

**HELİKOPTERLERDE KULLANILAN KABLO KESME SİSTEMİNİN
DENEYSEL İNCELEMESİ VE BİLGİSAYAR ORTAMINDA
BENZETİMİ**

Murat ÇAKICI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2007
ANKARA**

**HELİKOPTERLERDE KULLANILAN KABLO KESME SİSTEMİNİN
DENEYSEL İNCELEMESİ VE BİLGİSAYAR ORTAMINDA
BENZETİMİ**

Murat ÇAKICI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2007
ANKARA**

Murat ÇAKICI tarafından hazırlanan HELİKOPTERLERDE KULLANILAN KABLO KESME SİSTEMİNİN DENEYSEL İNCELEMESİ VE BİLGİSAYAR ORTAMINDA BENZETİMİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. O.Selim TÜRKBAS
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd.Doç.Dr. Ezgi GÜNAY

Üye : Yrd.Doç.Dr. O.Selim TÜRKBAS

Üye : Yrd.Doç.Dr. Hüdayim BAŞAK

Tarih : 18/07/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Murat ÇAKICI

**HELİKOPTERLERDE KULLANILAN KABLO KESME SİSTEMİNİN
DENEYSEL İNCELEMESİ VE BİLGİSAYAR ORTAMINDA
BENZETİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Murat ÇAKICI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2007**

ÖZET

Hava hatlarında kullanılan tel ve kablolar alçak irtifada uçan helikopterler için büyük tehlike teşkil etmektedir. Meydana gelen helikopter kazalarının %25'i helikopterin kabloya veya benzeri bir engele çarpması sonucunda olmaktadır. Bu nedenle helikopterlerde kablo kesme sistemi kullanılmaktadır. Kablo kesme sisteminin etkinliği, uçuş güvenliği açısından önemlidir.

Kablo kesme sisteminin etkinliğinin denenmesi zordur ve yüksek maliyetli deney düzeneklerini gerektirir. Bu alanda bilgisayar destekli mühendislik yazılımlarından da faydalanılabilir.

Bu çalışmada, kabloların mekanik kesilme olgusu analitik olarak incelenmiş ve seçilen kabloların ve bunlara ait tellerin kesilmesi için gereken enerji miktarı belirlenmiştir.

Analitik incelemenin yanı sıra, bir kablo kesme sistemi, Charpy deney cihazına uyarlanmıştır. Seçilen kablolar ve bunların telleri bu düzende kesilerek kesme enerjileri tespit edilmiştir.

ABAQUS© 6.6.1 yazılımı kullanılarak Charpy testlerinin benzetimi (simülasyonu) yapılmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçların uyumluluğu, kablo kesme sistemlerinin etkinliğinin bilgisayar destekli mühendislik yazılımları kullanılarak belirlenebileceğini, göstermektedir.

Bilim Kodu : 914.1.090

Anahtar Kelimeler : Tel Kesme, Kablo Kesme, Kesme Açısı, Tele Çarpma, Kesme Enerjisi, Bilgisayar Benzetimi, Abaqus

Sayfa Adedi : 152

Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. O.Selim TÜRKBAŞ

**THE EMPIRICAL EVALUATION AND COMPUTER AIDED SIMULATION
OF THE WIRE CUTTING SYSTEM USED IN HELICOPTERS**

(M.Sc. Thesis)

Murat ÇAKICI

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2007

ABSTRACT

The aerial lines cause great danger for helicopter flying at low altitudes. Twenty five percent of the helicopter accidents originate from wire strikes or crashes to similar obstacles. Therefore, Wire Strike Protection Systems (WSPS) are utilized for the helicopters. The performance of a particular WSPS is very important for the flight safety.

Prediction of the performance of a WSPS is hard and requires expensive test benches. The utilization of Computer Aided Engineering (CAE) tools would be beneficial in this effort.

In this study, the mechanical cutting phenomenon is analytically investigated and the energy required to cut off the selected cables and wires is analytically evaluated.

Beside analytic investigations, a particular WSPS is adapted to a Charpy Test Mechanism. The selected cables and their wires are mounted to the WSPS-adapted-Charpy mechanism and corresponding cutting energies are determined.

The simulation of the Charpy tests are performed with the commercial software ABAQUS© 6.6.1 The experimental and numerical results predict similar solutions which implies that CAE tools can be beneficially used in determination of WSPS performance.

Science Code : 914.1.090
Key Words : Wire Cutting, Cable Cutting, Cutting Angle, Crashing to Wire, Cutting Energy, Computer Aided Simulation, Abaqus
Page Number : 152
Adviser : Assist.Prof. O.Selim TÜRKBAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd.Doç.Dr. O. Selim TÜRKBAS'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım iş arkadaşım Uçak Yüksek Mühendisi Serkan US'a, ayrıca çekme deneyleri yaparken yapmış oldu değerli yardımlarından dolayı Türk Standartları Enstitüsünde görevli Serkan SARICA'ya, bütün çalışmalarım boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen çalışma arkadaşlarım; Ahmet ÖZTURAN, Murat ÖZHAMAM, Okan Okay KOÇAK, Nurettin ÖZKÖK, Bülent BURÇAK, Oğuz ÖZBAY, Fatih Mehmet BAYAR ile diğer iş arkadaşlarıma, beni yetiştiren, bu günlere gelmemi sağlayan, varlık sebebim olan annem Sara ÇAKICI'ı ve babam Abdülhakim ÇAKICI'ya, okumamda büyük katkıları olan teyzemin eşi Ali GEÇİÖĞLU'na, manevi desteklerini hiç esirgemeyen kız kardeşlerim, Zeynep BAKIR, Gülsüm UÇAR ve Habibe ÇAKICI'ya ve bu çalışmalarımı yaparken zamanlarından çaldığım fakat hiçbir zaman şikayet etmeyen aksine daima yanımda olan ve desteklerini hiç eksik etmeyen eşim Sadegül ÇAKICI'ya ve kızım Esra ÇAKICI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KABLOYA ÇARPMA KAZALARI VE KABLO GÜVENLİĞİ	6
2.1. Genel	6
2.2. Helikopter Neden Kabloya Çarpar	6
2.3. Yaşanan Kabloya Çarpma Kazaları	9
2.4. Yaşanan Kazalarının Değerlendirmeleri ve Öneriler	10
2.5. Helikopter Kazalarını Önlemek İçin Yapılan Çalışmalar	13
2.6. Kablo Güvenliği	16
3. MEKANİK KESME	23
3.1. Genel	23
3.2. Mekanik Kesmenin Sınıflandırılması	23
3.3. Makaslayarak Kesme	25
3.3.1. Kesmenin aşamaları	25
3.3.2. Makaslayarak kesme işleminde etkili olan kuvvetler	25
3.3.3. Makaslayarak kesmenin analitik olarak incelenmesi	29

Sayfa

3.4. Bıçak ile Kesme	37
3.5. Kablonun Kesme Enerjisinin Analitik Hesaplanması	41
4. KABLOYA ÇARPMANIN İNCELENMESİ	43
4.1. Genel	43
4.2. Örgülü Kablo ve Halatlar	43
4.3. Hava Hattı İletkenleri ve Özellikleri	46
4.4. Kablonun Kesilmesinin İncelenmesi.....	47
4.5. Kablonun Çok Sayıda Telden Oluşması Durumunda Kesme.....	60
5. KABLONUN KESİLMESİNİN DENEYSEL ÇALIŞMASI	62
5.1. Genel	62
5.2. Deneylerde Kullanılacak Malzemeler	62
5.3. Kablo ve Halatlarda Yapılan Ölçümler	63
5.3.1. Kablo ve halatlarda çap ölçümü.....	63
5.3.2. Kablo ve halatlardan alınan tellerde çap ölçümü	64
5.3.3. Kablo ve halatların adım oranlarının ölçümü ve hesaplanması	64
5.4. Kablo ve Halat Tellerinin Kimyasal Kompozisyonlarının Tespiti	64
5.5. Kablo ve Halat Tellerinin Sertlik Değerlerinin Tespiti	66
5.6. Tel ve Kabloların Çekme Deneyi.....	67
5.6.1. Deney numunelerinin hazırlanması	67
5.6.2. Deneyin yapılması	67
5.6.3. Test sonuçları	69
5.7. Kablo ve Tellerin Çarpma-Kesme Deneyi	73
5.7.1. Deney numunelerinin hazırlanması	73

	Sayfa
5.7.2. Deneyin yapılacağı düzeneğin hazırlanması	74
5.7.3. Deneylerin yapılması	79
5.7.4. Deney sonuçları.....	82
5.7.5. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	92
5.8. Bilgisayar Modelinin Oluşturulması	96
5.8.1. Genel	96
5.8.2. ABAQUS© 6.6.1 programı.....	96
5.8.3. Bilgisayar modeli için katı model oluşturulması	98
5.8.4. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması	100
5.8.5. Analiz sonuçları	111
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR	123
EKLER	128
EK-1 Bazı malzemeler için kesme direnci	129
EK-2 Kablo ve halatların bazı özellikleri	130
EK-3 Kesici takım teknik çizimi.....	139
EK-4 Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması	140
EK-5 ABAQUS© sonlu elemanlar programında kullanılan birimler	151
ÖZGEÇMİŞ	152

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kablo ve halatlar için kesme enerjisinin Eş. 3.14'e göre hesaplanması	41
Çizelge 4.1. Hava hatlarında kullanılan bazı tellerin ve genel amaçlar için kullanılan çelik kabloların standartları	45
Çizelge 4.2. Türkiye'de kullanılan şekillendirilmemiş ACSR ve AAC tip iletkenler.....	47
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılacak kablolar	62
Çizelge 5.2. Ölçülen kablo çapları	63
Çizelge 5.3. Kablo ve halat tellerinin çap ölçüm sonuçları	65
Çizelge 5.4. Halat ve kabloların özellikleri ile ilgili teknik bilgiler	66
Çizelge 5.5. Kablo ve halatların tellerinin kimyasal kompozisyonu	66
Çizelge 5.6. Kablo ve halat tellerinin sertlik değerleri.....	67
Çizelge 5.7. Kablo ve halatların ve ayrıca tellerinin çekme sonuçları çizelgesi	72
Çizelge 5.8. Çarpma-Kesme deneyi için numuneler	73
Çizelge 5.9. MAT21 model Charpy ve Isod test cihazı teknik özellikleri	75
Çizelge 5.10. MAT21 model Charpy ve Isod test cihazında değişiklik yapıldıktan sonraki teknik özellikler.....	80
Çizelge 5.11. Çarpma-kesme deney sonucu kesme enerjileri	91
Çizelge 5.12. Deney sonuçlarının işlenmesi	92
Çizelge 5.13. Kablo ve halatlar için kesme enerjisinin Eş. 3.14'e göre hesaplanması	93
Çizelge 5.14. Malzemeler için özellikler	105
Çizelge 5.15. Deney ve bilgisayar modeli sınır şartları	108

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.16. Kablo eleman ve giriş eleman için çözüm ağı değerleri	109
Çizelge 5.17. Analizlerde elde edilen sonuçların, kesme deneylerinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması	114

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kablo ve tellerin konumu.....	8
Şekil 2.2. 1995-2004 Avustralya'daki kabloya çarpma kazaları	10
Şekil 2.3. NASA'nın araştırma merkezinin şematik görünümü	14
Şekil 2.4. Test merkezinde yapılan testlerin dağılımı.....	14
Şekil 2.5. Kablo güvenliği sistemlerinin sınıflandırılması	16
Şekil 2.6. Pasif kesicilerin helikopterde bulunduğu yerler	19
Şekil 2.7. Mayın avlama gemilerinde aktif kablo kesme sistemi	20
Şekil 2.8. Arama kurtarma helikopterlerinin vinçlerindeki aktif kablo kesme sitemi	21
Şekil 2.9. Tanklarda kullanılan tel toplama ve yönlendirme sistemleri.....	22
Şekil 3.1. Kesme sınıfları	24
Şekil 3.2. Kesme ayrılmasının sınıflandırılması	24
Şekil 3.3. Kesmenin aşamaları	26
Şekil 3.4. Makasla kesme işleminde oluşan kuvvetler	27
Şekil 3.5. Kesme işlemi boyunca kesilen malzeme üzerindeki gerilme dağılımının.....	28
Şekil 3.6. Kesme yüzeyinin görünümü	29
Şekil 3.7. Makasla kesme işlemindeki kesme kuvvetinin oluşumu.....	30
Şekil 3.8. Kesme enerjisi grafiği.....	33
Şekil 3.9. Kesme kuvvetlerinin açı ve yol ile değişimi	36
Şekil 3.10. Kesme kuvvetinin kesme açısına bağlı değişimi	36
Şekil 3.11. Bıçakla havuç kesilmesi	37

Şekil	Sayfa
Şekil 3.12. Bıçak profilleri	38
Şekil 3.13. Bıçak profilindeki açılar	38
Şekil 3.14. Geçiş açısının kullanma amacına göre değişimi	39
Şekil 3.15. Bıçak ile malzeme kesme	40
Şekil 3.16. Kırılma tipleri	41
Şekil 4.1. Kablo ve halatlarda büküm (hatve) yönü	43
Şekil 4.2. Kablo ve halatlarda bir demetin kesiti.....	44
Şekil 4.3. Temel olarak demetlerin halatı oluşturuş şekli	44
Şekil 4.4. r yarı çapındaki bir tele, R yarı çapındaki silindirik bir cismin teması ve telin gerilmesi hali	48
Şekil 4.5. Tel ve cisim çarpışmasında $R > r$ ve $r \geq R$ durumları	49
Şekil 4.6. Tel ve cisim çarpışması ve $r > R$ durumunda silindirin ön bölgesindeki tel kesitindeki gerilme dağılımı.	50
Şekil 4.7. İnce cismin tele temasın üstten görünümü	50
Şekil 4.8. Kesici takım profili	52
Şekil 4.9. Makas tipi kesici takım	52
Şekil 4.10. Makas tipi kesici ile tel arasındaki temas durumu	53
Şekil 4.11. Tel ile makas tipi kesicinin temas durumu	53
Şekil 4.12. Oluşan kuvvetlerin telin merkezine taşınması	53
Şekil 4.13. Fü kuvvetinin tel üzerinde oluşturduğu basınç ve kuvvetler	55
Şekil 4.14. Kesme etkisi ile tel üzerindeki kuvvet dağılımı	56
Şekil 4.15. Telin üst kısmı için denge durumu.....	56
Şekil 4.16. Teli ayırmaya çalışan kuvvetler	57
Şekil 4.17. Kesilme (ayrılma) sonrası telin yüzeyi.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 4.18. Kesicinin uç bölgesinde oluşan ve çatlağın ilerlemesini sağlayan kuvvet ve gerilmeler	59
Şekil 4.19. Çok tekli kablonun kesiciye girmesi.....	60
Şekil 4.20. Çok telli kablonun tellerinin kesilmesi dağılımı	61
Şekil 5.1. Kablo ve halatlarda çap ölçümünün nasıl yapılacağı	63
Şekil 5.2. 6 Al 1 Çe. telli kablonun, 2,39 mm çaplı, 5 Al telinin çekme grafiği.....	69
Şekil 5.3. 6 Al, 1 Çe. telli kablonun, 2,36 mm çaplı, 2 Çe. telinin çekme grafiği.....	69
Şekil 5.4. 6 Al, 1 Çelik telden oluşan kablonun, çekme grafiği	69
Şekil 5.5. Tel çapı 2,13 mm olan, 7 çelik telli halatın, 7 telinin çekme grafiği	70
Şekil 5.6. Tel çapı 2,13 mm olan, 7 telli çelik halatın çekme grafiği	70
Şekil 5.7. Plastik kaplı, 4,26 mm çapındaki Alüminyum telin, çekme grafiği	70
Şekil 5.8. Tel çapı 1,97 mm olan, 7 Al telli kablonun, 3 telinin çekme grafiği	70
Şekil 5.9. Tel çapı 1,97 mm olan, 7 Alüminyum telli kablonun, çekme grafiği.....	71
Şekil 5.10. Tel çapı 1,31 mm olan, 7 Ba. telli kablonun, 3 telinin çekme grafiği.....	71
Şekil 5.11. Tel çapı 1,31 mm olan, 7 Bakır telli kablonun, çekme grafiği	71
Şekil 5.12. Çarpma–Kesme deneyi için tel ve kablolar için deney numunesi ölçüsü	74
Şekil 5.13. Charpy cihazının değişiklik yapılmadan önceki şematik gösterilişi	78
Şekil 5.14. Test cihazının ağırlıklar ve kırıcı çekici çıkartılarak kesici takımın takılması ile oluşan halinin şematik görünüşü	78

Şekil	Sayfa
Şekil 5.15. Test cihazının kablo testi için yapılan değişikliklerden sonraki hali.....	79
Şekil 5.16. Kablo türlerine ve tel sayılarına çarpma-kesme deneyi sonucunda elde edilen sonuçların dağılımı grafiği	94
Şekil 5.17. Kablo türlerine ve tel sayılarına göre ortalama kesme enerjisi dağılımı grafiği	95
Şekil 5.18. Kesicinin montajı yapılmış.....	99
Şekil 5.19. Katı modelin basitleştirilmiş hali	100
Şekil 5.20. Rijit olarak modellenmiş ve çözüm ağı örülmüş kesici yüzeyler.....	101
Şekil 5.21. Kablonun 7 telli	102
Şekil 5.22. Tek kat telin.....	103
Şekil 5.23. Silindirik tek kat 30 mm'lik kablunun, giriş elemanla birleştirilmiş halinin sonlu elemanlar çözüm ağı üretilmiş durumu.....	104
Şekil 5.24. Rijit kesici ve basitleştirilmiş kablunun montajı yapılmış ve çözüm ağı örülmüş son durumu	104
Şekil 5.25. Kesici ve kablo sınır şartları	107
Şekil 5.26. Çapı 5 mm olan Al tele kesicinin ilk temasının görünüşü	111
Şekil 5.27. 5 mm kalınlığındaki Alüminyum telin kesilmesinin aşamaları	112
Şekil 5.28. 5 mm kalınlığındaki Al telin kesilmesinin üstten görünüşü	113
Şekil 5.29. Telin üzerindeki basınç dağılımının üstten kesit alınarak görünüşü	113
Şekil 5.30. Çapı 1,98 mm olan, Al telin kesme analizi sırasındaki K.E. değişimi.....	114
Şekil 5.31. Çapı 2,39 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	115

Şekil	Sayfa
Şekil 5.32. Çapı 3,5 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	115
Şekil 5.33. Çapı 4,26 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	115
Şekil 5.34. Çapı 5 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	116
Şekil 5.35. Çapı 1,31 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	116
Şekil 5.36. Çapı 2,62 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	117
Şekil 5.37. Çapı 4 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	117
Şekil 5.38. Çapı 5 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	117
Şekil 5.39. Çapı 2,36 mm olan Çelik telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	118
Şekil 5.40. Çapı 4 mm olan, Çelik telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	118
Şekil 5.41. Çapı 5 mm olan, Çelik telin kesme analizindeki K.E. değişimi.....	118

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. NASA'nın araştırma merkezi.....	13
Resim 2.2. Uçuşların yoğun olduğu bölgelerdeki kabloların işaretlenmesi.....	17
Resim 5.1. Kabloların çap ölçümün nasıl yapıldığını gösterir fotoğraf.....	64
Resim 5.2. Kablo ve halatlardan çıkarılmış tel çekme numuneleri	67
Resim 5.3. TSE Laboratuvarlarındaki Instron marka 5589 model-çekme kopma test cihazı	68
Resim 5.4. Tel numunelerin çekme testi	68
Resim 5.5. MAT21 model Charpy ve Isod testleri için universal pendulum impact test cihazı	74
Resim 5.6. Charpy ve Isod test cihazının kırıcı çekici	75
Resim 5.7. Charpy ve Isod test cihazının, kırıcı çekici yerine takılması için imal edilen kesici takım.....	76
Resim 5.8. Charpy test cihazının ağırlıklılarının normal durumu	76
Resim 5.9. Charpy test cihazının ağırlıkları ve kırıcı çekici çıkartılarak kesici takımı takılmış durumu.....	77
Resim 5.10. Charpy test cihazının, kesici takım takılmış ve ağırlıklarının ters takılmış durumu	77
Resim 5.11. Deney numunelerinin düzeneğe bağlanması	81
Resim 5.12. 4,26 mm çapındaki tek kat Alüminyum telin, çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları.....	83
Resim 5.13. 1,31 mm çapındaki Bakır tellerin çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları.....	84
Resim 5.14. 2,36 mm çapındaki Çelik tellerin çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları.....	85

Resim	Sayfa
Resim 5.15. 3,5 ve 2,39 mm çapındaki tek kat Alüminyum tellerin çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları	86
Resim 5.16. 7 Alüminyum telli 5,94 mm dış çaplı kablonun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları	87
Resim 5.17. 7 Bakır telli 4,04 mm dış çaplı kablonun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları	88
Resim 5.18. 7 Alüminyum-2 kalın telli 10,40 mm dış çaplı kablonun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları	89
Resim 5.19. 6 Alüminyum ve 1 elik telli ve 7,18 mm dış çaplı kablonun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
F_k	Kesme kuvveti
F_v	Kesilecek malzeme üzerindeki basınç kuvveti
F_v'	F_v kuvvetinin karşı kuvveti olarak alt destekte oluşan tepki kuvveti
μF_v	F_v kuvveti nedeniyle oluşan sürtünme kuvveti
$\mu F_v'$	F_v' kuvveti nedeniyle oluşan sürtünme kuvveti
F_H	Zımbanın kesme yüzeyi ile malzeme arasındaki basınç kuvveti
F_H'	F_H kuvvetinin karşı kuvveti olarak alt destekte oluşan tepki kuvvet
μF_H	F_H kuvveti nedeniyle oluşan sürtünme kuvveti
$\mu F_H'$	F_H' kuvveti nedeniyle oluşan sürtünme kuvveti
b	F_v basınç kuvvetinin etti ettiği genişlik.
d_1	Zimba üzerinde oluşan F_v kuvvetinin zimba üzerindeki diğer F_v kuvvetinden uzaklığı
d_2	Destek kalıbı üzerinde oluşan F_v' kuvvetinin kalıp üzerindeki diğer F_v' kuvvetinden uzaklığı
σ	Normal gerilme
τ	Kayma gerilmesi
u	Zimba ve alt kalıp arasındaki açıklık
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Asal gerilmeler

Simgeler	Açıklama
σ_m	Hidrostatik basınç
A	Kesit Alanı
F_k	Kesme kuvveti
K_d	Malzemenin kesmeye karşı göstermiş olduğu direnç
s	Kesilen malzeme kalınlığı
l	Uzunluk
l_s	Kesme uzunluğu
F_{kmax}	En büyük kesme kuvveti
σ_{max}	Kesilen malzemenin çekme mukavemeti
C₁	Kesme kuvveti düzeltme katsayısı
d	Dairesel kesitlerde çap
F	Kuvvet
m	Kütle
a	İvme
V	hız
t	zaman
E	Enerji
E_k	Kesme enerjisi
E_e	Elastik şekil değiştirme enerjisi
E_p	Plastik şekil değiştirme enerjisi
E_c	Çatlak oluşumu ve kırılma (ayrılma) enerjisi
x	Kesme yolu
C	Kesme enerjisi düzeltme faktörü
F_c	Çatlak oluşumu için gerekli kuvvet

Simgeler	Açıklama
l_f	Kesilen malzemenin yüzeyi ile kopmanın (ayrılmanın) olmadan önceki yerin arasındaki mesafe
E_{ke}	Kinetik enerji
θ	Kesme açısı
H	Kesme yolu
r	Tel yarıçapı
R	Tele çarpan cisim yarıçapı
h	Tele çarpan cisim yüksekliği
F_1, F_2	Tel üzerinde oluşan germe kuvveti
α	Kesilen tel ile tele çarpan cismin teli büktüğü yerdeki teğet arasındaki açı
P	Basınç
Δ	Fark
β	Kesici takımın kesme yüzeyi açısı
θ	Kesici takımın kesme açısı
φ	Kesici takımın montaj açısı
ψ	Kesici montaj açısının 90° artırılmış hali
$F_{\bar{u}}$	Tel üzerinde üst kesicinin oluşturduğu kuvvet
F_a	Tel üzerinde alt kesicinin oluşturduğu kuvvet
$F_{\bar{u}a}$	Tel üzerinde üst kesicinin oluşturduğu basınç kuvveti
$F_{\bar{u}z}$	Tel üzerinde üst kesicinin oluşturduğu ayırma kuvveti
F_{aa}	Tel üzerinde alt kesicinin oluşturduğu basınç kuvveti
F_{az}	Tel üzerinde alt kesicinin oluşturduğu ayırma kuvveti
σ_L	Lokal gerilme

Simgeler	Açıklama
m	Metre
cm	Santimetre
mm	milimetre
G₁, G₃, G₃	Ağırlık merkezi
g	Yerçekimi ivmesi
M₁, M₂, M₃	Charpy çekici ağırlığı
V_t	Teğetsel hız
R_n	Charpy çekici dönme yarıçapı
σ_g	Gerçek gerilme değeri
σ_m	Mühendislik gerilme değeri
ε_g	Gerçek şekil değiştirme
ε_m	Mühendislik şekil değiştirme
E	Elastisite Modülü
G	Kayma Modülü
ν	Poisson orano
ε	Şekil değiştirme
γ	Açısal şekil değişimi
C_o	Ses hızı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
NTSB	National Transportation Safety Board

Kısaltmalar	Açıklama
FAA	Federal Aeronautics Administration
NASA	National Aeronautics and Space Administration
WSPS	Wire Strike Protection System
Hellas	Helikopter Laser Radar
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
RN	Referans Noktası
RA	Rahatlatma açısı
TA	Geçiş Açısı
CA	Kesme Açısı
CE	Kesme Kenarı
Z	Kablonun sağ büküm yönü
S	Kablonun sol büküm yönü
K.E.	Kinetik enerji

1. GİRİŞ

Havacılık sektörünün hızlı gelişimi sayesinde, hava araçlarının insan hayatındaki yeri ve önemi sürekli olarak artmaktadır. 1941 yılında Igor Sikorsky tarafından VS-300 model döner kanatlı hava aracıyla ilk uçuşu gerçekleştirmesinden sonra hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır [1]. Döner kanatlı hava araçlarının (helikopter) iniş kalkış için büyük ve geniş alanlara ihtiyaç duymaz, şehir içlerine, hatta binaların üzerine dahi inip kalkabilirler. Bu özelliklerinden dolayı döner kanatlı hava araçları; ulaşım, cankurtaran hizmetleri, arama-kurtarma, güvenlik, medya, yangın söndürme ve askeri alanlar başta olmak üzere yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Yerleşim bölgelerindeki uçuşlar sırasında; yüksek gerilim hatları, telefon ve telgraf telleri ile yapısal amaçlı gergi telleri gibi unsurlar döner kanatlı hava araçları için uçuş güvenliği açısından tehdit oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak da büyük can ve mal kayıpları olan kazalar ortaya çıkmaktadır [2-9].

Bu çerçevede öne çıkan husus hava aracının emniyetli bir seyahat gerçekleştirmesidir. Havacılıkta konulan kuralların çoğunluğu kazalardan alınan dersler sonucunda olmuştur [3].

Günümüzde hava aracının emniyetli olarak seyahat edebilmesi için hem yerden, hem hava araçlarından, hem de uzaydan çeşitli önlem alınmaktadır. Hava araçlarıyla seyahatin daha güvenli hale getirilmesi için büyük bütçeli çalışmalar ve araştırmalar yürütmektedir [10-14].

Bizde bu çalışmamızda, döner kanatlı hava araçlarının kablo ve tellere çarpma kazalarından en az hasarla ve kayıpla kurtulmasını amaçlayan pasif bir sistem olan tel ve kablo kesme sisteminin deneylerle desteklenmiş bir bilgisayar modelinin oluşturulması ile test maliyetleri yüksek olan ve araç üzerinde deneme imkanı sınırlı olan durumların oluşturulan bilgisayar modeli sayesinde benzetimle (simülasyonla) çözülerek aşılmasını amaçlamaktayız.

Bu çerçevede ilk olarak piyasada bulunan ve iletim hatlarında kullanılan kablolar araştırılarak numuneler temin edilmiştir. Hazırlanacak bilgisayar modelinde kullanmak üzere bu kablolardan hazırlanan numunelere çekme deneyi, sertlik ölçümü, kimyasal kompozisyon tespiti yapılmış ve ayrıca kabloların, halatların ve bunları oluşturan tellerin çap ve adımları ölçülerek kontrol edilmiştir. Deneylerin yapılmasında; TS 138 EN 10002, TS 270 ve TS EN 50182 referans alınmıştır [15-17].

Kablonun kesilmesi esnasında harcanan enerjinin tespit edilebilmesi için özel bir düzenek hazırlanarak Charpy test cihazında çarpma-kesme deneyleri yapılmıştır.

Deneylerden alınan bilgilerden faydalanarak, bilgisayar modelini ABAQUS® 6.6.1 sonlu elemanlar analiz programında oluşturularak, tel ve kabloların kesilme analizlerini bilgisayar ortamında bu model üzerinde yaptır.

Ayrıca bu kesme işleminin, analitik olarak inceleme sonuçları, deneysel çalışmaların sonuçları ve bilgisayar analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Literatüre bakıldığında, çalıştığımız kesme biçimiyle ilgili NASA'nın Langley'de bulun çarpma dinamiği inceleme merkezinde yaptığı testlere dair yayınladığı raporlar [10-14] dışında pek fazla yayın bulunamamıştır. Diğer yandan bu testlerde kullanılan Bristol Aerospace tarafından yapılmış olan tel kesme sisteminin bakım katalogundan sistem hakkında bilgi edinmek mümkün olmuştur [18]. Fakat bu kesme sisteminde kesme işleminin nasıl gerçekleştiğini anlayabilmek için öncelikle; Klocke F. tarafından hazırlanmış olan "fine blanking" konulu dokümanın incelenmesi faydalı olacaktır [19]. Bizim kullanacağımız kesme sisteminin kesme mantığının oturmasında; Law, Harvey, Kruhlak, Song, Wu, Barton, Eijkelenborg ve Large'den kuru ekip tarafından incelenmiş olan, Polimer esaslı optik fiberlerin mikro yapılarındaki yarılmalar konusundaki çalışmaları faydalı olacaktır [20]. Bir bıçağın kesme esnasında oluşturduğu kuvvetleri görebilmek için, John Wiley and Sons

yayınlarından bıçak ve çelik konulu yayının incelenmesi gerekmektedir [21]. Diğer yandan çalıştığımız konuya faydalı olacağını düşünerek incelediğimiz, Franeck, Schirmacher ve Offermann tarafından tellerin ve ipliklerin kesilmesi için sayısal yöntemler, konulu çalışması da vardır [22].

Kesme operasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar daha çok giyotin makasla kesme, zimba ile levhadan parça çıkarma ve takımla parça üzerinden talaş kaldırma konusunda yoğunlaşmış durumdadır. Ayrıca bu çalışmalarda genellikle deneysel ve bilgisayar modelleri ile benzetme yaklaşımları yapılarak probleme çözüm aranmıştır.

Nitekim, değişik malzemelerden metal çubukların makaslanması konusunu Chang ve Swift deneysel olarak incelemiştir [23]. Ayrıca, Suliman, S.M.A.'da 5005 serisi alüminyum alaşımının giyotin ile kesilmesini deneysel olarak incelemiştir [24]. İnce malzemelerin (sac) hassas kesilmesinde yeni bir kesme şekli olan yuvarlanarak kesme konusunu deneysel tabanlı olarak Masao Murakawa ve Yan Lu işlemişlerdir [25]. Li M. de deneysel olarak, otomobillerin alüminyum gövde levhalarının kesilmesi sonucunda kesme yüzeyinin ve çapakların incelemesini yapmıştır [26]. Li M. yine deneysel olarak, Alüminyum alaşım levhaların makasla kesilmesi esnasında oluşan deformasyonun ve çatlağın mikro yapısını incelemiştir [27]. Stegeman, Goijaerts, Brokken, Brekelmans, Govaert ve Baaijens'den kuru ekip tarafından, düzlemsel olarak zımbalama prosesinin deneysel ve sayısal çalışması ile yine aynı ekip, deneysel ve sayısal yapılan çalışmada ince metallerde zımbalamayı geliştirmek mümkün mü? Sorusuna yanıt aranmıştır [28,29]. Makaslamada bıçaklar arasındaki farkın (clearance) ayarlanabilirliği ve bunun canlı olarak kontrol edilebilmesi ile yeni bir makaslama tekniği üzerine Behrens ve Schaeper uygulamalı olarak çalışma yapmışlardır [30].

Kesme ayırma operasyonlarının incelenmesinde, benzetme ve sayısal yöntemler en çok tercih edilen yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Öyle ki, zımbalama işleminde sünek kırılmanın sayısal modellemesi üzerine

Brokken, D. çalışmıştır [31]. İnce metallerde çarpma sonucunda kesilme ve yırtılmanın simülasyonu için kabuk elemandan eleman silinmesi veya elemanların ayrılması ile ilgili karşılaştırmalı çalışmayı Hagbart S.A. yapmıştır [32]. Wisselink H. tarafından da giyotin ile kesme ve ayrıca yarık açma proseslerinin analizinin sonlu elemanlar ile simülasyonu üzerine çalışma yapılmıştır [33]. Linder, C. tarafından, dinamik ve sonlu uzama plastisite modeli için bir isteğe bağlı Lagrangian-Eulerian sonlu eleman formülasyonu ile dairesel kesitli bir çubuğun çarpması simülasyonu çalışmasını yapmıştır [34]. Grünbaum, M. çalışmasında, levhalarda zımbalama operasyonunda yüksek kesme hızlarının işlenmiş parçaların kalitesi üzerine etkileri konusunda hem sayısal hem de deneysel olarak çalışma yapmıştır [35]. Çarpma modellemesi ve simülasyonu için en iyi uygulamaları bir araya getirerek bir çalışmayı NASA adına Fasanella ve Jackson yapmıştır [36]. Lee, Chan ve Zheng tarafından kurulmuş ekip, ince metal malzemelerde, düzgün zımbalama prosesinde sonlu elemanlar metodunun uygulaması çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir [37]. Hatanaka, Yamaguchi, Takakura ve Takasi tarafından kurulmuş olan ekip, metal levhaların makaslayarak form verilmesi prosesinin simülasyonu, çalışmalarını yapmışlardır [38]. Sonlu elemanlar metodu yardımı ile levhalarda zımbalama işleminde oluşan deformasyonları ve gerilmeleri, Moesdijk, Wisselink, Boogaard, Huétink, Bolt ve Sillenkens tarafından kurulu ekip incelemiştir [39]. Metallerin ince levhalarından zimba ile parça çıkarılması prosesinin sayısal simülasyonunu yaparak deneysel sonuçlarla karşılaştırılması konusunda Picart, Lemiale, Touache ve Chambert'ten kurulu ekip yapmıştır [40]. Düşük alaşımlı çelik levhalardan zimbayla parça çıkarılması operasyonunda kullanılan karakteristiklerin sonlu elemanlar simülasyonunun ABAQUS® 6.6.1 programı ile incelemesi Klingenberg ve Singh tarafından yapılmıştır [41].

Diğer yandan kesme ve şekillendirme işlemleri esnasında oluşan çatlakların incelemeleri de bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodunun yardımı ile yapılmıştır. Bu çerçevede; şekillendirme işlemlerinde sünek hasardan sünek

kırılmaya geçişin incelemesini, simülasyon ve deneylerle Mediavilla, Peerlings ve Geers yapmıştır [42]. Metal levhalardan zimba ile parça çıkarma operasyonunda sünek kırılmanın öngörülmesi konusunda, Goijaerts, Govaert ve Baaijens çalışma yürütmüşlerdir [43]. Gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerin (AHSS) işlenmesi sırasında oluşan çatlak ve kırılmaların incelemesini Wierzbicki yapmıştır [44]. Levhalardan zimba ile yapılan parça çıkarma operasyonunda değişik metal levhalar için sünek kırılma modellerinin değerlendirmesi üzerine Goijaerts, Govaert ve Baaijens çalışma yapılmıştır [45].

Yapılan kesme ve şekillendirme işlemlerinin simülasyonunu yaparken oluşan hasarların bilgisayar modelinde görülebilmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu konudaki çalışmalar; ince levhalardan kesilerek parça çıkarılması işleminin modellenmesi ve simüle edilmesi için hasar ve ayrılma kriterlerinin kullanılması ile ilgili çalışmayı Poizat, Campagne, Daridon, Ahzi, Husson ve Merle tarafından kuru ekip yapılmıştır [46]. Gerilme testi simülasyonunda düğüm noktalarının ayrılması üzerine Kazutake çalışma yapmıştır [47]. Kazutake, makaslama operasyonunun simülasyonunda düğüm noktalarının ayrılması üzerine de çalışma yapmıştır [48]. Makas prosesinin sonlu elemanlar simülasyonunda parçanın koparılması için kullanılan element yok etme yöntemi üzerine Ko, Kim ve Choi çalışmıştır [49]. Ters teknik metodunda kullanılan kırılma kriterleri ve levhadan zimba ile parça çıkarma işleminin deneysel incelemesini Hambli ve Reszka yapmıştır [50].

Norman Jones inceleyerek “Structural Impact” adı altında yayımladığı kitabında, bir cismin bir kırıya çarpması konusunu irdemiştir [51].

2. KABLOYA ÇARPMA KAZALARI VE KABLO GÜVENLİĞİ

2.1. Genel

Helikopterler için hava hatlarında kullanılan iletim kabloları ve yüksek anten direkleri gibi cisimleri tutan gergi telleri büyük tehlike oluşturmaktadır. Helikopter kazaları incelendiğinde büyük bir kısmının tele veya benzer bir cisme çarpması sonucunda olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu tür kazaların önlenmesi için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.

2.2. Helikopter Neden Kabloya Çarpar

Hava araçları için en önemli şey, havada uçar durumda kalabilmektir. Helikopterlerin birçok operasyonu alçak irtifada gerçekleştirmelerinden dolayı, en iyi pilotu bile bir kabloya çarpma korkusu her zaman sarar [3].

CASA 'nın uçuş operasyonları yöneticisi Allister Polkinghorne; güç kablolarının alçaktan uçan helikopterler için büyük tehlike oluşturduğu ve son yıllarda yaşanan kazaların bu konuya dikkat çektiğini, alçak uçuşlarda meydana gelen kazaların %25'inin kabloya çarpma kazası olduğunu söylemektedir [5].

Allister Polkinghorne, helikopterlerin kablolarla takılmasında etkili olan faktörleri şöyle belirtmekte; önceden yerleştirilmiş telin yerini unutmak, telleri görmekte yaşanan zorluklar, alçak uçuş planlanan alanın yetersiz ön kontrolü, zayıf planlama, gerekli referans noktalarının eksikliği, dalgınlık, ruhsal yorgunluk, alçak uçuşa duyulan istek [5].

