıştır.	Düz sarıma göre açılma ve çözülmeye daha dayanıklı, aynı zamanda darbe dayanımı da daha fazladır.
<p>Düz Sarım</p> 	Teller ve demet aynı yönde sarılmıştır.	Çapraz sarıma göre aşınmaya karşı daha dirençlidir, daha esnektir ve yorulma dayanımı daha yüksektir.
<p>Sağa Sarım</p> 	Demetlerin öz etrafında sağ yönlü sarılmasıyla elde edilen halatlardır.	En yaygın kullanılan halat tipleridir.
<p>Sola sarım</p> 	Demetlerin öz etrafında sol yönlü sarılmasıyla elde edilen halatlardır.	Özel uygulamalarda kullanılır.
<p>Değişken Sarım</p> 	Düzenli ve uzunlamasına sarımlı demetler bir arada kullanılmaktadır.	Düzenli ve uzunlamasına sarımın en iyi özelliklerini bir araya getirir.
		

İşletmelerde genellikle sağ sarımlı halatlar kullanılmaktadır. Özel uygulamalarda sol sarımlı halatlar tercih edilmektedir.

2.9 Çelik Halatların Kullanım Alanları

Çelik halatlar yük kaldırma ekipmanlarında kullanılan vazgeçilmez cihazlardır. Düşük kalınlıklarına rağmen yüksek mukavemetleri, esneklikleri, nemli ve aşırı sıcak ortamlarda çalışabilmeleri onları vazgeçilmez yapmaktadır. Çalışma esnasında ortaya çıkan korozyon olayının dışında, yorulma ve nemin etkisi ile mukavemetleri ciddi oranda azalmaz. Yüksek çalışma hızlarına uyumludurlar. Yük birçok tel arasında paylaştırıldığından, işletme emniyetleri fazladır [11]. Halatların kullanım alanlarına göre vinç halatları, teleferik halatları, denizcilik halatları, madencilik halatları, asansör halatları ve özel halatlar olarak sınıflanırlar.

2.9.1 Vinç Halatları

Vinçlerde kullanılan halatlar; aşınma dirençleri yüksek, yorulmaya karşı dayanıklı, dönmeye ve korozyona dirençli halatlardır. Çok değişik çaplarda ve kompozisyonlarda üretilirler.

2.9.2 Teleferik Halatları

Teleferik ve telesiyej hatlarında kullanılırlar. Aşınma dirençleri yüksek, yorulmaya ve korozyona karşı dayanıklıdırlar.



Şekil 2. 19 Teleferik halatı

2.9.3 Denizcilik Halatları

Tuzlu řu şartlarına dayanıklı, yüksek yük kapasitesine sahip, yorulma dirençleri yüksek halatlardır. Deniz şartlarına dayanıklı olması için çoğu zaman teller kaplanır veya paslanmaz çelik malzemeden üretilirler.

2.9.4 Madencilik Halatları

Madenlerde kullanılan halatlardır.

2.9.5 Asansör Halatları

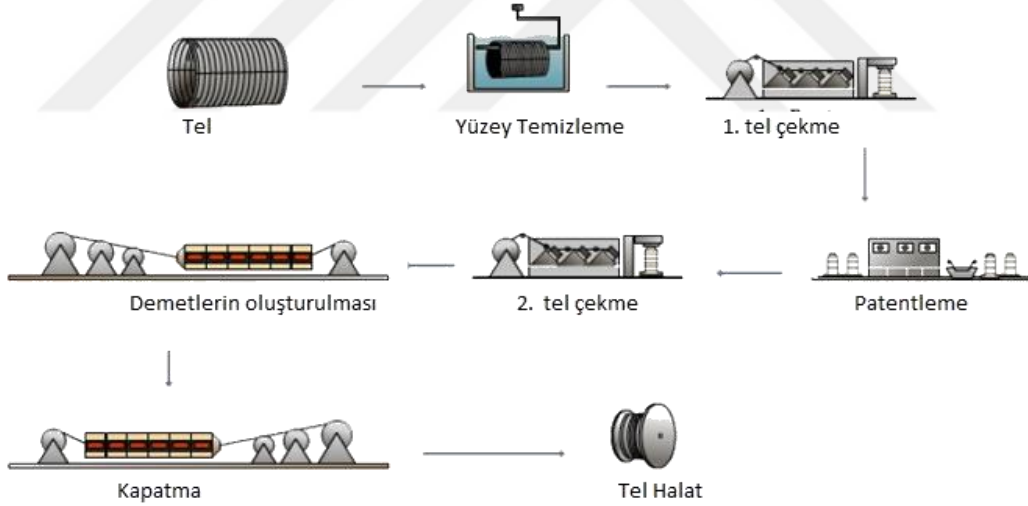
Aşınma ve yorulma dayanımı yüksek, esnek halatlardır. İnsan taşıma sistemlerinde kullanıldıkları için en az on iki kat emniyetli üretilirler.

2.9.6 Özel Halatlar

Yukarıdakilerin dışında farklı tel profillerinden yapılan veya farklı malzemeler kullanılarak yapılan halatlar vardır. Kenetli halatlar, dışı veya sarımlarının arası plastik malzemeyle kaplı halatlar, özel durumlar için üretilen dönme dirençli ve yassı halatlar bunlara örnektir. [11]

HALAT ÜRETİMİ

Halat birçok farklı çelik ve alaşımlarından imal edilebilirler. Teller veya sarımlar, demir dışı malzemelerle kaplanabilirler. Genel olarak yüksek karbonlu çelikler halat imalatında kullanılmaktadır. Özel durumlar için paslanmaz çelikler de tel imalatında kullanılmaktadır.



Şekil 3. 1 Çelik halat üretimi

3.1 Yüzey Temizleme

Tel çekme işlemini kolaylaştırmak ve olası hataları engelleyebilmek için, çekilecek malzemenin yüzeyindeki kalıntı ve pasın giderilmesi için uygulanır.

3.2 Tel Çekme İşlemi

Tel çekme, kalın kesitli olan bir telin, bir matris (kalıbı) içinden geçirilerek kesitini küçültme işlemidir. Tel kesitleri genellikle daireseldir. Ancak kare altıgen kesitlerde çekilebilmektedir. Dairesel kesitli çubuklar çekilerek cıvata, saplama gibi elemanların üretiminde kullanılırlar.

Çelik tellerin hammaddesi filmaşın olurken demir dışı tellerin hammaddesi ekstrüzyon ürünü çubuklardır. Çekme işlemi yağlama bakımından kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılır. Kuru çekmede gres veya sabun tozu kullanılırken, ıslak çekmede sıvı yağ kullanılır. 5 mm den küçük teller yalnızca çekme yolu ile elde edilirken 5 mm den büyük teller sıcak haddeleme ile elde edilirler.

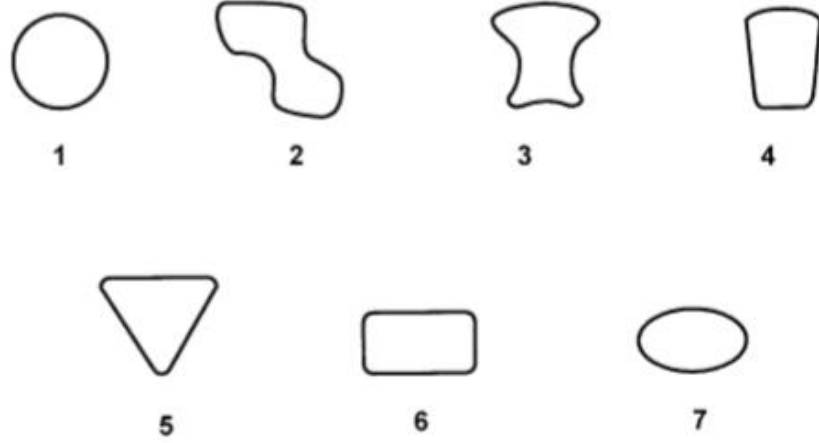
Çelik Adı	Çelik Numarası	Yüzde Karbon İçeriği
C 42 D	1.0541	0.40–0.45
C 48 D	1.0517	0.45–0.50
C 50 D	1.0586	0.48–0.53
.....
C 82 D	1.0626	0.80–0.85
C 86 D	1.0616	0.83–0.88
C 88 D	1.0628	0.85–0.90
C 92 D	1.0618	0.90–0.95

Şekil 3. 2 Tel çekmede kullanılan alaşımsız karbon çelikleri [11]

Çekilecek teller %0,4-0,95 arasında yüksek karbon içerir. Çeliğin adı karbon oranını vermektedir. Örneğin C82D çeliğinde %0,82 oranında karbon vardır.

Karbon çelikleri diğer elementlerden az miktarda, limitler dahilinde içerir. (Si 0,1-0,3%, Mn 0,5-0,8%, P ve S <0,023%, C<0,15%, Ni<0,2%, Mo<0,05, Cu<0,25, Al<0,01). Karbon oranının artmasıyla birlikte dayanım artar.

Genellikle kullanılan teller yuvarlak kesitlidir. Profil teli denilen, farklı kesitlere sahip teller de özel durumlarda çelik halat üretiminde kullanılabilir.



Açıklama

- | | |
|---|------------------|
| 1 | Yuvarlak |
| 2 | Tam kenetli (Z) |
| 3 | Yarı kenetli (H) |
| 4 | Yamuk (T) |

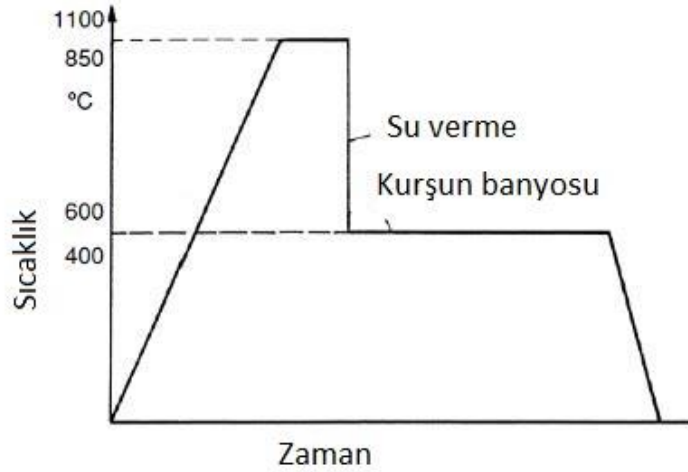
- | | |
|---|----------------|
| 5 | Üçgen (V) |
| 6 | Dikdörtgen (R) |
| 7 | Oval (Q) |

Şekil 3. 3 Tel çekme profilleri [11]

Patentleme işleminden önce yapılan tel çekme birinci tel çekme, patentleme işleminden sonra yapılan tel çekme ikinci tel çekme işlemi olarak isimlendirilir.

3.3 Patentleme İşlemi

Çelik teller sürekli bir sistemde ısıtma işlemi sokulduktan sonra adım adım çekilir. Patentleme bir ısıtma işlemi çeşididir. İlk olarak tel 900°C'ye kadar ısıtılır, daha sonra sıcaklığı aniden 500°C'ye düşürülür. Bu işlem kurşun banyolarda yapılır. Banyodan çıkınca ortam sıcaklığına getirilir.



Şekil 3. 4 Patentleme işlemi grafiği

Patentleme sonucunda, çeliğin iç yapısı çekme işlemi için çok uygun olan sorbite dönüşür. devam eden çekme proseslerinde, telin kesit alanı aşamalar halinde küçültülür, örneğin 6 mm'den 2 mm'ye 6 aşamada düşer. Teller patentlendikten sonra tekrar çekilebilir. Patentle işlemi sonucunda malzeme iri tane yapısından dolayı gevrekleşir fakat çekme işlemi sırasında oluşan soğuk deformasyon bu etkiyi ortadan kaldırır.

Tel çekme işleminde, azalan kesit alanıyla birlikte dayanım artar, breaking extention azalır. arbon oranı ne kadar artarsa, dayanım da o kadar artar. Küçük çaplı tellerde dayanım 4000N/mm^2 'ye, daha kalın tellerde dayanım 2500N/mm^2 'ye kadar çıkabilir. Çelik tellerin standartlaştırılmış nominal dayanımları vardır. Bunlar 1370, 1570, 1770, 1960, 2160 ve 2450N/mm^2 'dir.

Halat dayanım sınıfı	Telin çekme dayanım sınıfı N/mm^2	
	En küçük	En büyük
1770	1570	1960
1960	1770	2160
2160	1960	2160

Şekil 3. 5 Halat dayanım sınıfları [13]

3.4 Demetlerin Oluşturulması

Demetlerin oluşturulduğu aşamadır. Demeti oluşturan öz teli ve çevresine konumlandırılmış teller aynı yönde bükülürler. Daha çok katmandan oluşan ve çapraz sarımlara sahip demetlere bükme işleminden sonra tel sarma işlemi uygulanarak farklı yöndeki demet sarımları oluşturulur.



Şekil 3. 6 Demetlerin oluşturulması

3.5 Kapatma

Çelik halat üretiminin son aşamasıdır. Oluşturulan demetler, lif veya çelik sarımlardan oluşan bir öz etrafına sarılarak tel halat oluşturulur.

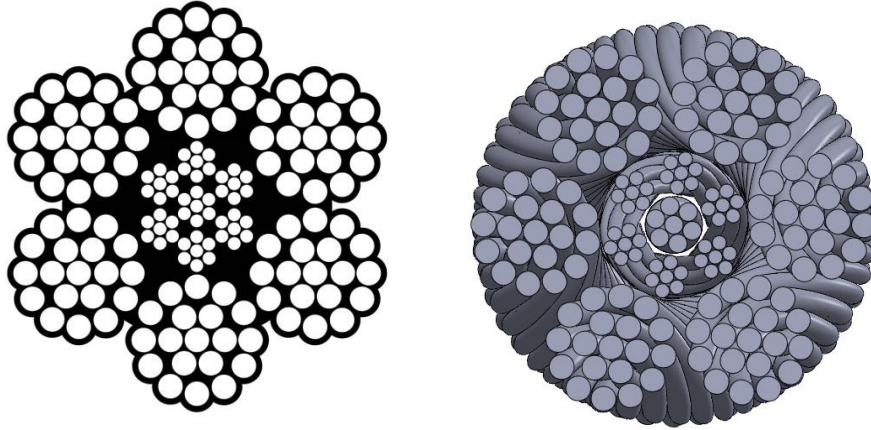


Şekil 3. 7 Halat kapatma işlemi

HALATIN MODELLENMESİ

4.1 Modeli Oluşturulan Halat Bilgisi

Modelin oluşturulması için 6x19 IWRC halat referans alınarak ölçülmüştür. Referans halat bağımsız çelik özlü olmakla birlikte, her biri 19 adet telden oluşan 6 dış sarımdan meydana gelmektedir. Düzenli sarıma sahip, sağa sarımlı bir halatır. Her biri 6 adet telden meydana gelen 6 sarımla birlikte, 6 adet telden meydana gelen en iç sarım halatın çelik özünü oluşturmaktadır. Halat dış çapı 18 mm'dir.

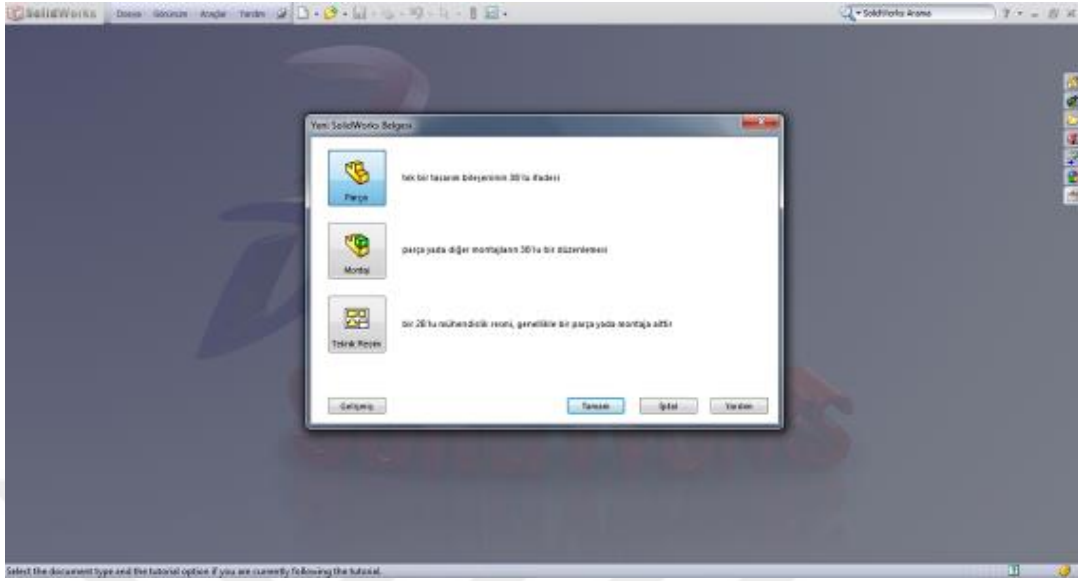


Şekil 4. 1 Tasarlanan halatın kesit görünüşü

4.2 Halat Modelinin Oluşturulması

Modelleme Solidworks 2010 x64 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan tüm ölçüler üretilmiş halat üzerinden alınarak çizim programına girilmiştir. Programın başlangıç

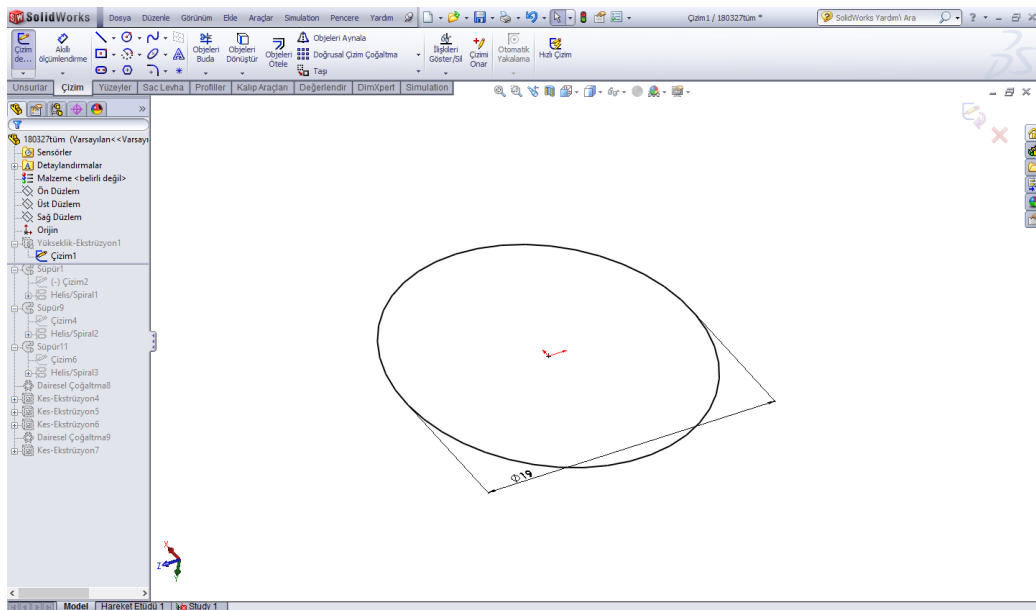
arayüzü şekilde görüldüğü gibidir. Yeni belge oluşturulduğunda şekildeki ekran gelmektedir. “Parça” seçeneği seçilerek yeni tasarım elemanı oluşturulur.