“Görmesi Zor Korunması Daha Zor”; uçuş esnasından kabloları görmenin ve korunmanın söylerken ne kadar basit; kabloyu gör ve ondan korun, hiç deneyime fazla bilgiye ihtiyaç yok hissi vermektedir. Şöyle bir düşündüğümüzde doğru, ne kadar zor olabilir ki diye düşünmekten insan kendini alamıyor. Hatta ne kadar saçma, helikopter biraz yüksekte uça, ne

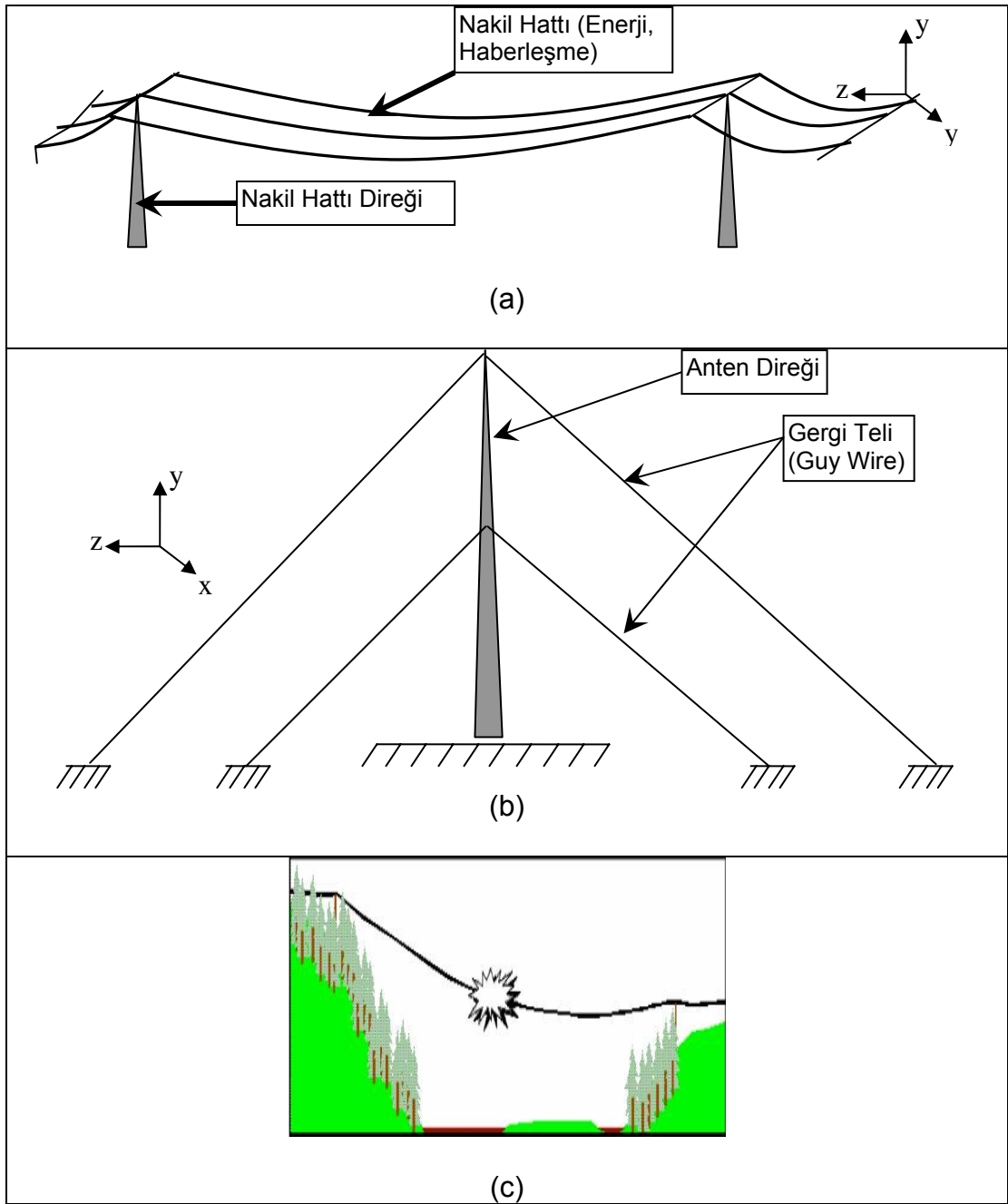
kabloya takılır nede başka bir cisme takılma riski kalır. Fakat bununda her zaman mümkün olmayacağı; tarımsal uçuşlar, film çekimleri, kötü hava şartları, iniş-kalkışlar, arama kurtarma gibi faaliyetlerin yapılmasını gerektiren şartlarda alçak uçuş zorunlu olmaktadır [6].

Diğer yandan kablolar daha çok; yol kenarları, nehirlerin civarlarında, barajların etrafında, demiryollarının kenarında ve üzerinde, köylerin, kasabaların ve çiftliklerin civarında ve şehirlerin her yerinde bulunmaktadır. Bu alanlardan kaçınırsanız da nereye kadar uzak durabilirsiniz ki [6].

Ayrıca kablolar sadece Şekil 2.1.a'da görüldüğü gibi iki direk arasında yatay pozisyonda olmayabilmektedir. Nitekim Şekil 2.1.b'de görüldüğü gibi gergi telleri (guy wire) gibi dikey durumda olan tellerinde helikopterler için tehlike yarattığı da bir gerçektir [6]. Diğer yandan Şekil 2.1.c'de görüldüğü gibi elektrik ve haberleşme kabloları, vadi, nehir vb. engelleri geçişleri sırasında; çapraz, dik ve normal şartlardan daha yüksek olarak konumlanabilmekteler. Buna örnek olarak Kanada'da 25 Şubat 1995 tarihinde yaşanan kabloya çarpma kazası verilebilir. Kanada Taşıma güvenliği ofisi tarafından hazırlanan raporda; Şekil 2.1'de görüldüğü gibi vadiyi geçen enerji kablonun 2 direği arasındaki mesafesinin yaklaşık 1183 feet, direkler arasındaki yükseklik farkının 119 feet ve helikopterin çarptığı yerdeki kablo yüksekliğinin 67 feet olduğu ve kablonun galvanizli çelik tellerden oluştuğu ve 3/8" çapında olduğu vurgulanmaktadır [7].

Kabloya çarpma kazaları genellikle; ışık miktarının düşük olması, havanın sisli veya kirli olması, yine havanın nemli olması, nehir üzerindeki kabloların görülmesinin kontrast nedeniyle zor olması, güneşin dar açıyla gelmesi durumlarında oluşmaktadır [3].

Kabloya çarpma kazalarının %70'i pilotların daha önceden yerini bildiği kabloları yanlış değerlendirmeleri neticesinde oluştuğu bilinmektedir [5].



Şekil 2.1. Kablo ve tellerin konumu; a) Yatay enerji ve haberleşme hatları [52], b) Gergi telleri [52], c) Vadi geçen nakil hatları [7]

Nitekim Avustralya Hükümetinin Taşımacılık Güvenliği Bürosu tarafından bir helikopterin kabloya çarpma kazası sonucunda hazırlanmış olduğu raporda; helikopterin GPS verileri incelenmiş, pilotun bölgede kablo olduğundan

haberi olduğu ve ona göre uçtuğu, hatta kaza yapana kadar ana hatta paralel gittiği ve bu nedenle yan hatta tam karşıdan çarptığı tespit edilmiştir [4].

2.3. Yaşanan Kabloya arpma Kazaları

ABD’de 1970-1979 yılları arasındaki 10 yıllık periyotta, kabloya çarpma nleme sistemi bulunmadığı için oluşan, 208 adet sivil helikopter kazası için NTSB ve FAA tarafından hazırlanmış olan kaza raporları, NASA tarafından yeniden ele alınarak analiz edilmiş ve tek bir rapor haline getirilmiştir [2].

Bu rapora göre 208 kaza sonucunda; toplam 37 kişi hayatını kaybetmiş, 52 kişi ağır şekilde yaralanmış ve 85 kişide de ciddi bir şekilde yaralanma olmuştur. Bu kazalarda 88 hava aracının tamamen parçalanmış, 120 hava aracı da ciddi şekilde hasar grmuştr. Ayrıca o yıllardaki rakamlarla maddi kaybın da 11 108 000 ABD Doları civarında olduğu tahmin edilmiştir [2].

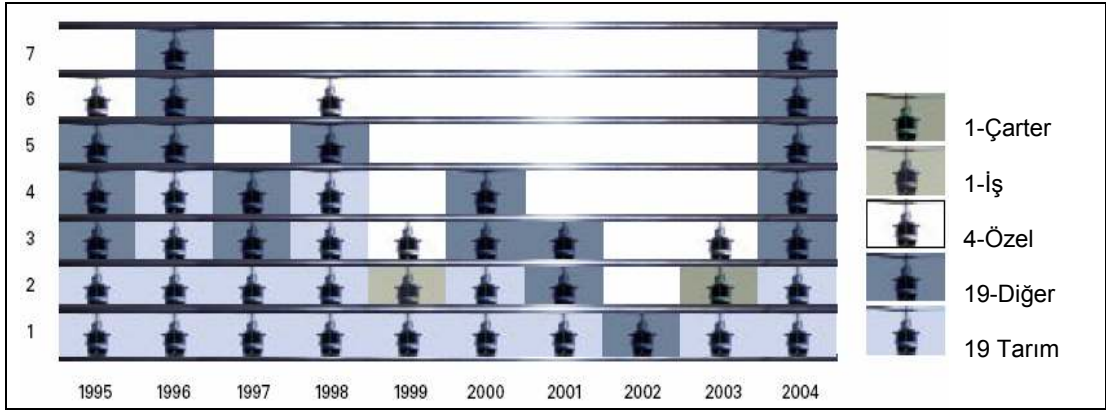
Aynı raporda 1977-1978 yılları arasında ABD genelinde meydana gelen 197 sivil helikopter kazasının %19’unun tele çarpma sonucunda oluştuğu ve 1971-1977 yılları arasında ABD ordusunda bir engele çarpma sonucu meydana gelen toplam 1100 kazanın %74’ünün de ağaç veya tele çarpma sonucunda olduğu belirtilmiştir [2].

ABD’de 1990-1995 yılları arasında helikopterlerin karıştığı 200 adet kabloya çarpma olayı meydana gelmiş ve bu olayları sonucunda da 43 kişi hayatını kaybetmiştir [6].

Kanada’da; 1984-1988 yılları arasında helikopterlerin karıştığı, 7’si ölümlü olmak üzere toplam 14 adet kabloya çarpma kazası meydana gelmiştir [3].

Avustralya’da 1995-2004 yılları arasında yaşanan tele çarpma kazalarının sektörler bazındaki dağılımı şekil 2.2’de görülmektedir [5].

1996-2000 yılları arasında 934 Amerikan helikopteri kazaya karışmıştır. Bunlardan 50 adedi tele çarpma kazası olarak gerçekleşmiştir. Bu 50 kazanın 15'i ölümlü kaza olarak gerçekleşmiş ve bu kazalara karışan helikopterlerden 4 adedi cankurtaran helikopteri olarak görev yaparlarken olmuştur [8].



Şekil 2.2. 1995-2004 Avustralya'daki kabloya çarpma kazaları [5]

Ayrıca yine ABD'de; 1994-1998 yılları arasında toplam 118 adet ağaca çarpma kazası olmuştur. Bu kazalarda toplam 9 kişi hayatını kaybetmiş ve 20 kişide ağır şekilde yaralanmışlardır [9].

2.4. Yaşanan Kazalarının Değerlendirmeleri ve Öneriler

NASA'nın 208 kaza için düzenlediği raporun değerlendirmesinde, kazaya karışan bu araçlarda tel kesme sistemi bulunmuş olması durumunda kazaların %49'unda etkili bir şekilde çalışabileceği ve bu kazaların önlenebileceği belirtilmiştir. Tele çarpma sonucu oluşan kazaların %79'unun hava aracı ileri doğru hareket ederken tam karşıdan oldu vurgulanmıştır. Ayrıca telin aracın gövdesinde herhangi bir yere (ana rotor pali, ana rotor mastı, kabin, iniş takımları ve kuyruk) çarpma olasılığının hemen hemen aynı olduğunun tespit edildiği söylenerek, araç üzerinde en kritik çarpma yerinin ana rotor mastına olan çarpma olduğu ve bununda ancak mekanik kablo kesicileri ile önlenebileceği vurgulanmaktadır [2].

Kablo kesicinin etkili olabilmesinin; hava aracının hızına, yönüne, kablonun kalınlığına bağlı olduğu belirtilmektedir. Hava aracının kabloya çarpma açısı dik olduğunda 10 knot (16,09 km/h) kadar düşük hızlarda da etkili olduğu fakat değişik çarpma açılarında ve değişik kablo çeşitlerinde kablo kesicilerin etkili olabilmesi için 30 knot'lık ileri hıza ihtiyaç olduğu değerlendirilmiş ve tel kesicilerin çelik tellerden yapılmış uzun mesafeli enerji nakil hatlarında çok fazla başarılı olmadığı ayrıca vurgulanmıştır [2].

Avustralya'da yaşanan kabloya çarpma kazası sonucunda hazırlanan raporda; helikopterin kabloya 25 knot hızla tam karşıdan çarpması sonucunda meydana geldiğini, ayrıca helikopterde ne tel kesici bir sistemin, nede uyarıcı bir sistemin olmadığı tespit edildiği belirtilmiştir [4].

Aynı raporda; helikoptere kablo kesici takılmış olması durumunda oluşacak hasarı azaltabileceği, bu sistemin helikopterin ön cephesinden gelen kablo tehlikelerinin %90'ını bertaraf edebileceği belirtilirken, buna karşılık bu korumanın helikopterin çalışma limitlerine, orijinal tasarımıındaki dizayn kriterlerine, çarpma yüksekliğine, yer hızına bağlı olduğu, uçuşun düz uçuştan ayrıldığı durumda koruma derecesinin düştüğü söylenerek etkileyen diğer faktörleri; ileri hız, güç hattının gerginliği, güç hattının açısı, çarpma açısı ve pilotun tepkileri diye sıralamaktadır [4].

Uçuşa başlamadan önce daha önceden işaretlenmiş haritalar üzerinden kabloların ve benzer cisimlerin yerleri incelenerek kaza olasılığı bir miktar düşürülebileceği, fakat bu yaklaşım tek başına hiçbir zaman yeterli olmaz [6].

Pilotların; önüne iyi bakmalarının, riskli bölgelerde uçarken birbirlerini sürekli uyarmaları "Kablo var dikkat et" dikkatlerini artırmakta ve bu da kabloya çarpma riskini azaltmaktadır [6].

Tel kesme sistemlerinin ABD Kara Kuvvetleri araçlarına uygulanmasından sonra tele çarpma sonucu oluşan kazalarda %69 oranında azalma

gerçekleştirdiği, maddi hasarlardan dolayı masraflarda %51 oranında azalma gösterdiği ve tedavi edilemeyen yaralanmaların %81 oranında azaldığı bilinmektedir [6].

Diğer yandan kabloların sadece yatay pozisyonda olmadığı gergi telleri (guy wire) gibi dikey kablolarında bulunduğu bu tip kablolar için tel kesicinin çok başarılı olamadığı belirtilmekle beraber sistemin 8 000 \$ ABD Doları olması nedeniyle ucuz bir sistemdir. Hellas denilen ve kablolar konusunda pilotu öncen uyaran bir sistem var. Bu sistem 5 mm'den kalın telleri bir kaç yüz metre ilerden tespit edebilmekte fakat fiyatı yaklaşık olarak 400 000 \$ ABD Dolarıdır [6].

Tel kesme sistemi ile önceden tespit sisteminin birlikte kullanılmasının çok daha faydalı olacağı açıkça görülmekle birlikte bu sistemlerin bulunması durumunda dahi dikkati elden bırakmamak gerekmektedir [6].

Kanada yaşanan kazada, helikopter 80 knot hızla giderken kablo helikopter kabinin ön tarafına çarpmıştır. Helikopterde pasif veya aktif çalışan kablo çarpmalarına karşı koruma sistemi bulunmadığından tamamen çaresiz bir şekilde düşmüştür. Eğer pasif koruma sistemlerinden birisi olan tel kesme sistemi helikopter üzerinde olsa idi başarılı olacağı ve helikopterin düşmeyebileceği kaza raporunda belirtilmiştir. Raporda ayrıca tellere karşı pilotları uyaran sistemlerin geliştirilme çalışmaları halen devam ettiği belirtilerek Kanada da bulunan bütün helikopterlere kablo kesme sisteminin takılması tavsiye edilmiştir [7].

Eğer alçaktan uçacaksan helikopterinde bir tane kablo kesici sistem olmalıdır. Hayatını kurtaracağı için sadece bu nedenden dolayı bile maliyetine değer [3].

Avustralya' da yaşanan ve Taşıma Güvenli Bürosu tarafından hazırlanan raporun analiz bölümünde bu kazadaki kayıpların en aza indirilmesinin temel

olarak 3 hususun yerine getirilmesi ile mümkün olabileceği açıklanmıştır. Bu hususlar sırasıyla; 1-yolcularda dahil uçuş kaskı takılması ve uçuşa uygun elbise giyilmesi, 2-Ekstra ileri güvenlik donanımları takılması ve 3-Helikoptere kablo kesici sistem takılmasıdır [4].

2.5. Helikopter Kazalarını Önlemek İçin Yapılan Çalışmalar

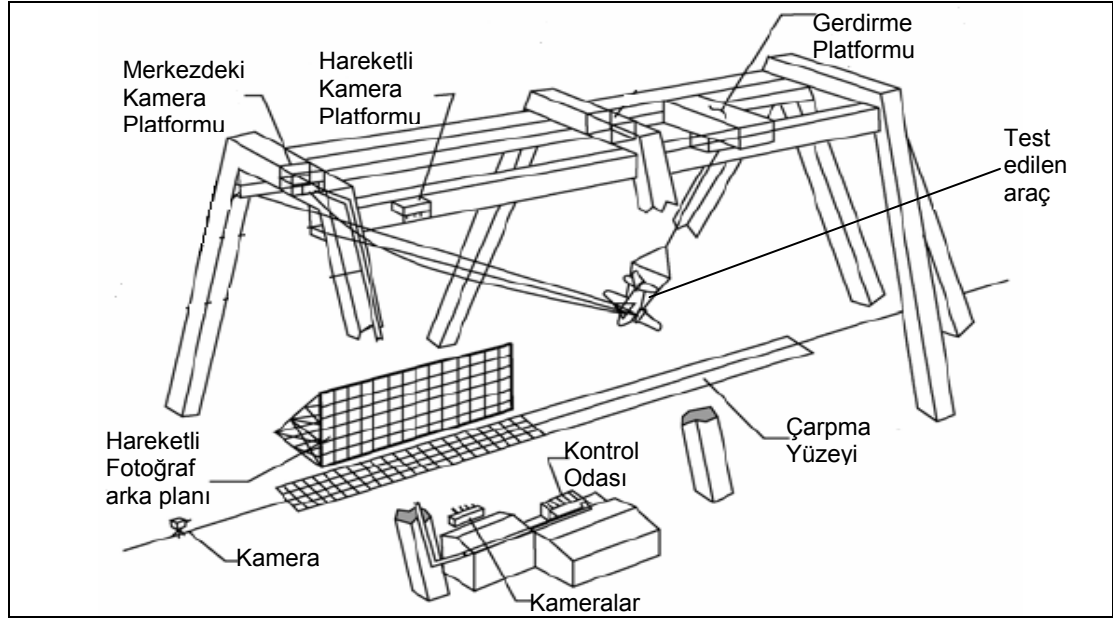
Görüldüğü üzere helikopterle için kablo kazaları büyük önem taşımaktadır. Bu kazaların azaltılması ve hiç olmaması için bir çok çalışma yürütülmüş ve yürütölmeye devam etmektedir.

NASA'nın Langle de bulunan Resim 2.1'de görölen araştırma merkezinde bulunan 240 feet (73,152 m) yüksekliğinde 400 feet (121,92 m) uzunluğunda ve 265 feet (80,772 m) genişliğinde olan ve ilk olarak 1965 yılında Ay'a iniş çalışmalarının yapılması amacıyla kurulmuş olan ve şimdi Çarpma Dinamiği Test Merkezi olarak kullanılan test merkezinde, hava araçlarının çarpma testlerinin nasıl yapıldığı Şekil 2.3'te şematik olarak görölmektedir [10-12].

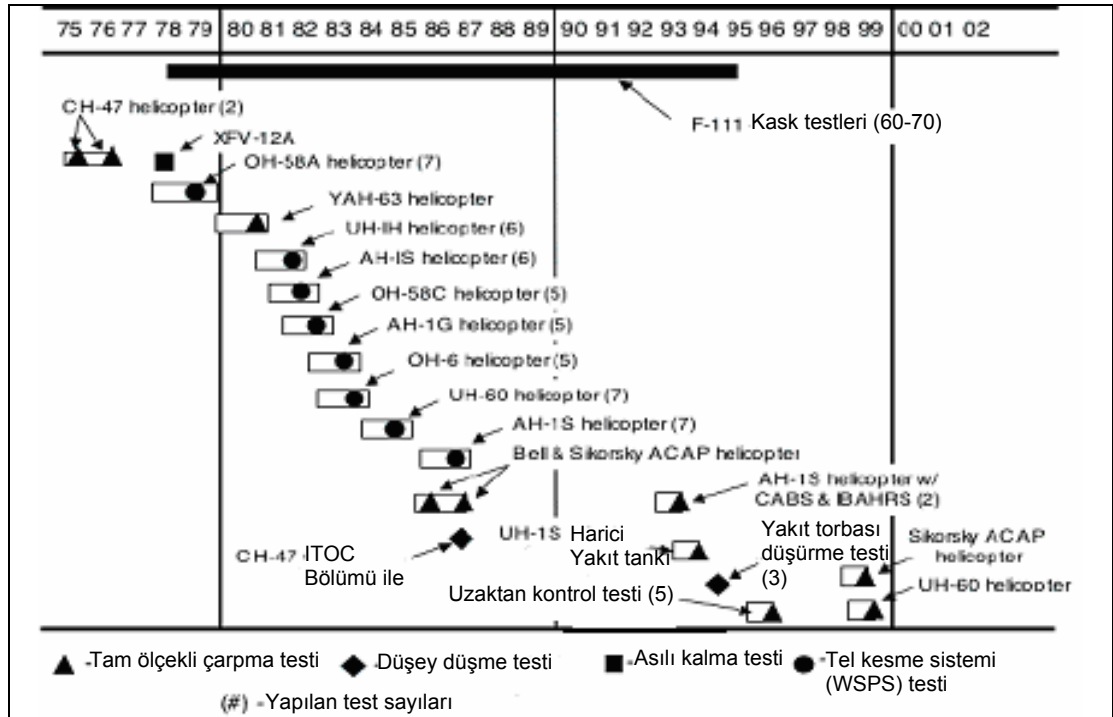


Resim 2.1. NASA'nın araştırma merkezi [12]

NASA'nın bu test merkezinde, hava ve uzay araçları için hangi testleri hangi dönemlerde ne kadar süre ile yaptıkları Şekil 2.4'te görülmektedir [12].



Şekil 2.3. NASA'nın araştırma merkezinin şematik görünümü [12]



Şekil 2.4. Test merkezinde yapılan testlerin dağılımı [12]

Bu çerçevede; NASA'nın hava araçları test merkezinde, Bristol Aerospace Limited firması tarafından üretilmiş olan kablo kesme sistemini (WSPS) bir OH-58A helikopterine takarak, helikopter bir sarkacın ucunda olacak biçimde Resim 2.1 ve Şekil 2.3'te görülen sistemde, sabitlenmiş ve tellere yaklaşık olarak 40 knot hızla çarptırılarak, kopma mukavemeti 10 000 pound olan 3/8" inç çapındaki çelik iletim kablosu, 50 çiftten oluşan bakır iletişim kablosu ve 0,419" inç çapındaki yüksek gerilim kablosunu rahatlıkla kesti tespit edilmiş ve hatta bu kabloların ardı ardına sıralanmış durumlarında da başarılı olduğu görülmüş [13].

Kabloların çarpması, saptırılması ve kesilmesi sırasında alınan verilere göre helikopterin performansında, yolcuların konforunda ve mürettebatın kontrol işlerinde olumsuz etkisi olmadığı ve pallerde de herhangi bir kapanma (flaplama) olmadığı tespit edilmiş. Buna göre bu sistemin orduya ait bütün taktik helikopter filosuna takılması önerilmiştir [13].

Yine aynı test merkezinde aynı kablo kesme sistemi (WSPS) yine aynı şekilde UH-1H helikopterlerine takılarak, kopma mukavemeti 11 500 pound olan 3/8" inç çapındaki 7 telli çelik gerdirmе halatı ile 50 çiftlik bakır iletişim kablosu ve 0,419" inç çapındaki yüksek gerim kablosunu rahatlıkla kesti tespit edilmiş ve yine bu kabloların ardı ardına sıralanmış olanlarında da başarılı olduğu gözlenmiştir [14].

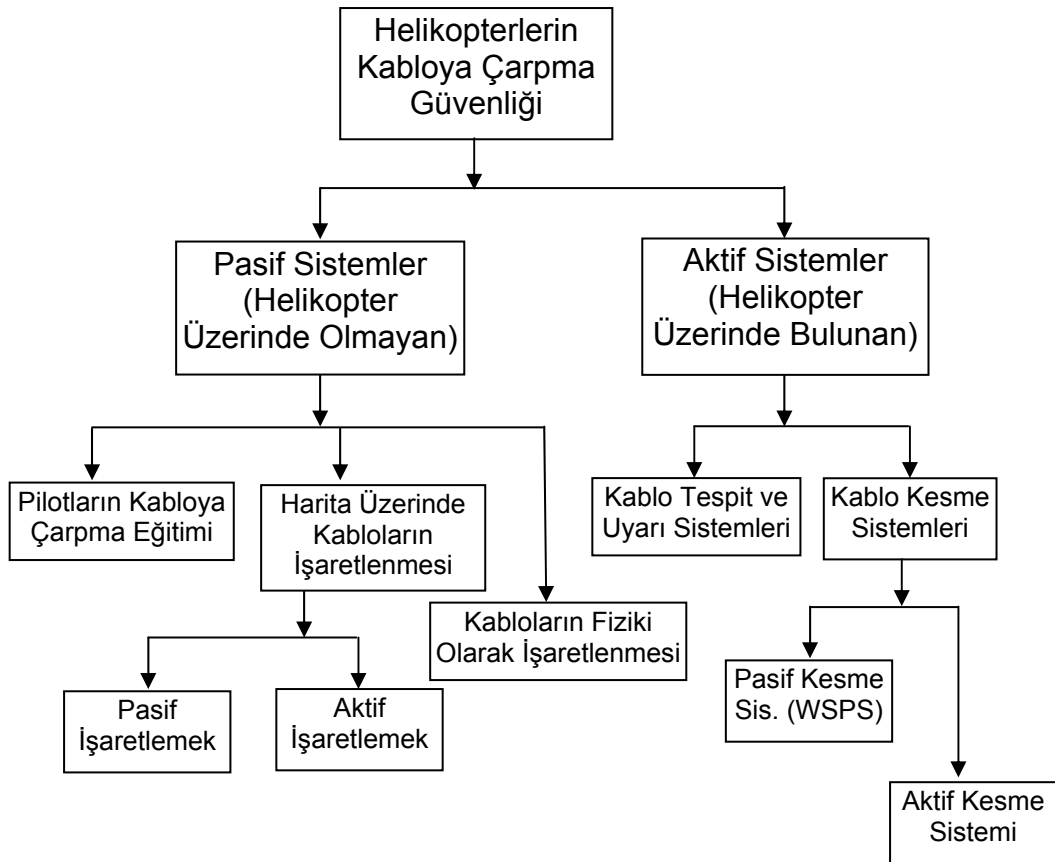
Bu testlerde UH-1H helikopteri için, kabloların uçuş yönünden 30 derece sapması sonucunda saptırıcıların yetersiz kaldığı kablonun ön cam sileceklerinin miline takıldığı ve kesicilere yönlendirilemediği gözlenmiş, bunun giderilmesi için firma ile görüşülerek silecek bölgesine konulan bir saptırıcı ile sorunun çözüldüğü belirtilmiştir [14].

Kablo çarpa güvenliği için sadece pasif kablo kesiciler kullanılmamaktadır. Uçuşun yoğun olduğu yerlerdeki kablolarda balonlarla veya benzeri şeylerle işaretlenmektedir. Kabloları tespit eden ve değişik yöntemlerle çalışan tespit

sistemleri ve uyarı sistemleri de mevcuttur, dijital haritalar üzerinde kablolar güncel olarak işaretlenmektedir [8].

2.6. Kablo Güvenliği

Görüldüğü üzere birçok helikopter kablolarla takılma ve çarpma sonucu kaza geçirmektedir. Bu nedenle helikopterlerin güvenliğini artırmak için yapılan çalışmaları; helikopter üzerinde olan, helikopter üzerinde olmayan diye ayırabileceğimiz gibi pasif ve aktif sistemler diye de ikiye ayırabiliriz. Bu sınıflandırma aşağıdaki Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi kendi içinde birbirine göre çeşitli avantajları olan yukarıdaki ayrıma bağlı olarak toplam 5 farklı sistemden söz edilebilir. Bu sistemlerde kendi içerisinde ayrımlar göstermektedir.

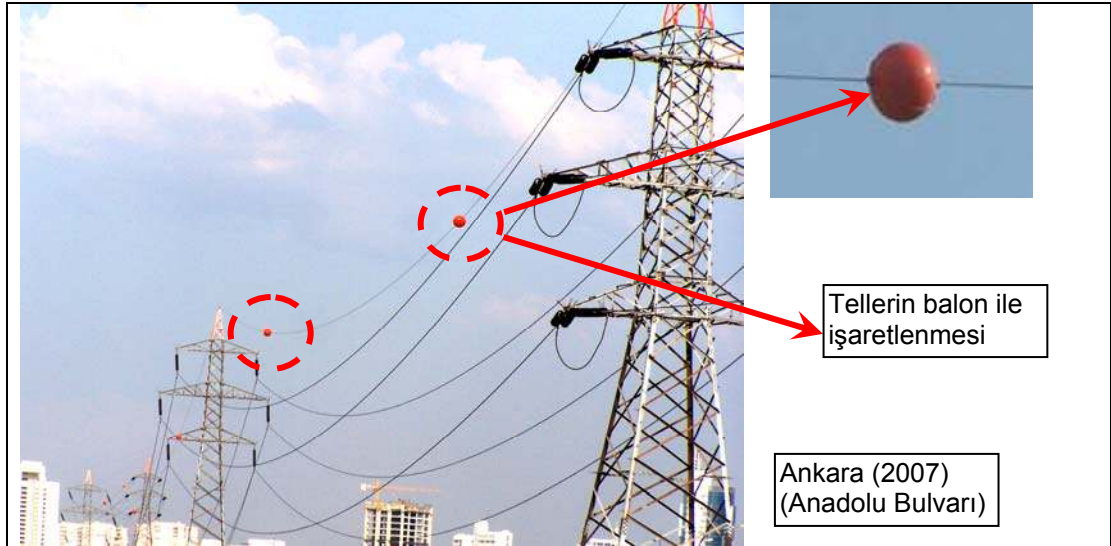


Şekil 2.5. Kablo güvenliği sistemlerinin sınıflandırılması

Pasif sistemlerden; pilotlara kablo ile karşılaştıkları zaman nasıl davranmaları gerektiğinin eğitime ilk ve en önemli yöntem dememiz sanırım yanlış olmaz.

İkinci yöntem ise kabloların yerlerinin önceden tespit edilmesi ve harita üzerinde işaretlenmesidir. Bunu da aktif ve pasif diye ikiye ayırabiliriz; uçuşa başlamadan daha önce kablo olan bölgelerin harita üzerinde işaretlenerek pilotlar tarafından çalışılması pasif yöntem olur iken, kabloların yerlerinin Global Konumlama Sisteminden (GPS) faydalanılarak sayısal harita üzerinde sürekli yenilenmesiyle yapılan işaretleme sistemine de aktif işaretleme diyebiliriz [8]. Buna göre pilot kablo olan bölgelerde daha dikkatli uçuş yaparak kabloya takılma ihtimalini azaltır.

Üçüncü temel yöntem ise uçuşların yoğun olduğu bölgelerdeki kabloların üzerlerine takılan ve kablonun görülmesini kolaylaştıran Resim 2.2'de görüldüğü gibi uyarıcı işaretlemedir. Bu işaretlerden bazıları kabloların elektrik alanları sayesinde geceleri ışık verebilmektedir [8].



Resim 2.2. Uçuşların yoğun olduğu bölgelerdeki kablo işaretlenmesi [52]

Dördüncü temel yöntem ise helikoptere takılan tespit ve uyarı sistemi olup, bu sistem uçuş esnasında uçuş yolunda bulunan kablo veya benzer cisimleri

100 ila 500 metre uzaktan tespit ederek mürettebatı sesli ve/veya ışıklı olarak uyaran sistemlerdir.

Son yöntem olan kablo kesme sistemini ise uçuş esnasında helikopterin kabloya takılması veya çarpması durumunda kabloyu helikopterin kendi ataleti ile kesen sisteme pasif sistem, kabloya takılma sonucunda devreye girerek kabloyu kesen sistemlere aktif sistem diye ikiye ayırabiliriz.

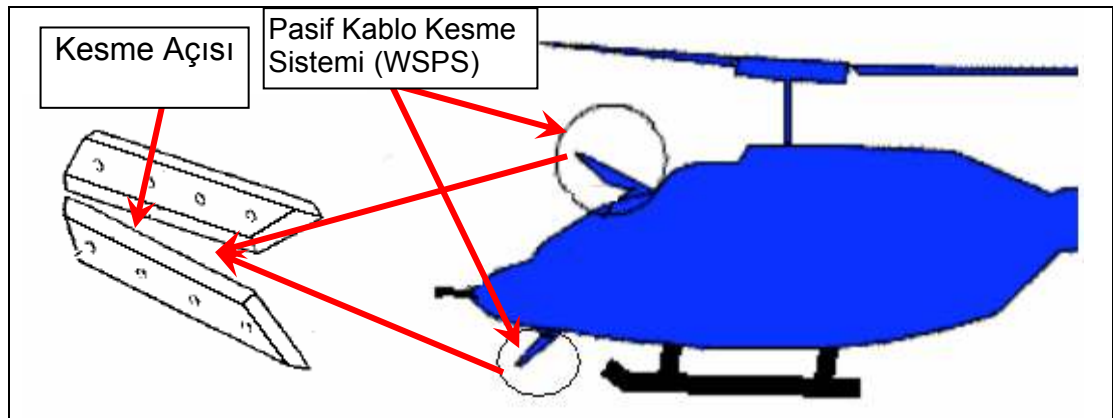
Bu sistemlerden kabloya takılma durumunda pilotların nasıl davranması gerektiğinin eğitiminin her pilota verilmesi gerekmektedir. Kabloya takıldığında nasıl davranacağını bilen pilot, bilmeyene göre kablodan daha az hasarla kurtulabilir.

Ayrıca her uçuştan önce her pilotun harita üzerinde işaretli kabloları çok iyi çalışmasının faydalı olacağı aşîkardır. Fakat dikkat edildi ise yukarıda da bahsedildiğı üzere bir çok kabloya çarpma kazasının daha önceden incelenen ve kabloların olduğı bilinen bölgelerde gerçekleştiğı istatistiksel bir gerçektir. Daha önceden kablo olduğı bilinen bölgelerde pilotlarda, nasıl olsa kabloların yerini biliyorum yeniden çalışmama gerek yok düşüncesinin neden olduğı tahmin edilmektedir. Ayrıca ne kadar çalışırsanız çalışın her zaman haritaları (hem normal hem de sayısal) güncellemek mümkün olmaya bilir ve bölgeye yeni teller çekilmiş olabilir. Bu nedenle bu sistemin tek başına yeterli olmayacağı bilinmektedir.

Diğer bir yöntem olan uçuş yapılan bölgelerdeki havai kablo hatlarının işaretlenerek görünür hale getirilmesi, uçuş yapılan her yerdeki kabloların işaretlenmesinin mümkün olmayacağı hem ekonomik hem de teknik açıdan mümkün görünmemektedir. Bu nedenlerden dolayı bu yöntem ancak uçuşların yoğun olarak yapıldığı hava alanları gibi ve sürekli rota verilen bölgelerde uygulanabilir olduğı değerlendirilmektedir.

Aktif sistemlerden olan ve helikopter üzerinde bulunan, kablo tespit ve uyarı sistemleri; helikopterin uçuş bölgesindeki kabloları farklı yöntemlerle çalışan sistemlerle tespit eden sistemlerin geliştirilme çalışmaları halen devam etmektedir. Kabloya çarpmanın en iyi yolunun kablodan uzak durmak olduğu ilkesi ile çalışan bu sistemler, şu an itibari ile oldukça pahalı ve 3/8" den ince kabloları tespit etme konusunda başarı oranının düşük olduğu bilinmektedir. Ayrıca yukarıda da vurgulandığı üzere fiyatları da şu an için oldukça pahalı olarak görünmektedir.

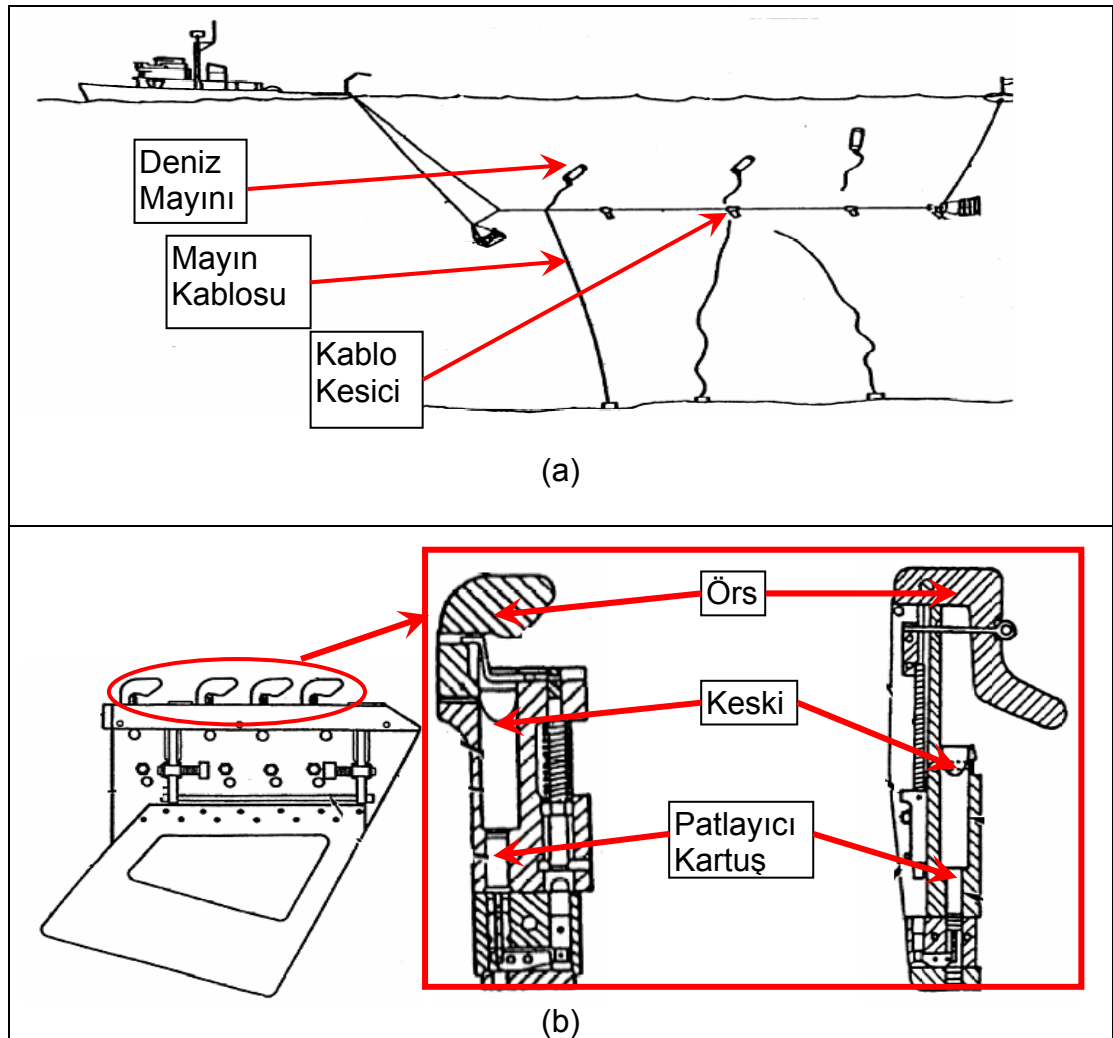
Diğer yandan yine helikopter üzerinde bulunan; kablo kesme sistemleri helikopterin özellikle ön cephesinden gelen kabloların kesilerek bertaraf edilmesi helikopterin uçuşuna devam etmesini amaçlayan sistemlerdir. Bu sistemlerin oldukça başarılı olduklarını çeşitli testler ve tecrübeler göstermektedir. Kesme sistemlerinden; kabloları helikopterin üzerinde sabit olarak bulunan kesicilerin arasına yönlendirilmesi sonucunda helikopterin ataleti ile kabloyu kesici bölgede sıkıştırarak koparan sistemlere pasif sistem denilmektedir. Pasif sistemin helikopterde nerelerde ve nasıl bulunduğu dair fikir edinmek için Şekil 2.6 incelenmelidir [7].