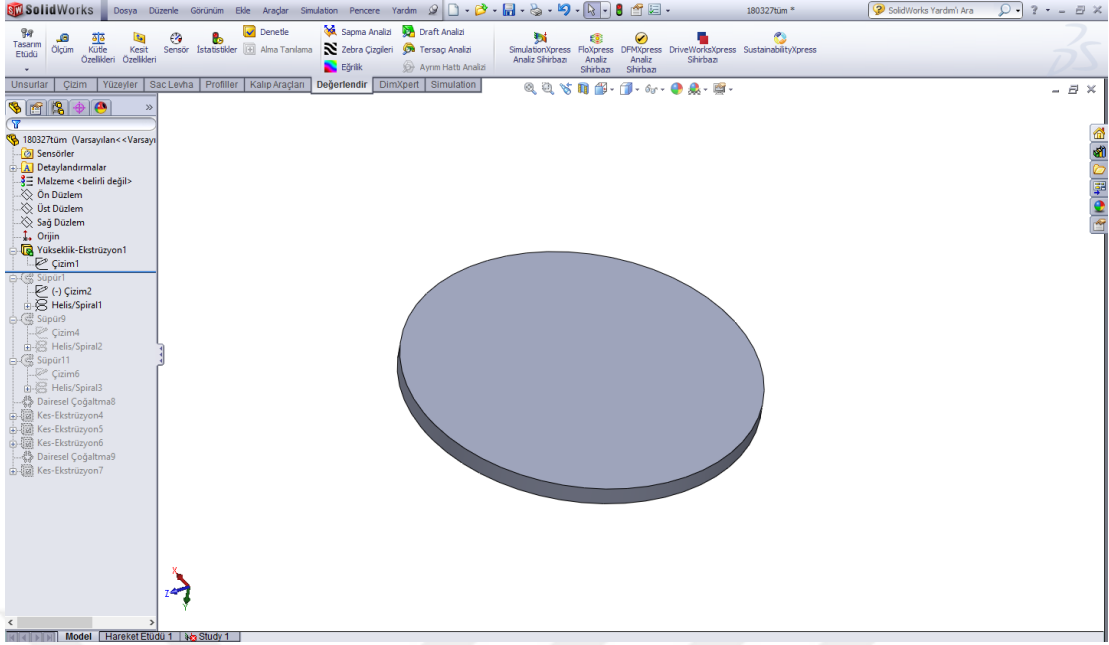
Şekil 4. 2 Çizim oluşturma ekranı

4.2.1 Çelik Özü Oluşturan Sarımların Modellenmesi

Modellemenin ilk adımı olarak, işlemi kolaylaştırmak için halat tellerinin oturtulacağı bir yüzey oluşturulur. Bu amaçla programda 19 mm çapında disk şeklinde bir katı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yüzeye referans yüzey, oluşturulan katı modele de referans yüzey katı modeli ismi verilmiştir.

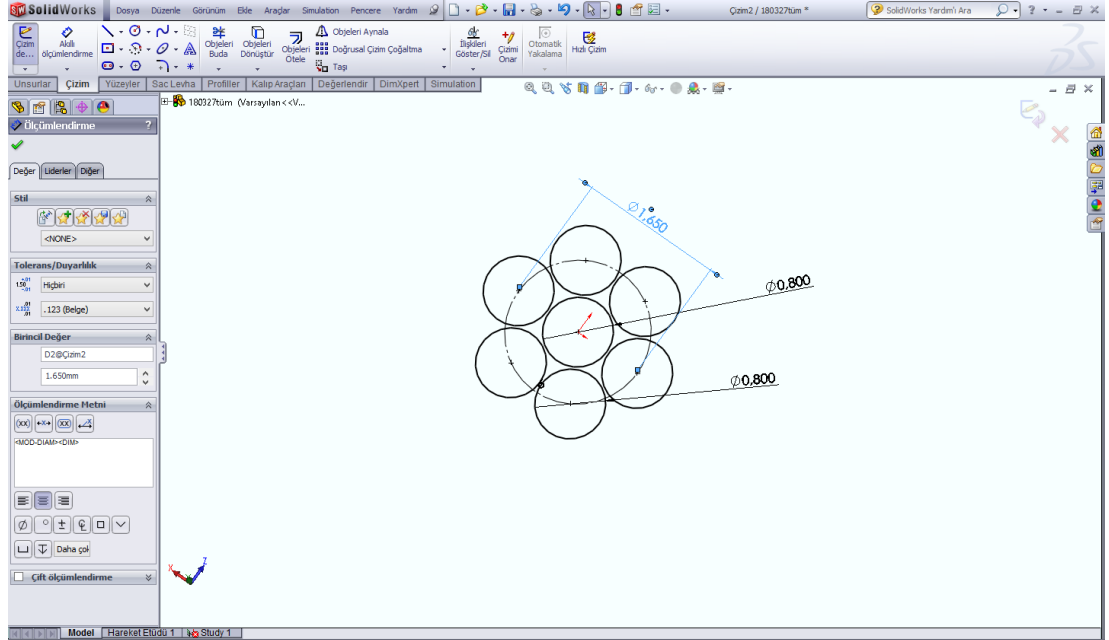


Şekil 4. 3 Referans yüzey oluşturulması



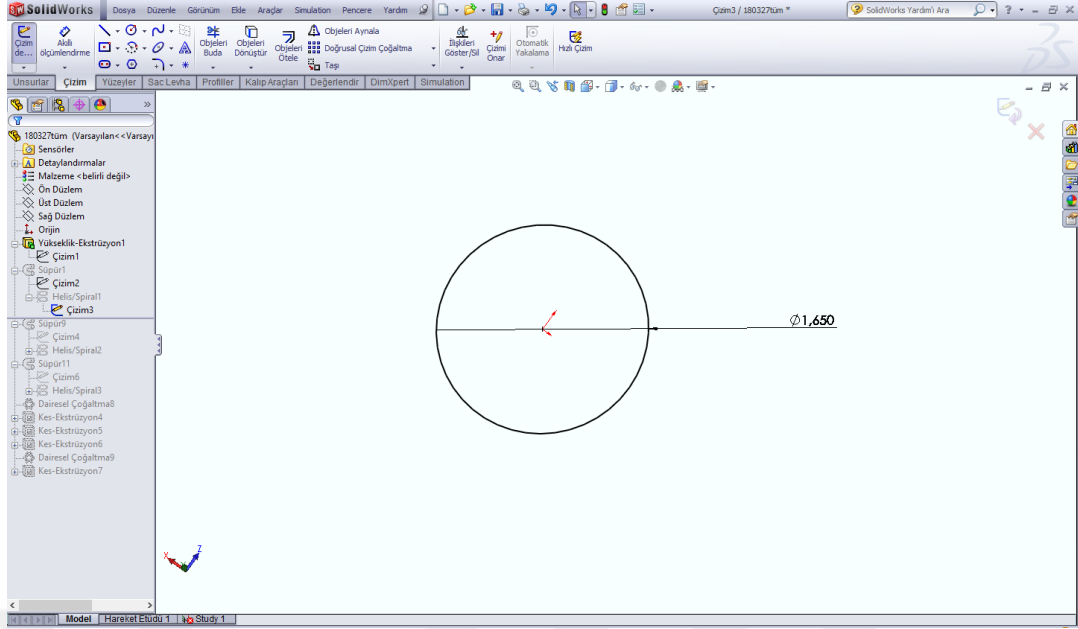
Şekil 4. 4 Referans yüzey katı modeli

Oluşturulan katının yüzeyi seçilerek yeni bir çizim açılır ve halat özünü oluşturacak olan 1 merkez ve 6 çevre teli çizilir. Tüm tel çapları 0,8 mm'dir. Program kaynaklı hatayı engellemek için, teller arasında 0,05 mm boşluk bırakılmıştır.



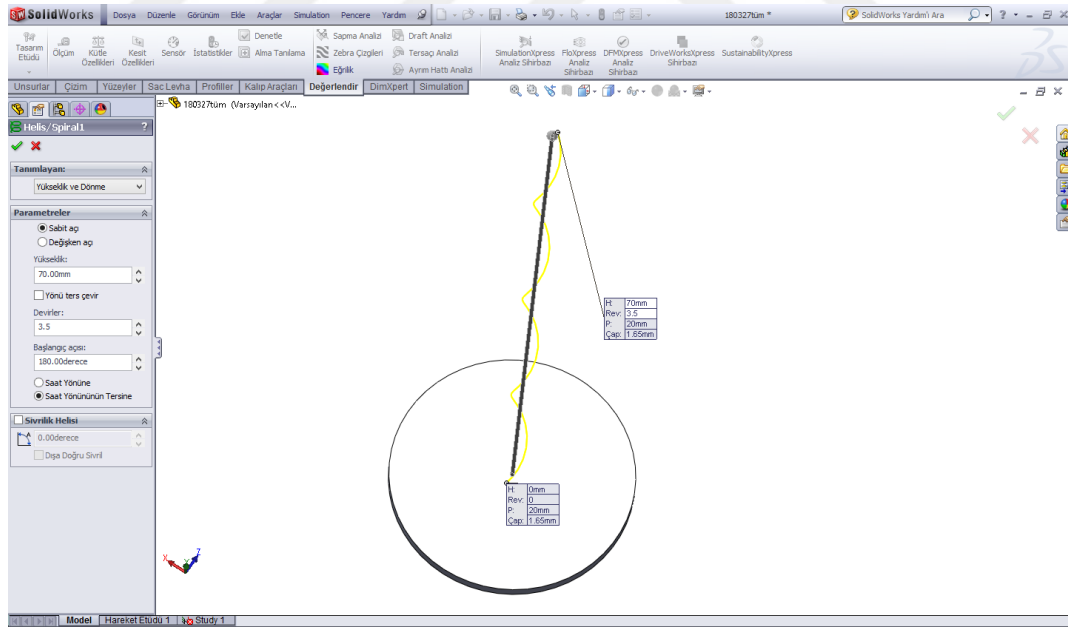
Şekil 4. 5 Özü oluşturan sarım

Tel halat formuna uygun olarak, dönerek ilerleyecek tellere bir rota oluşturmak amacıyla helis komutu kullanılır. İlk olarak merkez telin etrafındaki bulunan 6 adet telin merkezinden geçen ve çapı 1,65 mm olan daire çizilir.



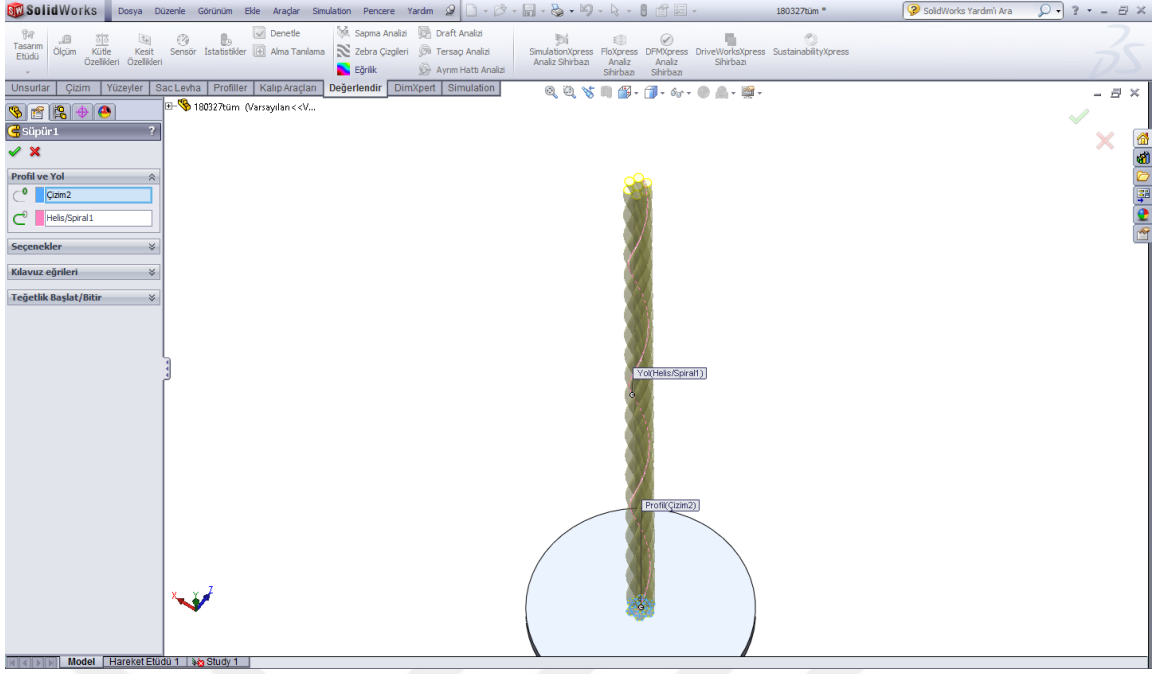
Şekil 4. 6 Helis tabanı

Helis komutuyla, bu daire üzerinde dönerek ilerleyen tellerin rotası oluşturulur. Halat üzerinde yapılan ölçümlerde, dış tellerin 20 mm mesafede bir tam tur attıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle yükseklik 70 mm ve devir 3,5 girilmiştir.

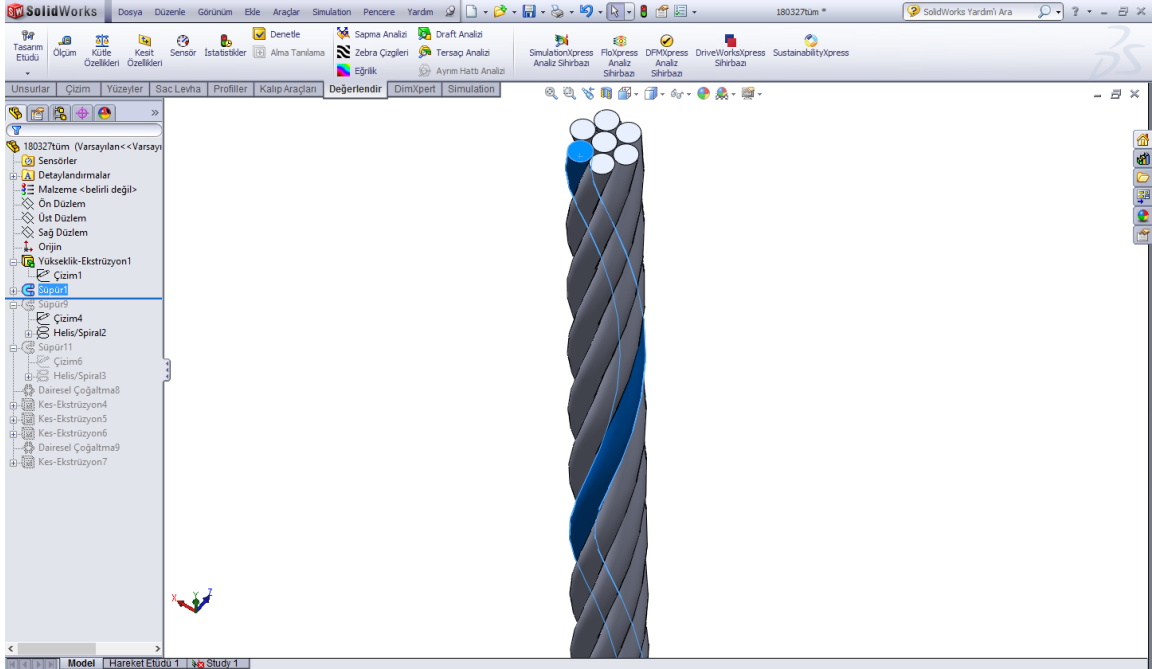


Şekil 4. 7 Helis eğrisi

Süpür komutuyla profil(çizim 2) ve yol(helis/spiral 1) seçilerek iç sarımlar oluşturulur.

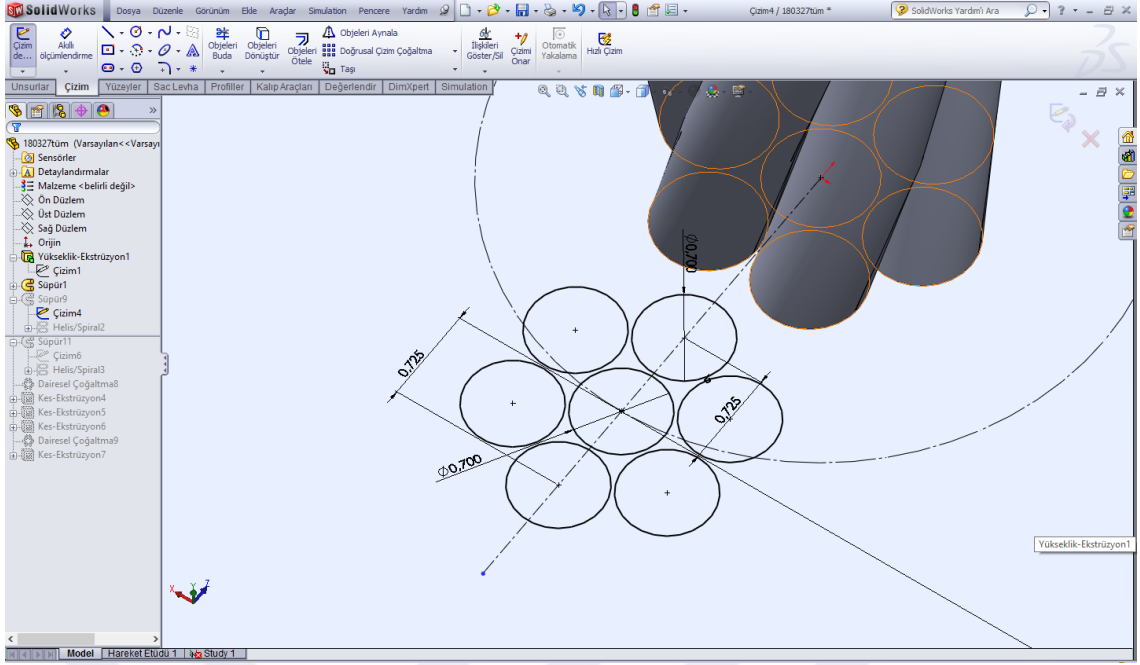


Şekil 4. 8 İç sarımlar



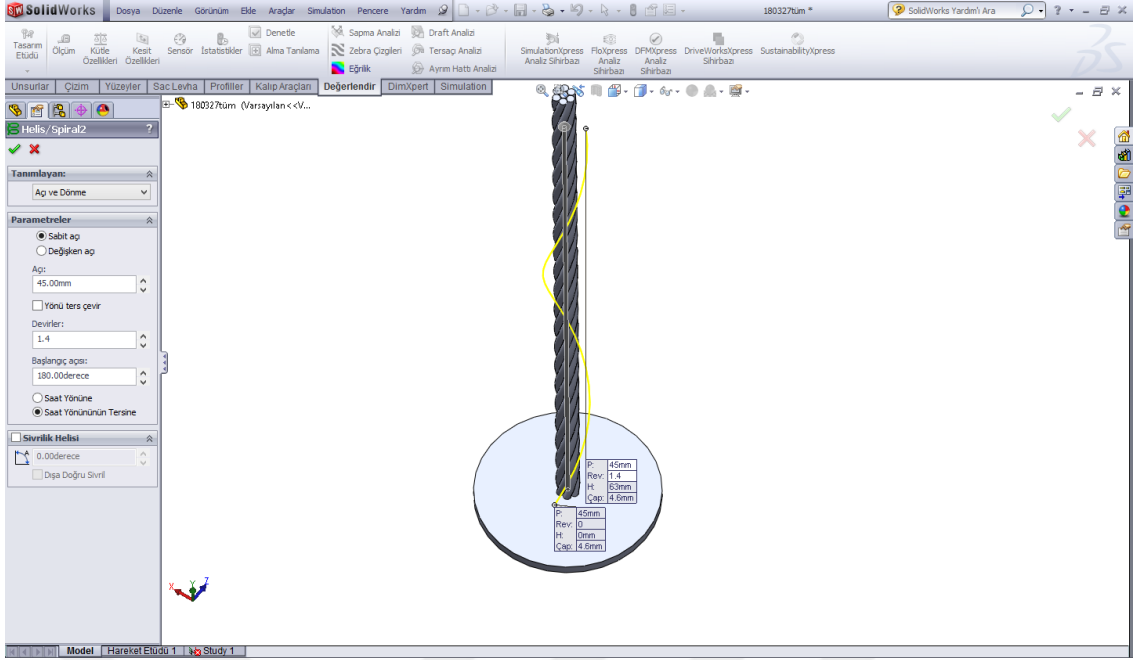
Şekil 4. 9 İç sarımlar

Bir sonraki aşama merkez sarımın etrafını kaplayan sarımları oluşturmaktır. Çizim düzlemi olarak ilk oluşturulan katının yüzeyi seçilir ve çizim 4 oluşturulur. Çizim 4 0,7 mm çapında 7 adet telden oluşmaktadır.



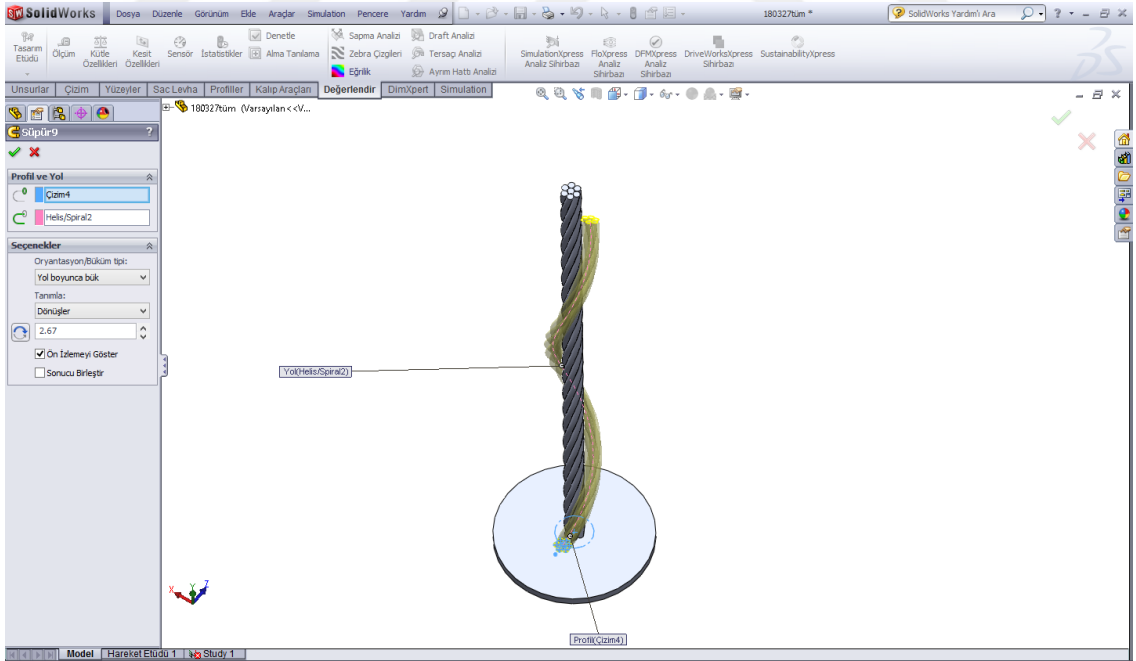
Şekil 4. 10 Merkez sarım etrafı sarımlar

Bu sarımları oluşturan teller hem kendi etraflarında dönmekte, hem de merkez telin etrafına dönerek sarılmaktadır. Halat formuna uygun olarak ilerleyecek ve merkez sarımın etrafına sarılacak tel demeti için bir rota oluşturmak amacıyla helis komutu kullanılır. İlk olarak sarımın merkez telinden geçecek çapı 4,6 mm olan bir daire çizilir. Bu daire kullanılarak sarımı oluşturan teller 45 mm mesafede merkez halat etrafında tam bir tur atacak şekilde bir rota oluşturulur.

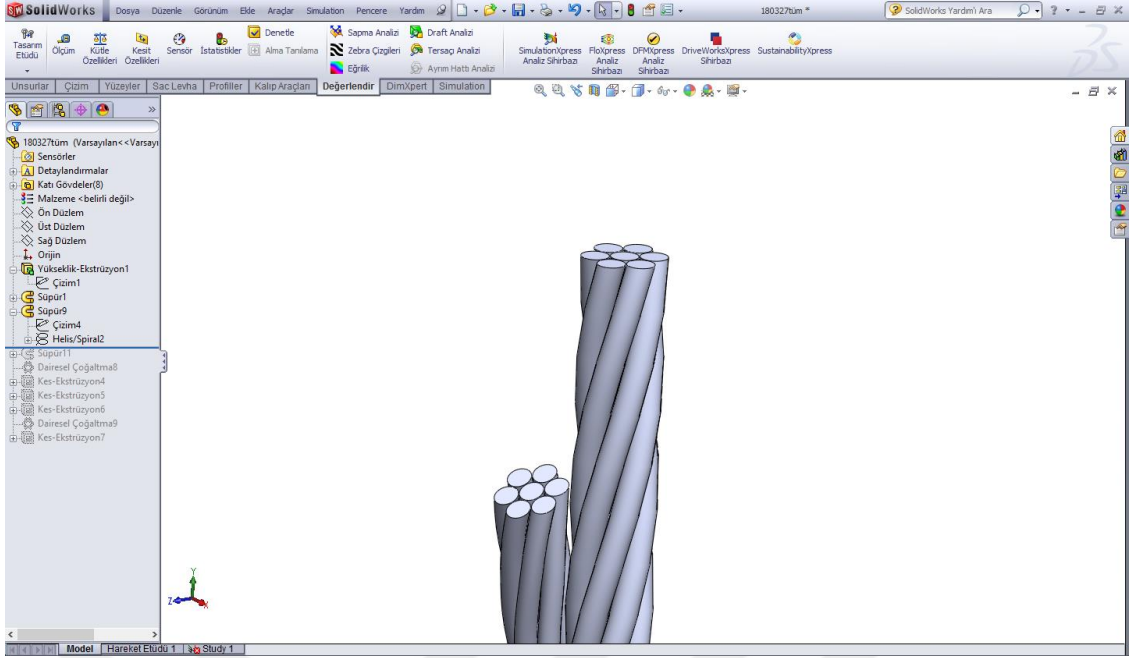


Şekil 4. 11 Helis eğrisi

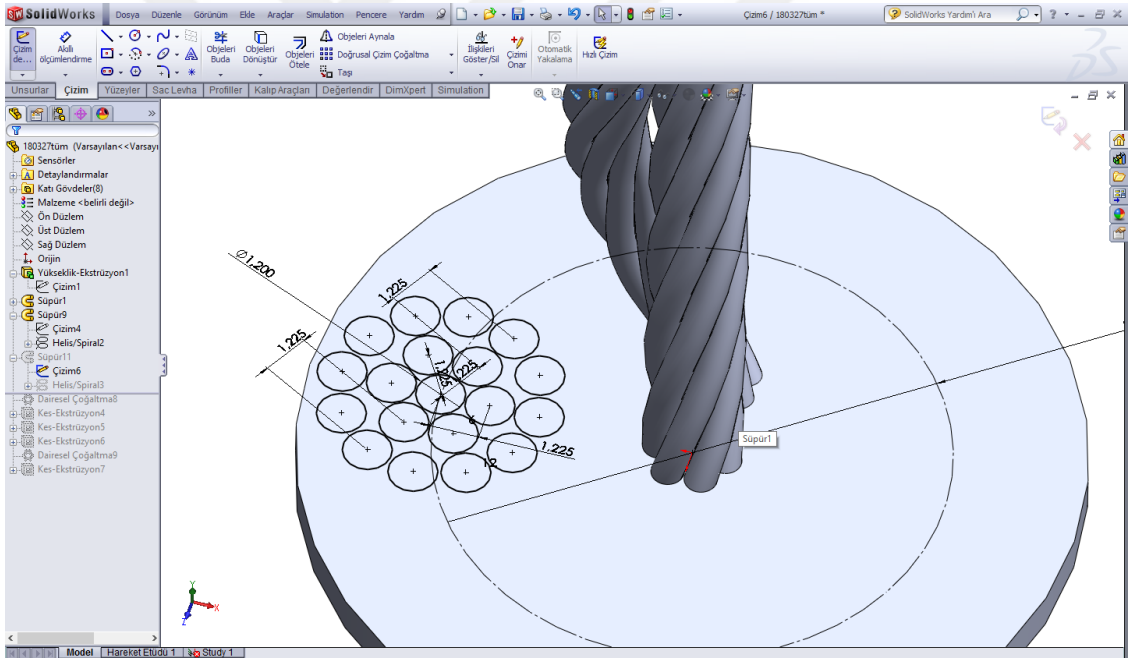
Aynı zamanda sarımı oluşturan teller, 23,6 mm mesafede bir sarım etrafında tam tur yaptıklarından süpür komutu yardımıyla süpürüldükleri mesafe boyunca kendi etrafında dönmeleri sağlanmıştır.



Şekil 4. 12 Tel demetinin döndürülmesi



Şekil 4. 13 Birinci ve ikinci sarımlar



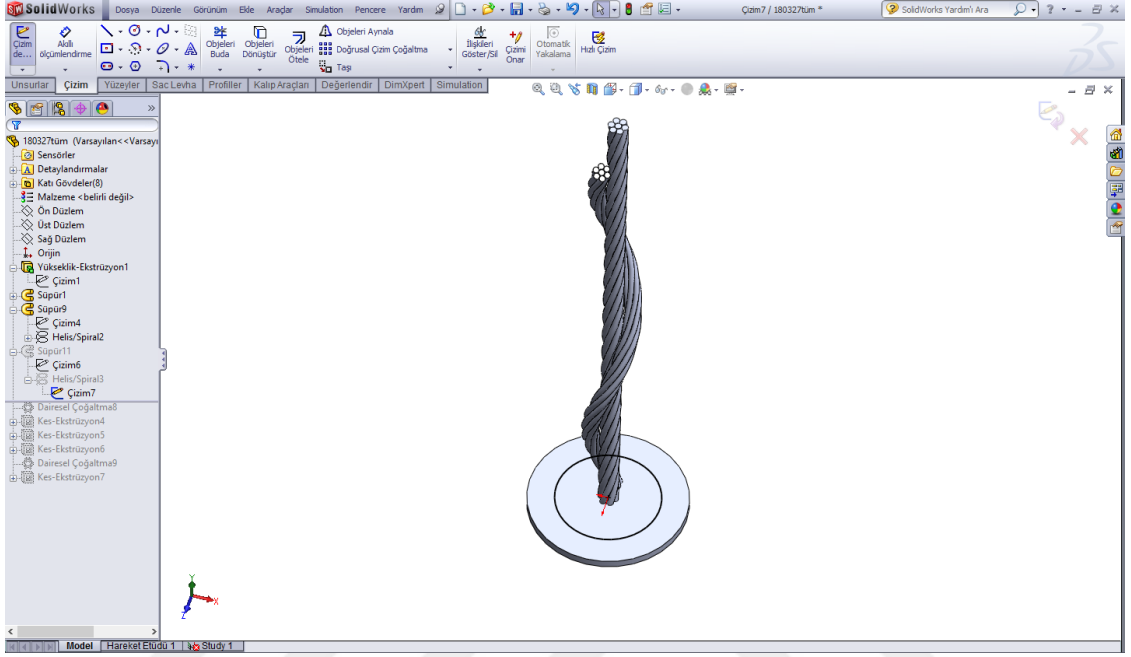
Şekil 4. 14 Dış sarımların modellenmesi

4.2.2 Dış Sarımların Oluşturulması

Son olarak dış sarımlar oluşturulmuştur. Dış sarımlardan her birinin çapı 1,2 mm olan 19 adet telden oluşmaktadır. İlk oluşturulan katının yüzeyi seçilerek yeni bir çizim açılır.

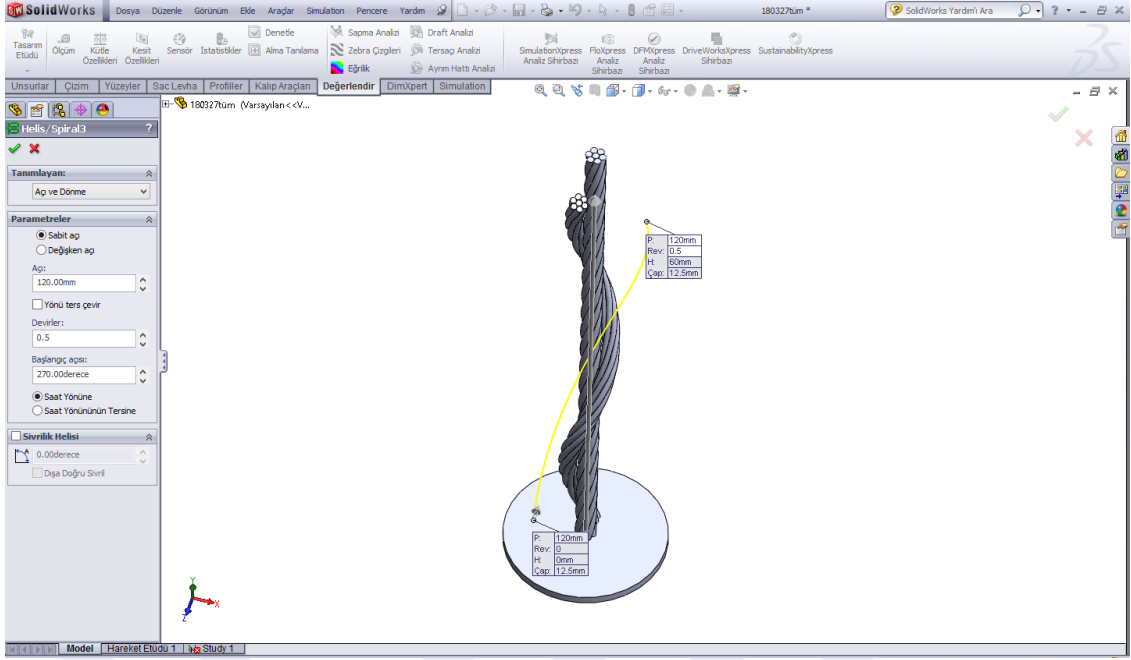
Son sarımın merkez teli , halat merkezinden 12,5 mm uzaklıkta olacak şekilde çizim konumlandırılır.

Helis komutu seçilerek, referans olarak merkezi halat merkezinde olan 12,5 mm çapında bir daire çizilir.



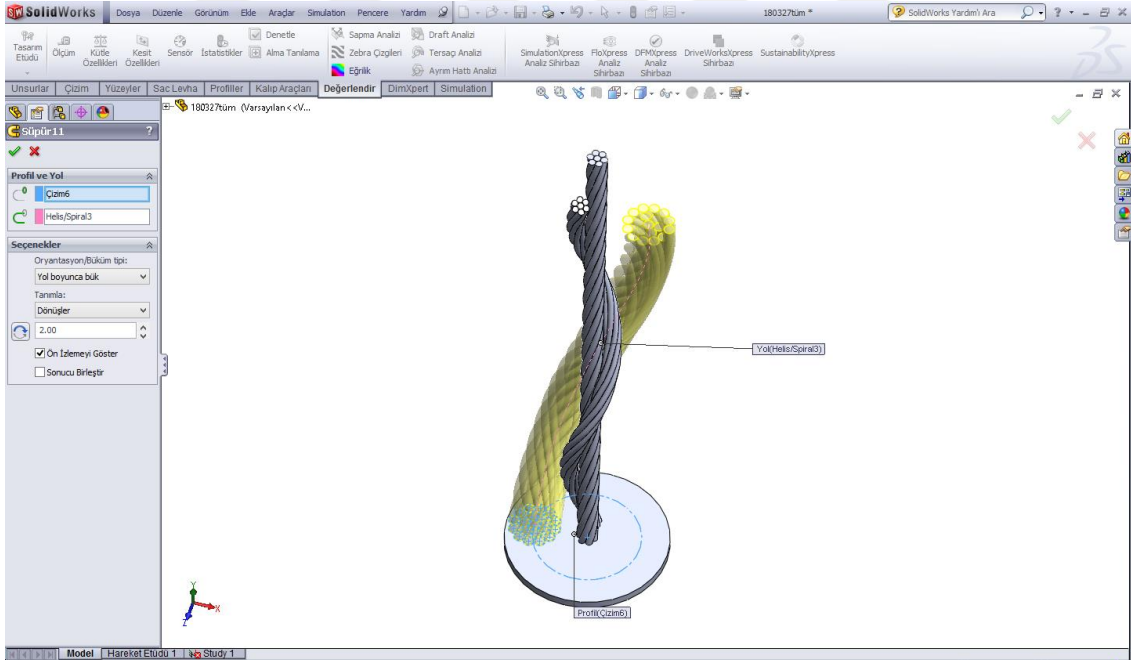
Şekil 4. 15 Dış sarım helis eğrisi

Helis komutuyla, dış sarımın iç sarımlar etrafında takip edeceği yol belirlenir. Dış sarım iç sarımlar etrafındaki bir tam dönüşünün 120 mm mesafede tamamlamaktadır.

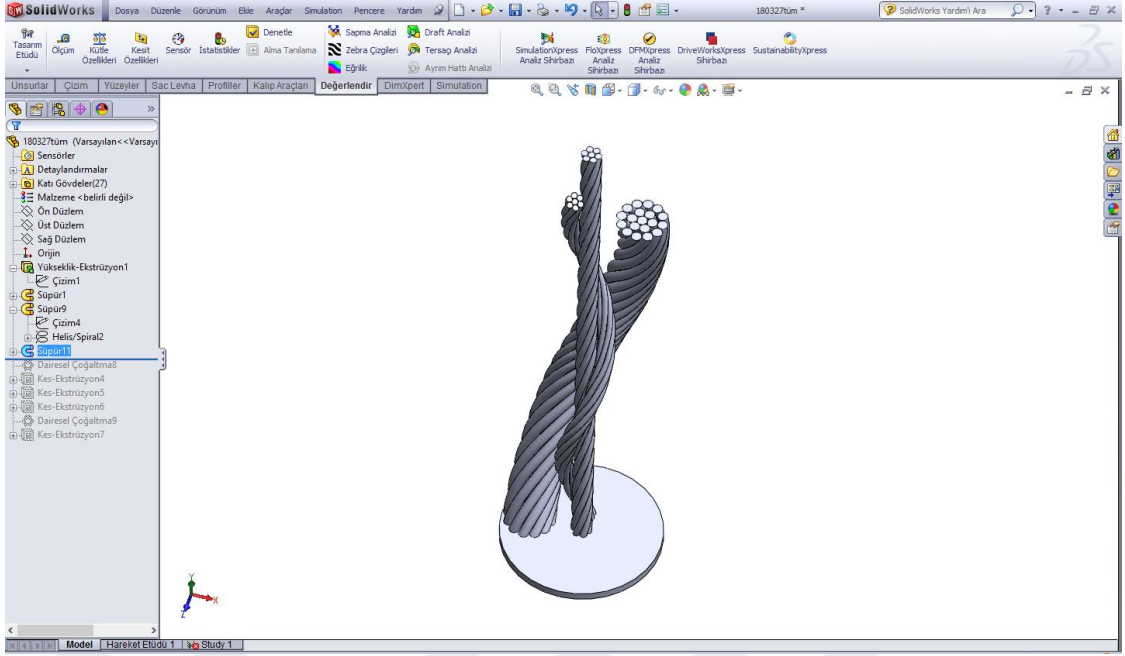


Şekil 4. 16 Dış sarım helis eğrisi

Süpür komutu kullanılarak en dış sarımın bir tanesini oluşturan 19 adet tel oluşturulan yol etrafında ve 31,25 mm de bir kendi etrafında 1 tam bükülecek şekilde oluşturulur.