Şekil 2.6. Pasif kesicilerin helikopterde bulunduğu yerler [7]

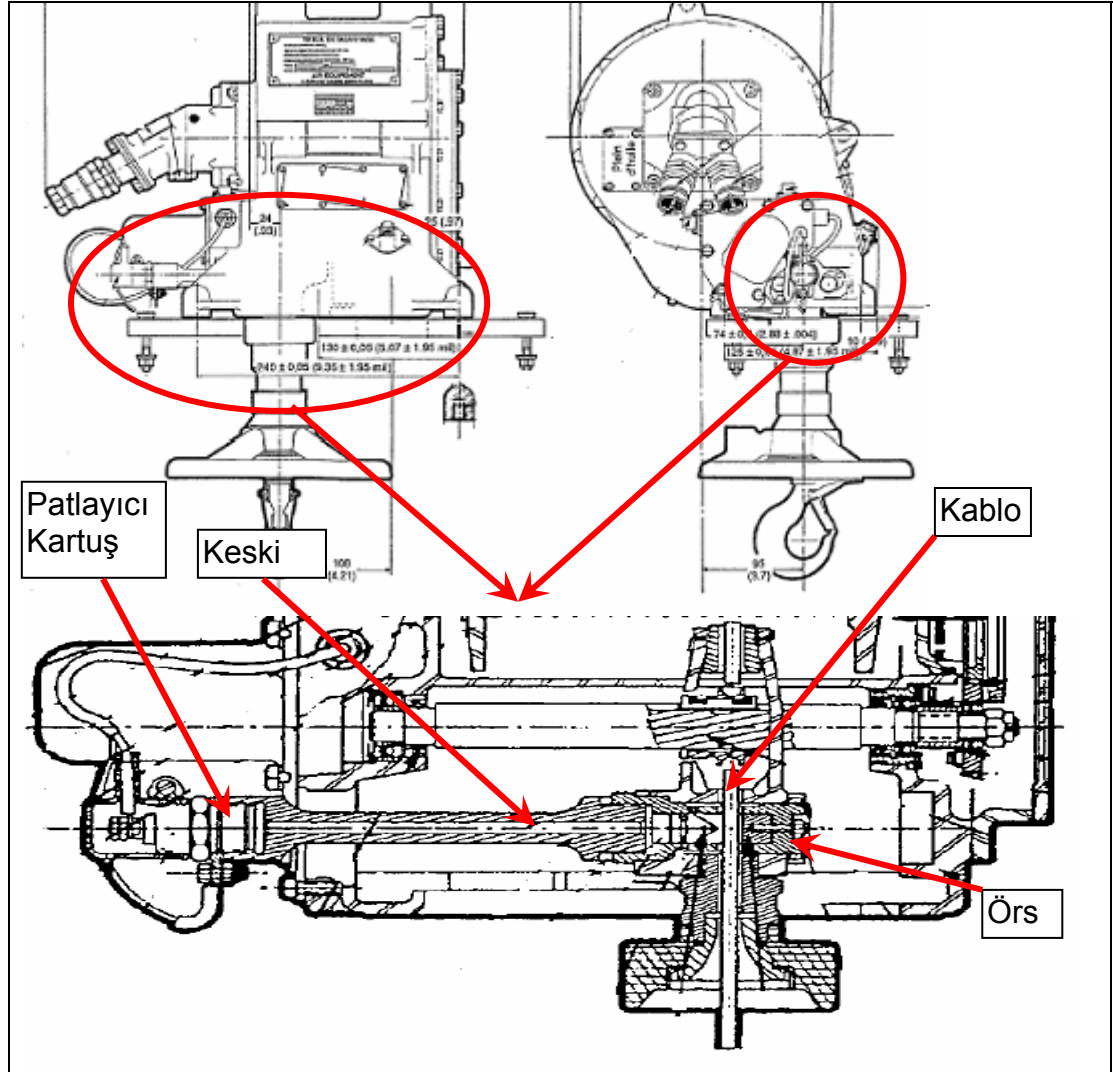
Kesici bölgeye kablonun yönlendirilmesi ile kesici bıçağı harekete geçirerek patlayıcı sistemi çalıştıran mekanizmalı kesicilere aktif sistem denilmektedir. Aktif sistem daha çok mayın avlama gemilerinde mayın kabloların

kesilmesinde Şekil 2.7’de görüldüğü gibi kullanılmaktadır. Ayrıca arama kurtarma helikopterlerinin vinçlerinde, vinç kablosunun herhangi bir yere takılması veya herhangi bir başka nedenle halatın vinç makarasına sarılamaması durumunda, halattan kurtulmak gerekmektedir. Aksi taktirde bu durum üzücü sonuçlara neden olabilir. Vinçlerde halatı kesmeye yarayan Şekil 2.8’de görülen patlayıcı aktif sistem kullanılmaktadır. Bu aktif sistemin şu ana kadar helikopterlerde, kabloya çarpma-önleme sistemlerinde kullanıldığına dair bir bilgiye rastlanmamıştır.

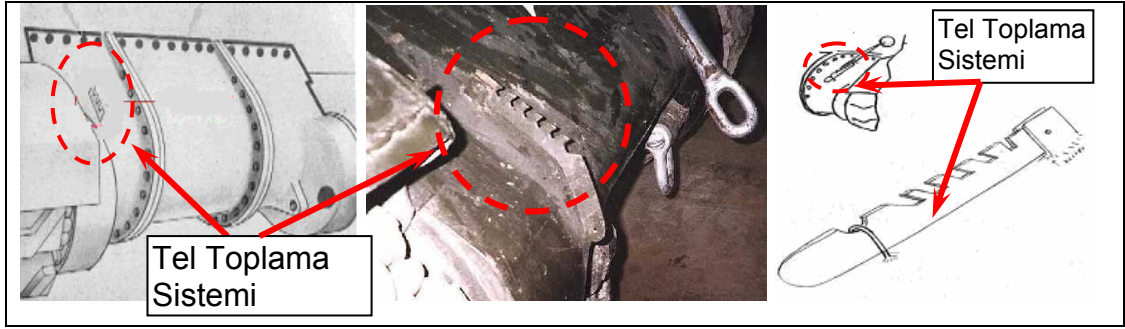


Şekil 2.7. Mayın avlama gemilerinde aktif kablo kesme sistemi; a) Genel kullanılış şekli, b) Aktif sistemin şematik görünümü [53]

Diğer yandan kablolar sadece helikopterler için tehlike oluşturmaz. Tanklarda da benzer sıkıntılara neden olmaktadır. Harekat bölgesinde bulunan dikenli tellerin tank paletlerine sarılarak paletin yerinden çıkmasına neden olarak tankın hareket kabiliyetinin azalmasına hatta devre dışı kalmasına neden olabilmektedir. Ayrıca palet bölgesinden kurtulan teller taret ve silah sistemlerine de zarar verebilmektedir. Bunun önüne geçmek için aşağıda Şekil 2.9'da görüldüğü gibi tank üzerinde çeşitli önlemler alınmıştır. Bu önlemler; telleri toplayarak palete ve tarete gitmesini önlemekte veya hareketli sistemlerle teli tehlikeli bölgeden uzaklaştırmaktadır.



Şekil 2.8. Arama kurtarma helikopterlerinin vinçlerindeki aktif kablo kesme sitemi [54]



Şekil 2.9. Tanklarda kullanılan tel toplama ve yönlendirme sistemleri [53]

3. MEKANİK KESME

3.1. Genel

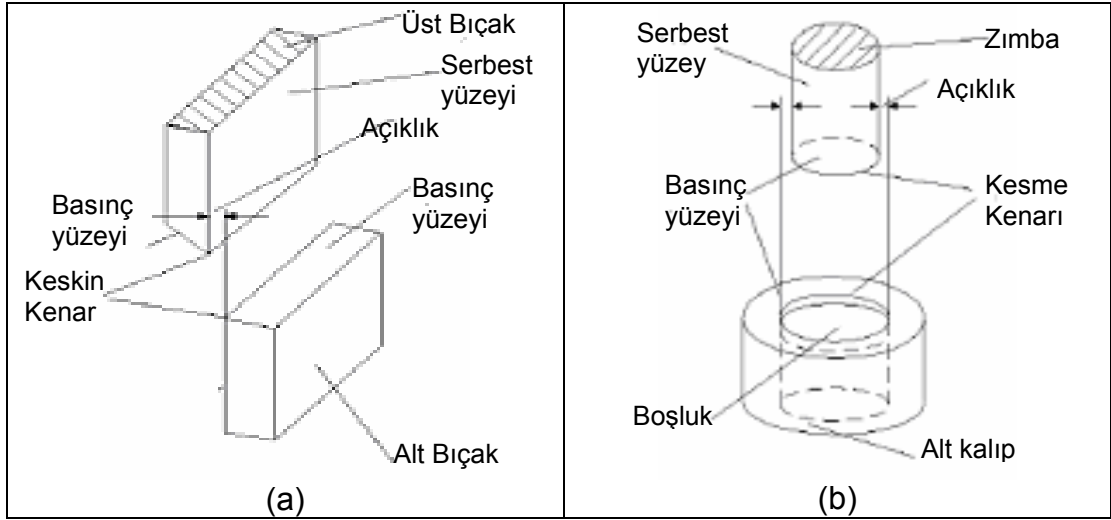
Kesme işlemini; mekanik kesmenin dışında, testere, lazer, gaz jeti, su jeti, tel erozyon vb. şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Her bir kesme işleminin kendine has mekanik, fiziksel, kimyasal ve verimlilik açısından avantaj ve dezavantajları vardır. Bu bölümdeki amacımız mekanik kesme işlemini kendi açısından sınıflandırmak ve kesme işleminin nasıl gerçekleştiğini ortaya koyabilmektir.

3.2. Mekanik Kesmenin Sınıflandırılması

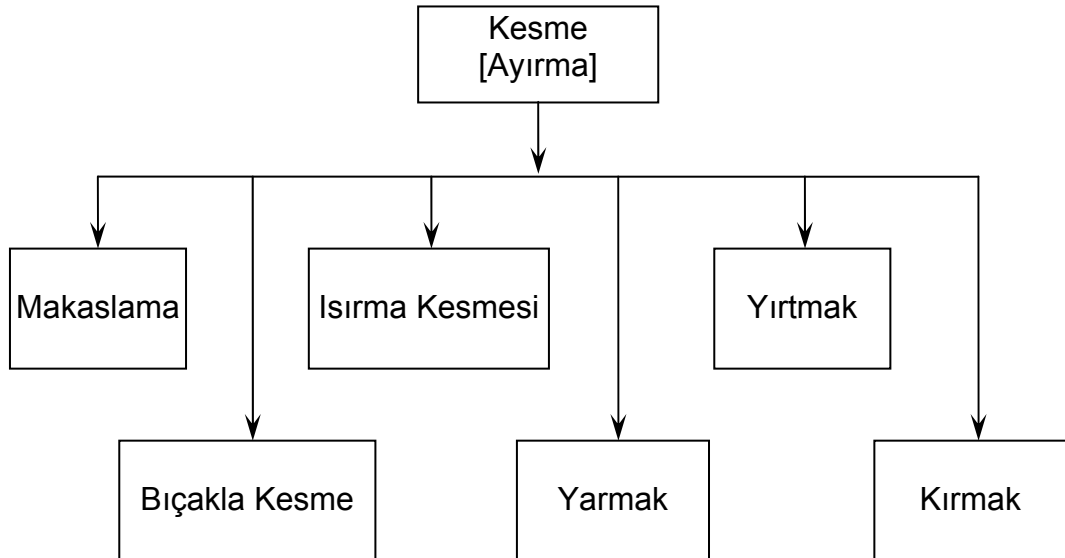
Mekanik kesme işlemini genel olarak açık ve kapalı kesme şeklinde ikiye ayırmak mümkündür [19, 30]. Şekil 3.1’de de görüldüğü üzere giyotin ve makasla kesme işlemine kesilecek malzemenin bir tarafından başlayarak diğer tarafına doğru bir seferde giderek yapılan kesme operasyonuna açık kesme, kesme işlemini; zımba sistemleri gibi bir seferde kapalı devre oluşturacak şekilde yapan sistemlere, kapalı kesme sistemi demek mümkündür [19, 30].

Mekanik kesmenin bu türlerinde kesilecek malzeme kalınlığı tezgah kapasitesi ile sınırlıdır. Bu nedenle bu kesme işleminde levha türü malzemeler kesilmektedir. Malzemenin kesilebilmesi için hareketli bir bıçak veya zımba, altta da malzemeyi tutan ve destekleyen bir destek olması gerekmektedir. Hareketli bıçak veya zımbanın aşağıdan desteklenen malzemeye uyguladığı kuvvetin bıçakla destek veya zımba ile destek arasındaki makaslama hareketinden dolayı malzeme üzerinde oluşturacakları kayma gerilmesi ve çekme gerilmeleri ile istenilen kesme işlemi gerçekleşmektedir.

Aslında mekanik kesmeye ayırma diyerek Şekil 3.2’de görüldüğü şekilde sınıflandırmak daha doğru olacaktır. Nitekim mekanik kesme işlemi aslında bir malzemeyi ikiye bölmek ayırmak veya ondan bir parça çıkarmaktır. Bu işlemler sırasında birbirinden farklı kesme mekanizmaları çalışmaktadır.



Şekil 3.1. Kesme sınıfları; a) Açık kesme, b) Kapalı kesme [19, 30]



Şekil 3.2. Kesme ayrılmasının sınıflandırılması [19]

3.3. Makaslayarak Kesme

3.3.1. Kesmenin aşamaları

Mekanik kesme sistemlerinin hemen hemen hepsinin de kesme ayırma işleminin Şekil 3.3'te görüldüğü gibi üç aşamada gerçekleştiğini söylemek mümkündür.

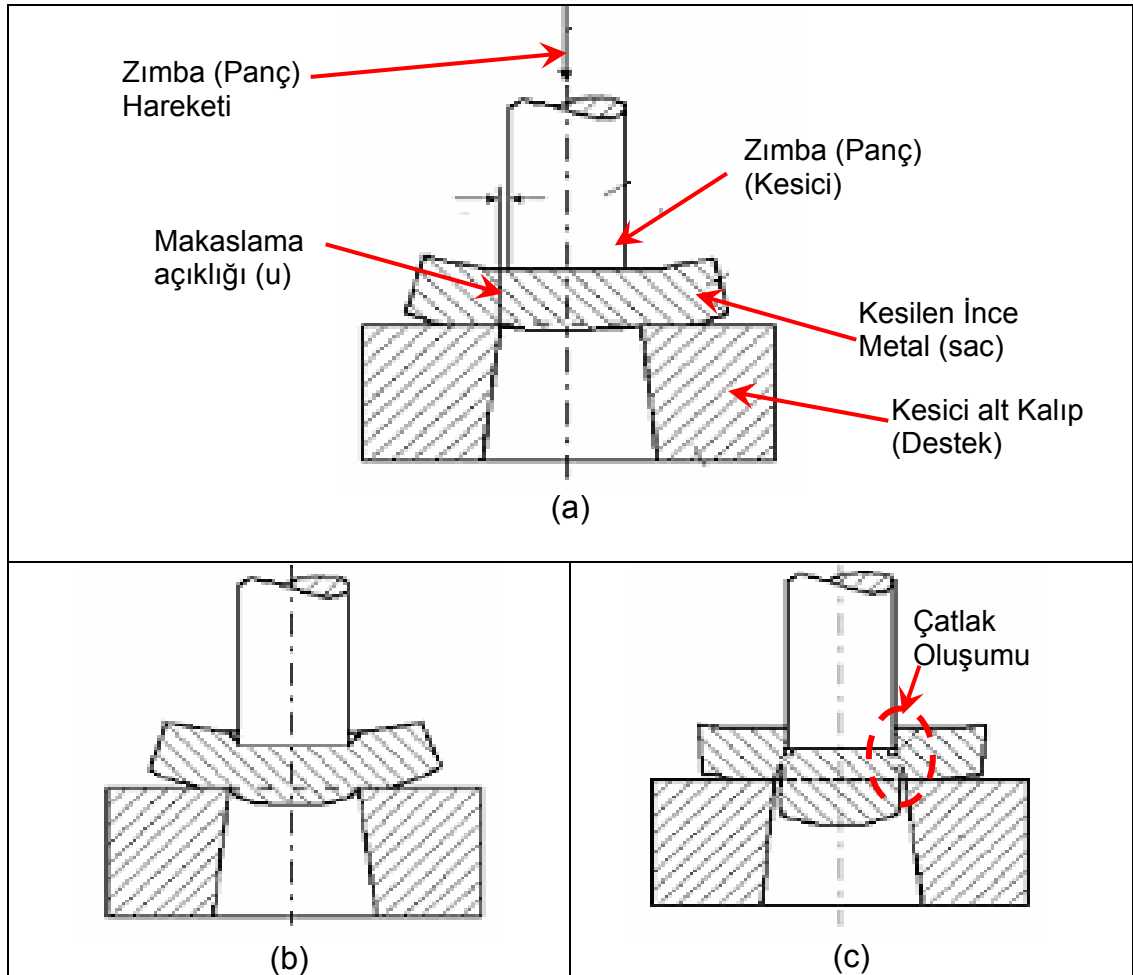
İlk aşamada bıçak ve alt destek arasında kesilecek malzeme sıkıştırılarak elastik şekil değiştirmesi sağlanır. İkinci aşamada bıçağa uygulanan kuvvet artırılarak bıçak ve destek arasında makaslama etkisi oluşturarak malzemenin plastik şekil değiştirmesi kesicinin malzemenin içine girmesi (penetration) olması sağlanır. Üçüncü aşamada ise malzeme üzerinde makaslanan bölgede bıçak ve destek arasındaki kayna gerilmelerinin etkisi ile Şekil 3.3.c'de görüldüğü gibi çatlak oluşmaya başlar ve sonucunda da kesme ayrılma gerçekleşmiş olur [19].

3.3.2. Makaslayarak kesme işleminde etkili olan kuvvetler

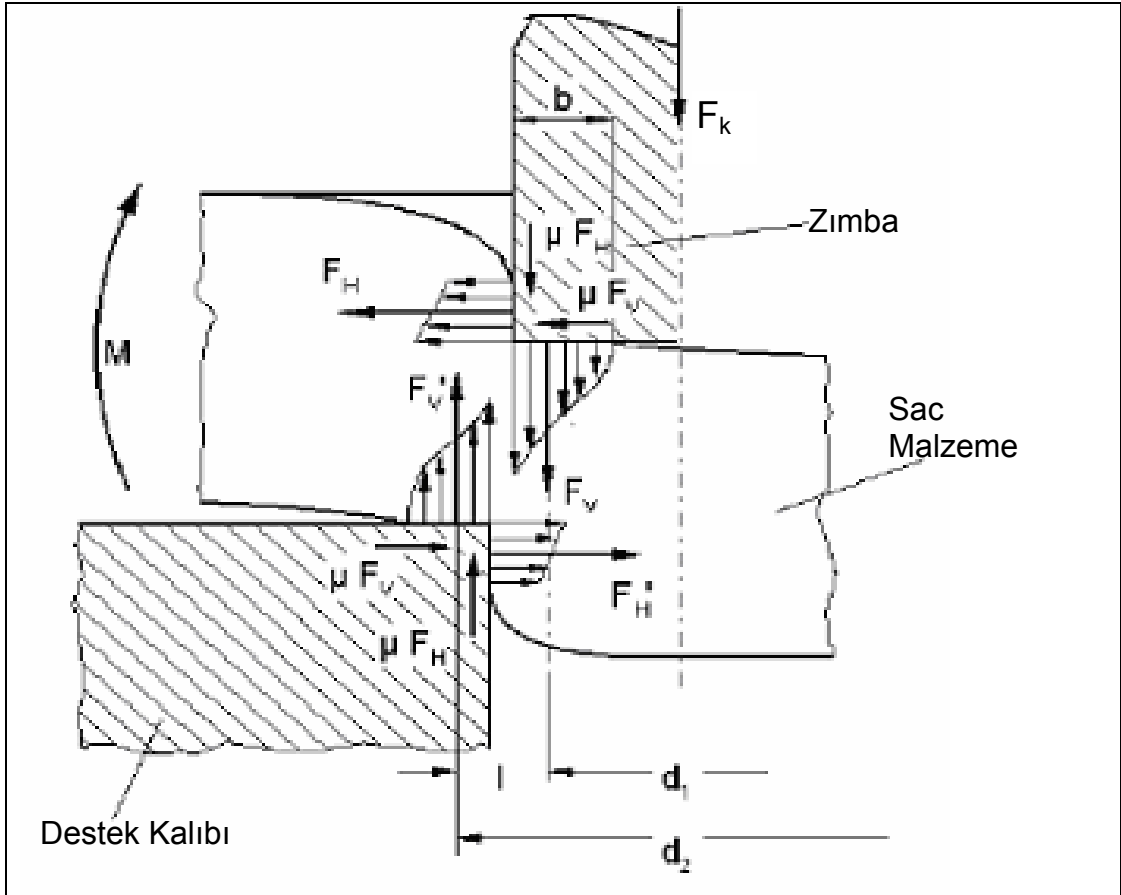
Kesilecek malzemeye ve kesme yüzeylerine (bıçaklara) gelen kuvvetleri daha iyi anlaşılması için Şekil 3.4'ün iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Görüldüğü üzere aslında temel olan kuvvet zımbanın malzeme üzerine uyguladığı F_k kesme kuvvetidir. Diğer kuvvetler ve moment bunun etkisi ve tepkisi olarak ortaya çıkan tepki ve sürtünme kuvvetleridir. Dolayısı ile asıl işi yapan F_k kesme kuvvetidir.

Zımbanın malzeme üzerinde oluşturduğu basıncı hidrostatik basınç olarak kabul edeceğiz. Malzemenin üzerine zımbanın temas etmesi ile oluşan basıncın kuvvete dönüştürülmesi ile F_v kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvvetin tersi tepki kuvveti olarak alt destek çenesinin kesilecek malzemeye temas ettiği yerde F_v' şeklinde oluşmaktadır. F_v kuvvetine dik ve kesilen malzeme yüzeyine paralel olarak μF_v şeklinde sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Benzer

sürtünme kuvveti ters olarak yine alt çenenin malzemeye temas ettiği yerde $\mu F_v'$ şeklinde oluşmaktadır. Zımbanın ve alt destek çenesinin malzemeye dik ve birbirine paralel olan yüzeylerinin kesilen malzemeye temas eden yerlerinde yine hidrostatik olarak kabul edilebilecek bir basınç dağılımı oluşur. Bu basınç dağılımları da F_H ve F_H' şeklinde kuvvet çifti oluşturur. Bu temas ve kuvvetler nedeniyle kuvvetlere dik ve birbirine ters yönde μF_H ve $\mu F_H'$ şeklinde sürtünme kuvvetleri oluşur. Ayrıca F_v ve F_v' kuvvet çifti nedeniyle kesilecek malzeme üzerinde M momenti oluşur [19].



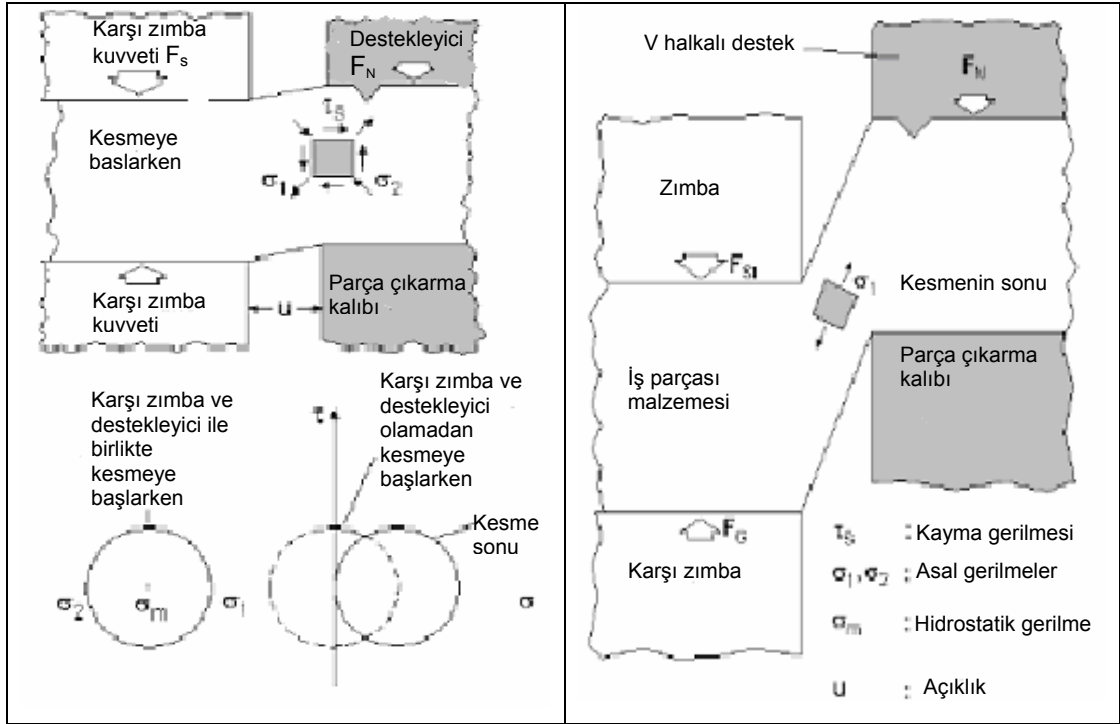
Şekil 3.3. Kesmenin aşamaları; a) Elastik yönlenme, b) Plastik akma, c) Çatlak oluşumu [19, 30, 35]



Şekil 3.4. Makasla kesme işleminde oluşan kuvvetler [19, 30]

Zimba ve alt destek çenesi arasındaki Şekil 3.3.a'da görülen (u) açıklık (clearance) malzeme üzerinde kayma ve çekme gerilmelerinin etkisini belirlemektedir. Ayrıca malzeme üzerinde oluşan M momentinin de büyüklüğünü belirlemektedir. Açıklık arttıkça malzeme üzerindeki moment arttığından kesilen malzemedeki çarpılma miktarı da artmaktadır.

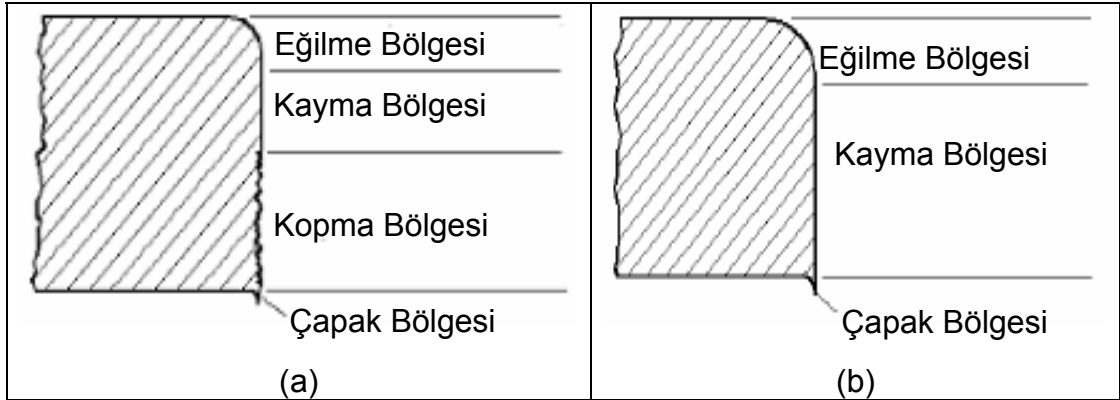
Ayrıca bıçaklar arasındaki açıklık arttıkça kesilen malzeme yüzeyinde kayma gerilmelerinden çok çekme gerilmeleri etkili olarak malzemenin yüzeyinin daha pürüzlü olmasına neden olmaktadır. Şekil 3.5'te kesme esnasında oluşan asal gerilmeler ve kesme işlemi sırasında nereden nereye doğru hareket ettiği açıkça görülmektedir [19].



Şekil 3.5. Kesme işlemi boyunca kesilen malzeme üzerindeki gerilme dağılımının [19]

Bu yüzden açıklığın tavsiye edilen değerler de tutulması kesilme yüzeyinin kalitesi istenilen seviyede olmakta ve kesilen malzemedeki çarpılmaların önüne geçilmektedir. Ayrıca kesilme yüzeyinin kalitesi Şekil 3.5'te görüldüğü gibi zımbaya ters destek zımbası ve üst destek kalıbı kullanılarak yüzey kalitesi artırılabilir. Şekil 3.6'da makasla veya zımba ile kesme sonucu oluşan kesme yüzeyi görülmektedir.

Burada zımbanın temas ettiği yerde Şekil 3.4 ve Şekil 3.6'da görüldüğü gibi malzemenin büküldüğü görülmektedir. Bu bölgeye bükülme bölgesi denilmektedir. Onun hemen altında Şekil 3.6'da görüldüğü gibi düzgün bir yüzey oluşmaktadır. Bu yüzeyin oluşmasında kayma gerilmeleri etkili olduğu için bu bölgeye kayma bölgesi denilmektedir. Kayma bölgesinin altında kopma kuvvetlerinin etkisi altında oluşan ve Şekil 3.6'da görülen pürüzlü bölgeye kopma bölgesi denilmektedir. Son olarak kesme yüzeyinin en altında da bir çapak oluşmaktadır [19, 33, 31, 35].



Şekil 3.6. Kesme yüzeyinin görünümü; a) Normal kesme yüzeyi, b) İyileştirilmiş kesme yüzeyi [19, 30, 33, 31, 35]

Bu şekilde yapılan kesme işlemlerinde kesme yüzeyinde bu temel (bükülme, kayma, kopma ve çapak) bölgelerinin oluşması her zaman beklenmektedir. Yapılan çeşitli iyileştirmelerle Şekil 3.6.b'de görüldüğü kesme bölgesindeki oranları değişmektedir.

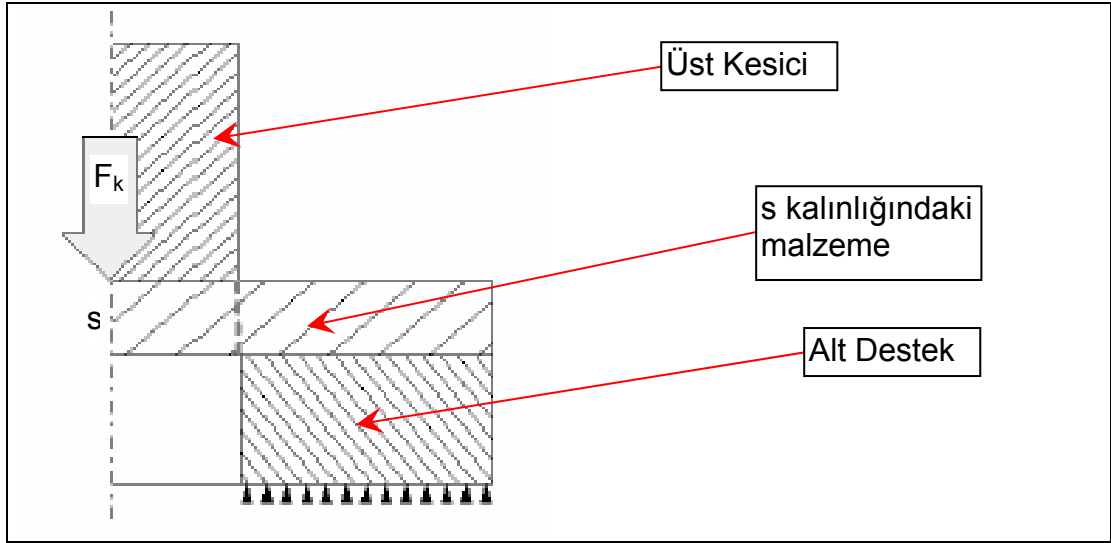
3.3.3. Makaslayarak kesmenin analitik olarak incelenmesi

Kesme Kuvvetinin Bulunması

Makaslayarak kesme işleminde kesme kuvvetlerini şu şekilde hesaplamak mümkün görünmektedir. Kesme işlemi için uygulayacağınız kuvvet malzemenin kesmeye karşı göstereceği direnci yenmelidir. Bu sebeple Şekil 3.7'den faydalanarak;

$$F_k = A \cdot K_d \quad (3.1)$$

eşitliği yazılabilir [19, 30]. Burada F_k kesme kuvveti, A kesme kuvvetinin uygulandığı malzeme alanı ve K_d malzemenin kesmeye karşı göstermiş olduğu dirençtir.



Şekil 3.7. Makasla kesme işlemindeki kesme kuvvetinin oluşumu [19]

F_k kuvvetinin etki ettiği A alanı; düz bir kesme için; kesme uzunluğu ve kesme yüksekliği olarak yazılabilir. Buna göre;

$$A = \lambda_s \cdot s \quad (3.2)$$

şeklindedir. λ_s kesme boyu, s de kesilecek malzeme kalınlığıdır [30]. Buna göre Eş. 3.2 Eş. 3.1'de yerine yazılırsa malzemeyi kesmek için kullanılması gerek maksimum kesme kuvveti F_{kmax} bulunabilir [19, 30].

$$F_{kmax} = s \cdot \lambda_s \cdot K_d \quad (3.3)$$

Kesme direnci Eş. 3.3'ten çekilirse;

$$K_d = \frac{F_{kmax}}{s \cdot \lambda_s} \quad (3.4)$$

eşitliği elde edilir [19].

Malzemenin K_d kesme direncini, malzemenin çekme mukavemeti ile ilişkilendirmek mümkün görünmektedir. Buna göre;

$$C_1 = \frac{K_d}{\sigma_{\max}} \quad (3.5)$$

bağıntısı olduğu görülmüştür. Burada $\sigma_{\max}$ kesilen malzemenin çekme mukavemetidir [19, 30].

Buradaki C_1 ; $0,6 < C_1 < 0,95$ aralığında verilmektedir. Bura C_1 için tavsiye edilen güvenilir değer 0,8 ile 0,95'tir [19, 30]. Buna göre kesme direnci Eş. 3.5'ten yaklaşık olarak;

$$K_d = 0,8 \cdot \sigma_{\max} \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir [19, 22, 30].

Buraya kadar verilen ifadeler giyotin makas gibi açık kesme işlemleri için verilen eşitliklerdi. Kesme işlemi dairesel olduğu zaman zımba gibi Eş.3.3'ü aşağıdaki gibi yazabiliriz [35]. Bazı malzemeler için kesme direnci Ek-1'de verilmiştir [35].

$$F_k = \pi \cdot d \cdot s \cdot K_d \quad (3.7)$$

burada F_k : zımbanın kesme kuvveti, d : zımba çapı, s : kesilen malzemenin kalınlığı, K_d : kesilen malzemenin kesmeye karşı olan direncidir [35]. Görüldüğü üzere düşük bozunma ve kesim hızlarıyla yapılan makaslama işleminde kesme kuvveti malzemenin kesme direnci ile kesici takımın geometrisi kullanılarak hesaplanabilmektedir [35].

Diğer yandan, zımbanın kesme kuvvetini, yine yaklaşık olarak zımbanın kesme hızının değişiminden de aşağıdaki gibi hesaplanabilir [35];

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{dV}{dt} \quad (3.8)$$

şeklinde elde edilir. Burada F: kesme kuvveti, a: zımbanın ivme, m: hareket eden kütle, V: hız, t: zamandır. Burada yavaşlayan ivmedeki zaman aralığı çok kısa ise denklem aşağıdaki gibi;

$$F = m \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = m \cdot \frac{V_1 - V_2}{t_1 - t_2} \quad (3.9)$$

şeklinde düzenlenebilir [35].

Yapılan deneylerde Eş. 3.3 ve Eş. 3.7'nin, Eş. 3.9'a göre daha güvenilir sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [35].

Kesme Enerjisinin Bulunması

Kesme işleminde işlemin yapılması için harcanan enerjiyi Şekil 3.3 ve Şekil 3.8'den de faydalanarak, üç kısımdan oluştuğunu söylemek mümkün olacaktır. Buna göre aşağıdaki Eş. 3.10'u yazabiliriz.

$$E_k = E_e + E_p + E_c \quad (3.10)$$

Burada E_k kesme enerjisi, E_e elastik şekil değiştirme enerjisi, E_p plastik şekil değiştirme enerjisi ve E_c çatlak oluşumu ve ayrılma enerjisinden oluşmaktadır.

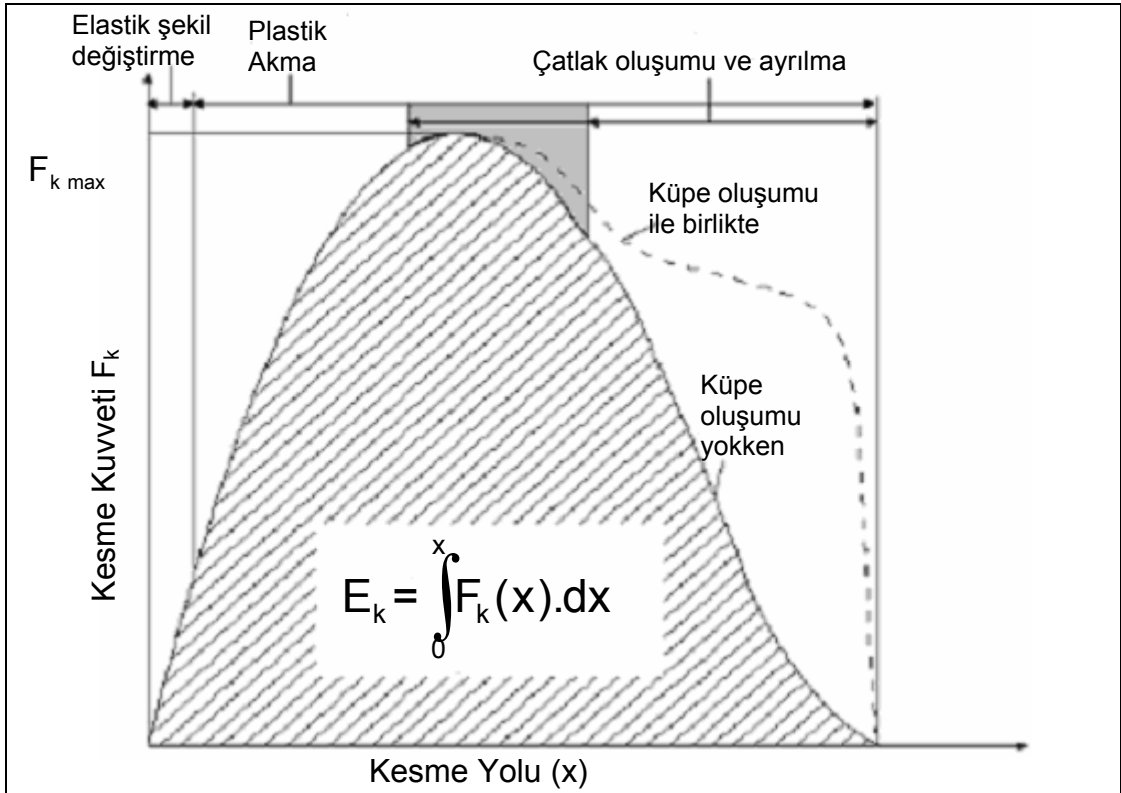
Bir kuvvet ile bir işin yapılması sırasında harcanan enerjiyi aşağıdaki eşitlikle ifade etmek mümkündür [55];

$$dE = F \cdot d\lambda \quad (3.11)$$

Eş. 3.11’de dE , F kuvvetinin $d\lambda$ yolu boyunca harcadığı enerjidir. Bu eşitliğin integrali alınarak harcanan enerji bulunabilir [55].

$$d\lambda = dx \quad (3.12)$$

Aynı enerjiyi Şekil 3.8’de görüldüğü gibi kesme işleminde kullanılan kuvvet eğrisinin altında kalan taralı alanın bulunması ile hesaplamak mümkün görünmektedir [19].



Şekil 3.8. Kesme enerjisi grafiği [19]

$$E_k = \int_0^x F_k(x).dx \quad (3.13)$$

İntegral alınır ise bu ifade şöyle yazılabilir [19];

$$E_k = C.x.F_{k \max} \quad (3.14)$$

x : kesme yolu, C : kesilecek malzemenin, sürtünme, açıklık, kesme uzunluğu, boyutlar gibi değişkenlerine bağımlı düzeltme faktörüdür [19]. Böylelikle kesme için gerekli olan enerji miktarı da hesaplanabilir.

Diğer yandan kesme enerjisi, zımbanın malzemeyi kesmeye başlamasından sonra ve kopma olmadan hemen öncesindeki zımbanın konumu biliniyor ise kesme enerjisi aşağıdaki şekilde de hesaplanabilir [35];

$$E_c = F_c \cdot \lambda_f \quad (3.15)$$

burada E_c : Kesme enerjisi, F_c :kesme kuvveti, λ_f : malzemenin yüzeyi ile kopmanın olmadan önceki yerin arasındaki mesafedir (kopma başlangıcı derinliği). Deneylerde bu derinliğin hemen hemen malzeme yüzeyi ile kayma bölgesinin (parlak bölgenin) sonu olduğu gözlenmiştir [35].

Ayrıca kesme enerjisini kinetik enerjideki değişimle de ilişkilendirmek mümkündür. Bu nedenle kinetik enerji aşağıdaki gibi yazılabilir [35];

$$E_{ke} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \quad (3.16)$$

burada E_{ke} : kinetik enerji, m : hareket eden kütle miktarı, V : hareket eden kütlenin hızıdır. Kinetik enerjideki değişim iki noktadaki hız ölçülerek hesaplanabilir, buda kesme enerjisini vereceğinden;

$$E_c = \Delta E = E_1 - E_2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (3.17)$$

şeklinde üçüncü bir kesme enerjisi ifadesi elde edilebilir [35].

Eş. 17 düşük kesme hızlarında Eş. 3.15'e göre daha güvenilir sonuç verse de yüksek kesme hızlarında harcanan enerji toplam enerjiden düşük kaldığı için

hata miktarı artmaktadır [35]. Ayrıca yüksek kesme hızı alüminyum ve bakır gibi ısı iletim katsayısı çeliğe göre yüksek olan malzemelerin kesilmesinde fayda sağlarken çelik malzemeler için çok fark etmemektedir [35].

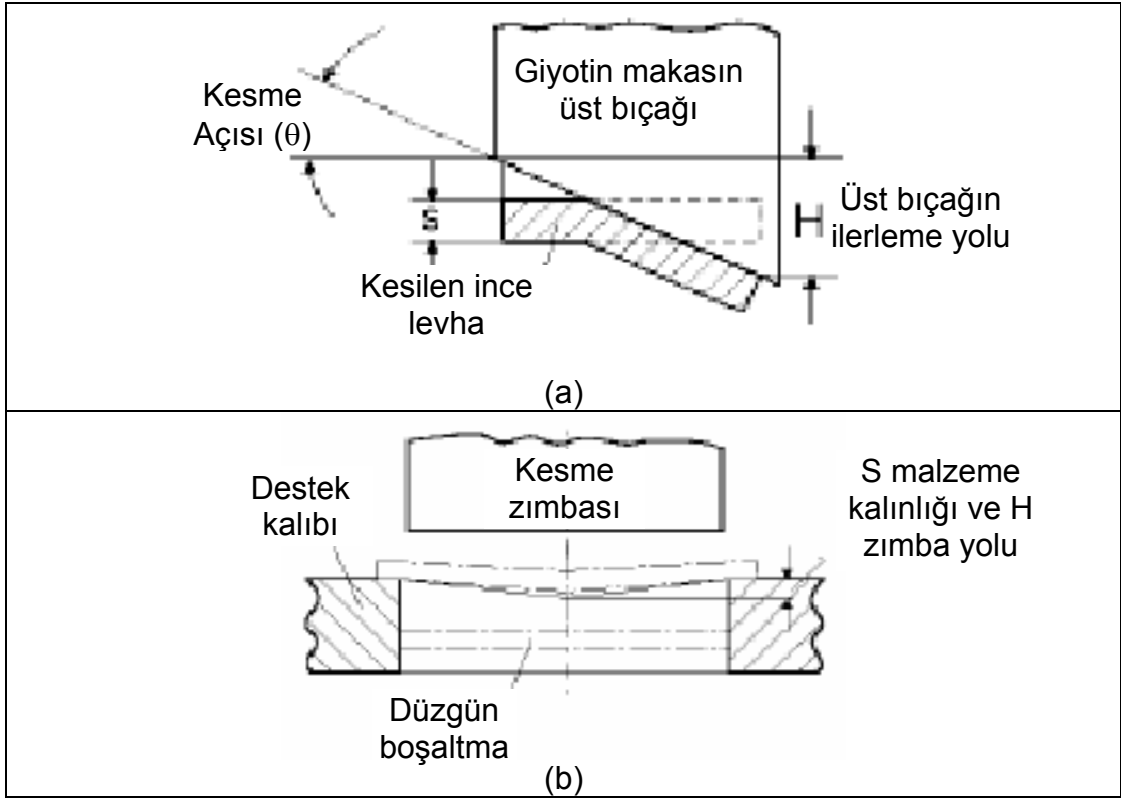
Kesme Enerjisinin Değişimi

Kesme enerjisi Şekil 3.8'de de görüldüğü gibi kesme kuvvetinin altında kalan alan olarak ifade edilmektedir. Burada kesme kuvveti yukarıda da anlatıldığı üzere malzemenin kesmeye göstermiş olduğu dirençtir. Bu direncin yenilmesi ile malzeme kesilebilir. Bu nedenle malzemeyi kesmek için malzemenin göstereceği dirençten fazla kuvvet uygulanmaya imkan yoktur. Aynı anda kesilecek malzeme miktarı artıkça da kesme için ihtiyaç duyulacak kuvvet artmaktadır.

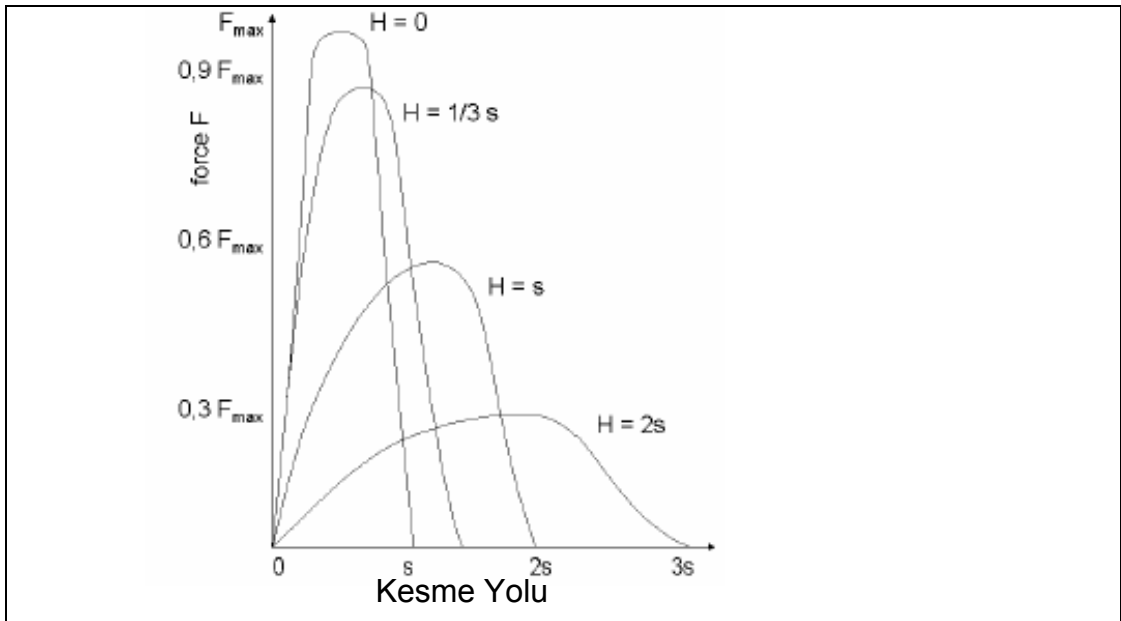
Buna göre Şekil 3.9.a giyotin makasta yapılan kesme işleminde θ kesme açısı, H kesme yolu ile ilişkilendirilerek kesme işleminin kesilecek malzemenin bir ucundan başlayarak diğer ucuna doğru gidişi şekillendirilmiştir. Şekil 3.9.b de zımba ile açısız kesme şekillendirilmiştir.

Kesme işleminde, kesme açısı $\theta=0$ olur ise zımba veya giyotin makasın üst bıçağı kesilecek malzeme üzerinde kesme yolu boyunca aynı anda temas eder. Buda malzemenin göstereceği direnç sabit olmasına rağmen kesme kuvvetinin artmasına neden olur. Hatırlanacak olursa Eş. 3.3 ve Eş. 3.7 eşitlikleri; buradaki λ_s kesme boyu veya dairesel olması durumunda çemberin çevresi $\pi.d$ sıfıra giderse F_k kesme kuvveti sıfıra gitmekte, bu değerlerin sonsuza gitmesi durumunda F_k kuvveti de sonsuza gitmektedir. Bu durum Şekil 3.10'da daha açık bir şekilde görülebilmektedir [19, 33].

Bu nedenledir ki kesme enerjisi malzemenin üzerine uygulanacak kuvvetten bağımsız olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.9. Kesme kuvvetlerinin açı ve yol ile değişimi; a) Gilyotin makasta kesme açısı ve yolu, b) Zımba ile boşaltmada kesme yolu [19, 35]

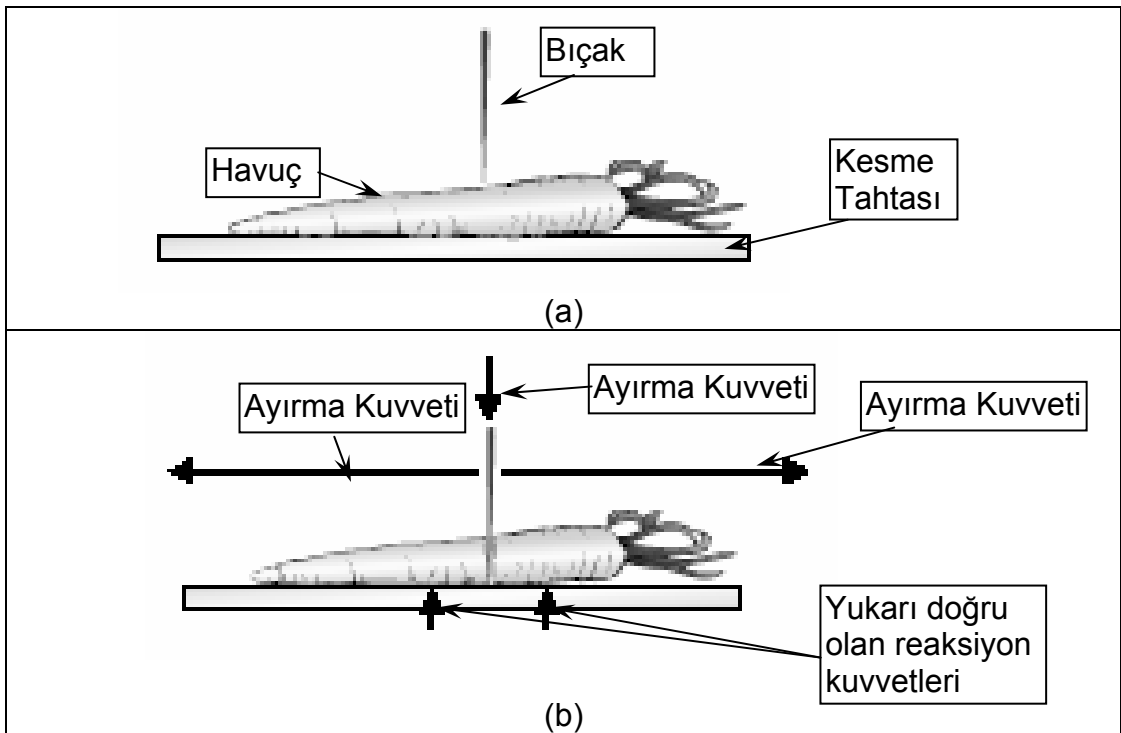


Şekil 3.10. Kesme kuvvetinin kesme açısına bağlı değişimi [19, 33]

3.4. Bıçak ile Kesme

Bir şeyleri parçalamak için değişik şekil ve biçimlerde bıçak ve bıçak mekanizmaları kullanırız. Bıçaklar esas itibari ile kesme kenarı ile kesilecek cisme uyguladıkları küçük basma kuvvetlerini, büyük yanal kuvvetlere çeviren kamalardır [21].

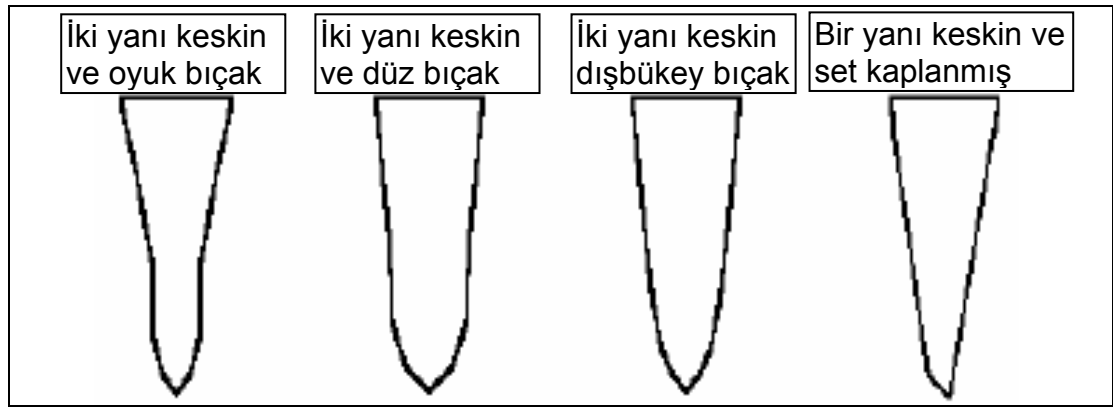
Şekil 3.11'de görüldüğü gibi bir bıçağın kesme kenarını bir havucu kesmek için üzerine hafifçe bastırdığımızda bıçağın kesme kenarı havuca nüfuz etmeye başlar. Bu arada bıçağın kesme kenarındaki iki eğimli yüzey havucun iki ayrı parçası üzerinde çok büyük yanal kuvvetler açığa çıkartır. Bu kuvvetler havucun parçalarını sağa ve sola doğru iterek ikiye ayırır. Bu ayırma işlemi olurken Şekil 3.11.b'de görüldüğü gibi düşeyde bıçağın uyguladığı kuvvet kesme tahtası tarafından karşılanır (havucun ağırlığı dahil) ve düşeyde kuvvet sıfır olur [21].



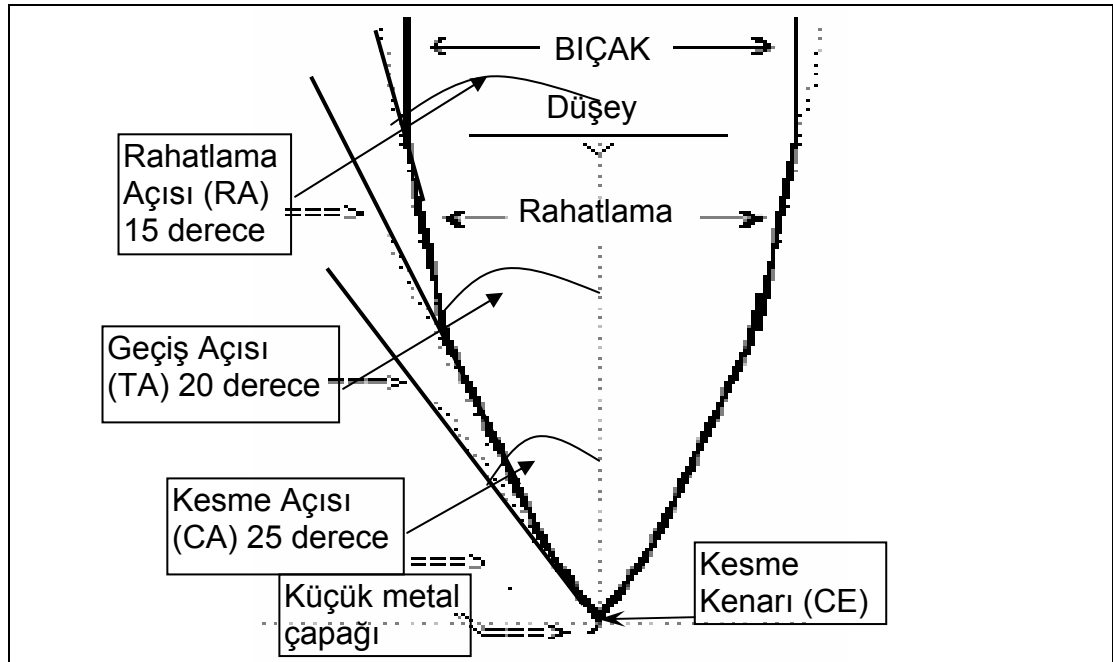
Şekil 3.11. Bıçakla havuç kesilmesi; a) Kesme elemanları, b) Kesme ve ayırma kuvvetleri [21]

Bu mekanik kesme olayı basit gibi görünürken bıçağın fiziksel yapısı o kadar basit değildir. Bıçağın havucu ikiye ayırmasının sırrı keskin kenarının özellikleri ile ilgilidir [21].

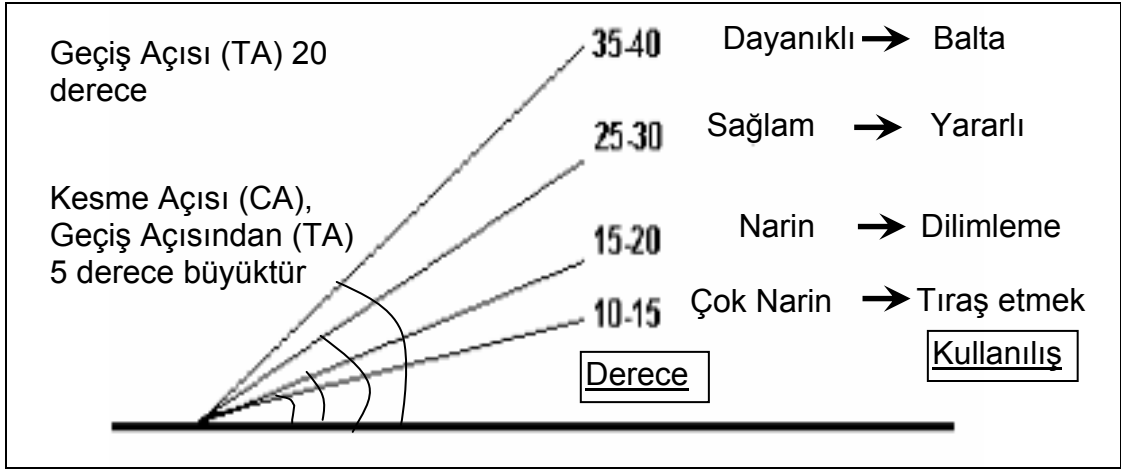
Bıçaklarda kullanılan kesme profilleri, bunların hangi açılardan oluştuğu ve hangi açı büyüklüğünün hangi işi yaparken kullanıldığı Şekil 3.12-Şekil 3.14'te verilmiştir [56].



Şekil 3.12. Bıçak profilleri [56]



Şekil 3.13. Bıçak profilindeki açılar [56]



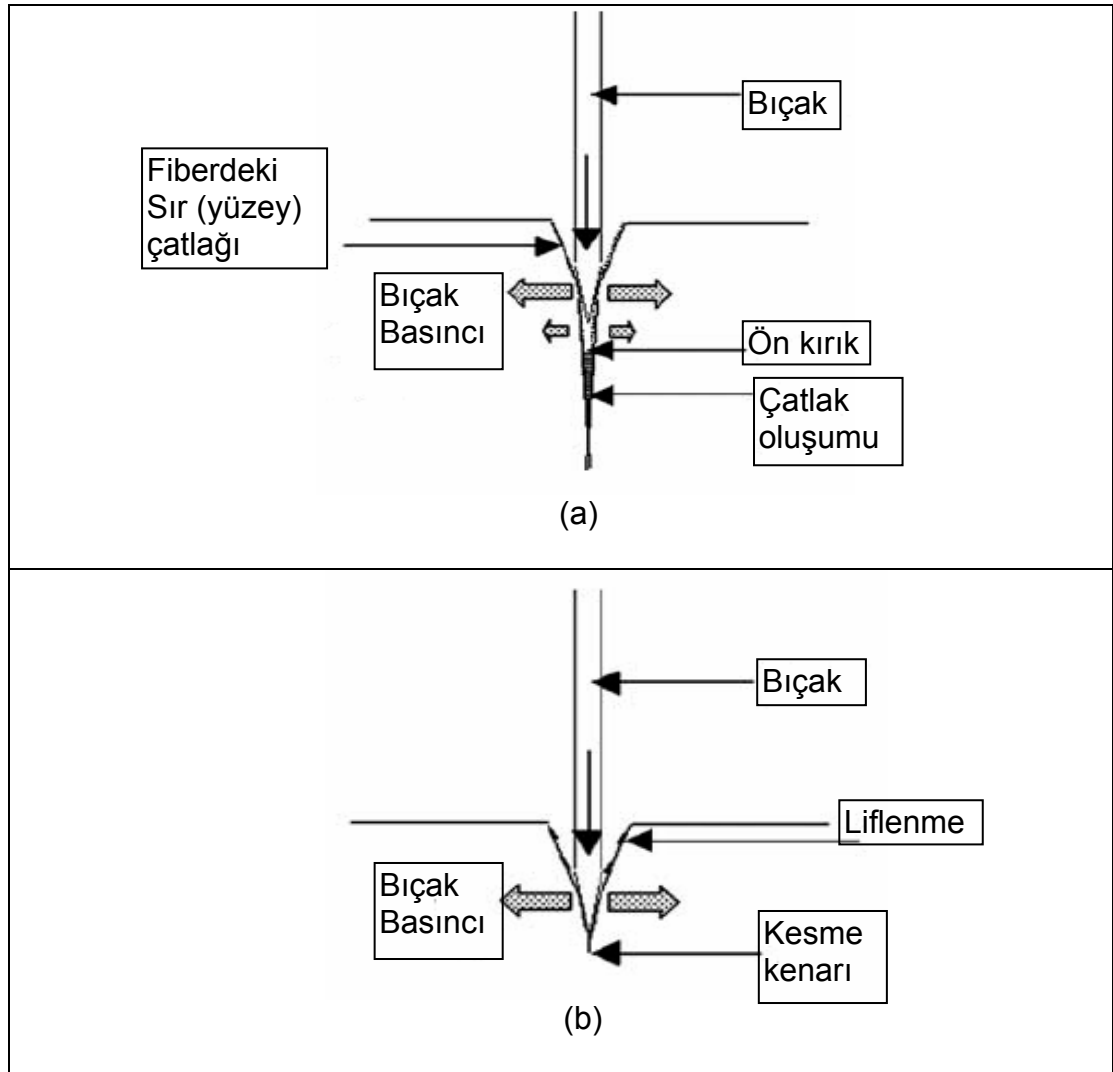
Şekil 3.14. Geçiş açısının kullanma amacına göre değişimi [56]

Bıçak malzemeye temas ettiğinde ilk önce bir çentik oluşturur. Bu çentiğin uç kısmında bıçağın geometrisi nedeniyle gerilme yoğunlaşması oluşur. Bıçağı ilerlettığınızde bıçak ucundaki çatlak ilerleyerek yarılma artacaktır. Malzeme kırılğan ise bıçak bir miktar ilerlediğinde çatlak ucundaki gerilme yoğunlaşması o kadar büyük olur ki çatlak hızlı bir şekilde ilerler. Bu işlem sırayla; bıçak ilerler, gerilme yoğunlaşması oluşur ve çatlak oluşumu şeklinde devam ederek ayrılma gerçekleşir. Gevrek malzemede bıçak ucunun malzemeye temas etmediği bir duruma gelir. Bu esnasında ayrılma kırılma mekaniği şeklinde bıçak tarafından oluşturulmuş çatlak gerilmeler sebebiyle ilerlemesi ile gerçekleşir. Kırılğan malzemenin bıçakla kesilmesi işleminin nasıl gerçekleştiği Şekil 3.15.a'da görülmektedir [20].

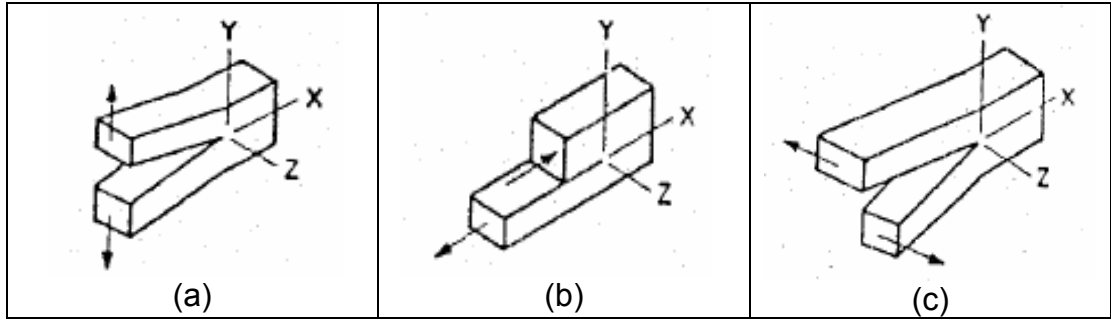
Eğer malzeme sünek ise çentik ucunda oluşacak olan gerilme yığılması ayrılma veya kırılmayı başlatacak büyüklüğe ulaşamaz. Bu durumda ayrılmayı sağlayan bıçağın ucudur. Sünek malzemenin bıçakla kesilmesini Şekil 3.15.b'de görmek mümkündür [20].

Kırılma mekaniğinde malzemelerin kırılma mekanizmaları Şekil 3.16'da görüldüğü üzere 3 tipte gerçekleşmektedir. İlk tip Şekil 3.16.a da görüldüğü üzere gerilmenin normal bileşeni çatlak yüzeyine dik olarak Y eksenine doğrultusunda etki ederek malzemenin ayrılmasına çalışmaktadır. İkinci tip

Şekil 3.16.b'de görüldüğü üzere gerilmenin kayma bileşeni çatlığa X eksenini doğrultusunda etki ederek malzemenin kayarak ayrılmasına çalışmaktadır. Üçüncü ve son tip ise Şekil 3.16.c'de görüldüğü üzere gerilmenin kayma bileşeni çatlığa Z eksenini doğrultusunda çatlığın dip kenarına paralel olarak etki ederek malzemenin yırtılarak ayrılmasını sağlamaya çalışmaktadır [57, 58].



Şekil 3.15. Bıçak ile malzeme kesme; a) Çok kırılğan malzemenin kesilmesi, b) Sünek Malzemenin kesilmesi [20]



Şekil 3.16. Kırılma tipleri; a) Çekme etkisindeki açma kırılması tipi, b) Kayma gerilmesi etkisindeki kayma kırılma tipi, c) Yırtma kuvveti etkisindeki yırtma kırılması tipi [57-58]

Buradan da açıkça görülmektedir ki bıçakla kesme tamamen bir kırılma mekaniği olup tip olarak da birinci tip ayrılmadır diyebiliriz.

3.5. Kablonun Kesme Enerjisinin Analitik Hesaplanması

Bölüm 5’de deneylerde kullanılacak tellerin ve kabloların kesme enerjilerinin, deneysel sonuçlarla ve bilgisayar modellerinde elde edilen sonuçlarla, kıyaslanabilmesi için yukarıda elde edilen Eş. 3.14 ($E_k = C \cdot x \cdot F_{k \max}$) ile hesaplanmaya çalışılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kablo ve halatlar için kesme enerjisinin Eş. 3.14’e göre hesaplanması

Sıra No	Kablo-Halat Çeşidi		Kesit Alanı (mm ²)*	Ort. Çap (mm)**	Çekme Muk. MPa	Kesme Direnci	Kesme Enerjisi (Joule)
1.	7 Al Telli Kablonun	1 teli	3,05	1,97	180	162	0,97.C
		7 teli	21,35	5,94	150	135	17,1.C
2.	6 Al. 1 Çe. Telli Kablonun	1 Al teli	4,49	2,39	175	157,5	1,7.C
		1 Çe teli	4,38	2,36	1700	1530	15,8.C
		6 Al+1 Çe teli	35,81	7,18	260	234	60,2.C

Çizelge 3.1. (Devam) Kablo ve halatlar için kesme enerjisinin Eş. 3.14'e göre hesaplanması

Sıra No	Kablo-Halat Çeşidi		Kesit Alanı (mm ²)*	Ort. Çap (mm)**	Çekme Muk. MPa	Kesme Direnci	Kesme Enerjisi (Joule)
3.	7 Bakır Telli Kablonun	1 teli	1,35	1,31	400	360	0,637.C
		7 teli	9,45	4,04	384	345	13,2.C
4.	1 Al Telli Kablo		14,25	4,26	160	144	8,74.C
5.	7 Çe. Telli Halatın	1 teli	3,56	2,13	1600	1440	10,9.C
		7 teli	24,92	6,41	1200	1080	172,5.C
6.	7 Al Telli Kablonun-2	1 tel	9,62	3,50	180	162	5,5.C
		7 teli	67,34	10,4	150	135	94,6.C
* : Kabloların kesit alanında malzeme olan kısmı dikkate alınmıştır.							
**: Çok telli kablolar için çap değerleri ölçülen değerler olarak alınmıştır.							
Not: Mukavemet değerleri EK-1 ve çekme deneylerinden alınmıştır.							

Elde edilen bu değerler ilerde yapılan deney sonuçları ile karşılaştırılarak bir çıkarım elde edilebilir.

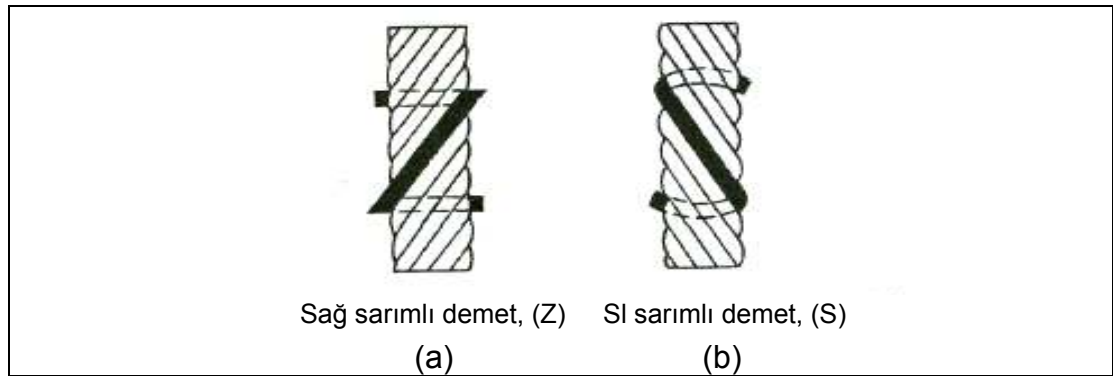
4. KABLOYA ÇARPMANIN İNCELENMESİ

4.1. Genel

Bu bölümde; hava hatlarında kullanılan kablolar ele alınarak, bir cismin kabloya çarpması durumunda, kablo üzerinde oluşan kuvvetler ile kablonun bu kuvvetler karşısında göstereceği davranışın nasıl olacağı irdelenerek, kablonun oluşan bu kuvvetler etkisiyle kesilerek ayrılması olgusu değerlendirilmiştir.

4.2. Örgülü Kablo ve Halatlar

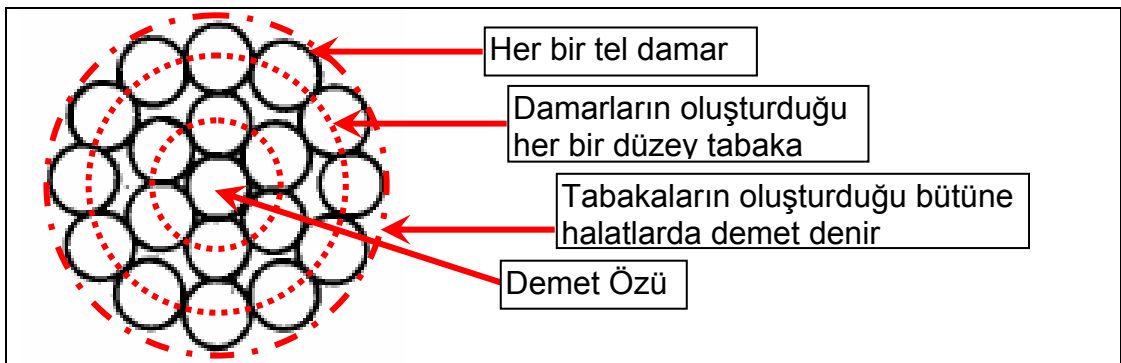
Örgülü kablo ve halatlar kullanılış amaçlarına göre farklı dahi olsa, görünüm ve yapı itibari ile temelde birbirlerine benzemektedirler. Halat ve kablolar birden fazla tek kat telin bir düzen ve plan içerisinde Şekil 4.1’de görüldüğü gibi birbiri üzerine bir hatve (helisel) oluşturacak şekilde sağa veya sola bükülmesi ile oluşmuş yapılardır [17].



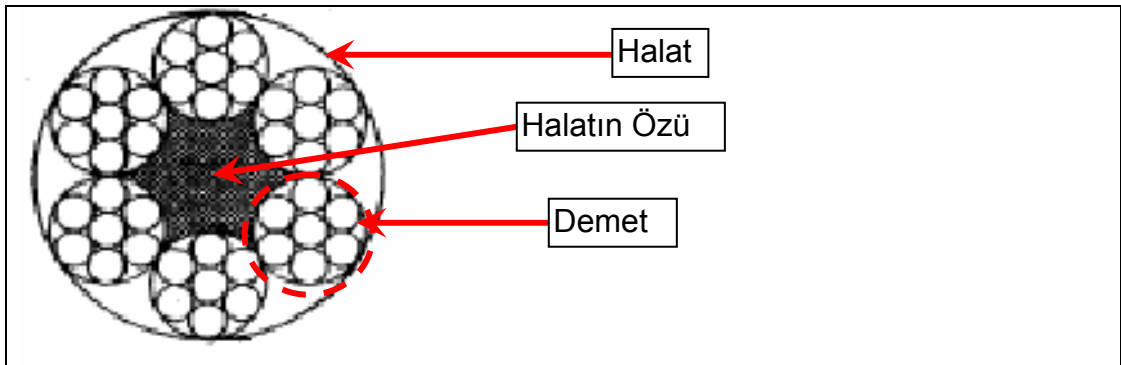
Şekil 4.1. Kablo ve halatlarda büküm (hatve) yönü, a) Sağ sarım (Z), b) Sol sarım (S) [17]

Halat ve kabloların, yapı ve şekil olarak birbirine benzemesi nedeniyle kullanılan birçok terim ve ifadeleri de çok benzerlik göstermektedir. Hatta bir kısmı da aynı olabilmektedir. Halat ve kablolarda kullanılan bazı terimlerin tanımlamaları EK-2’de verilmiştir.

Şekil 4.2’de tellerin halat ve kabloları nasıl oluşturduğu görülmektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi oluşturulan demetler kendi aralarında bir daha helisel olarak bükülerek Şekil 4.3’te kesiti görülen halatı oluştururlar. Kullanılış amaçları birbirlerinden farklı olması hava araçları için tehlike oluşturmayacağı anlamına gelmemektedir. Çünkü halatlarda, yüksek anten direkleri gibi yapılar için gergi telleri olarak kullanılmaktadır. Bu da hava aracı için büyük tehlike teşkil etmektedir.



Şekil 4.2. Kablo ve halatlarda bir demetin kesiti [17]



Şekil 4.3. Temel olarak demetlerin halatı oluşturuş şekli [17]

Kabloları halatlardan ayıran en belirgin özellik ise kablolarda halatlarda olduğu gibi demetler birleşerek bir üst yapı oluşturmazlar. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi tabakalar halinde bükülürler. Tabakaların bükümleri birbirlerine göre ters olur. Yani alttaki tabaka Sağ (Z) büküm ise onun üstündeki tabaka Sol (S) büküm olarak yapılır [17].

Hava hattı iletkenleri de kullanılış amaçlarına göre (enerji nakil, haberleşme), yapıldıkları malzemelere göre (alüminyum, bakır, çelik ve kompozit) ve tellerinin yapıldığı malzemenin kalitesine göre sınıflandırılmışlardır [17].

Dünya üzerinde halat ve kabloların yapımında uyulması gereken bir çok farklı standart mevcuttur. Ülkemizde de DIN ve Avrupa Standartlarını referans alınarak, Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanan Türk Standartları (TS) kullanılmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.1'de hava hatlarında elektrik ve haberleşme için kullanılan tellerin standartları ile genel amaçlar için kullanılan çelik halatların standardı görülmektedir. Üreticiler genellikle müşterinin uyulmasını istediği standarda göre üretim yapma konusunda esneklik göstermektedir.

Çizelge 4.2. Hava hatlarında kullanılan bazı tellerin ve genel amaçlar için kullanılan çelik kabloların standartları

S/N	STANDART	TARİHİ	KONUSU
1.	TS EN 50189	Mar.2002	Hava Hattı İletkenleri- Çinko Kaplanmış Çelik Teller.
2.	TS EN 61395	Şub.2002	Hava Hatlarında Kullanılan- Örgülü İletkenler için Sünme Deney İşlemleri.
3.	TS EN 50182	Oca.2003	Hava Hattı İletkenleri- Yuvarlak Telli Eşmerkez Tabakalı Örgülü İletkenler.
4.	TS EN 60889	Nis.2002	Hava Hattı İletkenleri-Sert Çekilmiş Alüminyum Tel.
5.	TS IEC/TR3 61597	Nis.2002	Hava Hatlarında Kullanılan elektriksel iletkenler-Örgülü çıplak iletkenler için hesaplama metotları.
6.	TS 2	Eki.1973	Som Elektrolitik Bakır Tel (Soğuk Çekilmiş, Sert).
7.	TS 3	Nis.1994	Bakır İletkenler- Örgülü- Hava Hatlarında Kullanılan.
8.	TS 9632 EN 50183	Şub.2002	Hava Hattı İletkenleri-Alüminyum-Magnezyum- Silisyum Alaşımli Teller.
9.	TS 10319	Haz.1992	Bakır Kaplı Çelik Teller-Telefon ve Telgraf Hatlarında Kullanılan.
10.	TS EN 61232	Şub.2002	Çelik Teller- Alüminyum Kaplanmış-Elektriksel Amaçlar için.
11.	TS 1918	Oca.2005	Halatlar Çelik Telli- Genel Amaçlar için.

Hava hatlarda kullanılan çıplak, eş merkez tabakalı ve örgülü alüminyum ve bakır kabloların bazı imalat bilgileri ile mekanik ve elektriksel özellikleri verilmiştir. Benzer bilgiler genel amaçlar için kullanılan çelik halatlar içinde verilmiştir.