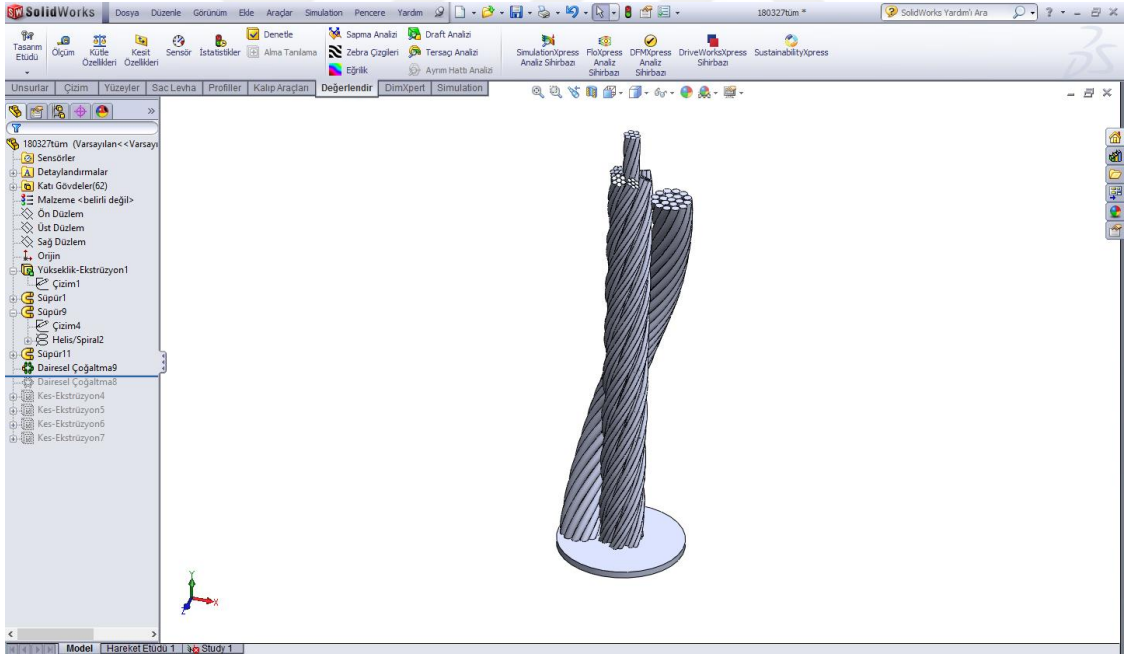


Şekil 4. 17 Dış sarımların süpürülmesi



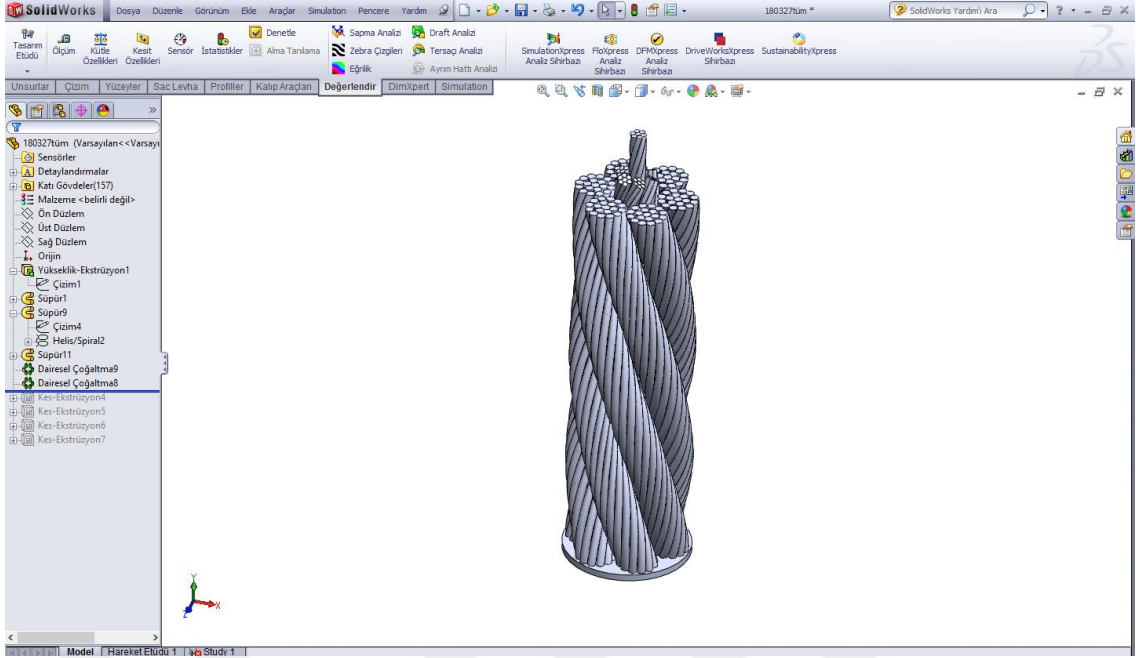
Şekil 4. 18 Halatı oluşturan tüm sarımlar

Merkez sarımın etrafını saran 2. sarımlar dairesel çoğaltma komutuyla çoğaltılır.



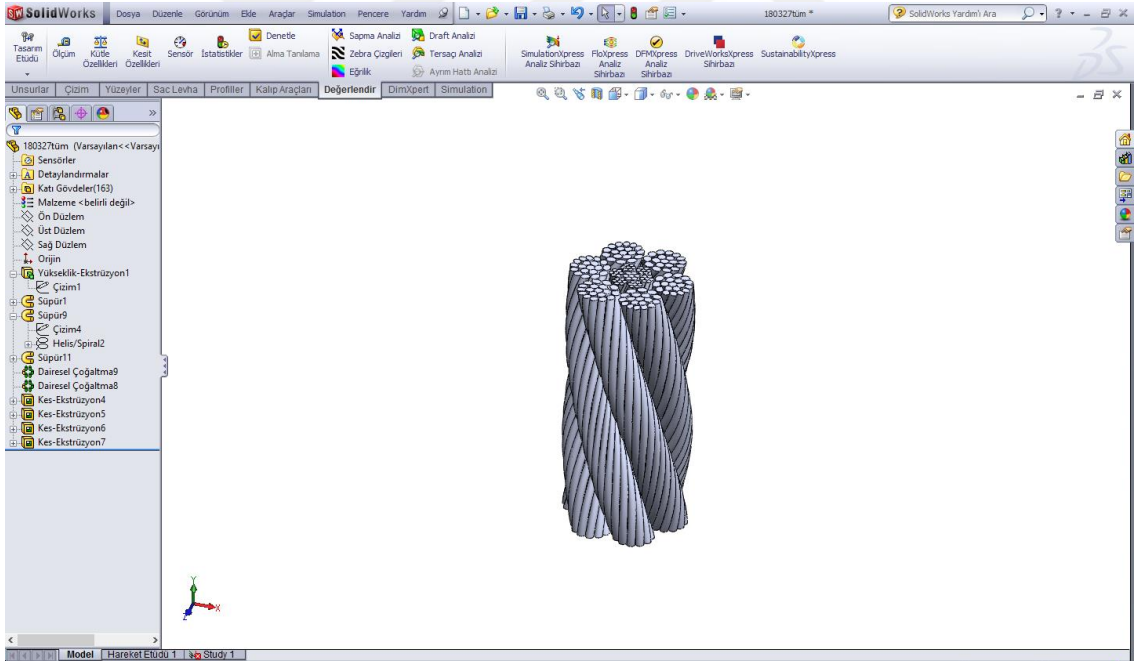
Şekil 4. 19 Birinci sarımların çoğaltılması

Dış sarımlar dairesel çoğaltma komutuyla çoğaltılır.

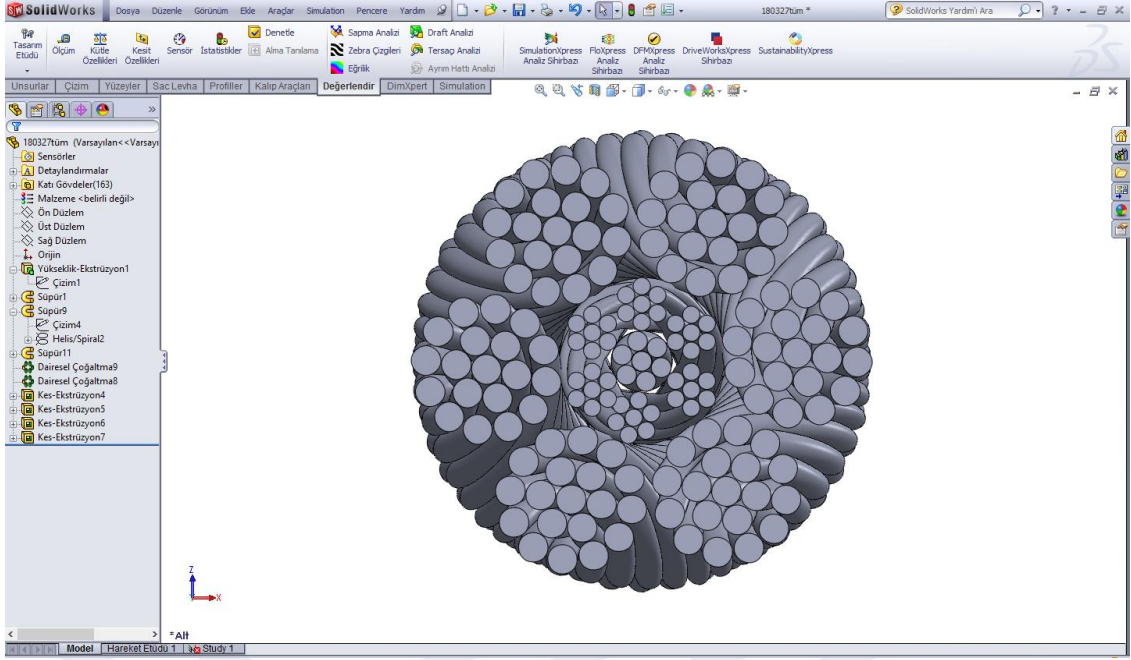


Şekil 4. 20 Halatın tüm sarımları

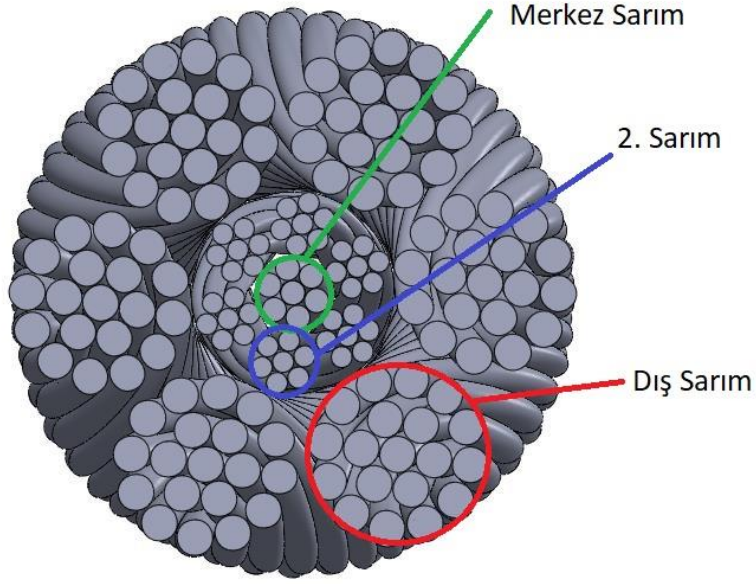
Oluşturulan model kısaltılarak, analiz işlemlerine hazır hale getirilir.



Şekil 4. 21 Son model

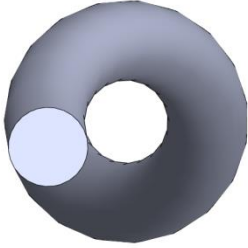

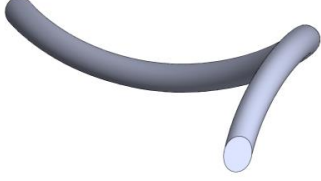


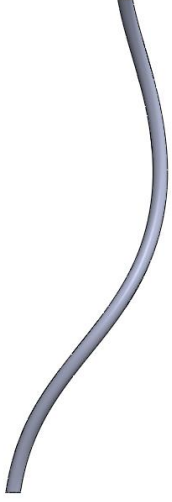


Şekil 4. 22 Modelin üstten görünüşü



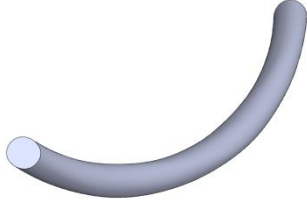


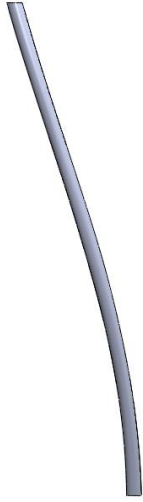


Şekil 4. 23 Sarımların isimlendirilmesi

Çizelge 4. 1 Sarımların dışında bulunan tellerin izledikleri rotalar

	Merkez Sarım	2. Sarım	Dış Sarım
Üstten görünüş			
Önden görünüş			

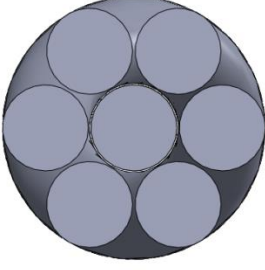

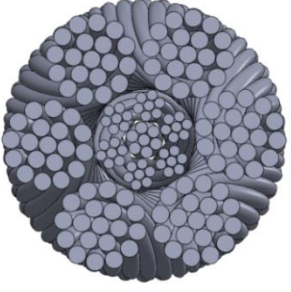


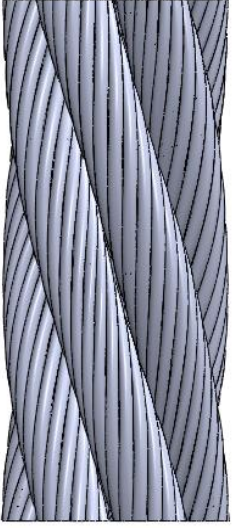
Çizelge 4. 2 Sarımların merkez tellerin izledikleri rotalar

	Merkez Sarım	2. Sarım	Dış Sarım
Üstten görünüş			
Önden görünüş			

4.2.3 Oluşturulan Model Bilgileri

Analiz işlemlerinde kullanılmak üzere 3 adet model oluşturulmuştur. 1 numaralı model sadece en iç sarımı, 2 numaralı model halatın özünü, 3 numaralı model halatın tamamını içermektedir. Halat modelinin boyutları 40 mm seçilmiştir.

Çizelge 4. 3 Model görünüşleri

	Model 1	Model 2	Model 3
Üstten Görünüş			
Yandan Görünüş			

Çizelge 4. 4 Model bilgileri

Model Adı	Model 1	Model 2	Model 3
Model Boyutu	582 kb	11,4 Mb	70,4 Mb
Katı Gövde Sayısı	7	49	163
Model Uzunluğu	40 mm	40 mm	40 mm

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (FEM)

Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık mühendislik problemlerinin çözümüne ayrıca, tıp ve diş hekimliği başta olmak üzere birçok alanlarda mühendislik yaklaşımlarına sonuç arayan sonuç arayan sayısal bir metottur [14].

İlk olarak 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizleri için kullanılmıştır[9]. Gelişen bilgisayar kapasiteleriyle birlikte, günümüzde makine, inşaat, tıp gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İnsan vücuduna eklenecek protezlerin dayanımı, kazanlarda ısı iletimi, hava tanklarının dayanım hesabı, elektrik ve elektronik alanların analizi, patlatma testleri, otomotiv sektöründe çarpışma testleri, sac metal kalıpcılık sektöründe saçların şekillendirilmesi, kanallardan hava akışlarının hesaplanması gibi birçok alanda sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır.

Kafes yapıları gibi basit sistemler üzerinde oluşan gerilme ve yer değiştirmeler analitik metodlar kullanılarak kolayca hesaplanabilmektedir. Karmaşık sistemlerin analitik olarak ifade edilmesi ve çözümlenmesi oldukça zordur. Ayrıca, analitik yöntemler kabullere dayandığından, karmaşık sistemlerin çözümünde hatalı sonuçlara ulaşma ihtimali de vardır. Bu nedenle sonlu elemanlar metodu karmaşık geometrilerin çözümlenmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin temeli, incelenecek yapının parçalara ayrılmasına dayanır. Her bir parçaya “sonlu eleman” veya “mesh” denilmektedir. Bu nedenle, parçalara bölme işlemi için “elemanlara ayırma” veya “meshleme” terimleri kullanılmaktadır.

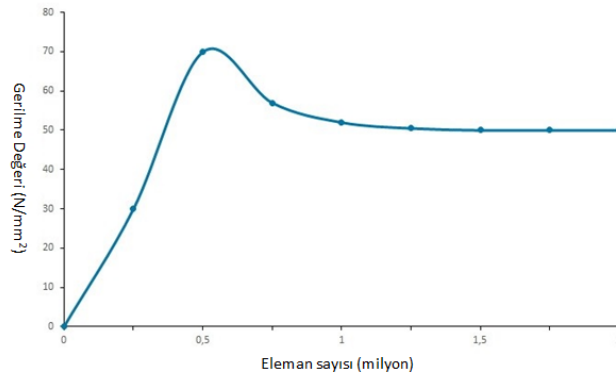
Elemanların birbirlerine bağlandıkları noktalara “düğüm noktası” veya “node” adı verilmektedir.



Şekil 5. 1 Sonlu elemanlara ayrılmış model

Elemanlara bölmenin temel amacı, çözümü bilinmeyen karmaşık geometrinin bilinen fiziksel kurallarla çözülebilen küçük parçalara bölünerek problemin çözülmesidir. Bilinen fizik kuralları karmaşık geometriyi oluşturan tüm elemanlara uygulanır. Tüm elemanlar için oluşturulan çözümler, problemin çözümünü vermektedir. Belirli bir noktaya göre tüm düğüm noktalarının x, y ve z koordinatları program tarafından belirlenmektedir.

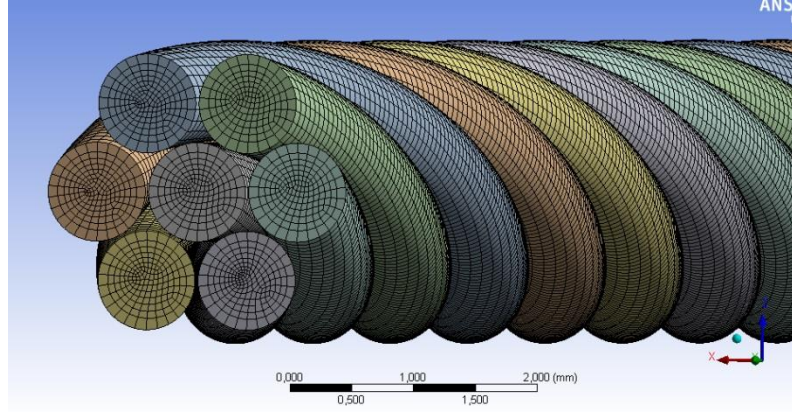
Çözüm hassasiyeti, eleman sayısı ile doğru orantılıdır. Eleman sayısının fazla olması çözüm hassasiyetini artırır fakat, bilgisayar kapasite ihtiyacı artmakta ve çözüm süresi uzamaktadır. Elemanlar küçültülerek analiz işlemine devam edilirse, bir noktadan sonra çözüm hassasiyeti artmaz. Böyle durumlarda, eleman sayısını arttırmak sonucu önemli miktarda değiştirmeyeceğinden, bilgisayar belleği gereksiz kullanımı artırır ve çözüm süresini uzatır. Optimum eleman sayısını bulmak için yapılan işleme “mesh yakınsama” denilmektedir.



Şekil 5. 2 Mesh sayısı ile sonuçların değişimi

Eleman sayısının küçültülmesi her durumda doğru sonuçlar vermemektedir. Analizi yapılacak parça keskin köşeler veya noktasal temas noktaları içeriyorsa, bu bölgelerde

gerilme yığılmaları oluşmaktadır. Eleman sayısı arttırıldıkça sonuç arttığından, sonuçlar iraksamaktadır.

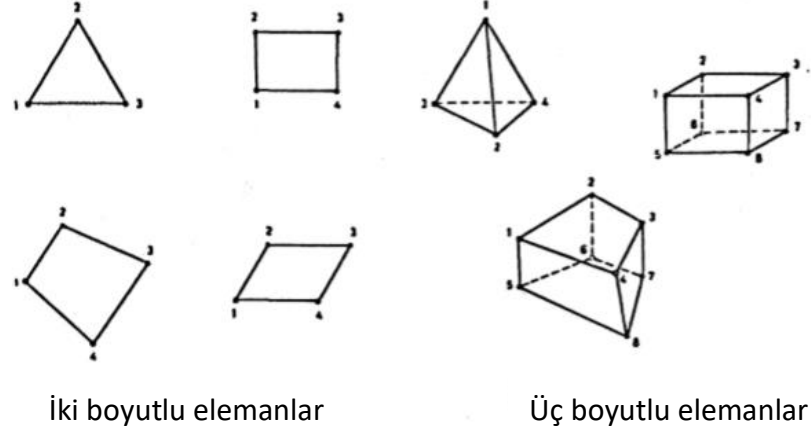
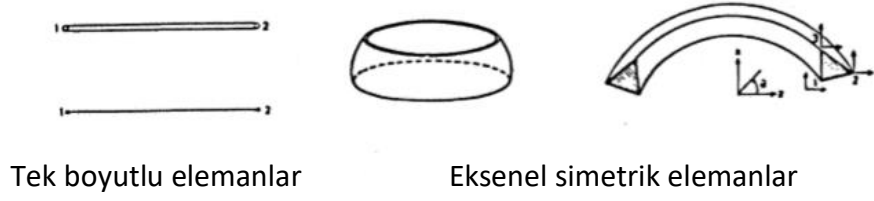


Şekil 5. 3 Sonlu elemanlara ayrılmış model

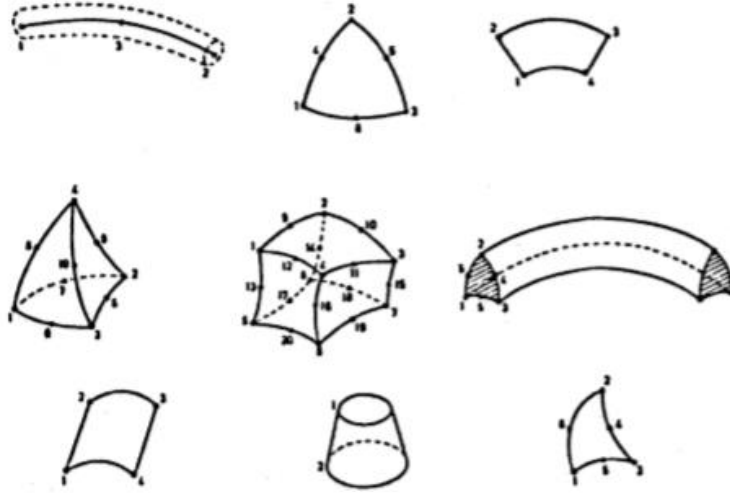
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi İşlem Adımları

Sonlu elemanlar yönteminde ilk aşama, çözümü aranan sistemin küçük parçalara ayrılmasıdır. Ayırma işleminde uygun sonlu elemanlar kullanılmalıdır. Elemanların tipi, sayısı ve düzeni doğru tespit edilmelidir [15].