Çok tabakalı bir iletkende herhangi bir tabakanın adım oranı, hemen kendi altındaki tabakanın adım oranına eşit veya ondan daha az olmalıdır [17].

4.3. Hava Hattı İletkenleri ve Özellikleri

Hava hatlarında kullanılan kabloların malzeme özellikleri aşağıda görülen 10 madde sıralanmıştır [60].

- a)- AAC Tam alüminyum iletkenler.
- b)- ACSR Çelik özlü alüminyum iletkenler.
- c)- AAAC Tam alüminyum alaşımlı iletkenler.
- ç)- ACAR Alüminyum alaşım takviyeli alüminyum iletkenler.
- d)- TACSR Isıya dayanıklı (Zr alaşımlı Al), çelik özlü alüminyum iletkenler.
- e)- TACSR/AS Isıya dayanıklı alüminyum (Al, Zr ile alaşımlandırılmış) ve çelik özündeki teller alüminyum kaplı.
- f)- KTACSR/AS Yüksek mukavemetli ve ısı dayancı için alüminyum Zr ile alaşımlanmış ve çelik özündeki teller alüminyum ile kaplanmış.
- g)- ZTACIR Çok yüksek mukavemetli invar çelik özlü ve alüminyum Zr ile alaşımlanmış ısısal dayanıklı iletken.
- ğ)- TAL Alüminyum Zr ile alaşımlandırılmış, ısı dayanıklı iletken .
- h)- ACSR/AS Çelik özünün telleri alüminyum kaplanmış kompozit iletken.

Türkiye deki yüksek gerilim hava hatları bu grupta içinde ACSR ve AAC tiplerine girmektedir. Bunlar Kanada CSA-C/49.1-1975 normlarına göre dizayn edilmiş ve kuş ile yabani hayvan isimlerinin verildiği iletkenlerdir. Bunlardan en önemlileri aşağıda Çizelge 4.2’de verilmiştir [60].

Çizelge 4.3. Türkiye’de kullanılan şekillendirilmemiş ACSR ve AAC tip iletkenler [60]

İletken adı	Al.kesiti mm ²	iletken çapı mm	iletken ağırlığı kg/km	Çelik tel çapı ve adedi mm/no.	Al. tel çapı ve adedi mm/no.	Max.yük daN	DC Direnci ohm/km
Cardinal	484.53	30.42	1829.	3.38/7	3.38/54	15589	0.0597
Drake	402.33	28.11	1621.9	3.45/7	4.44/26	14165	0.0715
Hawk	241.65	21.77	972.	2.67/7	3.44/26	8798	0.1194
Pansy	42.49	8.34	116.4	--	2.78/7	725	0.6743
Aster	67.14	10.50	184.4	--	3.50/7	1115	0.4254
Rose	21.14	5.58	57.8	--	1.96/7	403	1.3558

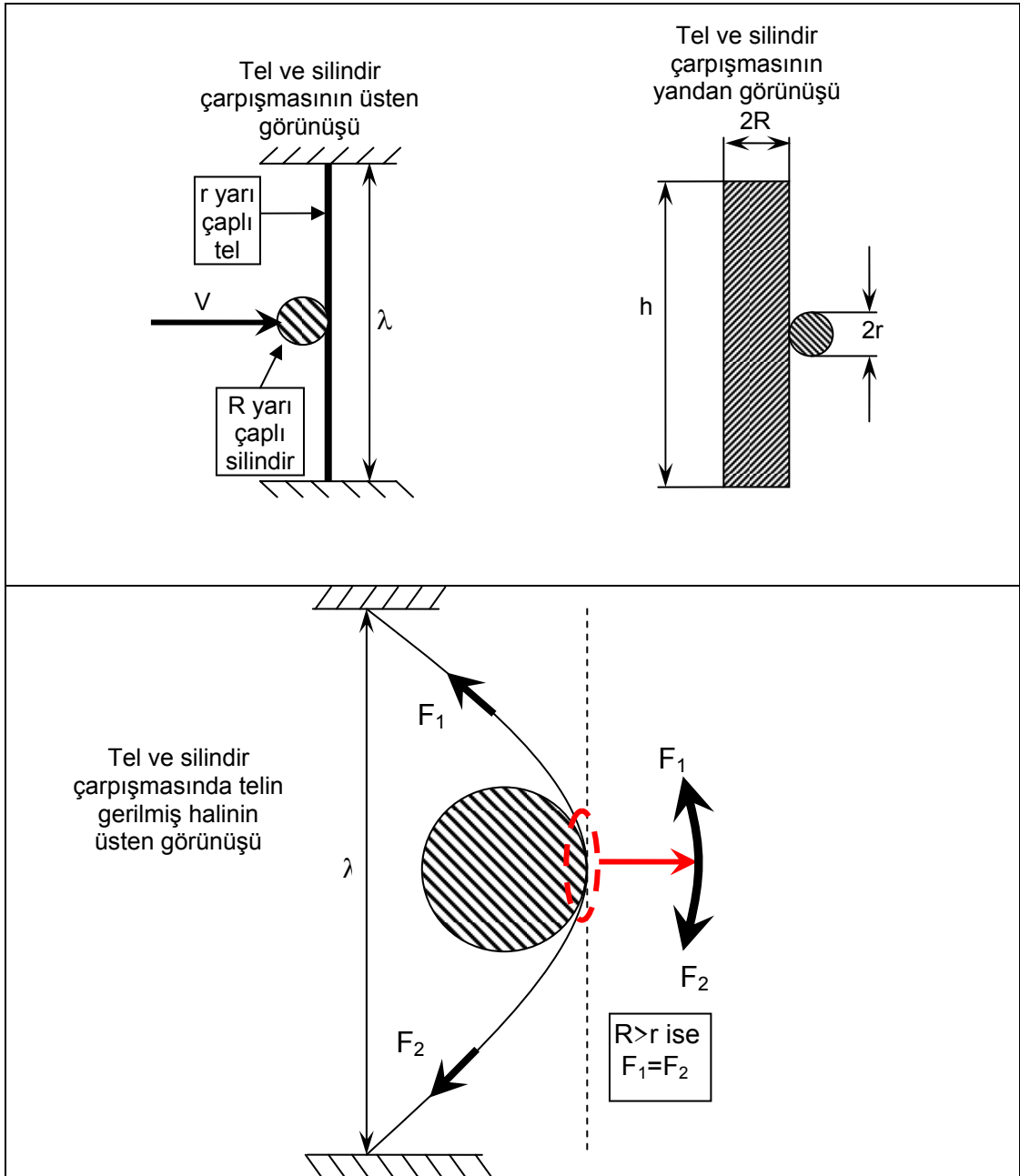
Yukarıda verilen yüksek kesitli alüminyum iletkenin yanı sıra daha pek çok çeşitli ACSR ve AAC tipi iletken mevcuttur. Burada Çizelge 4.2’nin birinci bölümünde elektrik enerjisinin üretildiği noktalardan hidrolik, termik veya diğer santrallerden alınıp büyük tüketim noktalarına yakın şalt sahalarına kadar taşınmasında en yaygın kullanılanlar seçilmiştir. Çizelge 4.2’nin ikinci bölümünde ise yerleşim alanlarında kullanılan 7 telli çelik tel kullanılmadan imal edilen dizaynlar verilmiştir. Dikkat edilirse her iki dizaynda da elektriksel direnç ve çekme mukavemetleri diğer özelliklerin yanında öncelikle kontrol altında tutulması gereken parametrelerdir [60].

4.4. Kablonun Kesilmesinin İncelenmesi

Bu şekilde kesme işlemi dinamik olaydır bu nedenle statik denklemlerle çözümü mümkün görünmemektedir. Nitekim bu tür çalışmalarda genellikle yaklaşık hesaplama yöntemleri kullanılmakta veya sayısal yaklaşımlar ve benzetimler kullanılmaktadır.

İki kesici arasında kalan tek kat telin üzerine etkiyen kuvvetleri ve telin kopmasını sağlayan kuvvetleri analiz etmeye çalışacak olursak. Bu için ilk

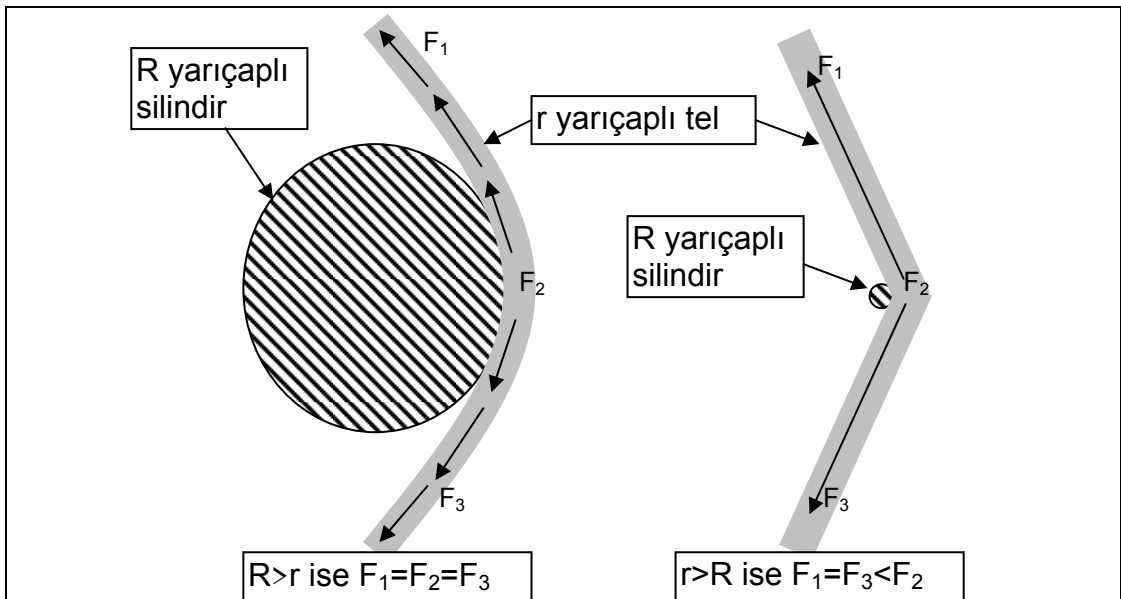
olarak λ uzunluğundaki r yarı çaplı telin orta bölgesinden, V hızlı, R yarı çaplı h yüksekliğindeki bir cisim, temas ederek teli zorladığını varsayalım. Bu durumda serbest cisim diyagramı Şekil 4.4'de görüldüğü şekilde olur. Bu yaklaşımda sürtünme ile oluşan kuvvetler dikkate alınmamıştır.



Şekil 4.4. r yarı çapındaki bir tele, R yarı çapındaki silindirik bir cismin teması ve telin gerilmesi hali [52]

Bu şekilde oluşan bir durumda telin hatasız olduğunu kabul edersek silindirin ön bölgesinde kopma olması beklenir. Bu bölgedeki gerilme diğer bölgelerine göre çok daha çabuk akma gerilmesine ulaşır ve burada telin dış kısmında akma olur ve plastik deformasyon oluşur ve kopma gerçekleşir. Burada dikkat edilmesi gereken husus $R > r$ şartı oluşursa telin her yerindeki F kuvvetlerini eşit kabul etmek mümkün olur ve bu durumda kopma çekme kuvvetinin etkisiyle gerçekleşir ve telin herhangi bir yerinden kopma olabilir.

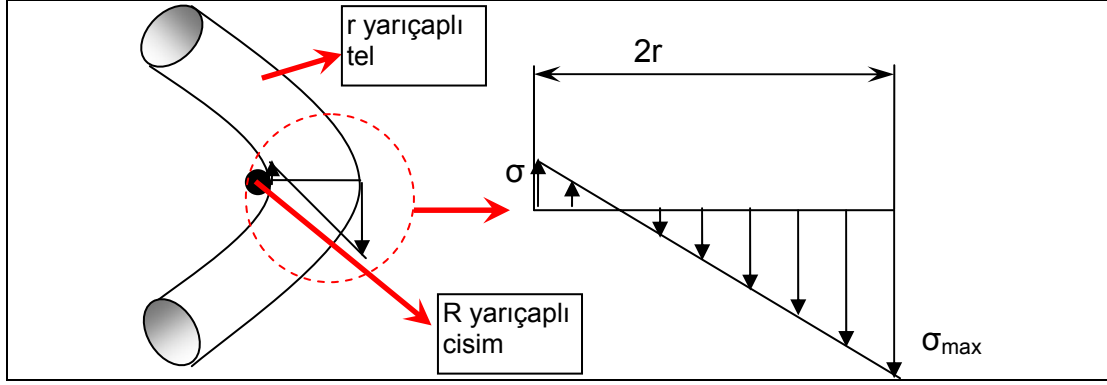
$R \leq r$ olduğu zaman silindirin önündeki telin kesitindeki gerilme dağılımı dış yüzeyde artar. Bunu Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da daha açıkça görebiliriz. Bu durumda kopmanın silindirin ön bölgesinde olmasını beklemek yanlış olamaz. Çünkü telin düz bölgelerindeki gerilme ile silindirin önündeki yerel gerilme büyüklükleri farklılık gösterir.



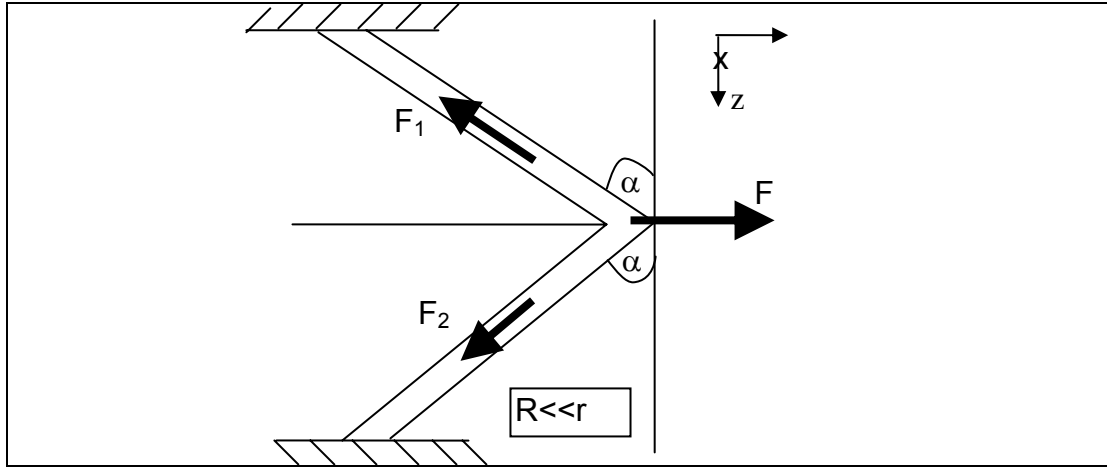
Şekil 4.5. Tel ve cisim çarpışmasında $R > r$ ve $r \geq R$ durumları [52]

$R \ll r$ olacak şekilde çok ince bir cisim tele temas ettiğinde Şekil 4.7'de görüldüğü şekilde durum tamamen değişiklik göstermektedir. Bu durumda ince cismin tele temas ettiği alan hızla sıfıra yaklaşmaktadır. Kuvvet sabitken

veya artarken alan sıfıra yaklaşırsa cismin tele temas ettiği yere uyguladığı basınç sonsuza gidecektir.



Şekil 4.6. Tel ve cisim çarpışması ve $r > R$ durumunda silindirin ön bölgesindeki tel kesitindeki gerilme dağılımı [52]



Şekil 4.7. İnce cismin tele temasın üstten görünümü [52]

Cismin tele orta bölgesinden temas ettiği kabul edilirse; telin her iki bölgesindeki gerilmeler eşit kabul edilebilir. Bu durumda telin büküldüğü bölgedeki teğet açısı da α şeklinde olacaktır. Kesit alanlarının da eşit olduğu kabul edilerek;

$$F_1 = F_2 \quad (4.1)$$

x eksenini doğrultusundaki denge denklemi yazılırsa;

$$\sum F_x = 0 \quad (4.2)$$

$$F = -F_1 \cdot \sin \alpha - F_2 \cdot \sin \alpha \quad (4.3)$$

$$F = \sin \alpha (F_1 + F_2) = 2 \cdot F_1 \cdot \sin \alpha \quad (4.4)$$

Tele temas eden cismin temas bölgesinde tele uyguladığı kuvvet F'dir. Dolayısıyla temas bölgesinde cismin tele uyguladığı basın;

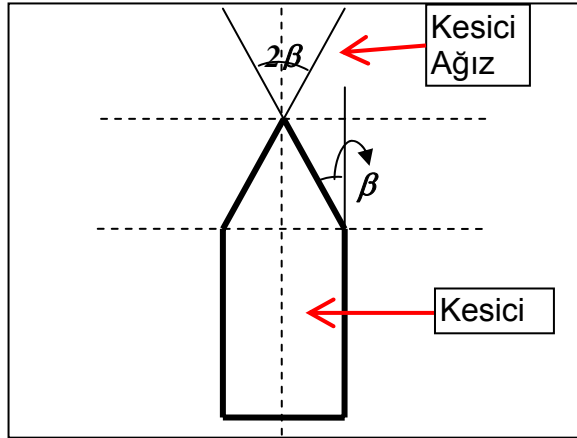
$$\Delta P = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (4.5)$$

yukarıdaki Eş. 4.5'te ΔA alan sıfıra yaklaştıkça basınç hızlı bir şekilde artacaktır. Bu basıncın artışı kritik değeri geçtiğinde, tele temas eden cismin ucu telin içerisine dalmaya (girmeye) başlayacak ve temas bölgesinde hasar oluşturacaktır. Bu durumda tel buradan başlayarak F_1 ve F_2 kuvvetinin etkisiyle de hızlı bir şekilde kopacaktır.

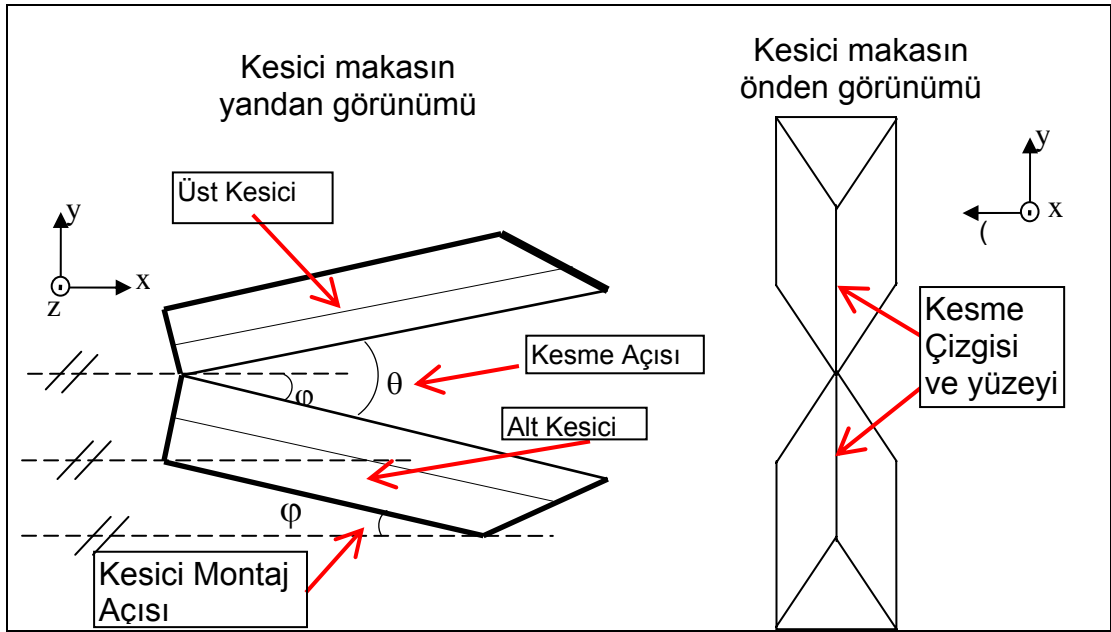
Gerçek durumda temas eden R yarı çaplı cismin çapı küçüldükçe kendisinin de hasar görme ihtimali artmaktadır bunun için uçları ince arka kısmı daha kalın Şekil 4.8'de görülen kesiciler kullanılır.

Şekil 4.8'deki gibi bir cisimle tele çarptığımızda teli koparmamız ucu küt olan cisme göre daha kolaylaşacaktır. Fakat teli koparmanın daha da kolaylaştırılması gerekmektedir.

Bu nedenle Şekil 4.9'da görülen makas görünümlü sistem kullanıldığında tel kesicilerin arasına sıkışarak eskisine nazaran daha kolay kopacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.8. Kesici takım profili [52]

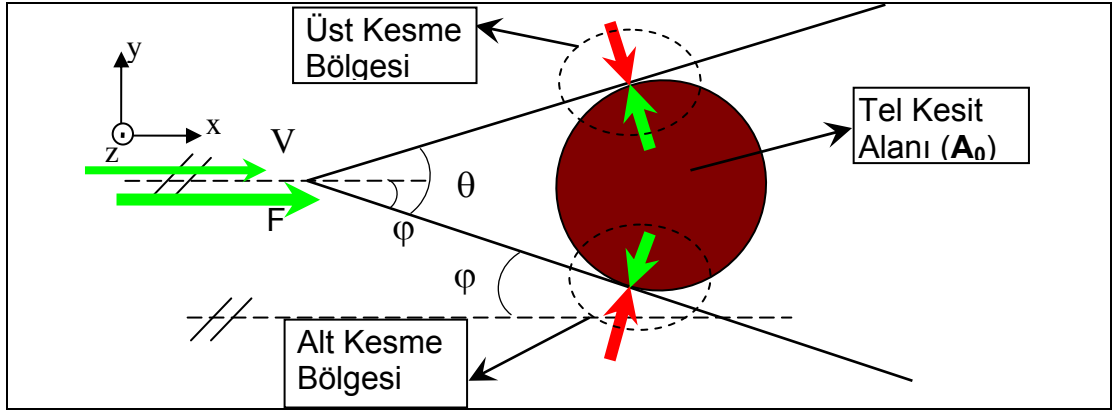


Şekil 4.9. Makas tipi kesici takım [52]

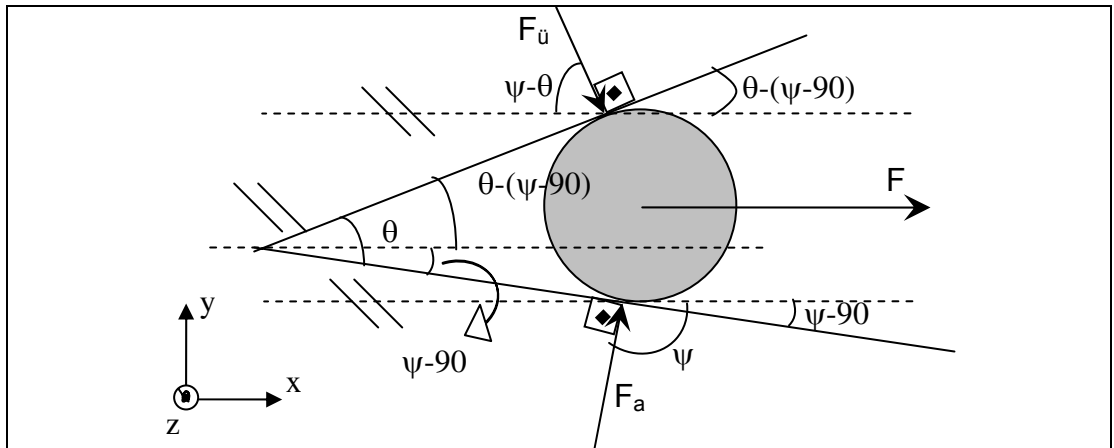
Kesici sistem ile telin karşılaşması durumunda oluşan durum Şekil 4.10'da görülmektedir.

x-y düzlemindeki kesit için serbest cisim diyagramını çizerek kuvvetlerin analizi yapmaya çalışalım. Kuvvetlerin oluşumunu ve temas açılarını görmek için Şekil 4.11'e bakmalıyız. Diyagram çizilirken sürtünme nedeniyle oluşan

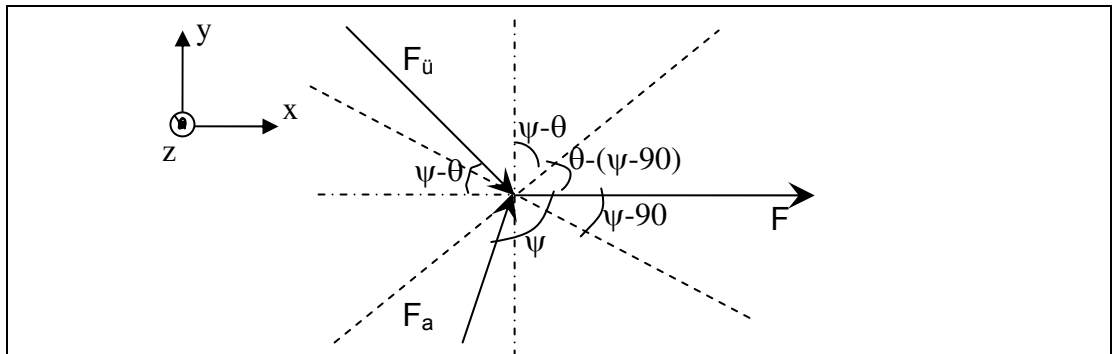
kuvvetler göz önünde bulundurulmamıştır. Şekil 4.11’de oluşan kuvvetler telin merkezinde birleştirilerek analiz edilmeye çalışılırsa;



Şekil 4.10. Makas tipi kesici ile tel arasındaki temas durumu [52]



Şekil 4.11. Tel ile makas tipi kesicinin temas durumu [52]



Şekil 4.12. Oluşan kuvvetlerin telin merkezine taşınması [52]

Şekil 4.12'deki durum için denge denklemini x eksenini için kurarsak ve düzenlersek;

$$\sum F_x = 0 \quad (4.6)$$

$$-F + F_{\bar{u}} \cdot \cos(\psi - \theta) + F_a \cdot \cos(180 - \psi) = 0 \quad (4.7)$$

$$F = F_{\bar{u}} \cdot \cos(\psi - \theta) + F_a \cdot \cos(180 - \psi) \quad (4.8)$$

denklemini elde edilir. Buradaki ψ konum açısı, ϕ konum açısından 90° derece daha büyüktür. Dolayısıyla ϕ konum açısının dönüştürülmüş hali ψ açısıdır.

Şekil 4.12 için denge denklemini y eksenini için kurulur ve düzenlenirse;

$$\sum F_y = 0 \quad (4.9)$$

$$F_{\bar{u}} \cdot \sin(\psi - \theta) - F_a \cdot \sin(180 - \psi) = 0 \quad (4.10)$$

$$F_{\bar{u}} \cdot \sin(\psi - \theta) = F_a \cdot \sin(180 - \psi) \quad (4.11)$$

elde edilmiş olur. Buradan $F_{\bar{u}}$ çekilir ise;

$$F_{\bar{u}} = F_a \cdot \frac{\sin(180 - \psi)}{\sin(\psi - \theta)} \quad (4.12)$$

Elde edilen Eş. 4.12'yi Eş. 4.8'de yerine yazarsak;

$$F = F_a \cdot \frac{\sin(180 - \psi)}{\sin(\psi - \theta)} \cdot \cos(\psi - \theta) + F_a \cdot \cos(180 - \psi) \quad (4.13)$$

elde edilir. Bu da düzenlenir ise;

$$F = F_a \cdot (\sin(180 - \psi) \cdot \cotg(\psi - \theta) + \cos(180 - \psi)) \quad (4.14)$$

elde edilir. Buradan F_a çekilir ise;

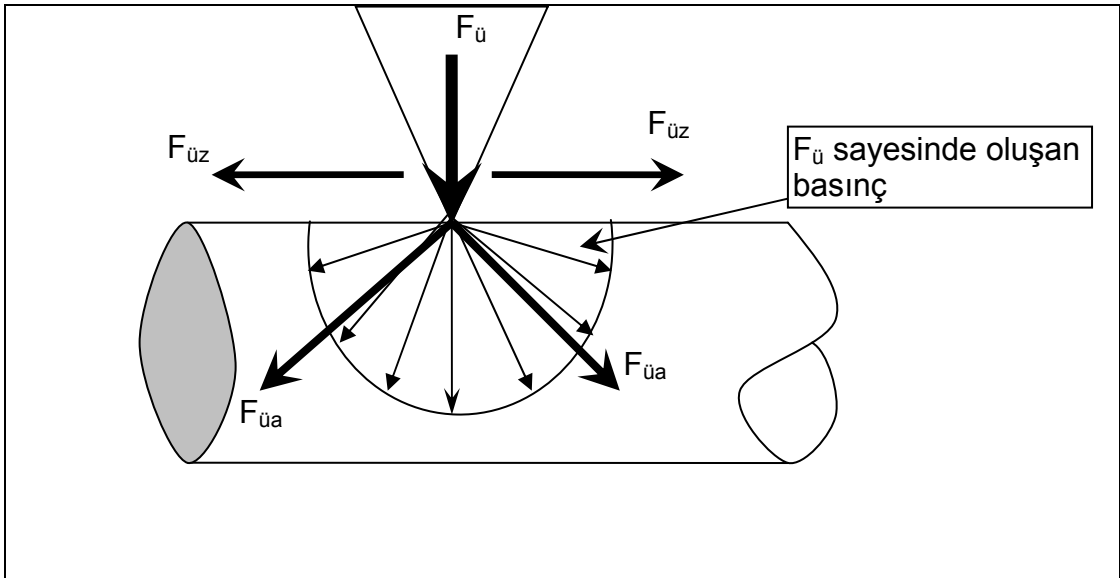
$$F_a = \frac{F}{(\sin(180 - \psi) \cdot \cotg(\psi - \theta) + \cos(180 - \psi))} \quad (4.15)$$

F_a elde edilmiş olur.

$F_{\bar{u}}$ kuvvetini bulmak için Eş. 4.15'yi Eş. 4.12'de yerine yazarsak;

$$F_{\bar{u}} = \frac{F}{(\sin(180 - \psi) \cdot \cotg(\psi - \theta) + \cos(180 - \psi))} \cdot \frac{\sin(180 - \psi)}{\sin(\psi - \theta)} \quad (4.16)$$

Şeklinde kesicinin üst ve alt kesicilerindeki kuvvetleri bulabiliriz. Bu kuvvetlerin tel üzerindeki etkileri daha iyi anlayabilmek için Şekil 4.13'e bakmalıyız.



Şekil 4.13. $F_{\bar{u}}$ kuvvetinin tel üzerinde oluşturduğu basınç ve kuvvetler [52]

y eksenini doğrultusunda kuvvet dengesi kurulursa;

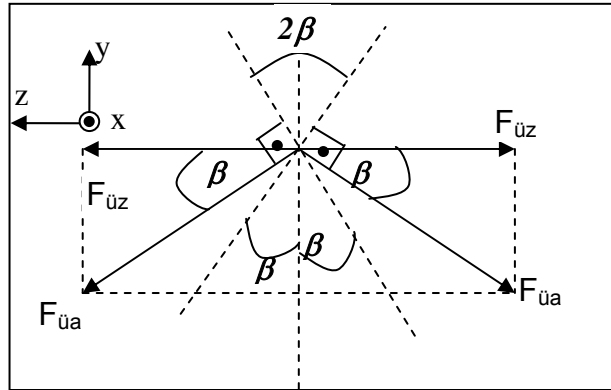
$$\sum F_y = 0 \quad (4.17)$$

$$F_{\ddot{u}} - F_{\ddot{u}a} \cdot \cos(90 - \beta) - F_{\ddot{u}a} \cdot \cos(90 - \beta) = 0 \quad (4.18)$$

buradan $F_{\ddot{u}a}$ 'yı çekersek;

$$F_{\ddot{u}a} = \frac{F_{\ddot{u}}}{2 \cdot \cos(90 - \beta)} \quad (4.19)$$

elde edilir. $F_{\ddot{u}a}$ da kendi bileşenlerine Şekil 4.16'da görüldüğü gibi ayrılırsa;



Şekil 4.16. Teli ayırmaya çalışan kuvvetler [52]

$$F_{\ddot{u}z} = F_{\ddot{u}a} \cdot \cos \beta \quad (4.20)$$

yukarıdaki Eş. 4.19'u, Eş. 4.20'de yerine yazarsak;

$$F_{\ddot{u}z} = \frac{F_{\ddot{u}}}{2 \cdot \cos(90 - \beta)} \cdot \cos \beta \quad (4.21)$$

elde edilen bu eşitlikte Eş. 4.16'da yerine konulursa;

$$F_{\text{üz}} = \left[\frac{F \cdot \sin(180-\psi)}{(\sin(180-\psi) \cdot \cotg(\psi-\theta) + \cos(180-\psi)) \cdot \sin(\psi-\theta)} \right] \cdot \cos\beta \quad (4.22)$$

olarak $F_{\text{üz}}$ kuvveti sistemdeki bütün açısal parametrelere bağlı olarak bulunmuş olur.

Tel üzerinde oluşan kuvvetler simetrik olduğundan dolayı F_{az} kuvvetleri de $F_{\text{üz}}$ kuvvetleri gibi buluna bilir. Bu durumda;

$$F_{\text{az}} = F_{\text{aa}} \cdot \cos\beta \quad (4.23)$$

yukarıdaki Eş. 4.19'u Eş. 4.23'te yerine yazarsak;

$$F_{\text{az}} = \frac{F_a}{2 \cdot \cos(90-\beta)} \cdot \cos\beta \quad (4.24)$$

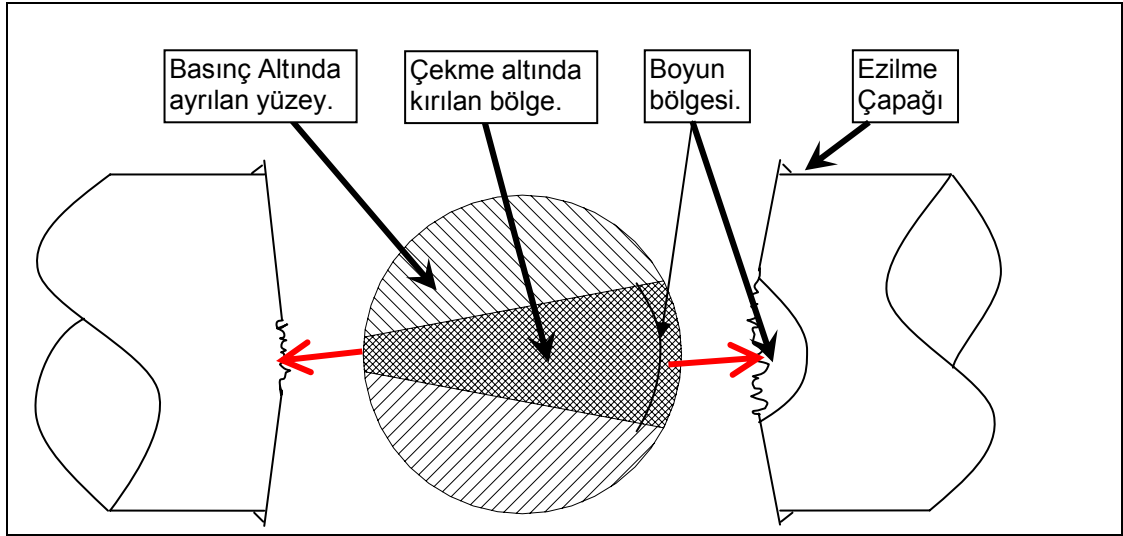
Bu eşitlikte, Eş. 4.15 yerine konularak teli alttan ayırmaya çalışan F_{az} kuvvetleri kesici üzerindeki bütün açısal parametreler cinsinden bulunmuş olacaktır.

$$F_{\text{az}} = \frac{F}{2 \cdot \cos(90-\beta)} \cdot \cos\beta \quad (4.27)$$

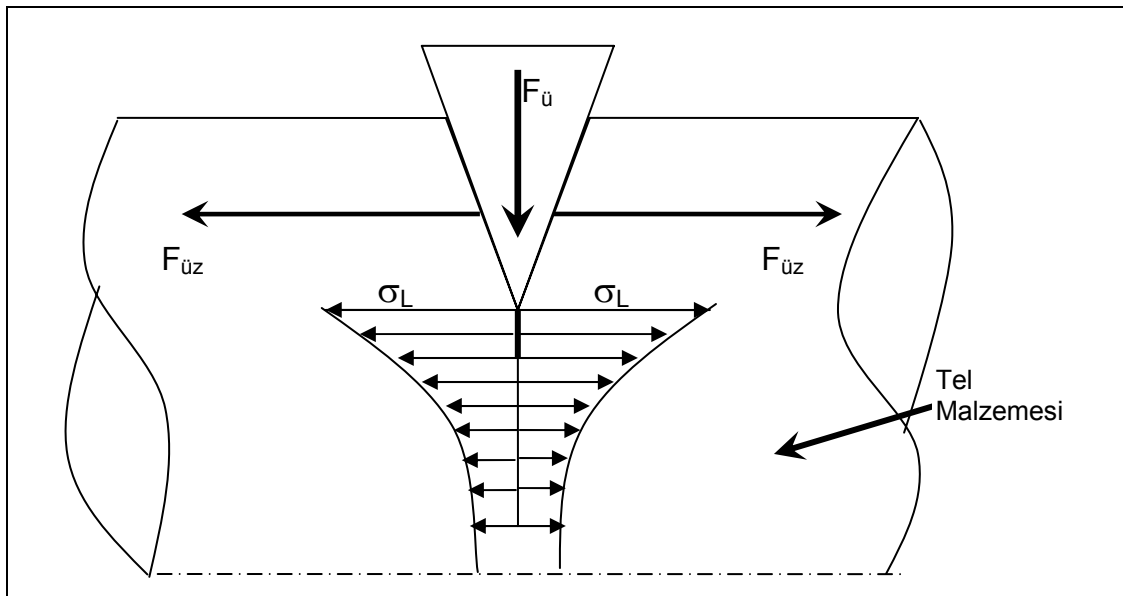
Böylece telin üzerinde çatlak oluşturan ve ilerlemesini sağlayan kuvvetleri sistem üzerinde bulunan bütün açısal değerler cinsinden bulmuş olduk.

Bu kuvvetler altındaki telin kesilme (ayrılma) yüzeyinin Şekil 4.17'de verilen şekle benzemesi beklenecektir. Bu da yapılan testlerde elde edilen yüzeylerin fotoğrafları ile karşılaştırılarak görülebilecektir.

Şekil 4.14'te oluşan kuvvetlerin etkisi ile kesicinin uç bölgesindeki gerilme dağılımı Şekil 4.18'de görüldüğü şekilde oluşacaktır.