Elemanlara ayırma işleminden, elemanların görünüşlerinin kontrol edilmesi gerekir. Elemanların şekilleri gerçeğe ne kadar yakınsa, bulunan çözüm gerçeğe o kadar yakın olmaktadır.



Şekil 5. 4 Eleman tipleri



Eğrisel sınırlı elemanlar

Şekil 5. 5 Eleman tipleri

Sistem elemanlara ayrıldıktan sonra, elemanın davranışını tanımlayan katsayı matrisi kurulur. Katsayı matrisi alan değişkenleri ile dış etkenler arasındaki ilişkiyi açıklar.

$$[K]*[D]=[R] \quad (5.1)$$

5.1 denklemindeki büyüklükler;

D: Büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör

R: Bilinen yük vektörü

K: Rijitlik matrisi olarak bilinmektedir.

Rijitlik matrisini türetmek için üç yöntem bulunmaktadır;

- a) Doğrudan türetme: Sadece basit elemanlarla kullanılır.
- b) Varyasyonel metod: Varyasyonel ifadeler içeren problemlerin çözümünde kullanılır.
- c) Ağırlaştırılmış artanlar metodu: Diferansiyel problemlere uygulanabilir.

Her bir eleman için yazılan katsayı matrisinin birleştirilmesi sonucu denklem takımı elde edilir. Birleştirme sonucunda, sistemin toplam serbestlik derecesi kadar denklem takımı elde edilir.

Mesnet noktaları ve sisteme etkileyen kuvvetlerin de tanımlanmasıyla,

$$[K']*[D']=[R'] \quad (5.2)$$

denklemini elde edilir.

5.2 denkleminde; $[R']$ bilinen kuvvetler ve $[D']$ bilinmeyen yer değiştirmelerdir.

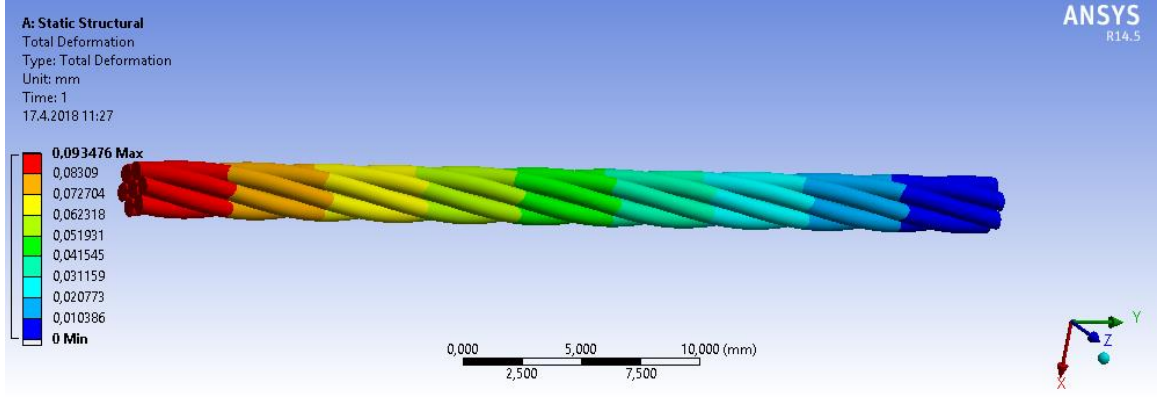
Böylece, denklem takımı mesnet ve kuvvet koşullarının eklenmesiyle çözülebilir hale gelmektedir. Bu aşamada denklem takımı eş zamanlı olarak çözülür. Sonuçta istenilen değerler bulunur.

Kullanılan analiz programları tarafından sonuçlar incelenebilir şekilde getirilmektedir.

Sonuçlar;

- Sayısal değerler,
- Rank dağılımı,
- Grafik,
- Animasyon olarak elde edilir.

Elde edilen veriler sonuçların yorumlanabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 5. 6 Sonuç ekranı

Sonlu elemanlar yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları;

- Sonlu elemanlar yöntemi ile verilen şekil ne kadar karışık olursa olsun, şekle ve boyutlarına esneklik kazandırmaktadır.
- Değişik malzeme özellikleri ve geometrisinde farklı güçlükler ortaya çıkmaz.
- Sınır şartları kolayca tespit edilir.
- Sonlu elemanlar metodunun esnekliği sayesinde çok yönlü karmaşık yapılarda diğer problemlerdeki sonuç ilişkisinden daha etkin olarak kullanılır.
- Sonuçları diğer analitik veya deneysel metotlarla daha iyi karşılaştırılabilir [16].

ANALİZ İŞLEMLERİ

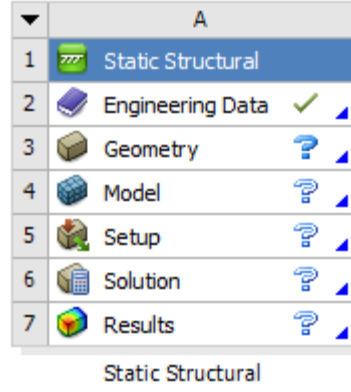
Daha önce modellemesi yapılan model 1, model 2 ve model 3 olarak adlandırılan 3 boyutlu modellerin Ansys programı kullanılarak, sonlu elemanlar yöntemiyle analizleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modellerin, elastik bölge sınırlarında kalacak şekilde farklı yükler altında uzamaları incelenmiştir.

Analiz işlemleri süresince bilgisayar kapasitesinin optimum kullanılabilmesi için literatürde bulunan benzer çalışmalar [4] dikkate alınarak, analizi yapılacak halat boyuları 40 mm alınmıştır. Halat boyunun fazla uzun alınması, çok sayıdaki temas yüzeyi dikkate alındığında, çözümü imkansız kılmaktadır.

6.1 Program Arayüzü ve Modelin Tanıtılması

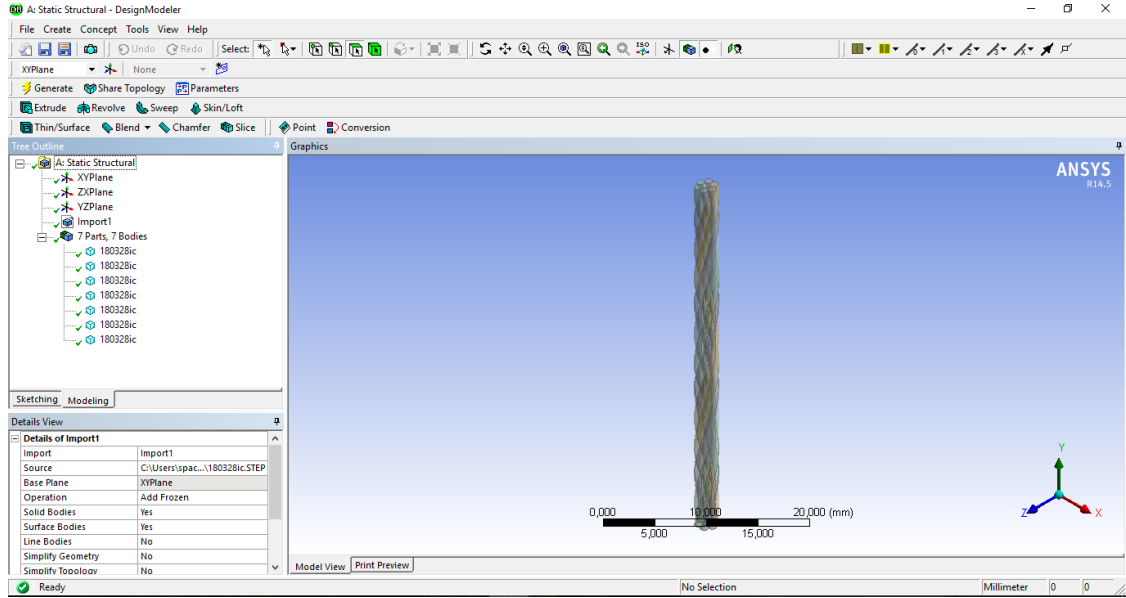
Bu bölümde analizi yapılacak modelin ANSYS Workbench yazılımına tanıtılması anlatılacaktır.

Solda bulunan “Analysis Systems” menüsünden analiz tipi “Static Structural” seçilir. Ekran programın oluşturduğu, analiz işlemlerinin yapılabilmesi için tanımlanması gereken değişkenleri gösteren bir tablo gelmektedir. Program otomatik olarak malzeme tanımladığından, “Engineering Data” kısmı tamamlanmış görülmektedir. İlerleyen adımlarda malzeme tanımı değiştirilecektir.



Şekil 6. 1 Analiz adımları

“Geometry” bölümüne girilerek “File” menüsü altında bulunan “Import External Geometry File...” komutuyla, step dosya formatında kaydedilmiş olan tasarım dosyası çağırılır. “Generate” butonu kullanılarak, model ANSYS programına aktarılır. Geometry ekranı Şekil 6.2’de görülmektedir. Sol taraftaki menüden programa aktarılan gövde ve parçaların uygunluğu kontrol edilmektedir.



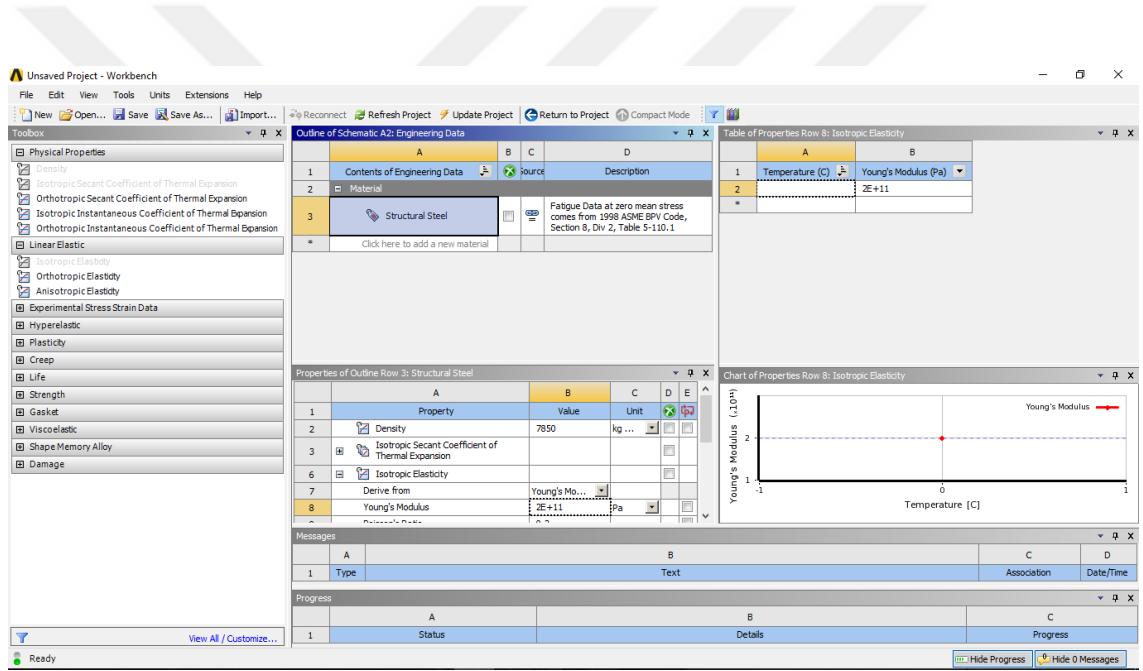
Şekil 6. 2 Geometri

6.2 Malzeme Tanımlanması

Malzeme özellikleri, Çizelge 6.1’de verilmiştir [4]. Değerler ANSYS programına, malzeme arayüzü kullanılarak girilmiştir. Malzeme arayüzü Şekil 6.3’te görülmektedir.

Çizelge 6. 1 Malzeme özellikleri

Simge	Özellik	Alınan Değer
E	Elastisite Modülü	190000
ρ	Yoğunluk	7850 kg/m ³
ν	Poisson Oranı	0,3
μ	Sürtünme katsayısı	0,1



Şekil 6. 3 Malzeme giriş arayüzü

6.3 Temas Yüzeylerinin Belirlenmesi

Şekil 6.1’de gösterilen analiz adımlarında 4. aşama olan “Model” kısmı açıldığında program otomatik olarak temas yüzeylerini belirlemektedir. Program ayarlarında, otomatik belirlenen temas yüzeyleri “Bonded” olarak tanımlanmıştır. Programda tanımlanabilen temas tipleri şu şekildedir:

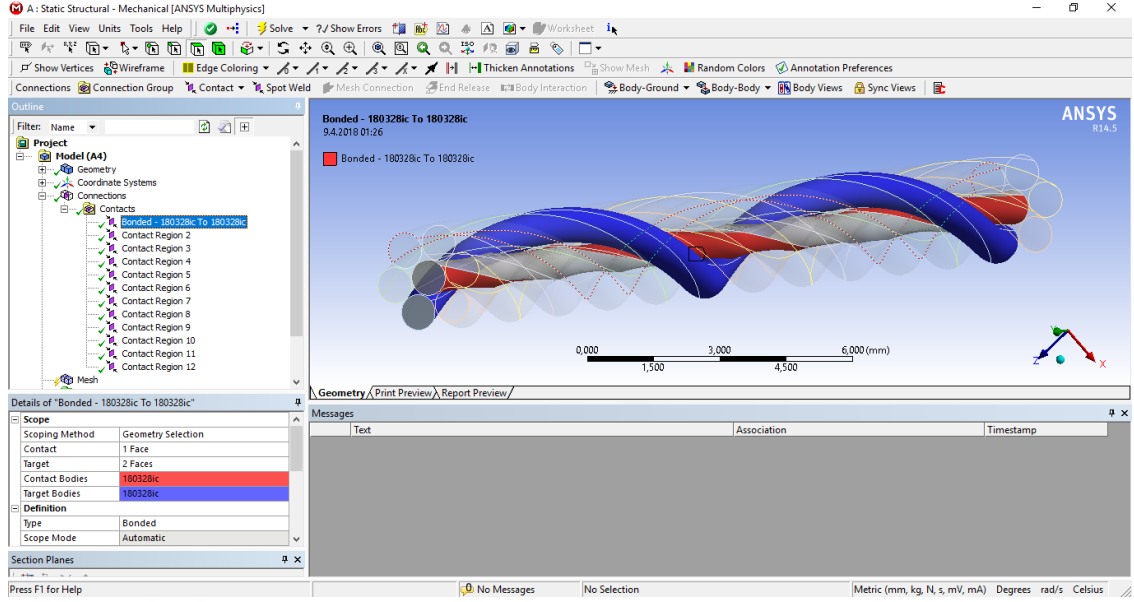
- Bonded: Temas yüzeylerinin tek bir yüzey gibi davranmasını sağlar. Temas yüzeyleri arasında sürtünme ve ayrılma olmaz. Yüzeyler birbirlerine yapıştırılmış gibi davranırlar.
- No seperation: İki yüzeyin birbiri üzerinde hareket edilebildiği fakat birbiri üzerinden ayrılamadığı temas tipidir.
- Frictionless: Sürtünmesiz yüzey tanımlamada kullanılır.
- Rough: Pürüzlü yüzey tanımlamada kullanılır.
- Frictional: Sürtünmeli yüzey tanımlamada kullanılır ve sürtünme katsayını tanımlamamıza olanak sağlar.

Bounded ve no seperation temas tipleri lineer(zamandan bağımsız) analizler için kullanılırken; Frictionless, Rough ve Frictional temas tipleri non-linear (zamana bağımlı) analizlerde kullanılır.

Yapılan çalışmada temas yüzeyleri “Bounded” ve “Frictional” seçilmiş ve analizler yapılmıştır. Oluşturulan modeller farklı sayıda temas yüzeylerine sahiptir. Temas yüzey sayıları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6. 2 Temas yüzey sayıları

Model adı	Temas yüzeyi sayısı
Model 1	13
Model 2	156
Model 3	383



Şekil 6. 4 Model 1 temas yüzeyleri

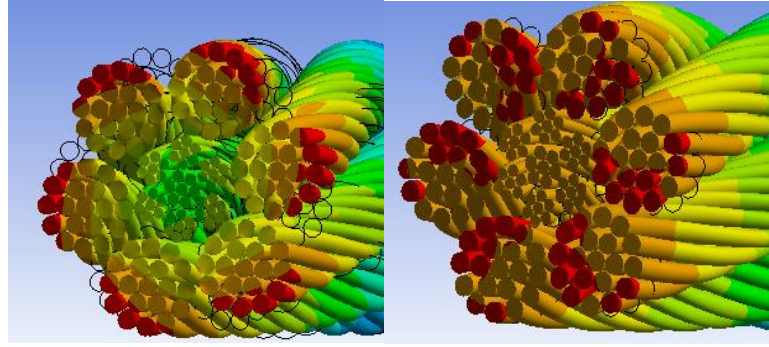
6.4 Mesnet Noktaları ve Yükler

Şekil 6.1’de gösterilen analiz adımlarında 5. aşama olan “Setup” kısmı açılır. “Supports” menüsünden “Fixed Support” seçilerek, halat modelinin bir ucundaki tüm yüzeyler sabitletir.

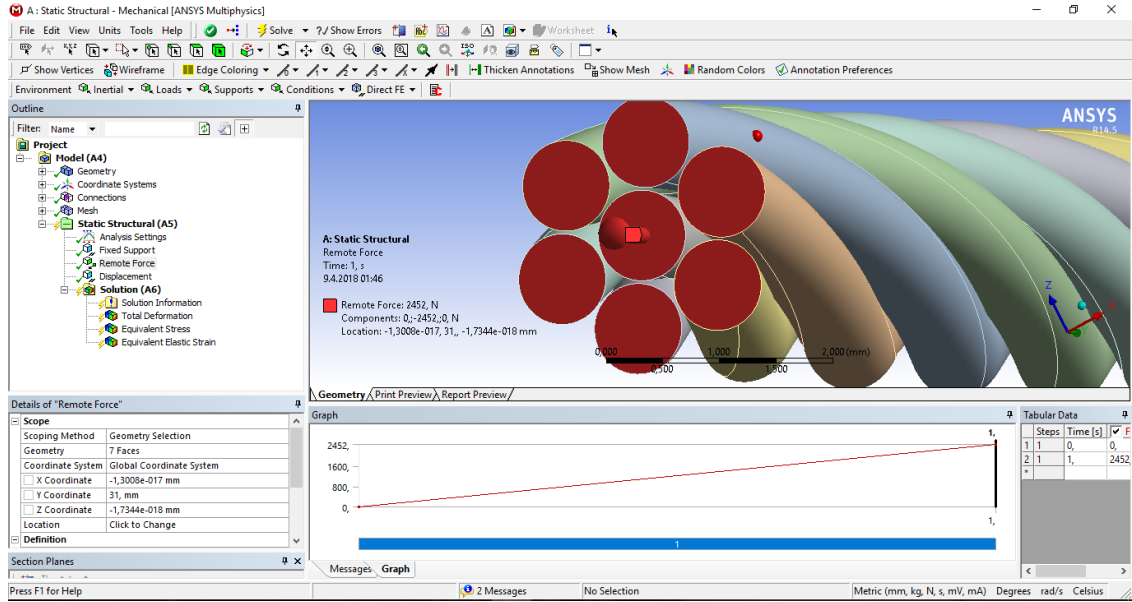
“Loads” menüsünden “Remote Load” seçeneğini seçilerek halat modelinin diğer yüzeylerine uzamaya maruz kalacak şekilde kuvvet tanımlanır. Tanımlanan kuvvetin yönü, büyüklüğü remote load menüsünden ayarlanmaktadır. Uygulanan kuvvet tam yüzeyde olacak şekilde programa girilmiştir.

Çekme testi işlemi incelendiğinde, halatın cihaza sabit uçları dönme hareketi yapamayacağından, halat sadece çekme yönünde uzayacaktır. Analiz işlemlerinde, halatın sadece çekme yönünde hareketi olmalıdır. Bu nedenle çekme yönü dışında kalan diğer yönlerde halat hareketi sınırlandırılmıştır. Bu sebeple “Supports” menüsünden “Displacement” seçeneğiyle sadece kuvvet yönündeki uzama serbest bırakılmıştır.

Çizelge 6.3’te farklı modeller için sabitleme ve kuvvet etkileyen yüzey sayıları verilmiştir.



Şekil 6. 5 Tüm yönlerde serbest model ve sadece uzama yönünde serbest model



Şekil 6. 6 Uygulanan kuvvet ve tanımlamalar

Çizelge 6. 3 Farklı modeller için sabitleme ve kuvvet etkiye yüzey sayıları

Model adı	Sabitleme Yüzeyi	Kuvvet Etkiyen Yüzey
Model 1	7	7
Model 2	49	49
Model 3	163	163

Oluşturulan modeller farklı yüklerle maruz bırakılarak, sonuçlar irdelenmiştir.

Çizelge 6. 4 Farklı modellere uygulanan kuvvetler

Uygulanan Kuvvet [N]	Model 1	Model 2	Model 3
2000	+	+	
3000	+		
4000	+	+	
5000	+		
6000	+	+	
7000	+		
8000	+	+	
10000	+	+	+
12000	+	+	
14000		+	
16000		+	+
20000		+	
22000			+
24000		+	
28000		+	+
32000		+	
34000			+
40000			+
46000			+
52000			+
58000			+
64000			+
70000			+
76000			+
82000			+
88000			+
200000			+
250000			+

6.5 Mesh İşlemi

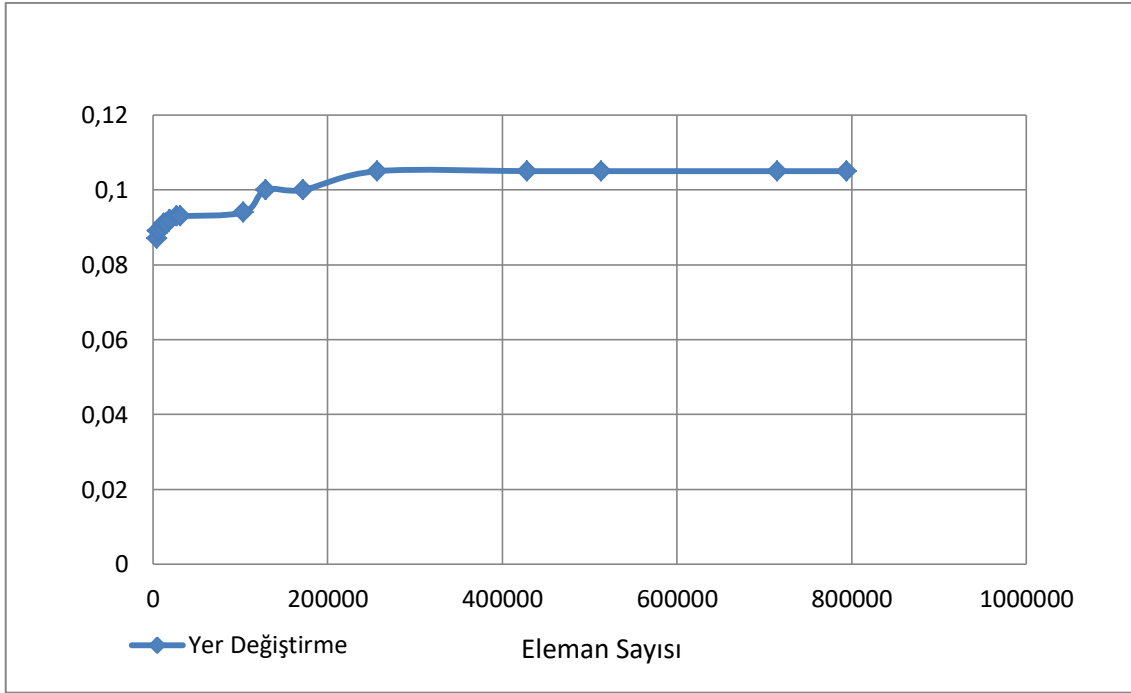
Sonlu eleman yöntemini kullanılan analiz işlemlerinde eleman boyutu ve sayısı sonucu etkilediğinden en önemli parametrelerdir. Eğer eleman boyutu çok kaba seçilirse, yani olması gerektiğinden daha az elemanla analiz işlemi gerçekleştirilirse, değerler yakınsamadığından sonuç bulunamayacak veya hatalı sonuçlara ulaşılabacaktır. Eleman boyutu çok küçük seçilirse, daha çok eleman ve düğüm noktası sonucun bulunmasını zorlaştıracaktır. Çözüm süresince bilgisayara daha fazla yük bineceğinden, çözüm süresi gereksiz uzayacaktır. Bu nedenle modeller optimum sayıda eleman ve düğüm noktası içerecek şekilde meshlenmelidir.

Optimum eleman sayısını yakalamak için sınır koşullar (mesnetler ve yükler) sabit tutularak mesh boyutu küçültülmüş ve analiz işlemlerine devam edilmiştir. Sonuçlar incelenerek, sonuçlar arasındaki değişimin kabul edilebilir olduğu en az eleman ve düğüm noktası sayısı seçilerek analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6. 5 Model 1 eleman sayısı – yer değiştirme değeri ilişkisi

No	Eleman Sayısı	Yer Değiştirme Değeri [mm]	No	Eleman Sayısı	Yer Değiştirme Değeri [mm]
1	4466	0,087	11	31170	0,093
2	5051	0,089	12	103476	0,094
3	5674	0,089	13	128586	0,10
4	7350	0,089	14	171394	0,10
5	9546	0,090	15	256822	0,10
6	11893	0,091	16	428299	0,105
7	14816	0,091	17	513294	0,105
8	15900	0,091	18	714434	0,105
9	19062	0,092	19	794192	0,105
10	27075	0,093			

Model 1 için mesnet, kuvvet sabit tutularak, sadece eleman sayısı değiştirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.7’de listelenmiştir. Eleman sayısı 428294’ün üzerine çıktığında, sonuçların değişmediği görülmüştür.



Şekil 6. 7 Eleman sayısı – yer değiştirme grafiği

Meshleme işleminde kullanılan eleman tipleri Çizelge 6.6’da verilmiştir.

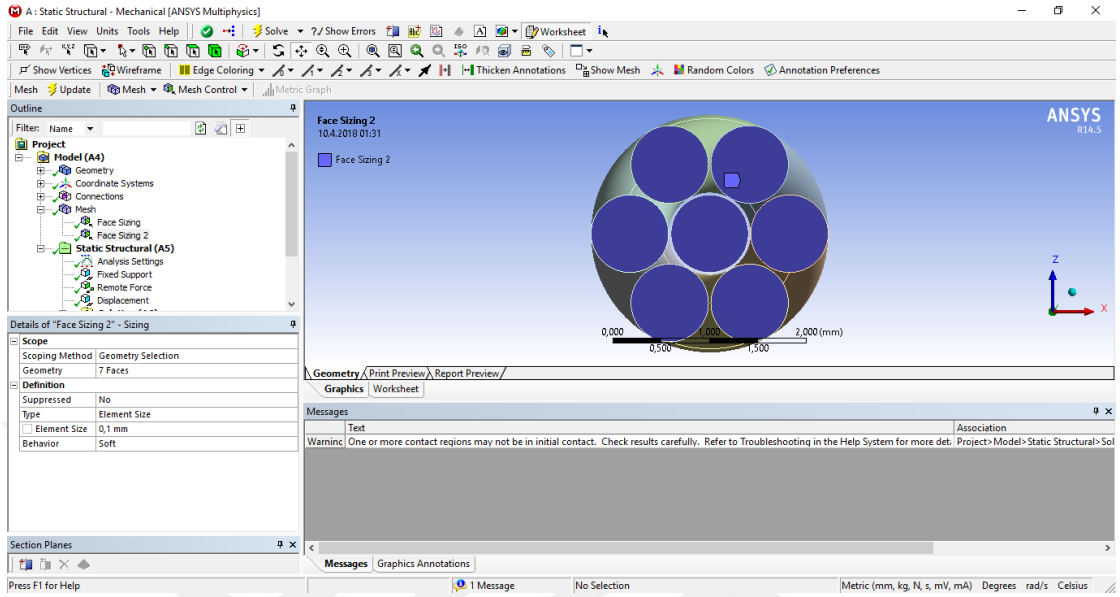
Çizelge 6. 6 Mesh tipleri

Model Adı	Model 1	Model 2	Model 3
Mesh Tipleri	Hex 20 (Solid 95)	Hex 20, Wed 15 (Solid 95)	Hex 20, Wed 15 (Solid 95)

Meshleme işlemlerinde “mesh sweeping metod” kullanılmıştır. Bu teknik kullanılarak, gövdeler efektif bir şekilde hexahedral elemanlarla ayrılmaktadır. Swept body metoduyla oluşturulan mesh yapılarında, eleman ve düğüm noktası sayısı daha az olmaktadır [4]. Bu nedenle parçanın sonlu elemanlara ayrılması daha az zaman almaktadır.

Kullanılan elemanlar yirmi düğüm noktasına sahiptir ve her düğüm noktasının x,y ve z ekseninde üç serbestlik derecesi vardır.

Meshleme işlemleri sırasında, istenilen yüzeylerde mesh boyutunu ayarlayabilmek için “face sizing” seçeneği kullanılmıştır. Halat uçları ve tel dış yüzeylerine ayrı face sizing tanımlanarak, mesh boyutları farklı seçilmiştir.

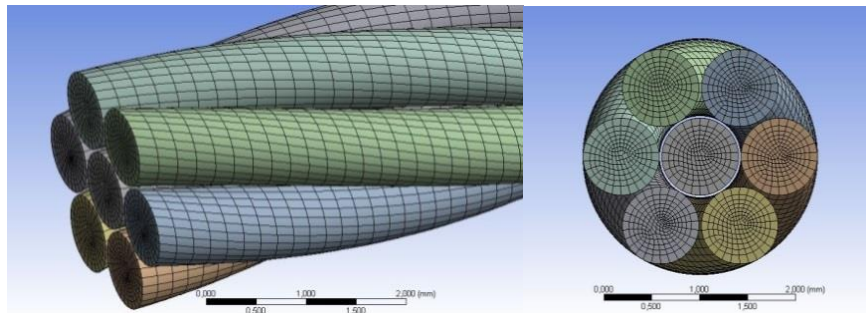


Şekil 6. 8 Face sizing

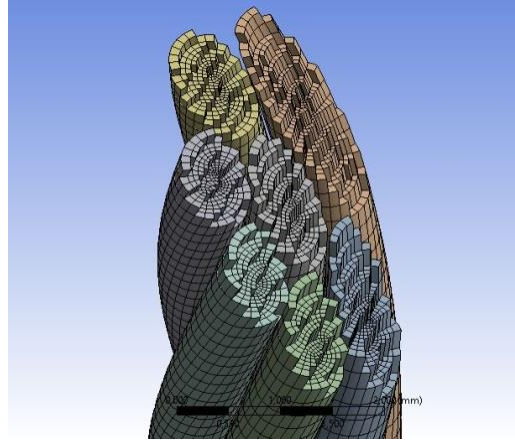
Şekil 6.9’da Model 1 için meshlenmiş geometrinin görünüşü ve Şekil 6.10’da kesit alınan bölgede mesh yapısı görülmektedir.

Çizelge 6. 7 Eleman ve node sayıları

Model No	Eleman Sayısı	Node Sayısı
1	256822	1090723
2	328565	1444754
3	531340	2520256



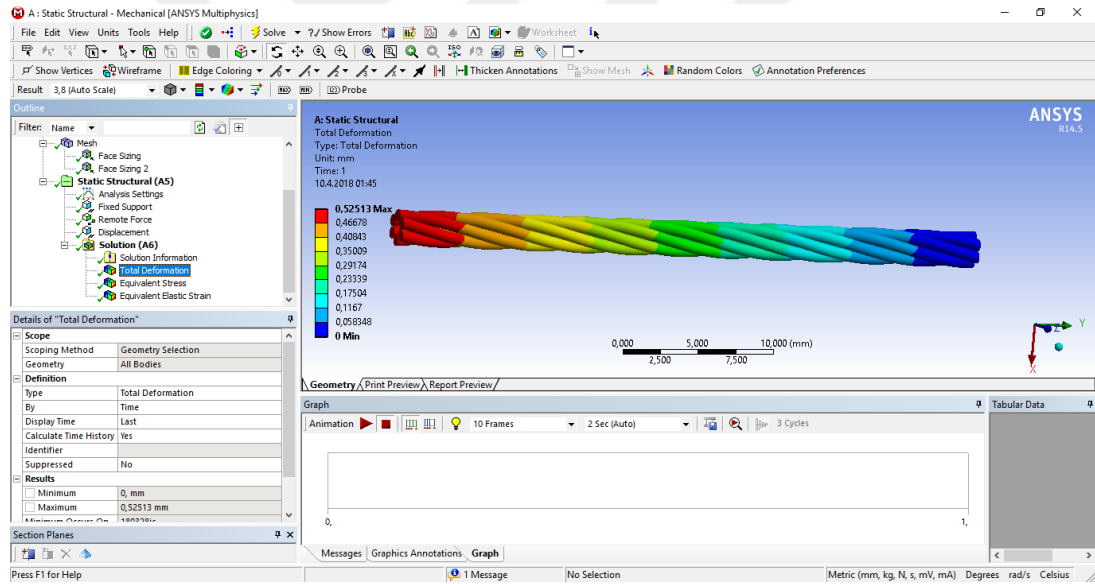
Şekil 6. 9 Mesh yapısı



Şekil 6. 10 Meshlenmiş model

6.6 Sonuçlar

Sol menüde bulunan “Solutions” kısmından kontrol edilmek istenen sonuçlar eklenir. Toplam şekil değişimini tespit edebilmek için “Total Deformation” eklenmiştir.



Şekil 6. 11 Sonuç ekranı

6.6.1 Model 1 Sonuçları

Çizelge 6. 8 Model 1 bounded temas tipi sonuçları

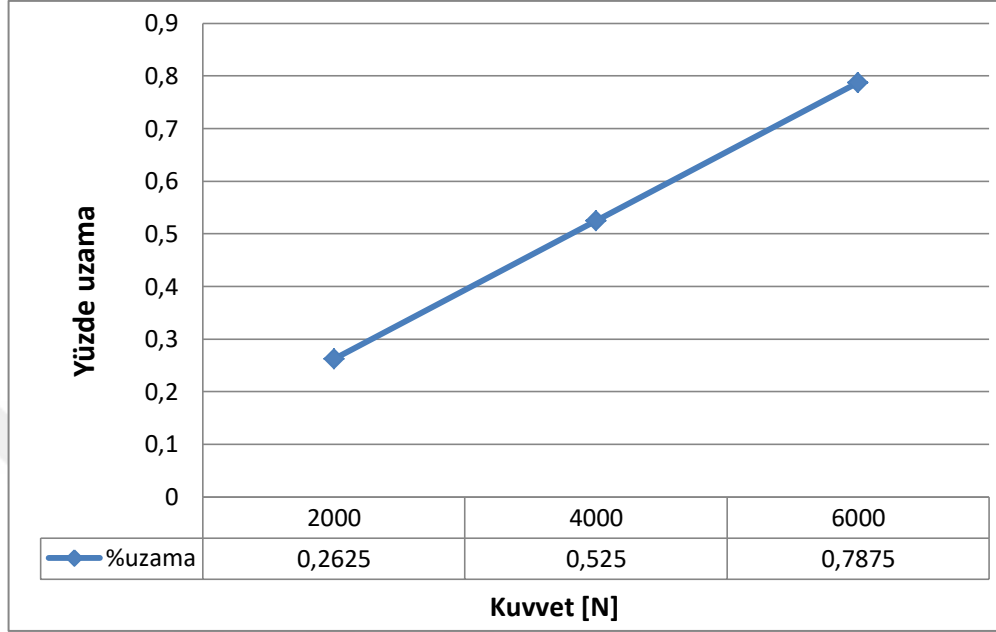
Uygulanan Kuvvet [N]	Teorik gerilme [N/mm ²]	Uzama [mm]	Yüzde uzama
1000 N	284,09	0,0525	0,131
2000 N	568,18	0,1050	0,262
3000 N	852,27	0,1575	0,393
4000 N	1136,36	0,2100	0,525
5000 N	1420,45	0,2625	0,656
6000 N	1704,54	0,3150	0,787
8000 N	2272,72	0,4201	1,05
10000 N	2840,90	0,5251	1,312
12000 N	3409,09	0,6301	1,575

Çizelge 6. 9 Model 1 sürtümlü temas tipi sonuçları

Uygulanan Kuvvet [N]	Teorik gerilme [N/mm ²]	Uzama [mm]	Yüzde uzama
1000 N	284,09	0,0525	0,131
2000 N	568,18	0,1050	0,262
3000 N	852,27	0,1575	0,393
4000 N	1136,36	0,2100	0,525
5000 N	1420,45	0,2625	0,656
6000 N	1704,54	0,3150	0,787
8000 N	2272,72	0,4201	1,05
10000 N	2840,90	0,5251	1,312
12000 N	3409,09	0,6301	1,575

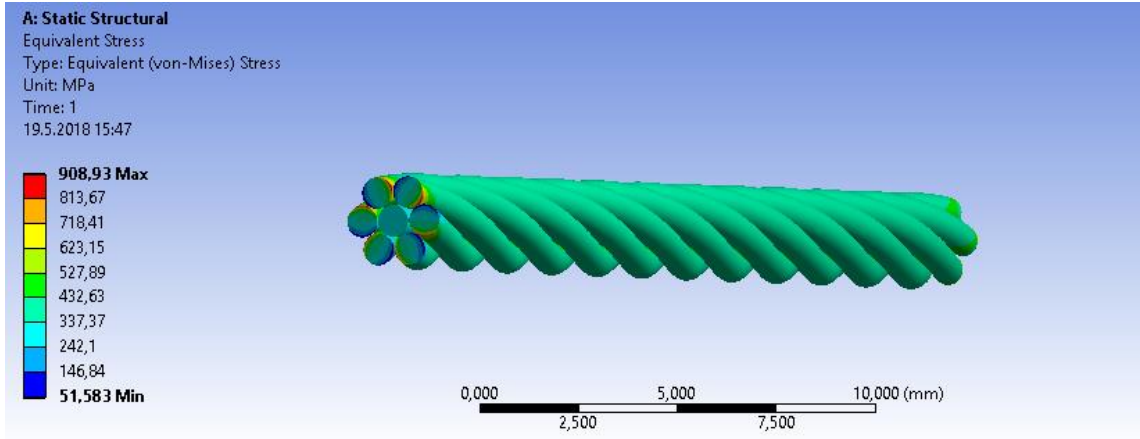
Model 1 için, bilgisayar modelinden alınan minimum yüzey kesit alanı 3,52 mm²'dir. Diğer gerilmeler göz önüne alınmadığı durumda (temas gerilmeleri v.b.) uygulanan kuvvete göre oluşacak gerilmeler kuvvetin modelden ölçülen yüzey alanına

bölünmesiyle hesaplanmıştır. Halat kopma dayanımının 1770 N/mm^2 olduğu düşünülürse, 6000-8000 N çekme yükü arasında halat kopacaktır.



Şekil 6. 12 Model 1 için kuvvet-yüzde uzama grafiği

Model 1 için bounded ve frictional yüzey temas koşullarıyla yapılan analizlerde boyca uzamaların aynı olduğu tespit edilmiştir.