Şekil 4.17. Kesilme (ayrılma) sonrası telin yüzeyi [52]

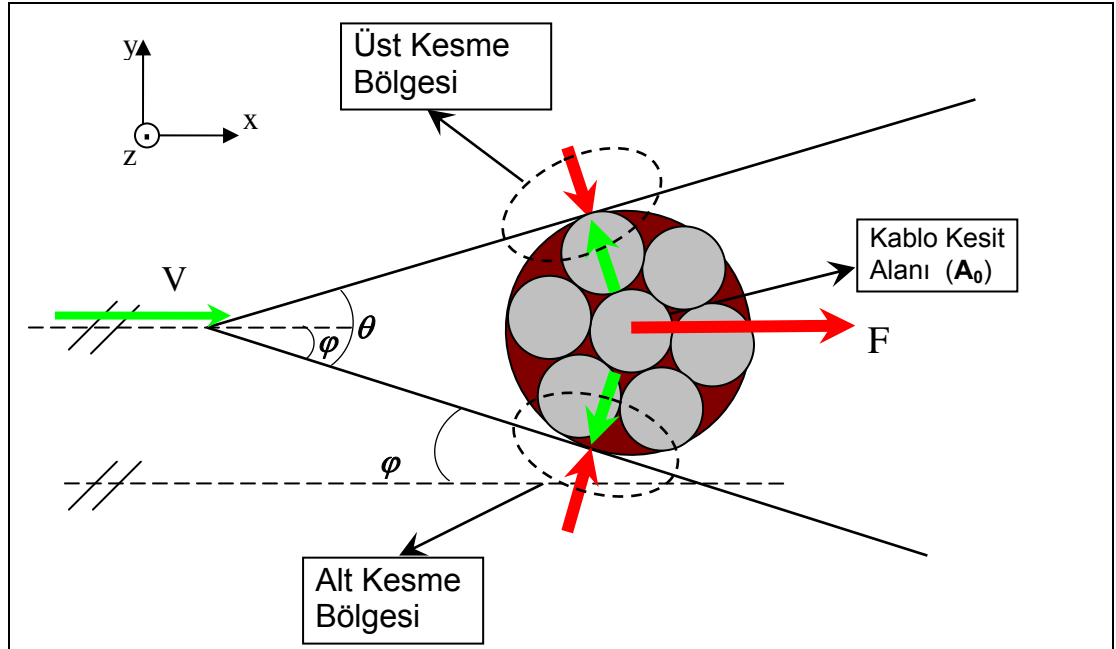


Şekil 4.18. Kesicinin uç bölgesinde oluşan ve çatlağın ilerlemesini sağlayan kuvvet ve gerilmeler [52]

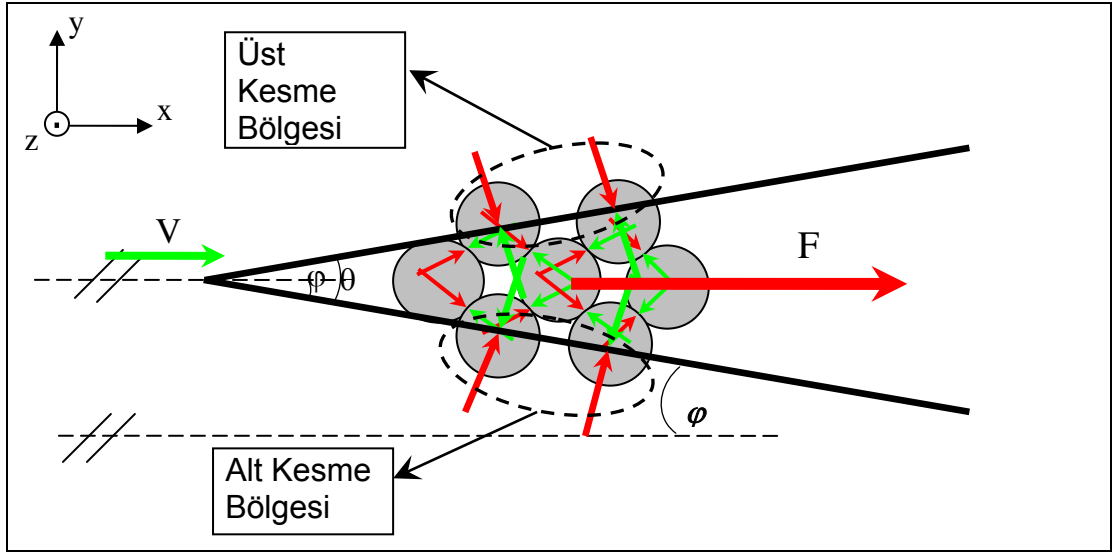
4.5. Kablonun Çok Sayıda Telden Oluşması Durumunda Kesme

Kablo çok sayıda telden oluşması durumunda, kablo; kesicinin kesme bölgesine ilk geldiğinde Şekil 4.19'da görüldüğü gibi tek tel gibi davrandığı kabul edilmektedir. Üst ve alt kesiciler ile kabloya direk etkiyen T gerilme kuvvetlerinin etkisi ile kabloyu oluşturan tellerin dizilimi Şekil 4.20'de görüldüğü şekilde olacak ve teller kesme bölgesinde sırayla kesilecektir.

Kesme analizlerinde kabloların simülasyonu kontak etkileri nedeniyle çözüm zamanını uzatmakta ve hatta yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle kablolar için yapılan çekme deneylerinde elde edilen sonuçlar kullanılarak kablo kendisine eşdeğer bir kalınlıkta ve mekanik özelliklerde tek kat bir tel şeklinde modellenerek hem çözüm zamanı açısından hem de sonuçların güvenilirliği açısından daha doğru olacağı derlendirilmektedir.



Şekil 4.19. Çok tekli kablonun kesiciye girmesi [52]



Şekil 4.20. Çok telli kablunun tellerinin kesilmesi dağılımı [52]

5. KABLONUN KESİLMESİNİN DENEYSEL ÇALIŞMASI

5.1. Genel

Bu bölümde; kablonun kesilmesi bilgisayar modelinin oluşturulmasına yardımcı olacak olan ve deneylerde kullanılacak olan kablolar ile ilgili mekanik ve fiziksel özelliklerin tespit edilmesi çalışmaları ile bilgisayar modelinin oluşturularak, kablonun çarpma-kesmesi deneyleri yapıp, deney sonuçlarının ve bilgisayar çözümü sonuçlarının irdelenmesi amaçlanmıştır.

5.2. Deneylerde Kullanılacak Malzemeler

Deneylerde kullanılmak üzere piyasan tedarik edilen 6 çeşit elektrik kablosu ve çelik halat aşağıda Çizelge 5.1’de gösterilmiştir. Bütün deneyler ve ölçümler bu 6 çeşit tel, kablo ve halat üzerinde yapılacaktır.

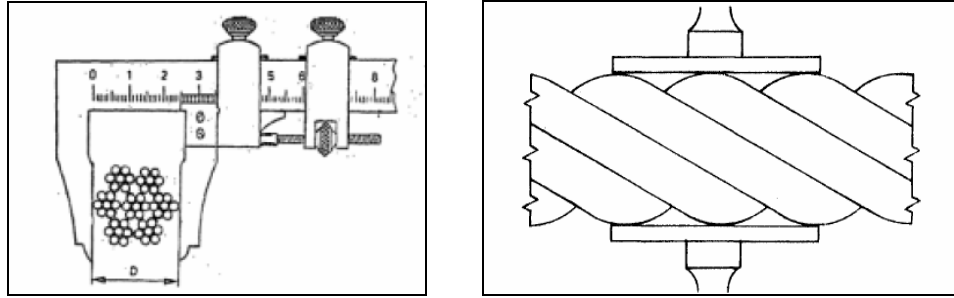
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılacak kablolar [52]

Sıra No	MALZEME	AÇIKLAMA
1.	7 Çıplak Alüminyum telli tek tabakalı kablo (Alpek)	7 çıplak Al. Telli kablo ile plastik kaplı kalın tel kablo ikisi birlikte kullanılmaktadır. Kablolardan birisi faz iken, diğeri nötrdür. Bu kabloya Alpek kablo diye bilinmekte.
2.	Plastik kaplı kalın Alüminyum tel (Alpek)	
3.	6 Alüminyum 1 Çelik telli kablo	Bir alüminyum tabakalı çelik özlü yüksek gerilim kablosudur. Swallow kablo diye bilinmekte.
4.	7 bakır telli kablo	Bir tabakalı, tel kalınlığı 1,31 mm olan örgülü bakır kablo.
5.	7 çelik telli halat	7 adet 2,13 mm kalınlığında çelik tellerin bükülmesi ile elde edilmiş çelik halat.
6.	7 Alüminyum telli kablo-2	7adet 3,5 mm tel çapındaki telin bükülmesi ile elde edilmiş kablo. Bu kablo kesme testinde kullanılacaktır.

5.3. Kablo ve Halatlarda Yapılan Ölçümler

5.3.1. Kablo ve halatlarda çap ölçümü

Kablo ve halatların çap ölçüm işlemleri TS 270/Temmuz 1965 sayılı standardın 2.7 maddesinde belirtildiği gibi yapılmıştır. Ölçümlerin nasıl yapılacağını gösteren şekiller Şekil 5.1'de olduğu gibi yapılan ölçümler sırasında çekilen fotoğraf Resim 5.1'de görülmektedir. Ölçümler alınan numune üzerinden, aralarında en az 1 metre mesafe olan üç noktadan ve her noktada birbirine 90° açı ile 2 ölçüm yapılmıştır. Alınan ölçüm değerleri halat ve kablo türüne göre aşağıda Çizelge 5.2'de verilmiştir. Alınan ölçümlerin ortalaması alınarak halat ve kabloların çapları bulunmuştur.



Şekil 5.1. Kablo ve halatlarda çap ölçümünün nasıl yapılacağı [16]

Çizelge 5.2. Ölçülen kablo çapları

Kablo-Halat Çeşidi	Ölçüm-1 (mm)	Ölçüm-2 (mm)	Ölçüm-3 (mm)	Ortalama (mm)
7 Alüminyum telli kablo	5,97	5,90	5,97	5,94
	5,91	5,94	5,95	
6 Alüminyum 1 Çelik telli kablo	7,21	7,17	7,24	7,18
	7,15	7,12	7,20	
7 Al. Telli Kablo-2	10,30	10,40	10,35	10,40
	10,50	10,50	10,45	
7 Bakır telli kablo	4,12	3,95	4,08	4,04
	4,08	4,01	4,02	
7 Çelik Telli Halat	6,45	6,44	6,45	6,41
	6,41	6,36	6,37	
1 Kalın Alüminyum Telli Plastik Kaplı Kablo	7,11	7,12	7,11	7,11
	7,11	7,10	7,10	



Resim 5.1. Kabloların ap ölçümün nasıl yapıldığını gösterir fotoğraf [52]

5.3.2. Kablo ve halatlardan alınan tellerde çap lm

Kablo ve halatlardan alınan tellerin çap ölçümleri kablo ve halatta olduğu gibi alınan numunenin her iki ucundan ve ortasından birbirine dik olarak alınan 2 ölçümün, toplam 6 ölçümün, aritmetik ortalaması alınarak tayin edilmiştir. Yapılan lmler ve ortalamaları izelge 5.3'te verilmiştir.

5.3.3. Kablo ve halatların adım oranlarının ölçümü ve hesaplanması

Örgülü iletkenlerde adım oranı; iletkenin adım uzunluğunun tellerin tabakasına karşılık gelen çapa oranıdır. Kabloların adım oranları TS EN 50182/Ocak 2003 sayılı standardın 5.5 Maddesine göre hesaplanmıştır. Bükümlü kablo ve halatlar ile ilgili yapılan ölçümler, hesaplamalar ve standartlardaki bilgiler doğrultusunda tespit edilen özellikler izelge 5.4'te verilmiştir.

5.4. Kablo ve Halat Tellerinin Kimyasal Kompozisyonlarının Tespiti

Kablo ve halatlardan alınan numunelerin, 1. Ana Tamir Merkezi Komutanlığında Optik Emisyon Spektrometresi ile kimyasal kompozisyonlarının tespiti yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen sonuçlar izelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kablo ve halat tellerinin çap ölçüm sonuçları

Sıra No	Kablo-Halat Çeşidi	Numune No	Ölçüm-1 (mm)	Ölçüm-2 (mm)	Ölçüm-3 (mm)	Ort. (mm)
1.	7 Alüminyum Telli Kablonun Telleri	1.	1,97	1,97	1,97	1,97
			1,97	1,97	1,97	
		2.	1,97	1,97	1,97	
			1,97	1,97	1,97	
		3.	1,97	1,97	1,97	
			1,97	1,98	1,98	
2.	6 Alüminyum 1 Çelik Telli Kablonun Alüminyum Telleri	1.	2,39	2,39	2,38	2,39
			2,39	2,39	2,38	
		2.	2,39	2,39	2,39	
			2,39	2,38	2,39	
		3.	2,38	2,39	2,38	
			2,39	2,39	2,39	
	6 Alüminyum 1 Çelik Telli Kablonun Çelik Teli	1.	2,36	2,36	2,36	2,36
			2,36	2,36	2,35	
		2.	2,36	2,36	2,36	
			2,36	2,37	2,36	
		3.	2,36	2,36	2,36	
			2,35	2,36	2,37	
3.	7 Bakır Telli Kablonun Telleri	1.	1,31	1,31	1,31	1,31
			1,31	1,31	1,32	
		2.	1,30	1,31	1,31	
			1,31	1,31	1,31	
		3.	1,31	1,31	1,32	
			1,30	1,31	1,31	
4.	1 Alüminyum Telli Kablo Teli	1.	4,26	4,26	4,27	4,26
			4,26	4,25	4,26	
		2.	4,26	4,26	4,26	
			4,26	4,26	4,26	
		3.	4,27	4,25	4,26	
			4,26	4,26	4,26	
5.	7 Çelik Telli Halat Telleri	1.	2,13	2,12	2,13	2,13
			2,13	2,13	2,13	
		2.	2,13	2,13	2,14	
			2,14	2,13	2,13	
		3.	2,13	2,13	2,13	
			2,13	2,12	2,12	
6	7 Alüminyum Telli Kablo-2	1.	3,52	3,49	3,47	3,50
			3,48	3,51	3,51	
		2	3,48	3,50	3,49	
			3,51	3,50	3,49	
		3.	3,52	3,51	3,50	
			3,49	3,50	3,50	

Çizelge 5.4. Halat ve kabloların özellikleri ile ilgili teknik bilgiler

Kablo-Halat Çeşidi	Tabaka Sayısı		Adım Yönü	Kesit Alanı (mm ²)	Adım Uzunluğu (mm)	Dış Çap (mm)	Adım Oranı
	Al.	Çe.					
7 Al. telli kablo	1	-	Z	21,34	83	5,94	14
6 Al. 1 Çelik telli kablo	1	1	Z	31,18	73	7,18	10
7 Bakır Telli Kablo	1	-	Z	9,36	84	4,04	21
7 Çelik Telli Halat	1	-	S	24,95	98	6,41	15
7 Al. Telli Kablo-2	1	-	Z	67,34	120	10,40	8,5

Çizelge 5.5. Kablo ve halatların tellerinin kimyasal kompozisyonu

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Fe	%Cu
4,26 mm çapındaki alüminyum tel	--	0,060	--	--	--	Kalanı	0,245	--
6 Al. 1Çe. Telli kablonun 2,39 mm çapındaki Al. Teli	--	0,028	--	--	--	Kalanı	0,267	--
7 Al. Telli kablonun 1,97 mm çapındaki teli	--	0,065	--	--	--	Kalanı	0,239	--
7 Bakır telli kablonun 1,31 mm çapındaki teli	Minimum %99,7 Cu, (Elektrolitik Bakır)							
6 Al. 1Çe. Telli kablonun 2,36 mm çapındaki Çe. Teli	0,50	0,221	0,745	0,008	0,004	--	--	--
7 telli çelik halatın 2,13 mm çapındaki teli	0,50	0,227	0,739	0,008	0,004	--	--	--

5.5. Kablo ve Halat Tellerinin Sertlik Değerlerinin Tespiti

Kablo ve halatlardan alınan numunelerin sertlik değerlerinin tespiti için sertlik testine tabi tutulmuştur. Test sonucunda elde edilen sertlik değerleri Çizelge 5.6'te verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kablo ve halat tellerinin sertlik değerleri

Malzeme	4,26 mm çaplı Al. Tel	2,39 mm çaplı Al. Tel	1,97 mm çaplı Al. Tel	1,31 mm çaplı Bakır tel	2,36 mm çaplı Çelik tel	2,13 mm çaplı Çelik tel
Sertlik Değeri	40-45 HB	40-45 HB	40-45 HB	55-60 HB	47-48 HRC	47-48 HRC

5.6. Tel ve Kabloların Çekme Deneyi

5.6.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Piyasadan tedarik edilen, çapları, teknik özellikleri, kimyasal kompozisyonları ve sertlik değerleri tespit edilen, Çizelge 5.4'te özellikleri verilen kablo ve halatlardan, TS 270 standardına göre çekme testi için tel numuneleri hazırlanmıştır.

5.6.2. Deneyin yapılması

Standarda göre hazırlanan ve Resim 5.2'de görülen numuneler TSE'nin Genel Merkezinde bulunan laboratuvarlarındaki Resim 5.3'te görülen Instron Marka ve model numarası 5589 olan Çekme Kopma deney cihazında çekme deneyleri yapılmıştır.

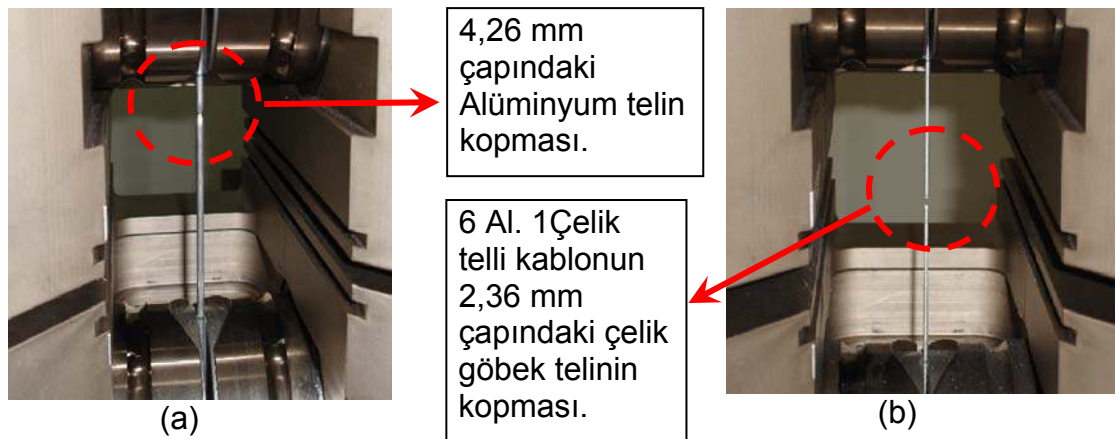


Resim 5.2. Kablo ve halatlardan çıkarılmış tel çekme numuneleri [52]



Resim 5.3. TSE Laboratuvarlarındaki Instron marka 5589 model-çekme kopma test cihazı [52]

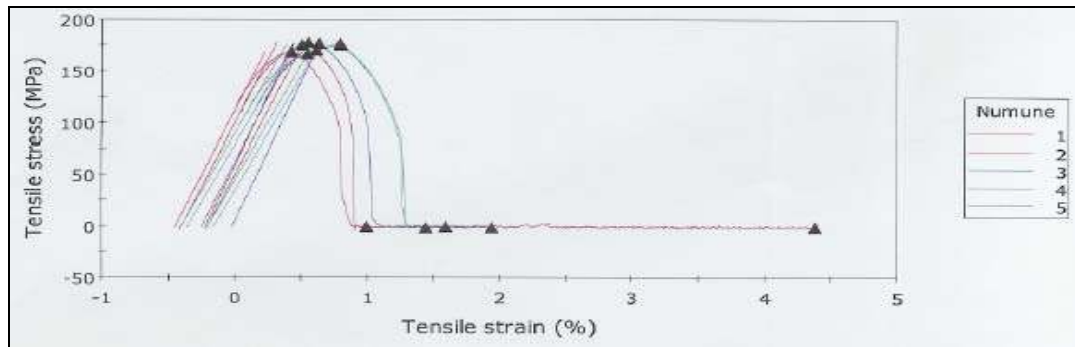
Test edilen tellerden 4,26 mm çapındaki Alüminyum tel ile 6 Alüminyum 1 Çelik telden oluşan kablounun çelik göbek telinin çekme işlemi sırasında çekilmiş fotoğrafları Resim 5.4'te görülmektedir.



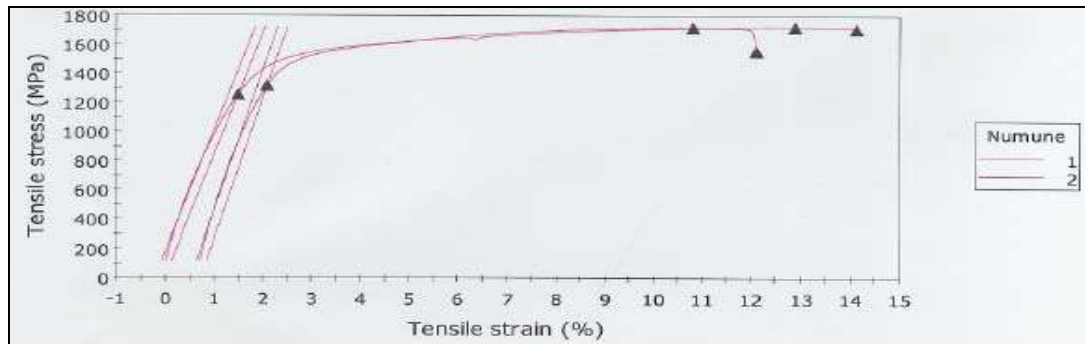
Resim 5.4. Tel numunelerin çekme testi; a) 4,26 mm çapındaki Alüminyum delinin çekme testi fotoğrafı, b) 6 Alüminyum 1 Çelik telli kablounun 2,36 mm çapındaki çelik telin çekme kopma fotoğrafı [52]

5.6.3. Test sonuçları

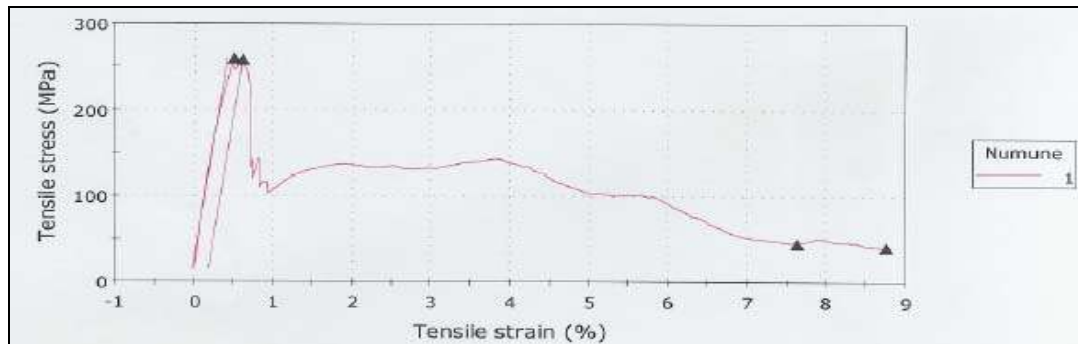
Kablo ve halatların ve ayrıca bu numunelerden çıkarılan tellerden hazırlanan çekme numunelerinin çekme deneyine tabi tutulması ile elde edilen, Gerilme-%Uzama grafikleri Şekil 5.2'den Şekil 5.11'e kadar olan şekillerde görülebilir. Bu grafiklerden çıkarılan sonuçlarda Çizelge 5.7'de görülmektedir.



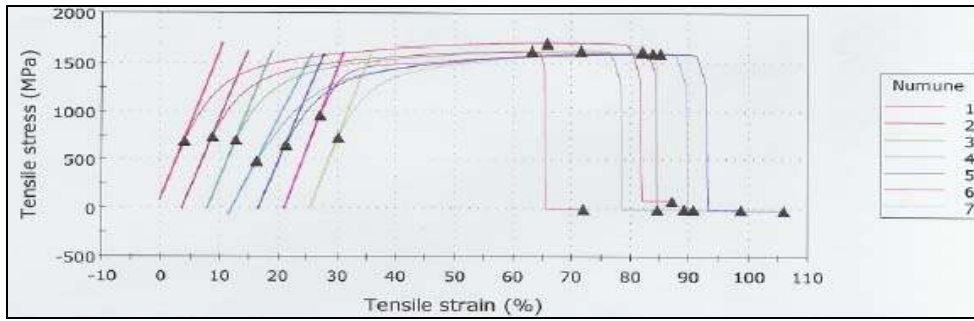
Şekil 5.2. 6 Al 1 Çe telli kablunun 2,39 mm çaplı 5 Al telinin çekme grafiği [52]



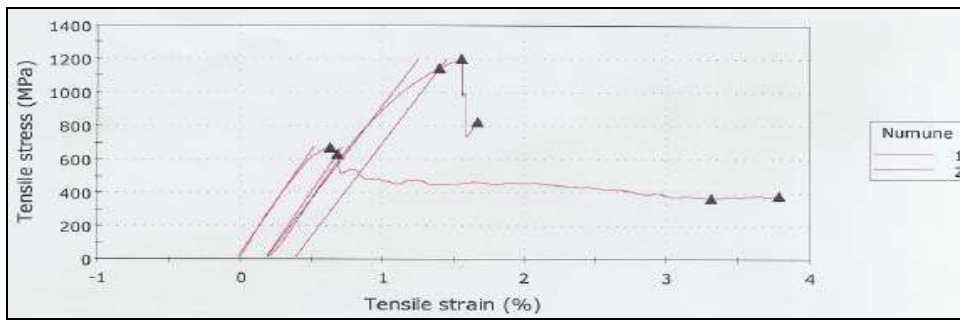
Şekil 5.3. 6 Al 1 Çe telli kablunun 2,36 mm çaplı 2 Çe telinin çekme grafiği [52]



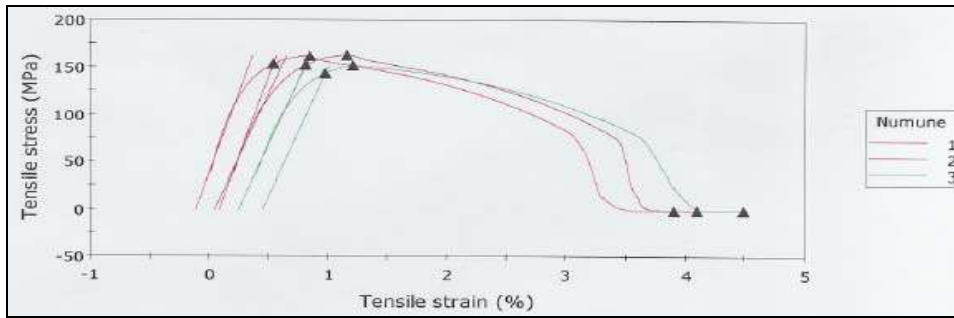
Şekil 5.4. 6 Al 1 Çelik telden oluşan kablunun kendisinin çekme grafiği [52]



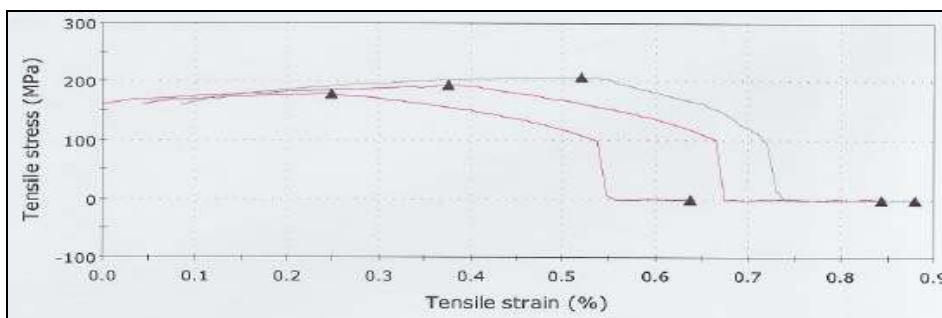
Şekil 5.5. Tel çapı 2,13 mm olan 7 çelik telli halatın 7 telinin çekme grafiği [52]



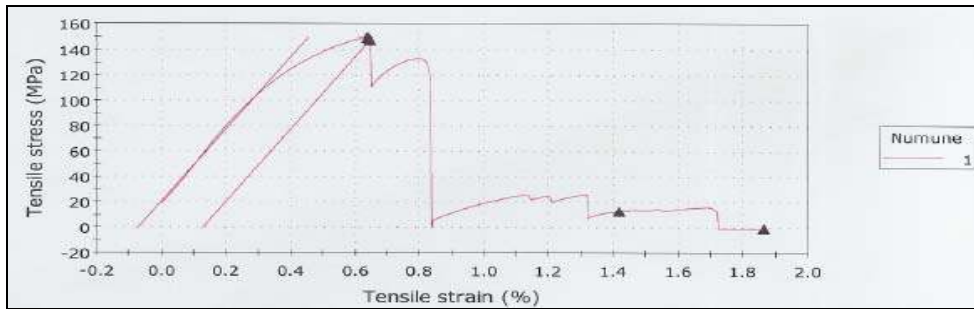
Şekil 5.6. Tel çapı 2,13 mm olan 7 telli çelik halatın çekme grafiği [52]



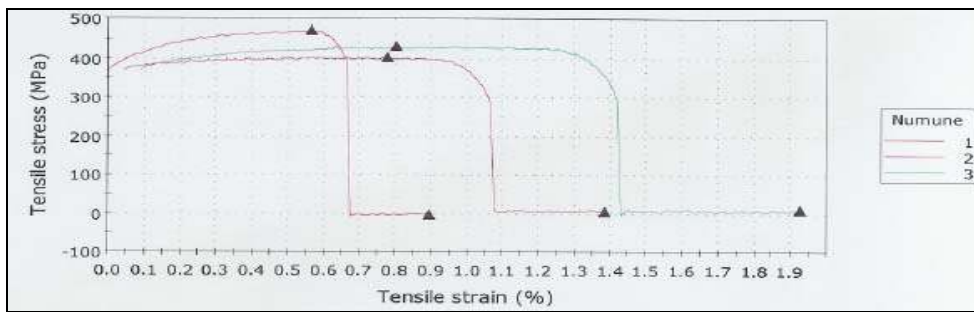
Şekil 5.7. Plastik kaplı 4,26 mm çapındaki Alüminyum telin çekme grafiği [52]



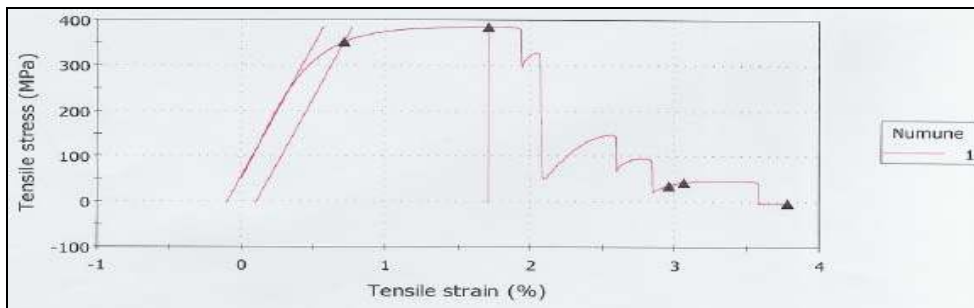
Şekil 5.8. Tel çapı 1,97 mm olan 7 Al telli kablunun 3 telinin çekme grafiği [52]



Şekil 5.9. Tel çapı 1,97 mm olan 7 Alüminyum telli kablounun çekme grafiği [52]



Şekil 5.10. Tel çapı 1,31 mm olan 7 Ba telli kablounun 3 telinin çekme grafiği [52]



Şekil 5.11. Tel çapı 1,31 mm olan 7 Bakır telli kablounun çekme grafiği [52]

Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, kablo veya halatları oluşturan tellerin mukavemetinin normalde kablo veya halattan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedenin kabloları oluştururken yapılan büküm işlemidir. Bu durum ilgili kablo standartlarında belirtilmektedir. Sadece kompozit yapılı olan 6 Alüminyum 1 çelik telin oluşturduğu kabloda mukavemet değerinin Alüminyum tellerden yüksek olduğu fakat çelik telden düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeninde kompozit yapı olduğu açıktır.

Çizelge 5.7. Kablo ve halatların ve ayrıca tellerinin çekme sonuçları çizelgesi

Şekil No	Sıra No	Alan (mm ²)	Load at Yield (EN/ISO Lower Yield) (kN)	Load at Yield (Offset %0,2) (kN)	Ending Load at YPE/Ae (Automatic) (kN)	Max. Load (kN)	Tensile stress at Yield (EN/ISO Lower Yield) (N/mm ²)	Tensile stress at Yield (Offset % 0,2) (N/mm ²)	UYS at YPE/Ae (Automatic) (MPa)	UYS or Proof Strength at YPE/Ae (Automatic) (MPa)	Tensile stress at Max. Load (N/mm ²)	Tensile strain at Break (Standard) (%)
5.2.	1	4,468	--	0,752	--	0,75	--	168,403	--	167,554	168,687	0,994
	2	4,468	--	0,784	--	0,79	--	175,485	--	175,728	177,900	4,328
	3	4,468	--	0,744	--	0,78	--	166,521	--	166,556	175,356	1,342
	4	4,468	--	0,760	--	0,79	--	170,059	--	170,067	176,663	1,445
	5	4,468	--	0,788	--	0,79	--	176,261	--	175,697	176,836	1,740
5.3.	1	4,374	--	5,504	--	7,53	--	1258,184	--	1263,090	1720,780	14,085
	2	4,374	--	5,770	--	7,52	--	1318,957	--	1320,866	1718,086	11,386
5.4.	1	31,182	1,419	8,019	--	8,07	45,514	257,158	--	258,720	258,720	8,745
5.5.	1	3,563	--	2,493	--	6,04	--	699,747	--	715,538	1694,358	86,992
	2	3,563	--	2,652	--	5,78	--	744,174	--	751,629	1622,197	67,549
	3	3,563	--	2,525	--	5,80	--	708,476	--	715,091	1627,444	75,754
	4	3,563	--	1,757	--	5,71	--	493,160	--	501,132	1601,377	92,812
	5	3,563	--	2,343	--	5,69	--	657,624	--	661,528	1596,586	81,252
	6	3,563	--	3,427	--	5,74	--	961,836	--	982,473	1611,164	68,876
	7	3,563	--	2,616	--	5,74	--	734,060	--	739,436	1611,681	62,953
5.6.	1	25,967	--	29,755	--	31,24	--	1145,878	--	1147,542	1203,002	1,478
5.7.	1	14,253	--	2,185	--	2,30	--	153,324	--	153,912	161,491	3,895
	2	14,253	--	2,169	--	2,31	--	152,206	--	152,752	162,346	3,894
	3	14,253	--	2,042	--	2,16	--	143,611	--	144,351	151,622	4,089
5.8.	1	3,048	--	--	--	0,59	--	--	--	--	193,677	0,842
	2	3,048	--	--	--	0,55	--	--	--	--	179,270	0,595
	3	3,048	--	--	--	0,63	--	--	--	--	207,971	0,794
5.9.	1	25,967	0,345	3,810	--	3,88	13,274	147,488	149,383	149,383	149,383	1,861
5.10.	1	1,338	--	--	--	0,63	--	--	--	--	472,510	0,894
	2	1,338	--	--	--	0,54	--	--	--	--	404,354	1,339
	3	1,338	--	--	--	0,58	--	--	--	--	432,478	1,836
5.11.	1	9,359	0,346	3,289	0,42	3,60	36,976	351,383	384,794	384,794	384,794	3,775

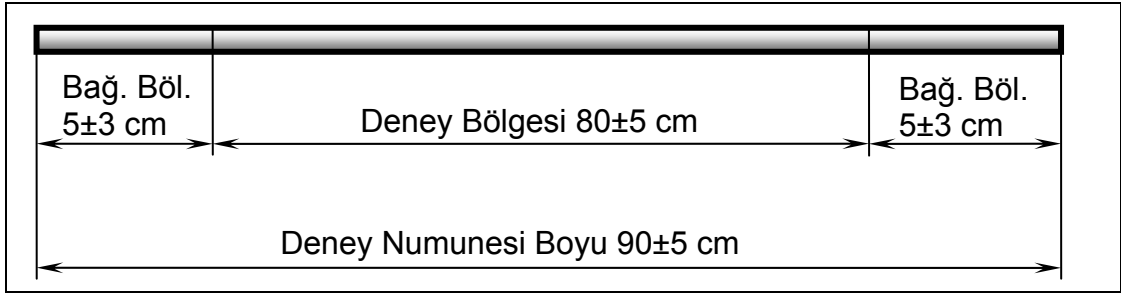
5.7. Kablo ve Tellerin Çarpma-Kesme Deneyi

5.7.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Çarpma-kesme deneyi için Çizelge 5.8’de verilen kablo ve tellerden Şekil 5.12’de görüldüğü şekilde, deney numuneleri toplam 90 cm uzunluğunda hazırlanmıştır. Bu numunelerin 80 cm’lik kısmı deney aralığı olarak ayrılmış ve geriye kalan kısmı ise Şekil 5.12’de görüldüğü gibi bağlama yeri olarak kullanılmak üzere ayarlanmıştır. Buna göre Çizelge 5.8’deki numune miktarları Şekil 5.12’ye göre boyları ayarlanarak deney için kesilip hazırlanmıştır.

Çizelge 5.8. Çarpma-Kesme deneyi için numuneler

Sıra No	Malzeme	Deneyde Kullanılacak Malzemeler	Deney Numunesi Sayısı
1.	7 Alüminyum telli tek tabakalı kablo	1 Tel	7 adet
		2 Tel	7 adet
		3 Tel	7 adet
		7 Telli kablo	7 adet
2.	6 Alüminyum 1 Çelik telli tek tabakalı kablo	1 Alüminyum tel	7 adet
		2 Alüminyum tel	7 adet
		3 Alüminyum tel	7 adet
		1 Çelik tel	7 adet
		2 Al. 1 Çelik tel	7 adet
		3 Al. 1 Çelik tel	7 adet
		Kablonun kendisi	3 adet
3.	7 Bakır telli kablo	1 Tel	7 adet
		2 Tel	7 adet
		3 Tel	7 adet
		7 Telli Kablo	7 adet
4.	7 Al. Telli tek tabakalı kalın kablo-2	1 Tel	7 adet
		2 Tel	7 adet
		7 Telli Kablo	3 adet
5.	Plastik kaplı tek Alüminyum tel		7 adet
6.	7 çelik telli tek tabakalı çelik halat.	Çelik halat çarpma-kesme testine tabi tutulmamıştır.	



Şekil 5.12. Çarpma–Kesme deneyi için tel ve kablolar için deney numunesi ölçüsü [52]

5.7.2. Deneyin yapılacağı düzeneğin hazırlanması

Deneyin yapılacağı cihaz hakkındaki bazı bilgiler

Metal ve alaşımları için Charpy ve Isod testlerinin yapıldığı Resim 5.5'te görülen MAT21 model universal pendulum impact tester cihazı kullanılarak kesici takımın ile kablo ve tellerin çarpma-kesme deneyleri benzetilmeye çalışılmıştır. Charpy ve Isod testleri için kullanılan MAT21 model universal pendulum impact test cihazının teknik bilgileri Çizelge 5.9'de verilmiştir [59].



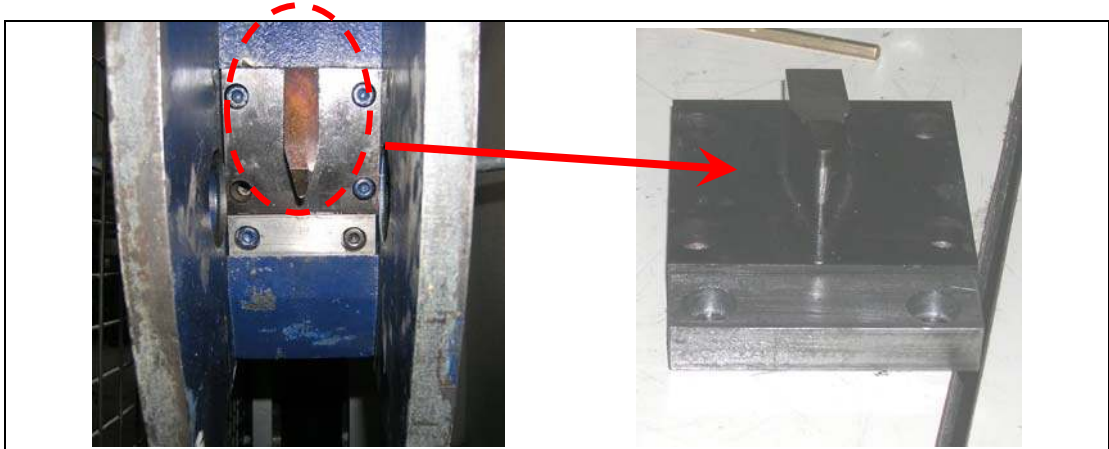
Resim 5.5. MAT21 model Charpy ve Isod testleri için universal pendulum impact test cihazı [59]

Çizelge 5.9. MAT21 model Charpy ve Isod test cihazı teknik özellikleri [59]

ÖZELLİK	DEĞER		BİRİM
	Charpy	Isod	
Sarkaç Açısı	140	85	Derece
Sarkaç Ağırlığı	20,996	21	Kilogram
Sarkacın Kinetik Enerjisi	300	160	Joule
Göstergedeki Her Bir Aralık Değeri	2	2	Joule
Sarkacın Alt Noktadaki Hızı	5,35	3,86	Metre/sn
Numune Merkezi ile Sarkacın Dönme Merkezi Arasındaki Mesafe	825	825	milimetre
Numune Merkezi ile Fiziksel Çarpma Merkezi Arasındaki Mesafe	$\pm 8,5$	$\pm 8,5$	milimetre
Sürtünme Nedeniyle En Fazla Kayıp	0,5		yüzde (%)

Kesme için cihazda yapılacak değişiklikler

Kablo çarpma testlerinin yapılabilmesi için Charpy cihazı üzerinde bazı değişiklikler yapılması gerekmiştir. Bunun için ilk olarak kesici bir takımın imal edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Resim 5.6'da görülen Charpy ve Isod test cihazının kırıcı çekici sökülerek ölçüleri alınmış ve onun yerine uyacak olan teknik çizimleri EK-3'te verilen ve Resim 5.7'de görülen kesici takım imal edilmiştir.



Resim 5.6. Charpy ve Isod test cihazının kırıcı çekici [52]



Resim 5.7. Charpy ve Isod test cihazının, kırıcı çekici yerine takılması için imal edilen kesici takım [52]

Kabloya çarpma-kesme deneyinin sonuçları, Charpy test cihazının gösterge değerleri, çarpma-kesmeye göre ayarlanarak deneylerin yapılmasına karar verilmiştir. Cihazdaki değişiklikler ona göre planlanarak sırasıyla yapılmıştır. İlk değişiklik yukarıda da bahsedildiği gibi kırıcı çekiç kısmındadır. İkinci değişiklik ise kesici ve kablonun sarkacın en yüksek hıza ulaştığı yerde buluşabilmesi için ağırlıkların yönlerinin Resim 5.8'de görüldüğü şekilden ilk önce Resim 5.9'daki gibi ağırlıksız hale getirilmiş ve daha sonrada Resim 5.10'daki gibi ağırlıkların ters çevrilerek takılması ile cihazın çekiç kısmındaki değişiklikler tamamlanmıştır.



Resim 5.8. Charpy test cihazının ağırlıklılarının normal durumu [52]



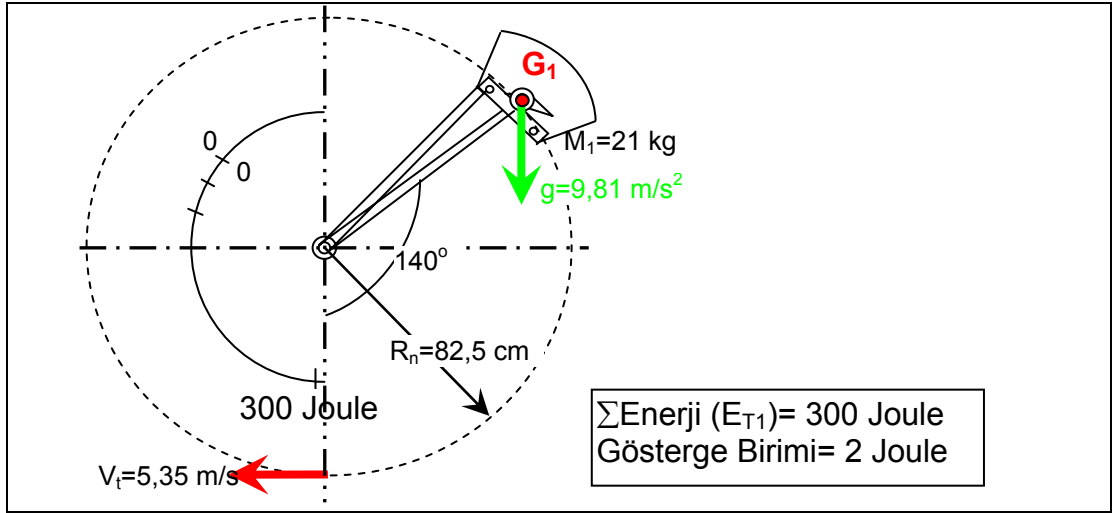
Resim 5.9. Charpy test cihazının ağırlıkları ve kırıcı çekici çıkartılarak kesici takım takılmış durumu [52]



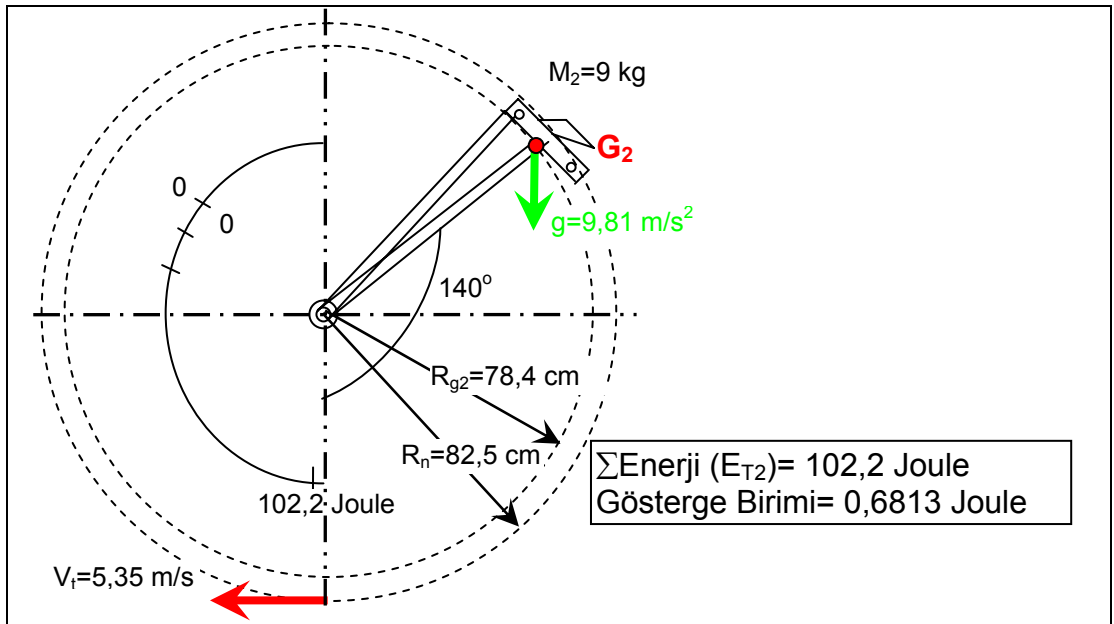
Resim 5.10. Charpy test cihazının, kesici takım takılmış ve ağırlıklarının ters takılmış durumu [52]

Yapılan bu değişiklikler sonucunda, cihazın ölçtüğü enerji seviyesinde bazı değişiklikler oluşmuştur. Bu değişikliklerin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikli olarak cihazın değişiklik yapılmamış halini gösteren aşağıdaki Şekil 5.13'e bakmalıyız. Değişen ağırlık miktarının ve ağırlık merkezinin yerinin hesaplanması ve bunlara bağlı olarak cihazın ölçtüğü enerji değişimlerinin hesaplamamaları EK-4'te gösterilmiştir.

Cihazın çekicinden; ağırlıklar ve kırıcı çıkartılıp yerine kesici takım takıldıktan sonraki halinin şematik görünüşü ise Şekil 5.14'te görülmektedir.

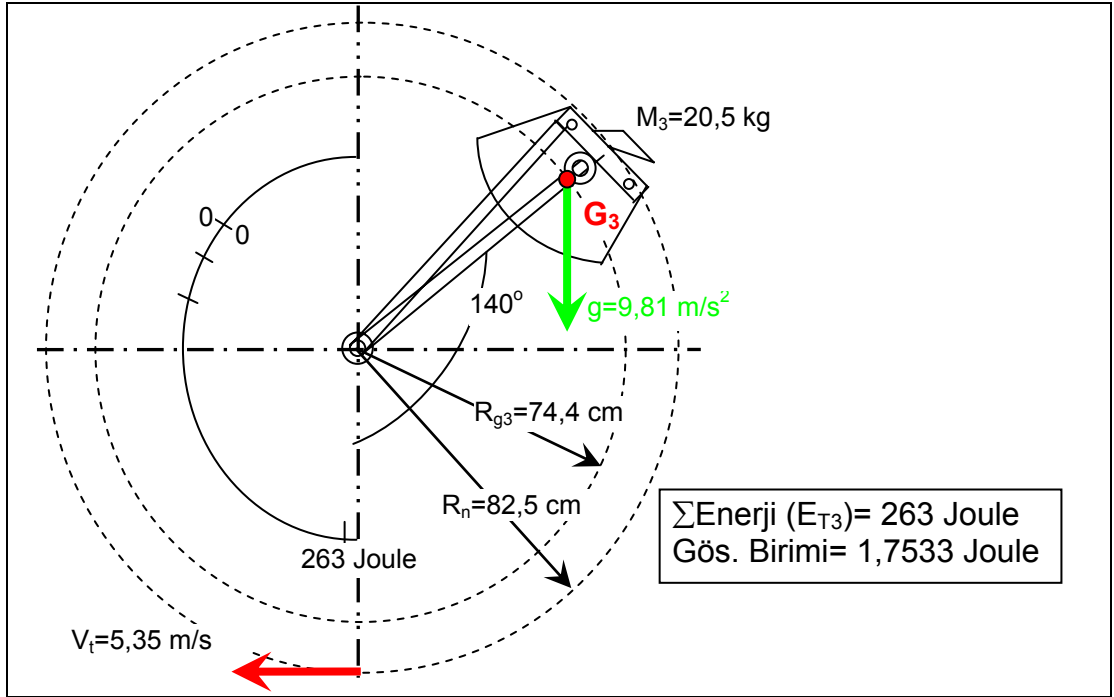


Şekil 5.13. Charpy cihazının değişiklik yapılmadan önceki şematik gösterilişi [52]



Şekil 5.14. Test cihazının ağırlıklar ve kırıcı çekici çıkartılarak kesici takımın takılması ile oluşan halinin şematik görünüşü [52]

Kablo çarpma-kesme çarpışma testlerinin yapılacağı Charpy cihazının son hali, yani son olarak ağırlıkların ters takılması sonucu elde edilen deney cihazının şematik görünüşü ise Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Test cihazının kablo testi için yapılan değişikliklerden sonraki hali [52]

Charpy Test cihazda yapılan değişiklikler sonucu cihaz özellikleri

Charpy test cihazında değişiklikler yapıldıktan sonra cihazın özelliklerinde meydana gelen değişiklikler Çizelge 5.10'da verilmiştir. Buradaki değerlerin hesaplanmasında EK-4'te verilen yöntemler kullanılmıştır.

Değerleri cihazında bazı değişiklikler yapılması gerekmiş ve Charpy cihazı Şekil 5.13'ten, Şekil 5.14'e, oradan da Şekil 5.15'deki haline çevrilmiştir. Bu dönüşümler esnasında cihazın ölçtüğü toplam enerjideki değişiklikler hesaplanarak göstergedeki değerler ona göre okunmuştur.

5.7.3. Deneylerin yapılması

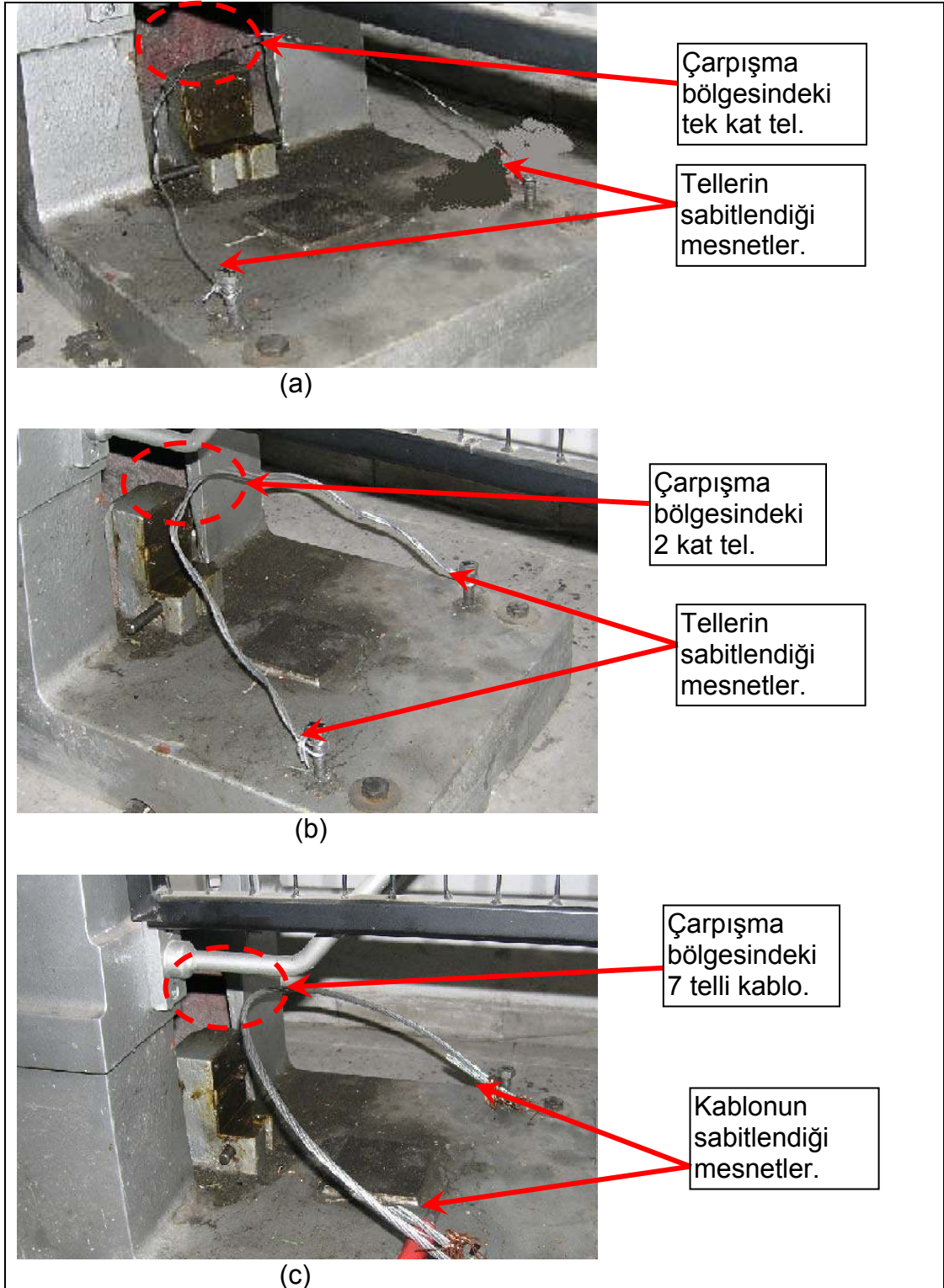
Çarpma-kesme deneylerinde; yukarıda Çizelge 5.8'de verilen deney numunelerinden ilk 5 sıradaki (1. 7 Alüminyum telli tek tabakalı kablo, 2. 6 Alüminyum 1 Çelik telli tek alüminyum tabakalı kablo, 3. 7 bakır telli tek

tabakalı kablo, 4. 7 kalın Alüminyum telli tek tabakalı kablo ve 5. Plastik kaplı tek Alüminyum tel) numuneler, Şekil 5.12’de verilen ebatlarda hazırlanarak kullanılmıştır. 6. sıradaki 7 çelik telli halat çarpma-kesme deneylerinde kullanılmamıştır.

Çizelge 5.10.MAT21 model Charpy ve Isod test cihazında değişiklik yapıldıktan sonraki teknik özellikler

ÖZELLİK	DEĞER		BİRİM
	Ağırlıksız	Ağırlıklı	
Sarkaç Açısı	140	140	Derece
Sarkaç Ağırlığı	9	20,5	Kilogram
Sarkacın Kinetik Enerjisi	102,2	263	Joule
Göstergedeki Her Bir Aralık Değeri	0,813	1,84	Joule
Ağırlık merkezi hızı	5,22	5,065	Metre/sn
Sarkacın Alt Noktadaki Hızı	5,35	5,35	Metre/sn
Ağırlık Merkezinin Sarkaç Merkezine Mesafesi	784	744	milimetre
Ağırlık Merkezinin Çarpma Mesafesinden Uzaklığı	41	81	milimetre
Numune Merkezi ile Sarkacın Dönme Merkezi Arasındaki Mesafe	825	825	milimetre
Numune Merkezi ile Fiziksel Çarpma Merkezi Arasındaki Mesafe	±8,5	±8,5	milimetre
Sürtünme Nedeniyle En Fazla Kayıp	0,5		Yüzde(%)

Çarpma-kesme numuneleri Charpy çarpma-kesme deney düzeneğine aşağıda Resim 5.11’de görüldüğü şekilde bağlanmış ve her numune için deneyler yapılmıştır. Numuneler mesnetlere bağlanırken bu bölgedeki enerji kayıplarının en az olması için azami özen gösterilmiş ve sıkıca bağlanmışlardır.



Resim 5.11. Deney numunelerinin düzeneğe bağlanması; a) Kesilecek tek kat telin cihaza bağlanması, b) Kesilecek 2 kat telin cihaza bağlanması, c) Kesilecek bütün kablonun cihaza bağlanmış hali [52]

5.7.4. Deney sonuçları

Deneyler kablolardan alınan tellerde en az 7 adet olacak şekilde ayarlanmıştır. Fakat kablolar bütün olarak deneye tabi tutulurken en az 3 numune deneye tabi tutulmuştur.

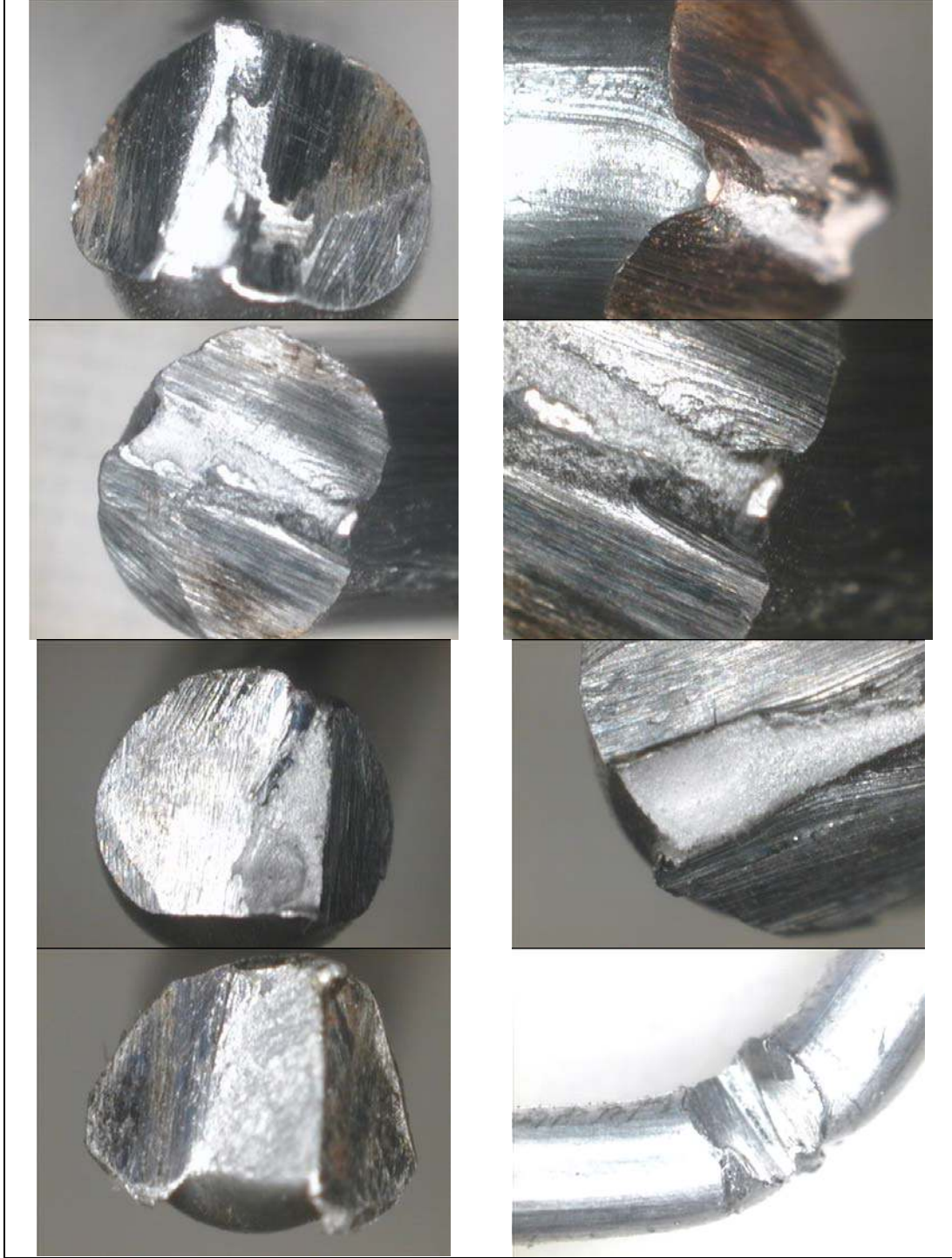
Deneylerde 2 tür sonuç elde edilmiştir. İlk olarak elde edilen sonuç çeşitli cins, kalınlık ve sayıdaki tel, tel grubu ve kablonun çarpma-kesme deneyi sonrasında tamamen iki parçaya ayrılması için gerek enerji seviyesi iken diğeri de tel ve kabloların kesilme yüzeyleridir.

Deneyde tel ve kablolar için elde edilen kesme enerjileri Çizelge 5.11'de verilmiştir. Deneyde kesilen kablo ve teller kesilme çiftleri şeklinde bir araya getirilerek muhafaza edilmiş ve kesilme yüzeyleri 200 büyütme video mikroskopta incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde elde edilen fotoğraflarda üç temel kablo malzemesi Alüminyum, Bakır ve Çelik için kesmenin karakteristik özelliklerini gösteren fotoğraflar aşağıda; Resim 5.12'de 4,26 mm çapındaki tek kat Alüminyum tel için, Resim 5.13'te 1,31 mm çapındaki tek kat Bakır tel için, Resim 5.14'te 2,36 mm çapındaki tek kat Çelik tel için, Resim 5.15'te 3,5 mm ve 2,39 mm çapındaki tek kat Alüminyum teller için, Resim 5.16'da 3,5 mm ve 2,39 mm çapındaki tek kat Alüminyum teller için verilmiştir.

Ayrıca çok telli kabloların kesilmesi ile elde edilen yüzeylerin özelliklerini gösteren fotoğraflar aşağıda; Resim 5.17'de 5,94 mm dış çaplı 7 Alüminyum telli kablo için, Resim 5.18'de 4,04 mm dış çaplı, 7 Bakır telli kablo için, Resim 5.18'de 10,40 mm dış çaplı, 7 telli Alüminyum-2 kablo için, Resim 5.19'da 7,18 mm dış çaplı, 6 Alüminyum ve 1 Çelik telden oluşan kablo için verilmiştir.

Kesme yüzeyleri incelendiğinde; malzemelerin ve kesilen kabloyu oluşturan tel sayısının farklı olmasının, kesme yüzeyinin farklı olmasına neden

olmadığı görülmüştür. Aşağıdaki Resim 5.12 ile Resim 5.19 arasındaki fotoğraflar incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir.



Resim 5.12. 4,26 mm çapındaki tek kat Alüminyum telin, çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]



Resim 5.13. 1,31 mm çapındaki Bakır tellerin çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]



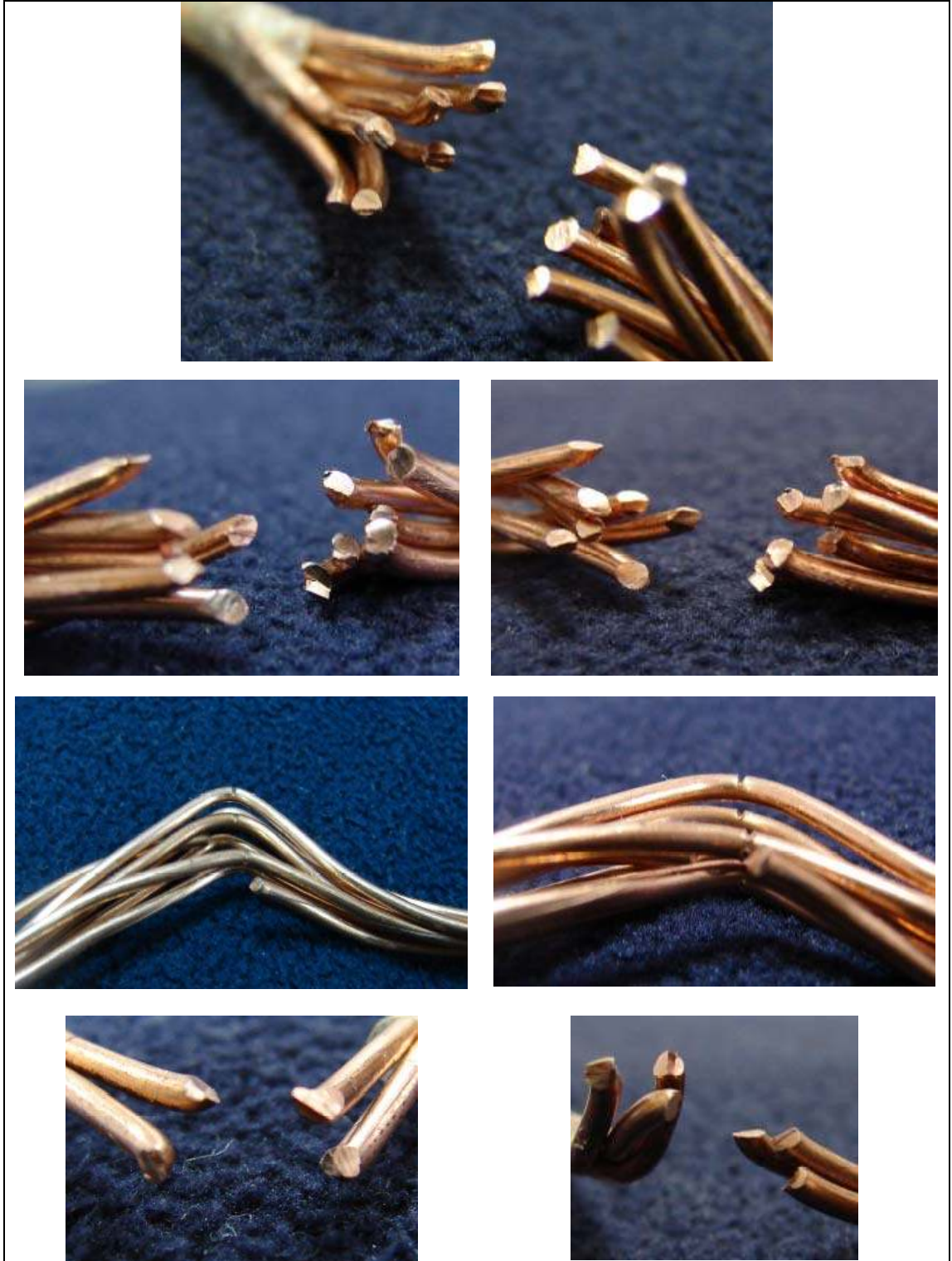
Resim 5.14. 2,36 mm çapındaki elik tellerin çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]



Resim 5.15. 3,5 ve 2,39 mm çapındaki tek kat Alüminyum tellerin çarpma kesmesi deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]



Resim 5.16. 7 Alüminyum telli 5,94 mm dış çaplı kablonun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]



Resim 5.17. 7 Bakır telli 4,04 mm dış çaplı kablounun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]



Resim 5.18. 7 Alüminyum-2 kalın telli 10,40 mm dış çaplı kablunun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]



Resim 5.19. 6 Alüminyum ve 1 Çelik telli ve 7,18 mm dış çaplı kablonun kendisinin çarpma kesme deneyinde elde edilen kesme yüzeyi fotoğrafları [52]

Çizelge 5.11’de görülen deney sonuçları, Çizelge 5.12’de görüldüğü şekle getirilerek işlenip; aşağıda Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’deki grafikler çizilmiştir.

Çizelge 5.11.Çarpma-kesme deney sonucu kesme enerjileri

		Tel Çapı (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	1. Deney Enerjisi [Joule]	2. Deney Enerjisi [Joule]	3. Deney Enerjisi [Joule]	4. Deney Enerjisi [Joule]	5. Deney Enerjisi [Joule]	6. Deney Enerjisi [Joule]	7. Deney Enerjisi [Joule]	Ortalama Enerjisi [Joule]
7 Alüminyum Telli Kablo	Tek kat tel	1,97	3,05	3,4	3,7	4,0	3,5	3,5	4,4	3,5	3,71
	2 kat tel		6,1	7,9	7,9	7,5	7,7	8,9	7,1	7,3	7,76
	3 kat tel		9,15	12,3	12,9	11,9	12,3	15,1	11,5	12,7	12,67
	Kablonun kendisi (7 tel)	5,94	21,35	33,3	31,6	31,6	30,0	39,4	34,3	32,9	33,3
6 Alüminyum 1 Çelik Telli Kablo	Tek kat Al. Tel	2,39	4,49	6,1	5,3	5,3	5,8	5,5	5,7	5,9	5,66
	2 kat Al. Tel		8,98	10,2	8,8	9,6	9,0	9,7	9,2	8,9	9,34
	3 kat Al. Tel		13,47	24,2	23,7	27,2	25,0	20,0	27,0	24,5	25,51
	Tek kat Çel. Tel	2,36	4,38	15,3	14,9	16,4	18,0	14,1	14,8	16,0	15,64
	1Çe.+2 Al. Tel		13,36	36,3	35,1	37,7	30,2	34,9	45,0	32,3	35,93
	1Çe.+3 Al. Tel		17,85	45,7	46,8	43,9	40,4	42,8	48,1	43,7	44,49
	Kablonun kendisi (1 Çe+6Al.)	7,18	31,32	226,3	210,4	220,6					219,1
7 Bakır Telli Kablo	Tek kat tel	1,31	1,35	2,6	2,2	3,2	2,6	3,2	2,6	2,9	2,76
	2 kat tel		2,7	6,3	5,6	6,7	6,1	6,1	5,7	6,0	6,07
	3 kat tel		4,05	8,1	9,2	9,0	7,0	7,8	8,8	8,1	8,29
	Kablonun Kendisi 7 Bakır tel	4,04	9,45	29,8	28,1	30,3					29,4
7 Kalın Al. Telli Kablo-2	Tek kat tel	2,5	9,62	12,3	12,3	12,3	13,1	12,7	11,8	11,4	12,7
	2 kat tel		19,24	27,1	30,7	25,0	21,5	25,7	24,7	26,7	25,91
	Kablonun Kendisi 7 Al.tel	10,40	67,34	184,2	179,1	192,9					185,4
1 Alüminyum Telli Kablo		4,26	14,25	15,7	12,0	15,0	17,0	11,4	13,2	12,4	13,81

Çizelge 5.12. Deney sonuçlarının işlenmesi

		Tel Sayısı	Tel Çapı (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Ort.Kes. Enerjisi [Joule]	Birim Alana düşen enerji [Joule/mm ²]
7 Alüminyum Telli Kablo	Tek kat tel	1	1,97	3,05	3,71	1,22
	2 kat tel	2		6,1	7,76	1,27
	3 kat tel	3		9,15	12,67	1,38
	Kablonun kendisi (7 tel)	7	5,94	21,35	33,3	1,56
6 Alüminyum 1 Çelik Telli Kablo	Tek kat Al. Tel	1	2,39	4,49	5,66	1,26
	2 kat Al. Tel	2		8,98	9,34	1,04
	3 kat Al. Tel	3		13,47	25,51	1,89
	Tek kat Çel. Tel	1	2,36	4,38	15,64	3,57
	1Çe.+2 Al. Tel	1+2		13,36	35,93	2,69
	1Çe.+3 Al. Tel	1+3		17,85	44,49	2,49
	Kablonun kendisi (1 Çe+6Al.)	1+6	7,18	31,32	219,1	7,00
7 Bakır Telli Kablo	Tek kat tel	1	1,31	1,35	2,76	2,04
	2 kat tel	2		2,7	6,07	2,25
	3 kat tel	3		4,05	8,29	2,05
	Kablonun Kendisi 7 Ba. tel	7	4,04	9,45	29,4	3,11
7 Kalın Al. Telli Kablo-2	Tek kat tel	1	3,5	9,62	12,7	1,32
	2 kat tel	2		19,24	25,91	1,35
	Kablonun Kendisi 7 Al.tel	7	10,40	67,34	185,4	2,75
1 Alüminyum Telli Kablo		1	4,26	14,25	13,81	0,97

5.7.5. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 3.1 elde edilen enerji değerleri ile deneylerde elde edilen değerler Çizelge 5.13 karşılaştırılmıştır.

C sabiti Çizelge 5.13 incelendiğinde görülmüştür ki; normal yapıda olan kabloların kendileri için (5,94 mm çapındaki 7 Alüminyum telli kablo, 4,04 mm çapındaki 7 Bakır telli kablo ve 10,40 mm çapındaki 7 Alüminyum-2 telli kablo) 1,95-2,23 aralığında olduğu görülmektedir. Kompozit yapıda olan 7,18 mm çaplı 6 Alüminyum 1 Çelik telli kablonun C sabiti ise diğerlerinden farklı

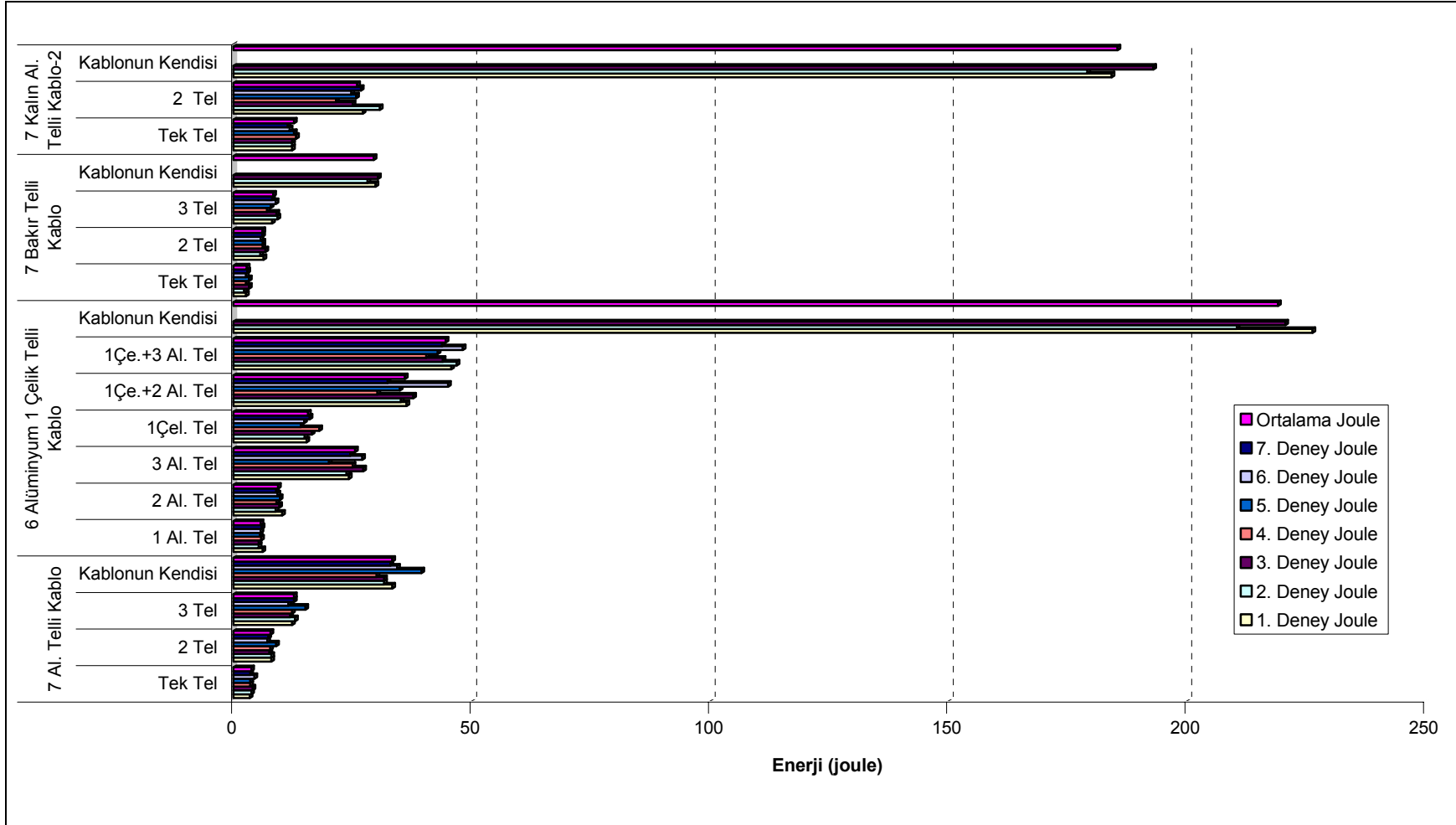
olarak 3,64 olarak gerçekleşmiştir. Bunun nedeninin de kompozit yapıdan kaynaklanma olasılığı yüksektir.