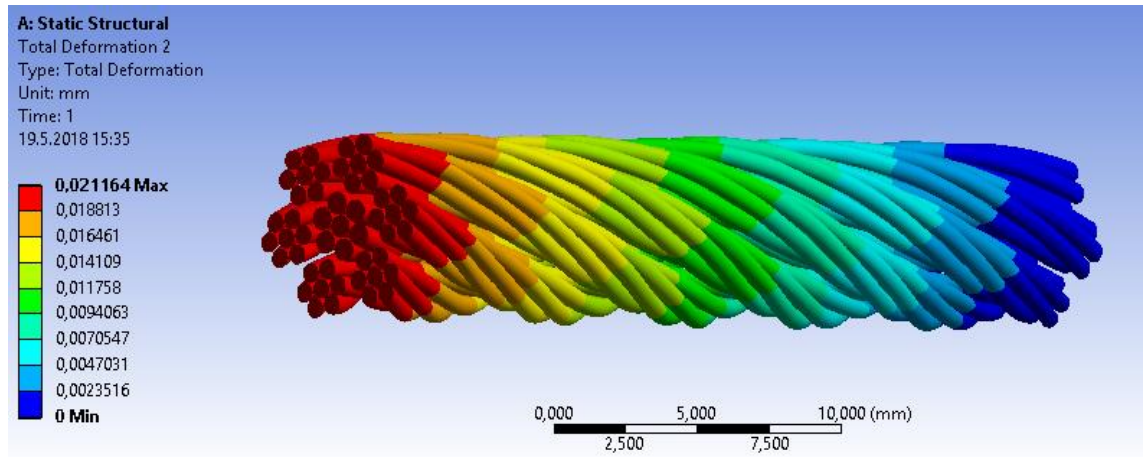


Şekil 6. 13 2000 N yük altında oluşan gerilmeler

6.6.2 Model 2 Sonuçları

Çizelge 6. 10 Model 2 bounded temas tipi sonuçları

Uygulanan Kuvvet [N]	Teorik gerilme [N/mm ²]	Uzama [mm]	Yüzde uzama
2000	102,61	0,0211	0,052
4000	205,23	0,0423	0,105
6000	307,85	0,0634	0,158
8000	410,46	0,0846	0,211
10000	513,08	0,1058	0,264
12000	615,7	0,1269	0,317
14000	718,31	0,1481	0,37
16000	820,93	0,1693	0,423
20000	1026,16	0,2116	0,529
24000	1436,63	0,2539	0,634
28000	1436,63	0,2963	0,74
32000	1641,86	0,338	0,845

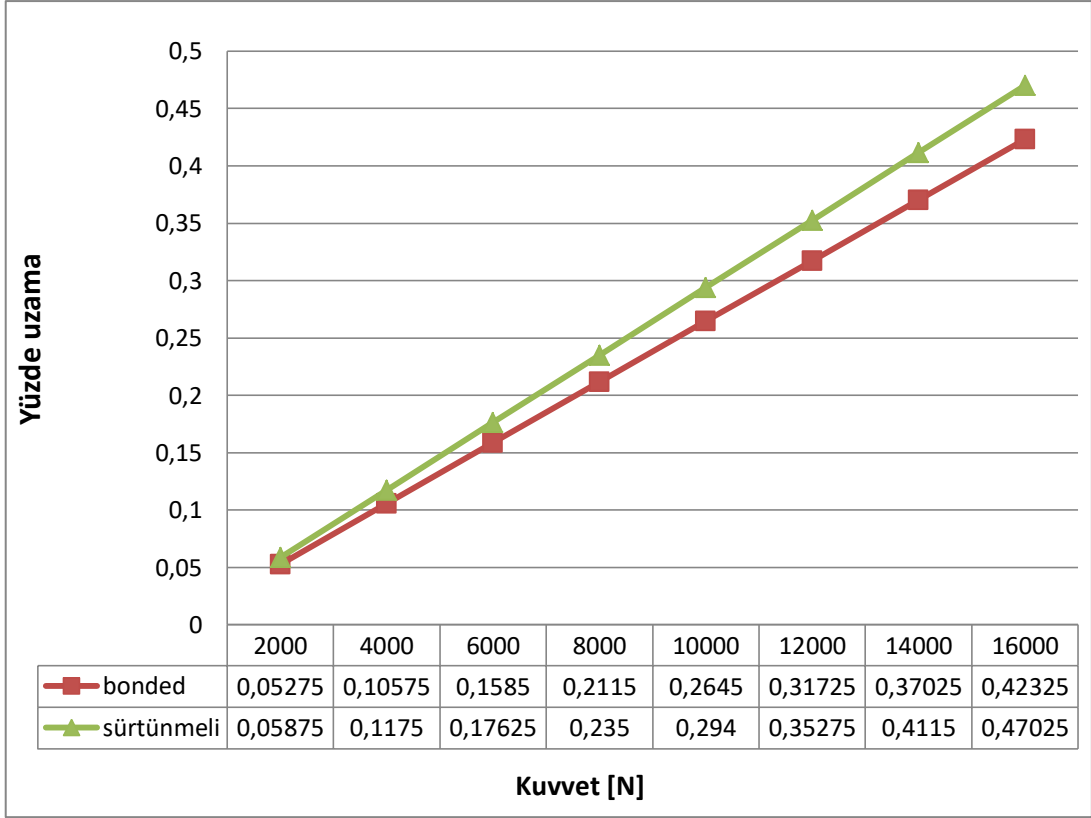


Şekil 6. 14 4000 N yük altında boyca uzama

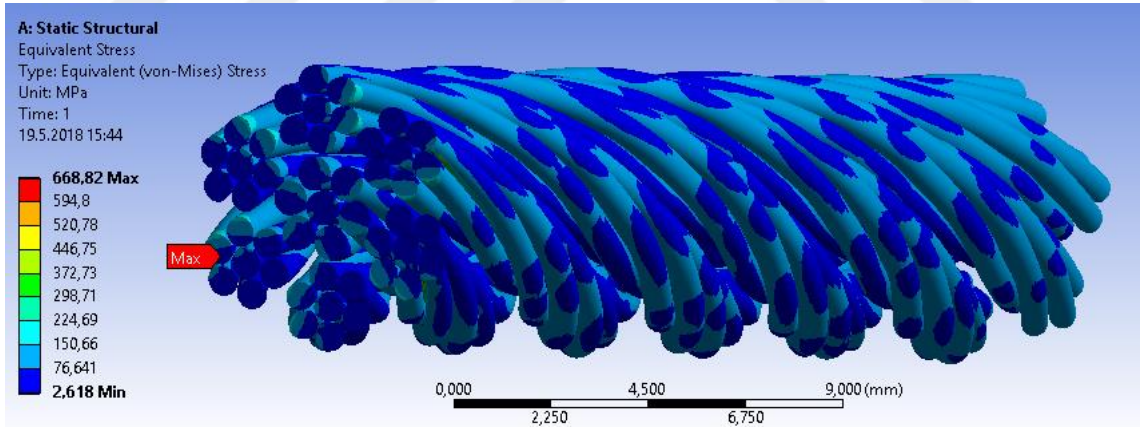
Çizelge 6. 11 Model 2 sürtümlü temas tipi sonuçları

Uygulanan Kuvvet [N]	Teorik gerilme [N/mm ²]	Uzama [mm]	Yüzde uzama
2000	102,61	0,0235	0,058
4000	205,23	0,047	0,117
6000	307,85	0,0705	0,176
8000	410,46	0,094	0,235
10000	513,08	0,1176	0,294
12000	615,7	0,1411	0,352
14000	718,31	0,1646	0,411
16000	820,93	0,1881	0,47
20000	1026,16	0,2352	0,588
24000	1436,63	0,2822	0,705
28000	1436,63	0,3292	0,823
32000	1641,86	0,3763	0,94

Model 2 için, bilgisayar modelinden alınan minimum yüzey kesit alanı 19,49 mm²'dir. Diğer gerilmeler göz önüne alınmadığı durumda (temas gerilmeleri v.b.) uygulanan kuvvete göre oluşacak gerilmeler kuvvetin modelden ölçülen yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Halat kopma dayanımının 1770 N/mm² olduğu düşünülürse, 32000-35000 N çekme yükü arasında halat kopacaktır.



Şekil 6. 15 Model 2 için kuvvet-yüzde uzama grafiği



Şekil 6. 16 4000 N yük altında oluşan gerilmeler

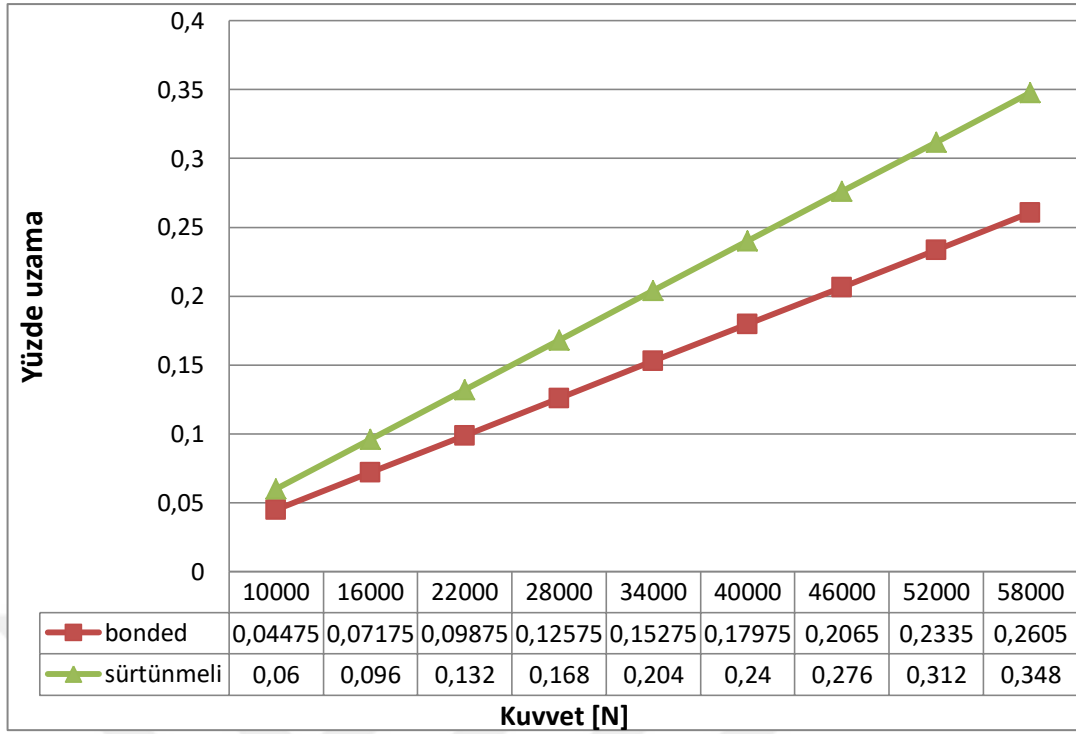
6.6.3 Model 3 Sonuçları

Çizelge 6. 12 Model 3 bounded temas tipi sonuçları

Uygulanan Kuvvet [N]	Teorik gerilme [N/mm ²]	Uzama [mm]	Yüzde uzama
10000	80,84	0,0179	0,044
16000	129,34	0,0287	0,071
22000	177,84	0,0395	0,098
28000	226,35	0,0503	0,125
34000	274,85	0,0611	0,152
40000	323,36	0,0719	0,179
46000	371,86	0,0826	0,206
52000	420,37	0,0934	0,233
58000	468,87	0,1042	0,26
64000	517,38	0,115	0,287
70000	565,88	0,1258	0,314
76000	614,38	0,1366	0,341
82000	662,89	0,1474	0,368
88000	711,39	0,1581	0,395
200000	1616,81	0,3595	0,898
250000	2021,01	0,4495	1,123

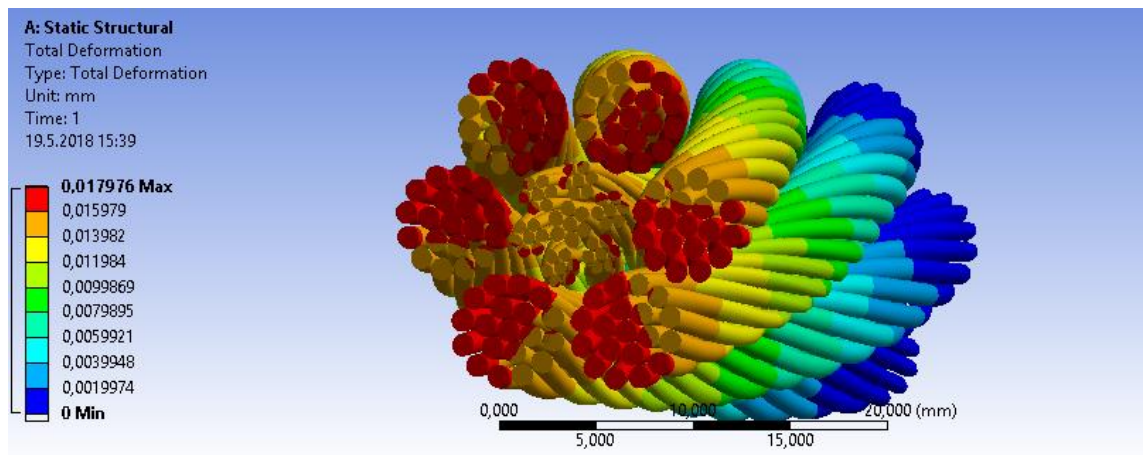
Çizelge 6. 13 Model 3 sürtümlü temas tipi sonuçları

Uygulanan Kuvvet [N]	Teorik gerilme [N/mm ²]	Uzama [mm]	Yüzde uzama
10000	80,84	0,024	0,06
16000	129,34	0,0384	0,096
22000	177,84	0,0528	0,132
28000	226,35	0,0672	0,168
34000	274,85	0,0816	0,204
40000	323,36	0,096	0,24
46000	371,86	0,1104	0,276
52000	420,37	0,1248	0,312
58000	468,87	0,1392	0,348
64000	517,38	0,1536	0,384
70000	565,88	0,168	0,42
76000	614,38	0,1824	0,456
82000	662,89	0,1968	0,492
88000	711,39	0,2112	0,528
200000	1616,81	0,4804	1,201

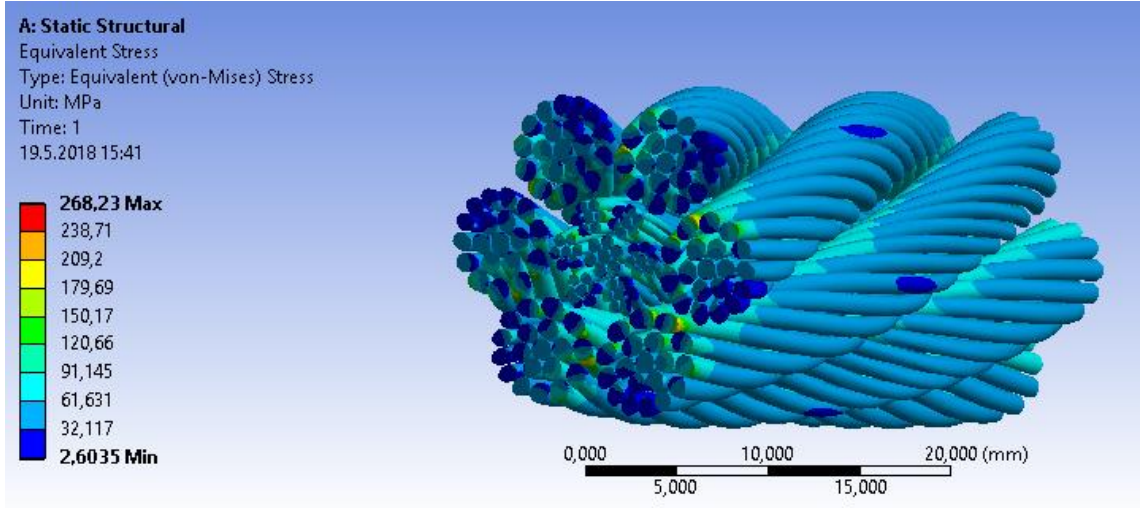


Şekil 6. 17 Model 3 için kuvvet-yüzde uzama grafiği

Model 3 için, bilgisayar modelinden alınan minimum yüzey kesit alanı $127,3 \text{ mm}^2$ 'dir. Diğer gerilmeler göz önüne alınmadığı durumda (temas gerilmeleri v.b.) uygulanan kuvvete göre oluşacak gerilmeler kuvvetin modelden ölçülen yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Halat kopma dayanımının 1770 N/mm^2 olduğu düşünülürse, 200000-220000 N çekme yükü arasında halat kopacaktır.



Şekil 6. 18 10000 N yük altında yerdeğiştirme



Şekil 6. 19 10000 N yük altında oluşan gerilmeler



7.1 Çekme Testi

7.1.1 Çekme Testi Esasları

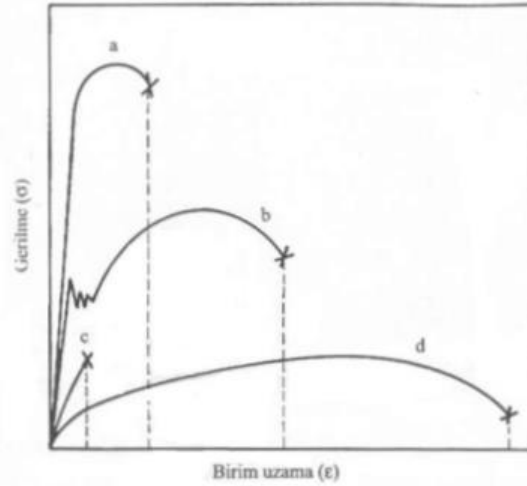
Malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için uygulanan teste “çekme testi” adı verilmektedir. Çekme testi tahribatlı testler grubuna girmektedir. Çekme testi ile malzemelerin;

- Çekme dayanımı,
- Akma sınırları,
- Kopma uzaması,
- Üniform uzama,
- Elastisite modülü,
- Akma sınırı uzaması tespit edilebilmektedir.

Çekme testi “çekme test cihazı”na ihtiyaç vardır. Çekme cihazına sabitlenen numuneler, kopuncaya kadar eksenel çekme kuvvetine maruz bırakılırlar. Bu sırada uygulanan kuvvet ve uzama miktarları sürekli ölçülerek kaydedilir.

Cihazdan alınan yük – birim uzama verileri, gerilme - yüzde uzama verilerine çevrilerek kullanılmaktadır. Gerilme – yüzde uzama verilerinden çizilen diyagramlara

“mühendislik çekme diyagramları” adı verilmektedir. Mühendislik çekme diyagramları malzemelerin sınıflandırılmasını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 7. 1 Gerilme – birim uzama diyagramı

Farklı metalik malzemelerin gerilme- birim uzama diyagramları farklılık göstermektedir. Şekil 7.1’de yüksek mukavemetli çelik (sünek) [a], düşük karbonlu çelik (sünek) [b], kır dökme demir (gevrek) [c], tavlanmış bakır [d] için gerilme – birim uzama eğrileri görülmektedir. Birim uzama eğrileri malzeme türüne göre değişmekle birlikte, element içeriği aynı olan malzemeler için üretim yöntemine göre de değişiklik göstermektedir.

Gerilme – yüzde uzama değerleri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\sigma_m = P_i / A_0 \quad (7.1)$$

$$(\%e(\epsilon)) = (\Delta L / L_0) * 100 = ((L_f - L_0) / L_0) * 100 \quad (7.2)$$

7.1 ve 7.2 bağıntılarında ;

P_i : Herhangi bir anda uygulanmakta olan yük

ΔL : Herhangi bir andaki uzama miktarı

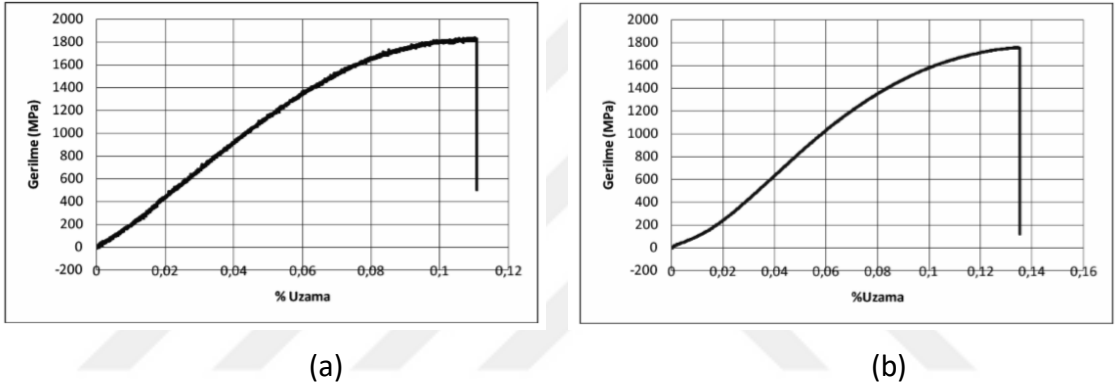
A_0 : Numunenin ölçü bölgesinin başlangıçtaki kesit alanı

L_0 : Numunenin başlangıçta ölçü boyudur.

Çekme deneyi sırasında parça sırasıyla elastik ve plastik şekil değişimine maruz kalmaktadır. Plastik bölgedeki malzeme üzerinden yük etkisi kaldırıldığında, malzeme ilk boyuna geri dönmektedir. Fakat elastik bölgedeki malzeme kalıcı şekil değişimine uğrar.

7.1.2 Halatlarda Çekme Testi

Halatı oluşturan teller ve halatın kensisinde yapılan kopma testleri, halat malzemesini oluşturan tellerin ve halatın kendisinin belirli bir akma bölgesi olmadığını göstermektedir [7]. Tel çeme işlemi ile malzemenin dayanımının artırılması bu sonucu doğurmaktadır.



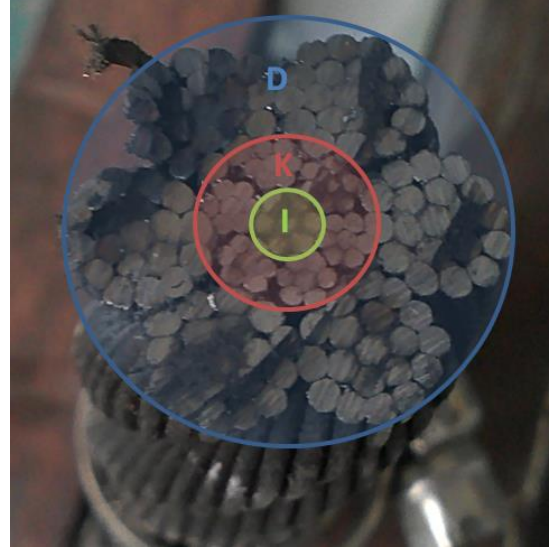
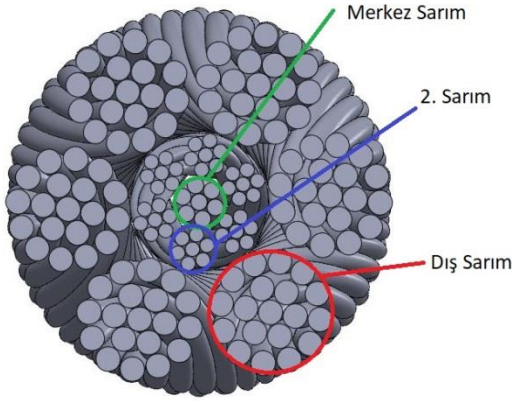
Şekil 7. 2 (a) tel ve (b) demet çekme grafikleri [7]

7.2 Test Numunelerinin Hazırlanması

Test numunelerinin hazırlanması için 6x19 IWRC halat kullanılmıştır. Test işlemleri için kullanılan Çelik Halat/İzmit üretimi olup; seri numarası 1270-16'dır. Halat dış çapı 18 mm'dir.



Şekil 7. 3 Kullanılan halat bilgileri

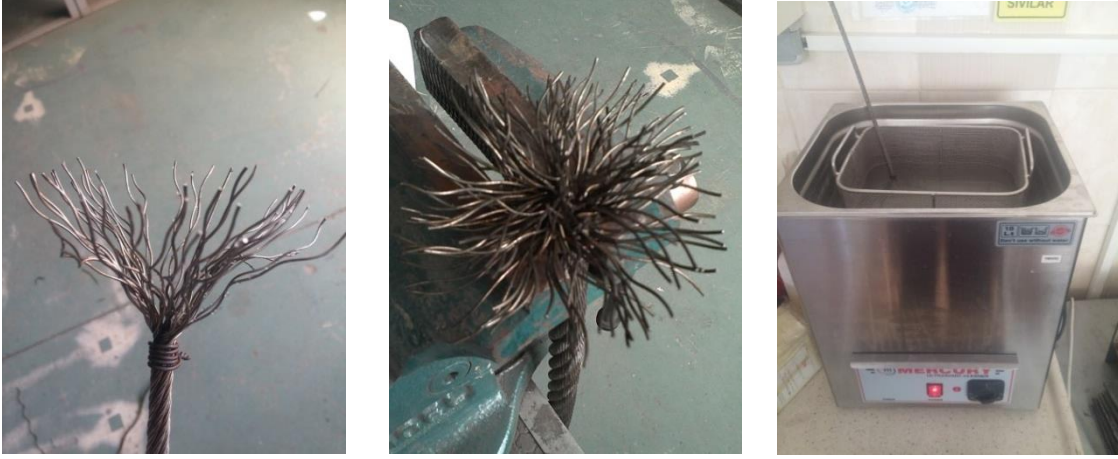


Şekil 7. 4 Numune hazırlanan bölümler

Test işleminde kullanılan halattan üç farklı sarımlardan oluşan, toplam 9 test numunesi oluşturulmuştur. Tüm sarımları içiren numuneler "D", 2. sarım ve merkez sarımdan oluşan numuneler "K", sadece merkez sarımdan oluşan numuneler "I" harfiyle sembolize edilmiştir.

D numuneleri için serbest tel boyu 100 mm; K ve I numuneleri için 360 mm olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır.

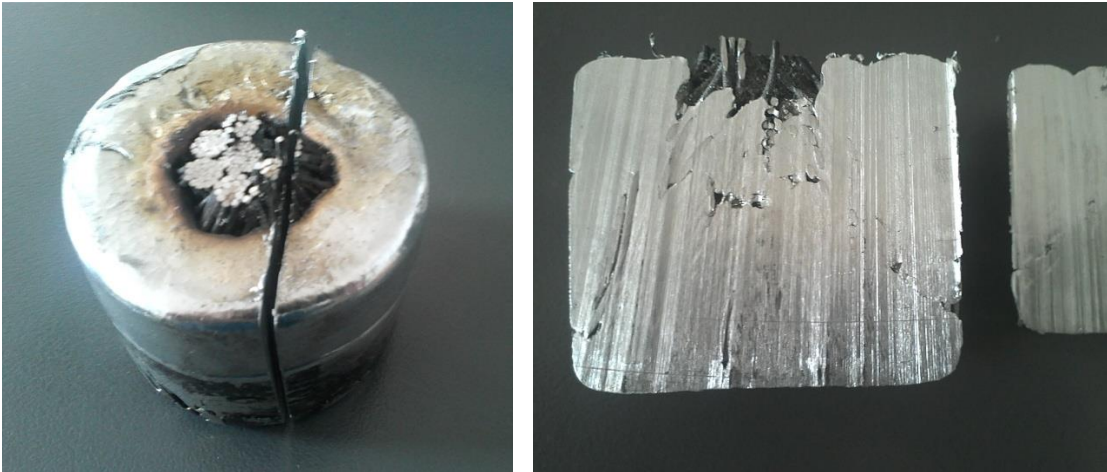
Uygun uzunluklarda kesilen ve gerekliyse dış sarımlarından ayrılan halat numuneleri, çinko döküm işlemine hazırlanmaktadır. Ucun 70 mm üzerinden bağ teli ile bağlanan halatın sarımlarının oluşturan teller, bağ teline kadar tek tek ayrılır. Ayrılan teller yüzeydeki yağın giderilmesi için yağ çözücü kimyasalda ve ardından yapısı bozulan yağ artıklarının temizlenebilmesi için ultrasonik temizleyicide bekletilir. Döküm işlemine tabi tutulacak kısım son olarak, çinkonun yüzeye tutunmasının kolaylaşması için seyreltik HCl çözeltisine daldırılarak kısa bir süre bekletilir. Yıkanan halat numunesi bir sıcak hava tabancasıyla kurutulur ve kalıba yerleştirilir.



Şekil 7. 5 Halat ucu hazırlanması ve ultrasonik temizlik işlemi

Ergitme kabına doldurulan çinko, oksii-asetilen aleviyle eritilir. Çinkonun erime sıcaklığı 420 °C 'dir. Ergitme işlemi sırasında, çinko oksit oluşumunu azaltmak için çinkoya direk oksii-asetilen alevi temasından kaçınılmalıdır. Bu denele çinko, tabanı paslanmaz çeliktan yapılmış bir kap içerisinde eritilmiştir. Tamamı sıvı hale gelen çinko, döküm işleminin kolaylaşması için tencereye alınır ve ergimiş çinko kalıbın içine dökülür. Soğuma sırasında çekintiden dolayı orta kısımda oluşan çukur, sıvı çinko ilavesiyle önlenmektedir.

Yapılan numunelerden bir adedi kesilerek çinkonu kalıbın içini doldurma durumu ve kalması muhtemel boşluklar kontrol edilmiştir. Kesit incelendiğinde, ergimiş çinkonun kalıbın içerisini yeterli miktarda doldurduğu görülmüştür.



Şekil 7. 6 Döküm kontrolü

7.2.1 D Numunelerinin Hazırlanması

Numune paslanmaz çelik bir tabana kaynatılarak sabitlenmiş paslanmaz çelik borudan oluşan kalıbın içine yerleştirilir ve oluşan boşluğa ergimiş çinko dökülerek kalıp doldurulur.



Şekil 7. 7 D numunesi kalıbı ve dökülmüş numune

7.2.2 K ve I Numunelerinin Hazırlanması

Numune telin çapına göre üzerine delik açılmış parça bağ telinin alt tarafına yerleştirilir. Bu parçanın görevi eriyik çinkonun aşağıya akmasını önlemektir. Kalıp olarak dış çapı 40 mm ve et kalınlığı 1,5 mm olan paslanmaz çelik boru kullanılmıştır. Boru, açılan teller içinde kalacak şekilde yerleştirilir.



Şekil 7. 8 Delikli parça ve kullanılan kalıp

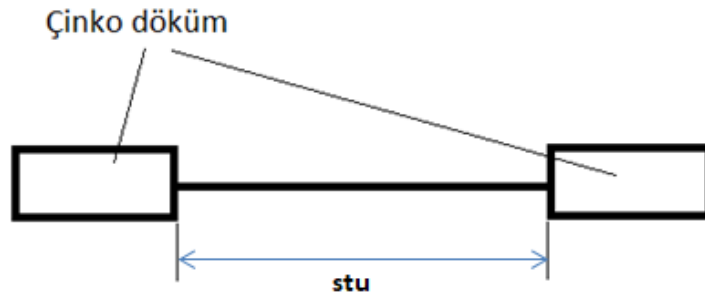


Şekil 7. 9 Döküm aşamaları

Soğuyan çinko kalıptan çıkartılır. Alt parça, kesilerek numuneden ayrılır.



Şekil 7. 10 K ve I numuneleri



Şekil 7. 11 Serbest tel uzunluğu (stu)

Çizelge 7. 1 Serbest tel uzunlukları

No	Tipi	D	K	I
1		105 mm	350 mm	348 mm
2		112 mm	355 mm	352 mm
3		106 mm	250 mm	350 mm

7.3 Test İşlemi ve Sonuçlar

7.3.1 D Numunesi

D1, D2, D3 kodlarıyla isimlendirilen test numunelerine çekme testi uygulanmıştır. Çekme testleri Sıla Kalite A.Ş. / Bursa'da yapılmış olup, Instron marka çekme cihazı kullanılmıştır. Cihaz 5000 N ve 10000 N yükleyen çeneler arası mesafe ölçülmüştür.



Şekil 7. 12 D numunesi çekme işlemi

Çeneler arası ölçülen değerlerin ortalaması 5000 N'da 4,5 mm; 10000 N'da 13 mm'dir. Halatın fazlasıyla kalın olması nedeniyle, döküm çinkoya göre mukavemeti oldukça fazladır. Bu nedenle halatı oluşturan teller döküm çinko içinde kaymakta ve sabit yük uygulandığında çeneler arası mesafe sürekli artmaktadır. Ayrıca çinko dökümün kendisinde meydana gelen uzama da ölçülen çeneler arası uzaklığın içindedir. Bu nedenle D numuneleri kullanılarak yapılan testler başarısız olmuştur. Şekil 7.13'te D2 numaralı numune çinko döküm bölgesinde kayan tellerin oluşturduğu boşluk mavi renk ile işaretlenerek gösterilmiştir.



Şekil 7. 13 D numunesi tel kayması

7.3.2 K ve I Numuneleri

K ve I numunelerinin çekme testleri için Besmak marka 100 tonluk bir çekme cihazı kullanılmıştır. Boyca uzamaları tespit etmek için video ekstensometre kullanılmıştır. Yapılan çekme testleri sonucunda istenilen veriler elde edilememiştir. Video ekstensometre verileri çekme diyagramıyla birleştirilemediğinden kullanılamamıştır. Ayrıca çeneler arası mesafenin değişimi ölçülmüştür. Halatın ve çinkodaki uzamanın toplamı çeneler arası mesafeye etki ettiğinden, ölçülen değerler beklenenden çok yüksektir.



Şekil 7. 14 K ve I numuneleri çekme işlemi

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üretilmiş halat üzerinden alınan ölçüler kullanılarak, Solidworks yazılımda üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. Modeller montaj işlemi kullanılmadan, tek bir çizim içerisinde oluşturulmuştur. Halatı oluşturan her bir tel ayrı bir katı gövdedir.

Oluşturulan modeller için farklı temas koşullarında Ansys yazılımı kullanılarak analizler yapılmıştır. Halat çaplarına göre eksenel yönde farklı kuvvetler tasarımlara etkilmiştir. Kuvvet neticesinde eksenel yönde boyca uzamalar kontrol edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda,

- Model 1 olarak isimlendirilen tasarımda, bonded ve sürtülmeli yüzey koşullarının boyca uzama değerlerinin değiştirmedeği tespit edilmiştir.
- Model 2 ve model 3 olarak isimlendirilen tasarımlarda, sürtülmeli yüzey koşulunda boyca uzama miktarının bounded yüzey koşulundakine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Arttırılan kuvvetle birlikte eksenel uzamaların orantısal olarak arttığı tespit edilmiştir.

Temas tiplerine göre boyca uzamaların değişimi ve oluşan maksimum uzama bölgeleri literatürde bulunan çalışmalarla uyumluluk göstermektedir.

Modelin doğruluğunu araştırmak için yapılan çekme testleri neticesinden tatmin edici sonuçlara ulaşılamamıştır.

- Tellerin tümünün uygun şekilde dökümün içinde kalacağı durum için, kalıp çapı belirli bir değerin altına indirilememektedir. Çinko dökümün dış çapı 36,7 mm'dir. Kullanılacak yüke uygun düşük kapasiteli çekme cihazlarının çene bağlantıları, döküm çinkonun çapına uygun değildir. Bu durum 100 tonluk büyük kapasiteli cihazların kullanımını zorunlu kılmaktadır. Büyük kapasiteli cihazların ise düşük yüklerde hassasiyetleri iyi değildir.
- Deney sonucu beklenen uzamalar çok düşük olduğundan, hassas ölçüm cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çekme cihazlarından hassas ölçüm alınamamıştır.
- Çeneler arası mesafe değeri halat ve çinkodaki uzamanın toplamını içerdiğinden, öngörülenden çok yüksek değerler ölçülmektedir.

Literatürde bulunan halat çekme testi sonuçları incelendiğinde, kopma olayının boyca uzama miktarı yüzde 0,1 ile yüzde 0,12 arasında meydana geldiği görülmektedir. Model 1 için, bilgisayar modelinden alınan minimum yüzey kesit alanı $3,52 \text{ mm}^2$ 'dir. Diğer gerilmeler göz önüne alınmadığı durumda (temas gerilmeleri v.b.) uygulanan kuvvete göre oluşacak gerilmeler kuvvetin modelden ölçülen yüzey alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Halat kopma dayanımının 1770 N/mm^2 olduğu düşünülür ve çekme işlemi boyunca malzemenin elastik bölgedeki davranışını devam ettirdiği varsayılırsa, 6000-8000 N çekme yükü arasında halat kopacaktır. Analiz sonuçları incelendiğinde Model 1 için 8000 N yük altında boyca uzama yüzde 1,05 bulunmuştur. Benzer durum Model 2 ve Model 3 için de geçerlidir. Model 2 ve Model 3'te sürtünmeli yüzey temas koşullarında, aynı yük altında bounded yüzey temas koşuluna göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Analiz işlemleri ile ilgili sonuçlar göz önüne alındığında, bulunan sonuçlar literatür çalışmalarına paralel ve tutarlıdır.

KAYNAKLAR

- [1] İmrak, E., ve Erdönmez, C., (2010), "On The Problem of Wire Rope Model Generation With Axial Loading", *Mathematical and Computational Applications*, 15(2):259-268.
- [2] Stanova, E., (2011), "Computer Modelling of Wire Strand and Ropes Part II: Finite Element-Based Applications", *Advances Engineering Software*, 42:322-331.
- [3] Jun, MA., (2008). "Distribution of Wire Deformation Within Strands of Wire Ropes", *J China Univ Mining & Technology*, 18(3).
- [4] Kastratović, G., ve Vidanović, N., (2015). "3D Finite Element Modeling of Sling Wire Rope In Lifting and Transport Processes", *Transport*, 2015, 30(2): 129–134.
- [5] Wenzheng, Du, (2017). "Finite Element Analysis of the Stress State of Rope Hoisting Equipment based on the ABAQUS", 2017 8th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, 03-06 Ocak 2017, Cape Town.
- [6] Ghoreishi, SR., (2007). "Validity and Limitations of Linear Analytical Models for Steel Wire Strands Under Axial Loading, Using a 3D FE Model", *International Journal of Mechanical Sciences*, 49:1251-1261.
- [7] Erdem İmrak ve Özlem Salman, E. ve Ö., (2010), "Taşıyıcı Halatların Deneysel Gerilme Analizi", *Asansör Sempozyumu*, 21-23 Mayıs 2010, İzmir.
- [8] Verreet, R. A Short History of Wire Rope, http://www.casar.de/Resource/TechnicalReference/1668/casar_history.pdf, 19 Mart 2018.
- [9] TS EN 12385-2, (2009). Çelik tel halatlar - Güvenlik - bölüm 2: Tarifler, kısa gösteriliş ve sınıflandırma, TSE, Ankara.
- [10] Delta, General and High Performance Wire Rope, <http://www.deltarigging.com/doc/Wire%20Rope/Wire%20Rope%20General%20Information/Wire%20Rope%20Identification%20and%20Construction.pdf>, 20 Mart 2018.

- [11] TS EN 10016-2, (2001). Alaşimsız çelik çubuk- Çekme (tel) ve/veya soğuk haddeleme için- Bölüm 2: Genel amaçlı çubuklar için belirli özellikler, TSE, Ankara.
- [12] Çelik halat, Ürünlerimiz, <http://celikhalat.com.tr/urunlerimiz>, 20 Mart 2018.
- [13] TS EN 12385-4, (2009). Çelik tel halatlar - Güvenlik - Bölüm 4: Genel kaldırma uygulamaları için demetli halatlar, TSE, Ankara .
- [14] Güler, M. ve Şen, S. (2015). "Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler", Ordu Üniv. Bil. Tek. Dergisi,:5(1): 56-66.
- [15] Arıkan, M., Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulanması, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10944.pdf>, 20 Mart 2018.
- [16] Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü ANSYS Bilgi Havuzu, <http://ansys.deu.edu.tr/>, 03 Ocak 2018.
- [17] History and Inventions, The Twisted Rope, <https://sites.google.com/a/xtec.cat/history-and-inventions/ancient-times/the-twisted-rope>, 10 Nisan 2018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Burak BAYRAKTAROĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri :26.06.1985 İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :burak.bayraktaroglu@mmo.org.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makina Müh.	Uludağ Üniversitesi	2009
Lise	Fen	Dede Korkut Anadolu Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-...	TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bursa Şubesi	Teknik Görevli