Çizelge 5.13.Kablo ve halatlar için kesme enerjisinin Eş. 3.14'e göre hesaplanması

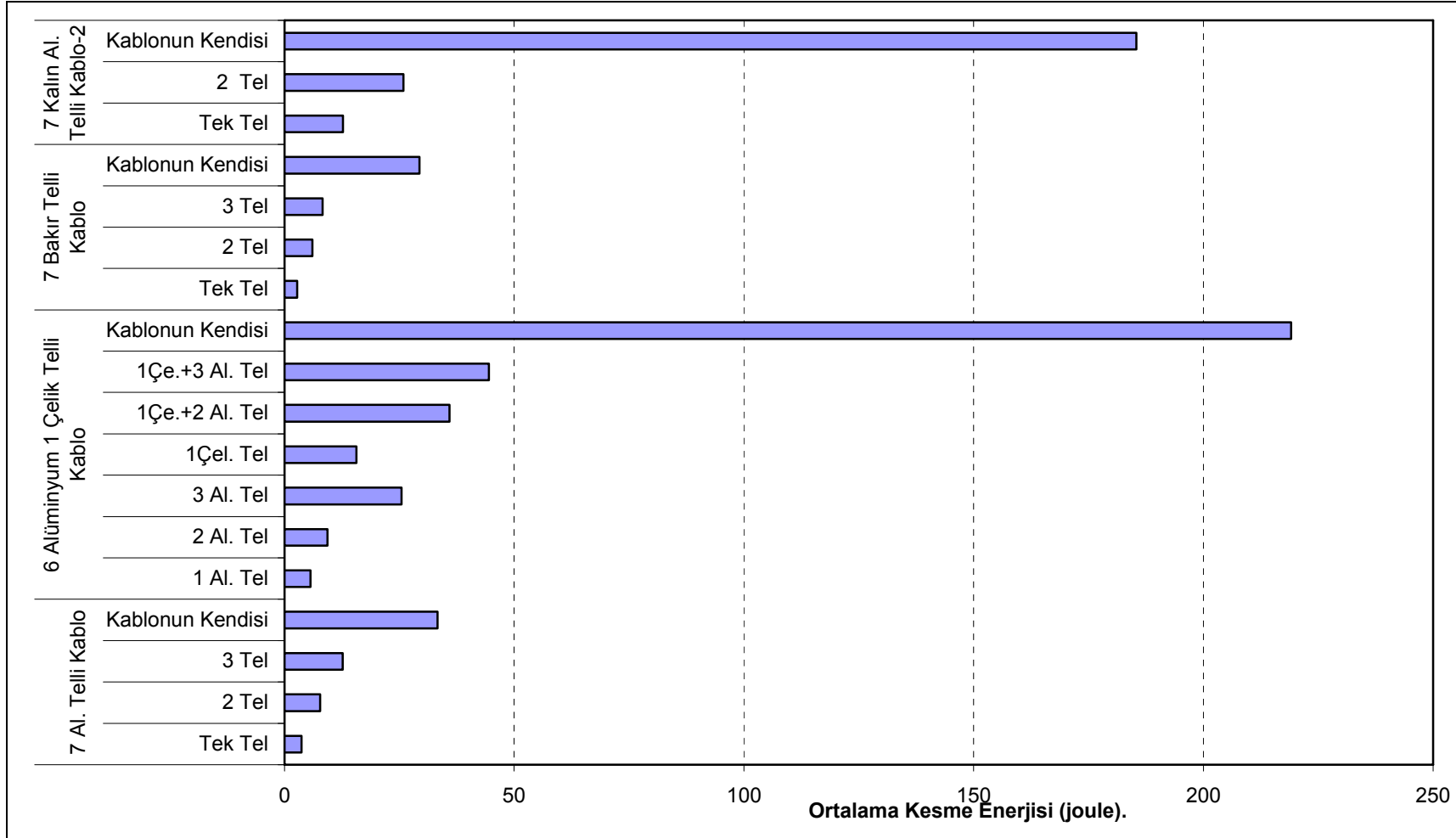
Sıra No	Kablo-Halat Çeşidi		Tel Çapı (mm)	Analitik Kes Enerjisi (Joule)	Deneyisel Kes. Enerjisi (Joule)	C sabiti	
1.	7 Al. Telli Kablo	1 tel	1,97	0,97xC	3,71	3,825	*
		Kendisi	5,94	17,1xC	33,3	1,95	**
2.	6 Al. 1 Çe. Telli Kablo	1 Al. Tel	2,39	1,7xC	5,66	3,33	*
		1 Çe. Tel	2,36	15,8xC	15,64	0,99	*
		Kendisi	7,18	60,2xC	219,1	3,64	**
3.	7 Bakır Telli Kablo	1 tel	1,31	0,637xC	2,76	4,333	*
		Kendisi	4,04	13,2xC	29,4	2,23	**
4.	1 Al. Telli Kablo		4,26	8,74xC	14,25	1,63	*
5.	7 Çe. Telli Halat	1 tel	2,13	10,9xC	-	-	
		Kendisi	6,41	172,5xC	-	-	
6.	7 Al. Telli Kablo-2	1 tel	3,5	5,5xC	12,7	2,31	*
		Kendisi	10,40	94,6xC	185,4	1,96	**

Diğer yandan tek kat Alüminyum kabloların çapı; 1,97 mm olan tel için C sabiti 3,825, çapı 2,39 mm olan Alüminyum tel için C sabiti 3,33, çapı 3,5 mm olan alüminyum tel için C sabiti 2,31 iken çapı 4,26 mm olan Alüminyum tel için C sabiti 1,63 olarak görülmektedir. Buradan da görüldüğü üzere C sabiti tek kat alüminyum tellerin çapı büyürken, ters orantılı olarak azalma göstermektedir.

Diğer yandan yukarıdaki Çizelge 5.11 ve aşağıdaki Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 incelendiğinde, sadece 6 Alüminyum 1 çelik telden oluşan kompozit yapıda olan kablounun diğerlerinden farklı olarak kendisinin birim alana düşen kesme enerjisinde bir farklılık olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeninde malzemenin kompozit yapıda olmasının yanı sıra, deneylerde kabloların mesnetlere bağlanmasından yaşanan güçlüklerden dolayı bağlama hatalarından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 5.16. Kablo türlerine ve tel sayılarına çarpma-kesme deneyi sonucunda elde edilen sonuçların dağılımı grafiği



Şekil 5.17. Kablo türlerine ve tel sayılarına göre ortalama kesme enerjisi dağılımı grafiği

5.8. Bilgisayar Modelinin Oluşturulması

5.8.1. Genel

Şimdiye kadar yapılmış olan bütün çalışmalar, helikopterlerde kullanılan kablo kesme sistemin gerçek durumu gösterecek bir bilgisayar modeli oluşturarak bundan sonraki çalışmaların bilgisayar ortamında yapılması ile ekonomik ve/veya teknik olarak yapılması zor veya imkansız olan deneme ve deneylerin yapılmasına imkan sağlamak içindi.

Bu çerçevede bilgisayar modeli oluşturmak için sonlu elemanlar tabanlı çözüm yapan ABAQUS© 6.6.1 programı kullanılmıştır.

Modellenmeye çalışılan konunun dinamik olması ve çok kısa bir zamanda gerçekleşmesi statik ve analitik çözüm yaklaşımlarını yetersiz kılmaktadır. Bu nedenle sonlu elemanlarla çözüm yönteminin avantajlarından ve günümüz bilgisayar teknolojisinin sağlamış oldu daha hassas ve hızlı çözüm imkanlarından faydalanılmaya çalışılmıştır.

5.8.2. ABAQUS© 6.6.1 programı

Sonlu elemanlar çözüm yönteminin en büyük faydalarından birisi, daha ön tasarım aşamasında iken farklı tasarım yaklaşımlarının veya kavramlarının değerlendirilmesine olanak tanımasıdır. Tasarımdaki temas, malzeme doğrusalsızlığı gibi etkilerin anlaşılması, ürün geliştirme sürecinin hayati aşamalarından birisini oluşturmaktadır. Üretim sürecindeki %5'lik bir iyileştirmenin olumlu mali getirisi olacağı aşikardır. Bu avantajlarından dolayı sonlu elemanlar çözüm yöntemleri kullanılmaktadır.

Gerçek hayattaki mühendislik problemlerinin çoğunluğu doğrusal değildir. Sadece doğrusal olduğu kabul edilerek modellenip analizler yapılarak çözüm aranmaktadır. Bu çerçevede ABAQUS© programı, gelecekteki bütün sonlu

eleman çözümlerlerinin doğrusalsız (non-linear) olacağı öngörüsüne göre geliştirilmiş ve gelişmeye devam etmektedir.

Bu çerçevede, ABAQUS© sonlu elemanlar çözüm programının, Abaqus/Standard, Abaqus/Explicit ve Abaqus/CAE şeklinde üç çekirdek yazılımı vardır.

Abaqus/Standard; statik, dinamik, ısı transferi, akustik ve bunların bağlaşımlı (çift-etkili) çözümleri için geliştirilmiş, geniş ve gelişmiş eleman, malzeme ve temas modelleme kabiliyetine sahip güçlü ve güvenilir bir Kapalı (Implicit) sonlu elemanlar çözücüsüdür.

Abaqus/Explicit; zamana bağlı dinamik ve sanki-statik problemlerin modellenmesi ve çözümlenmesi için geliştirilmiş, Açık (Explicit) bir sonlu eleman çözücüsüdür. Düşürme testi benzetimleri, çarpışma (kaza) ve ürün benzetimleri gibi yüksek derecede doğrusalsızlığın bulunduğu devinim problemlerinin çözümü için uygundur.

Abaqus/CAE; Abaqus çözücüleri için bir kullanıcı ara yüzü ortamı sağlar. Günümüz kullanıcısının ve bilgisayar ihtiyaçlarına yönelik olarak geliştirilmiş bir sonlu elemanlar Ön&Son (Pre&Post) yazılımıdır. CAE Python programlama dilini kullanmaktadır. Bu dille hazırlanacak küçük programlarla modellemeyi geliştirme imkanı sunmaktadır. Diğer çağdaş CAD yazılımlarında olduğu gibi unsur tabanlı değiştirgeçli (parametrik) modelleme kabiliyetine sahiptir. Doğrudan ve dolaylı yollardan geometriler dışardan okunabilmekte ve sadeleştirilebilmektedir. ABAQUS© 6.6.1 çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi veya son işlemi Abaqus/CAE ile yapılabilmektedir.

Abaqus; karmaşık bir montajın davranışını incelemek, kavramsal bir tasarımı anlamak, karmaşık üretim süreçlerinin benzetimini yapmak, modelleme ve

çözümlmeleri hızlı ve güvenilir bir şekilde yapabilmek için gerekli olan modelleme ve çözüm ortamını sunmaktadır.

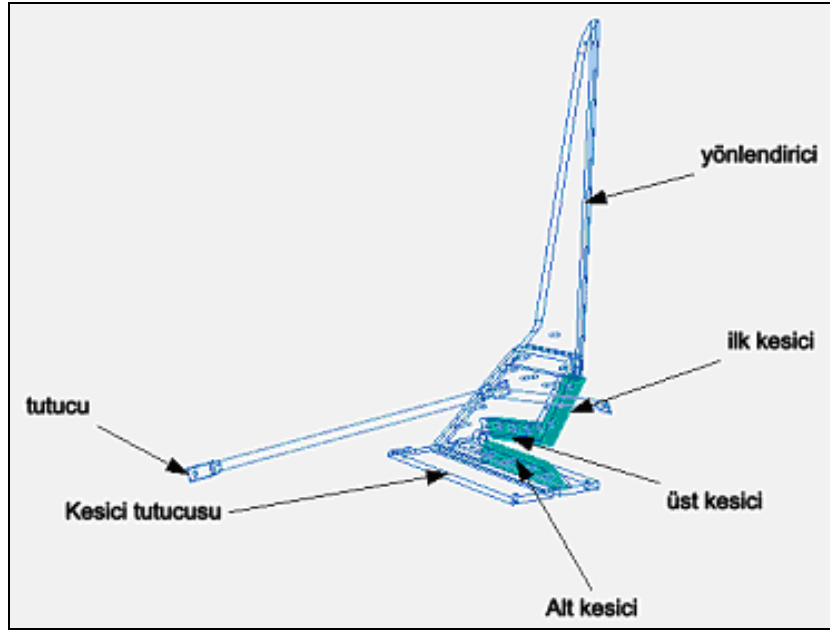
Ayrıca Abaqus; tek bir sonlu eleman yazılımı içerisinde, aynı elemanları ve malzeme modellerini kullanarak örtük (Implicit) ve belirtik (Explicit) yöntemle çözümleme yapmayı mümkün kıldığından; doğrusal ve doğrusal olmayan (non-linear) mukavemet çözümlmeleri, doğrusal ve doğrusal olmayan (non-linear) dinamik çözümlmeleri, doğal frekans çözümlmelerini, doğrusal ve doğrusal olmayan burkulma (buckling) çözümlmelerini, ileri seviye dinamik cevap (dynamic response, frequency&transient response, random response, shock response) çözümlmelerini, geostatik çözümlmeleri, ısı transferi çözümlmelerini, Elektro-Mekanik, Isıl-Mekanik, mekanizmaların benzetimlerini ve uzuvlardaki gerilme değişimlerinin hesabını, derin çekme ve geri yaylanma çözümlmelerini, ürün şekillendirme ve haddeme çözümlmelerini, SAPAT (Su Altı PATlama) ve şok çözümlmelerini, araç çarpışma ve devrilme benzetimleri gibi çözümlmeler yapılabilmektedir [61].

5.8.3. Bilgisayar modeli için katı model oluşturulması

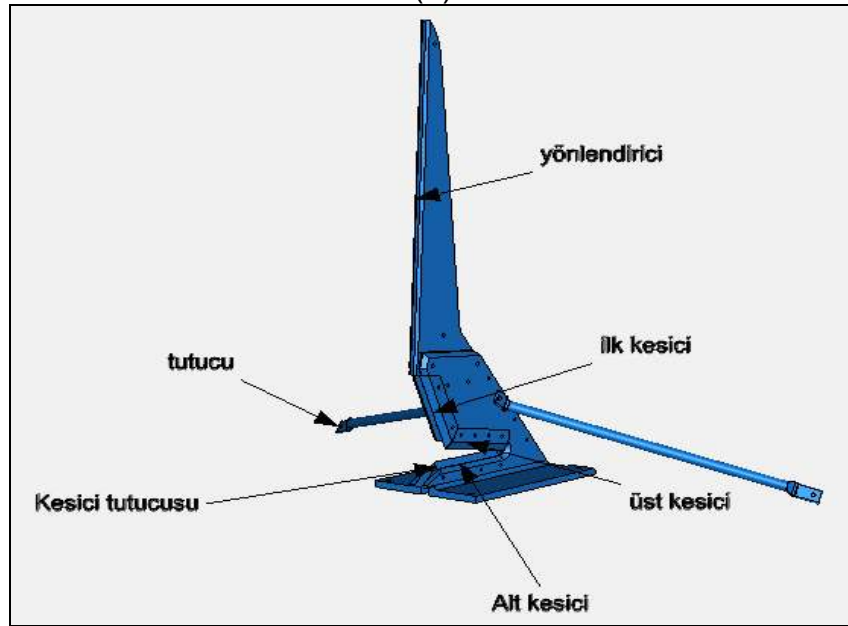
Kesicinin bilgisayar modelinin oluşturulmasına ilk önce katı model oluşturmakla başlanmıştır. ABAQUS© 6.6.1 programında karmaşık katı modeller oluşturmak diğer sonlu eleman analiz programlarına oranla daha gelişmiş olmasına rağmen CAD programları kadar gelişmiş değildir. Bu nedenle genelde karmaşık katı modeller CAD programlarında oluşturularak ABAQUS© 6.6.1'e import edilmektedir.

Kesicinin Bütün Katı Modeli

Helikopterlerde kullanılan kablo kesicilerinden bir tanesinin katı modeli tamamen ABAQUS© 6.6.1 programı kullanılarak, 8 ana parçanın katı modeli oluşturulup Şekil 5.18'de görüldüğü şekilde yine ABAQUS© 6.6.1 programında montajı yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.18. Kesicinin montajı yapılmış; a) Katı modelinin çizgisel görünümü, b) Katı modelin tam görünümü [52]

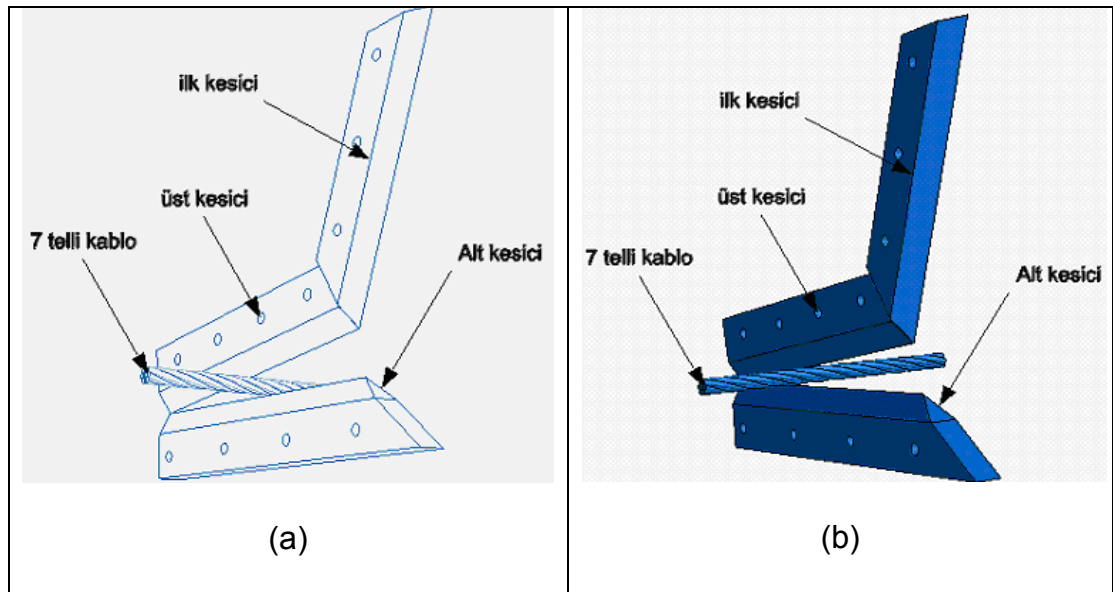
Kablonun Katı Modeli

Kablo iki şekilde modellenmiştir. İlk olarak tek bir tel şeklinde, 1 metre boyunda ve 5 milimetre dairesel çapta Şekil 5.18.a'da görüldüğü şekilde, katı

model oluşturulmuştur. İkinci olarak da; 7 adet 2,36 milimetre çapındaki teller 130 milimetre de bir hatve yapacak şekilde birbiri üzerine Şekil 5.18.b'de görüldüğü gibi bükülmesi ile oluşturulmuş 1 metre boyundaki kablo katı modelidir.

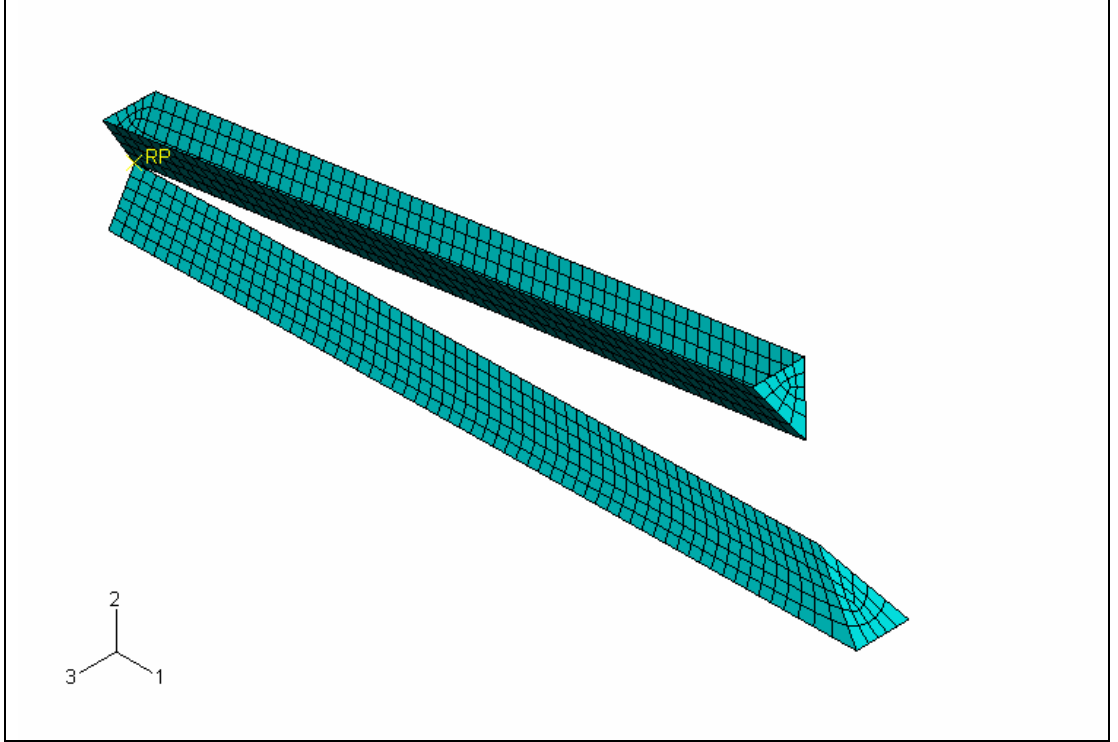
5.8.4. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması

Sonlu elemanlarla çözüm yönteminde, katı model ne kadar karmaşık ve birbirine bağlanan, birbirinden etkilenen ne kadar çok parça var ise çözüm o kadar uzun zaman almakta ve sonuçların güvenilirliği de o kadar azalmaktadır. Bu nedenle sonlu elemanlarla çözüm yönteminde modelin en basit hale getirilmesi çözüm zamanını kısaltarak sonuçların güvenilirliğini artıracaktır. Bu nedendendir ki Şekil 5.18'de verilen kesiciden yönlendirici, sağ ve sol kesici tutucusu ve tutucular kaldırılarak iptal edilmişlerdir. Şekil 5.19'da görüldüğü üzere sadece kesiciler ve kesilecek kablo modellenerek çözüm zamanının kısaltılması ve sonuçların güvenilirliğinin artırılması amaçlanmıştır.



Şekil 5.19. Katı modelin basitleştirilmiş hali; a) Çizgisel görünüm, b) Katı model görünümü [52]

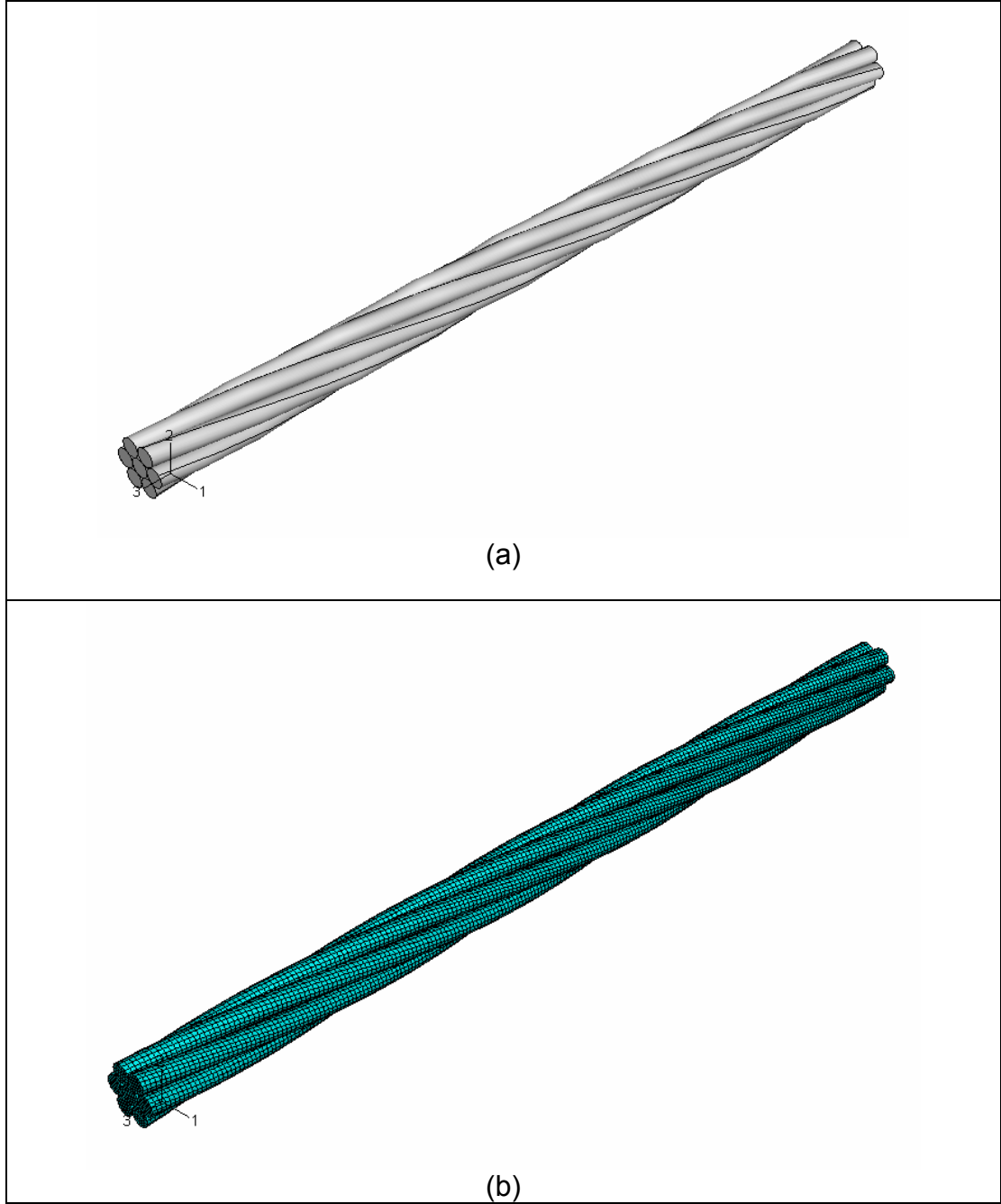
Şekil 5.19 incelendiği zaman çözüm için hala gereksiz parçalar ve yüzeyler olduğu açıkça görülecektir. Bizim amacımız esas olarak kablo kesicinin benzetilmesi olduğu için Şekil 5.19'daki ilk kesiciyi tamamen atmamız ve hatta üst ve alt kesicilerin delikli montaj yüzeylerinin yapacağımız çözümde bize ek bir bilgi sağlamayacak olmasının göz önünde bulundurulması ile ve hatta kesicilerin tamamen rijit olmasının çözüme sağlayacağı katkının göz ardı edilememesi gerektiği fark edilmiştir. Bu sebeple kesici takım Şekil 5.20'de görüldüğü şekilde basit olarak modellenmiş ve çözüm ağı örülmüştür.



Şekil 5.20. Rijit modellenmiş ve çözüm ağı örülmüş kesici yüzeyler [52]

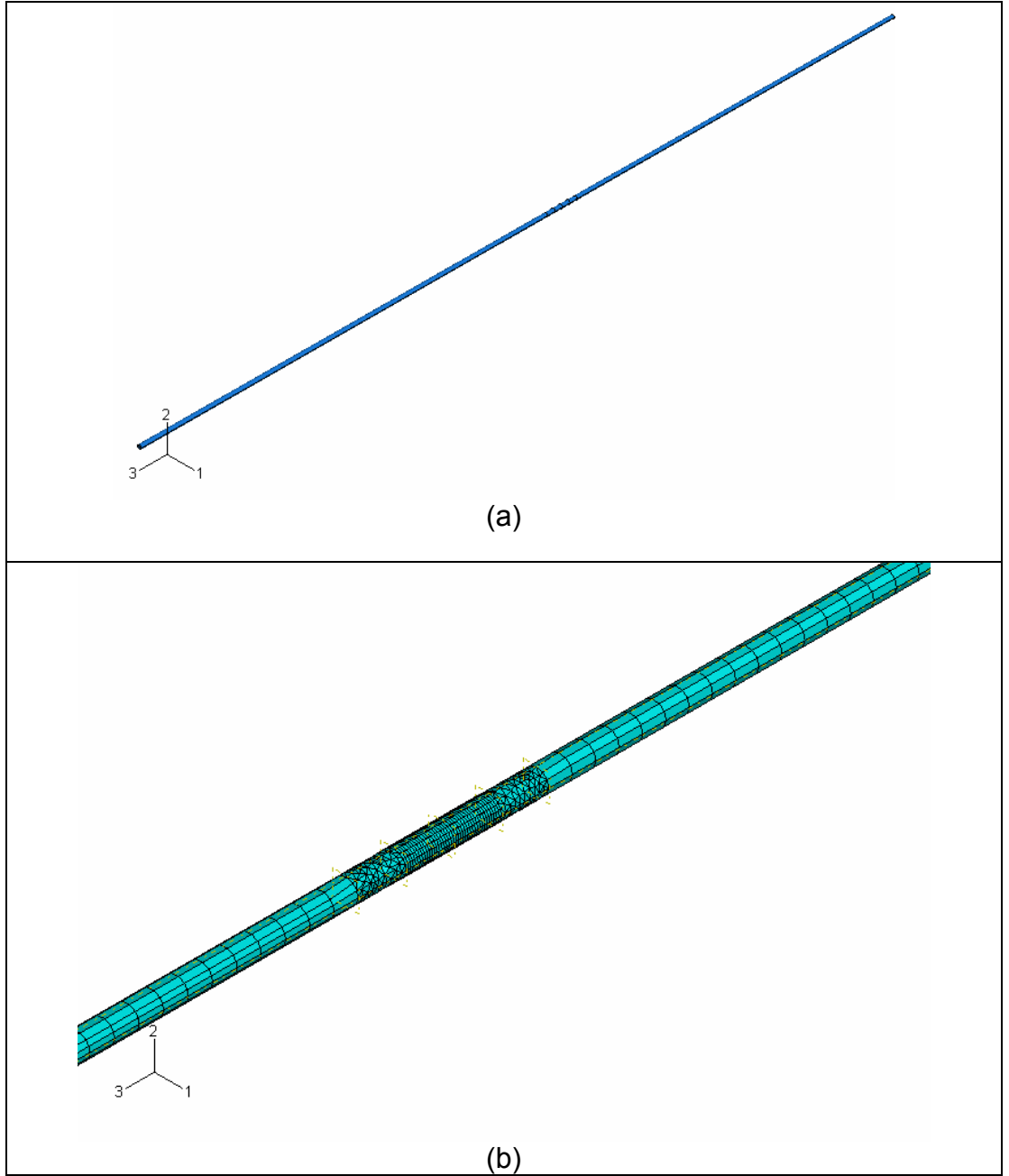
Diğer yandan kabloyu çözümlerde tek bir telmiş gibi kabul etmemiz modelin temas tanımlamalarında kolaylık sağlayacağı ve çözümü kolaylaştıracağı göz önünde bulundurularak Şekil 5.21'te görülen 7 telli bükümlü kablo yerine Şekil 5.22'de görülen dairesel kesitli telin kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Hatta bu telin bizi ilgilendiren kısmı kesicinin temas ettiği ve

teli kestiği kısmı olduğundan, kablonun sadece 30 mm'lik kısmının silindirik kablo şeklinde modellenmesine, geriye kalan kısımlarının da kiriş eleman olarak modellemesinin çözümü daha da kolaylaştıracağı düşünölmüştür. Bu sebeple şekil 5.23'te görölen kablo modeli oluşturulmuştur.



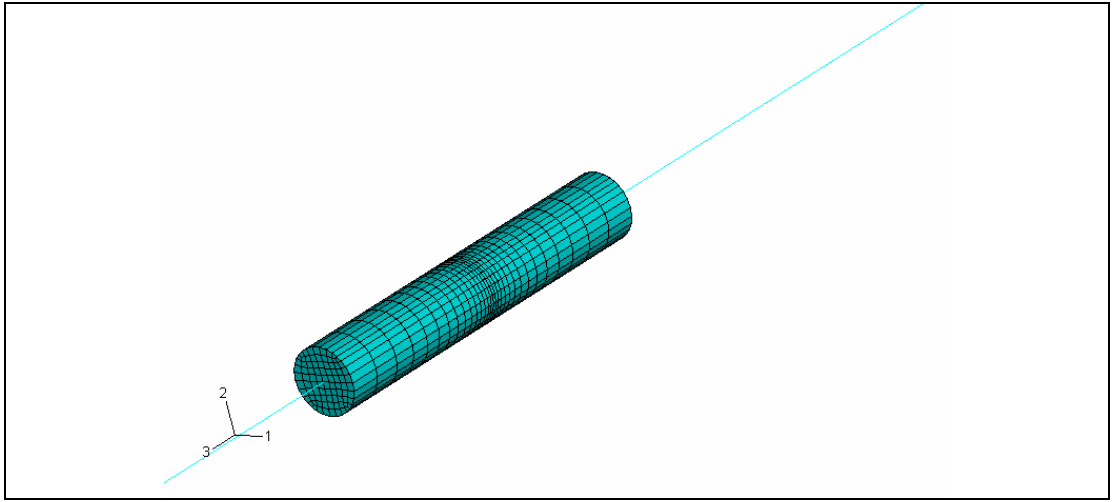
şekil 5.21. Kablonun 7 telli; a) Katı model, b) çözüm ağı ile örölmüş sonlu elemanlar modeli [52]

30 mm'lik kablo ile kiriş elemanlar, ABAQUS© 6.6.1 bağlantı elemanları kütüphanesinin yardımı ile kablo ve kiriş aynı davranacak şekilde bağlanmışlardır.

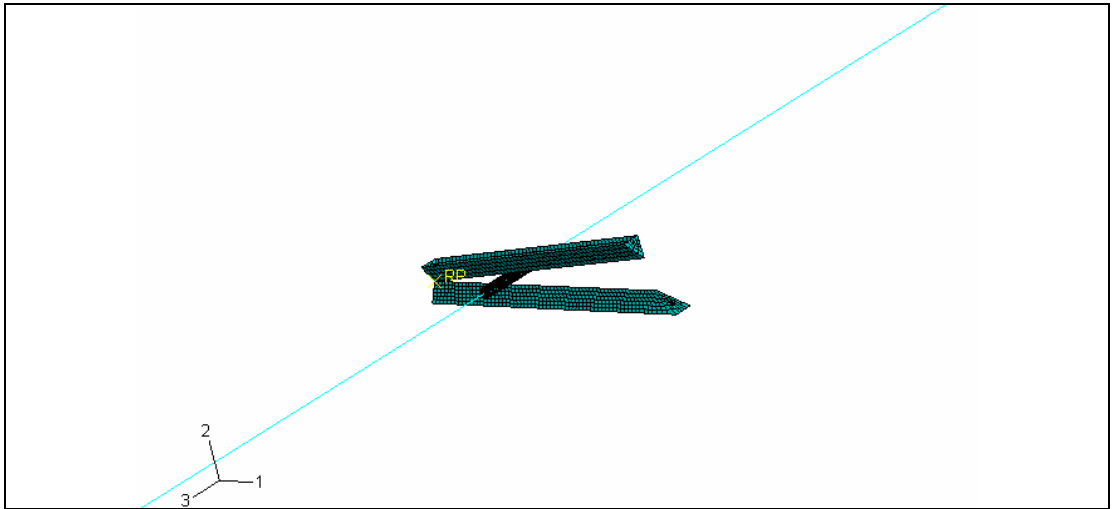


Şekil 5.22. Tek kat telin; a) Katı modeli, b) Çözüm ağı ile örülmüş sonlu elemanlar modeli [52]

Alt ve üst kesicilerin kesme işleminde kullanılan yüzeyleri dışında kalan kısımları iptal edilerek, geriye kalan kısımları da rijit olarak Şekil 5.20’de görüldüğü şekilde modellenmiş olan rijit kesici ile Şekil 5.23’de görüldüğü gibi basitleştirilen kablo, Şekil 5.24’de görüldüğü gibi montajı yapılarak çözüm ağı örülmüştür. Bu sayede günlerce süren çözümler 24-48 saat aralığına indirilebilmiştir.



Şekil 5.23. Silindirik tek kat 30 mm’lik kablonun, kiriş elemanla birleştirilmiş halinin sonlu elemanlar çözüm ağı üretilmiş durumu [52]



Şekil 5.24. Rijit kesici ve basitleştirilmiş kablonun montajı yapılmış ve çözüm ağı örülmüş son durumu [52]

Birim özellikleri

ABAQUS© sonlu elemanlar programında elde edilen çözümlerde sonuçların istenilen birimlerde olması için girdilerin ona uygun yapılması gerekmektedir. Bu sebeple ABAQUS© 6.6.1 programında kullanılacak birimler EK-5’da verilmiştir.

Malzeme tanımlaması

Abaqus sonlu elemanlar programında malzeme tanımlamaları yapmak için çekme deneyinde elde edilen sonuçlardan ve literatürde verilen malzeme bilgilerinden yararlanılmıştır.

Bu çerçevede; Alüminyum, az karbonlu çelik ve Bakır için aşağıda Çizelge 5.14’te verilmiş olan malzeme özellikleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.14. Malzemeler için özellikler [34]

Malzeme Adı	Yoğunluk (ton/mm ³) x10 ⁹	Elastisite Modülü (Mpa)x10 ³	Kayma Modülü (Mpa)x10 ³	Poizon Oranı
Alüminyum	2,71	70	26	0,33
Bakır	8,93	117	43	0,35
Az Karbonlu Çelik	7,8	205	83	0,27

Bu çerçevede malzemeler gerçek malzeme olarak kullanılmıştır. Çekme kopmanın mühendislik verileden Eş. 5.1 ve Eş. 5.2’ kullanılarak gerçek gerilme ve şekil değiştirmeleri hesaplanarak programa girilmiştir [58].

$$\sigma_g = \sigma_m \times (1 + \varepsilon_m) \quad (5.1)$$

$$\varepsilon_g = \ln(1 + \varepsilon_m) \quad (5.2)$$

Her malzeme için elastik, plastik, yoğunluk özellikleri ile hasar kriterleri tanımlanmıştır.

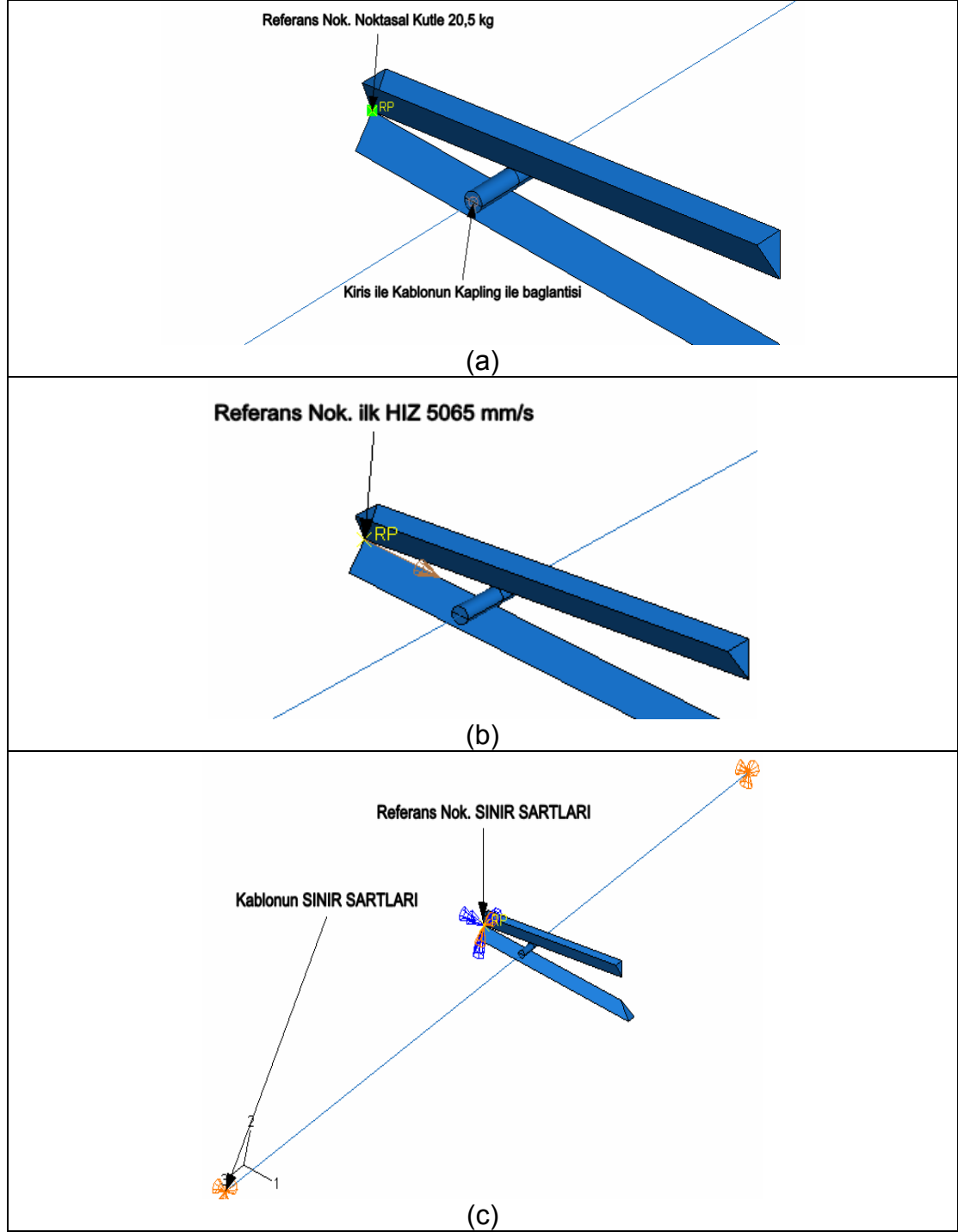
Sınır şartları ve temas tanımlamaları

Kesici takım üzerine bir RN (Referans Noktası) tanımlanmıştır. Bilgisayar modelindeki amacımız Charpy cihazında yaptığımız kesme deneyinin benzetilmesidir. Bu nedenle RN'na 20,5 kg'a eşdeğer olan 0,0205 ton noktasal kütle tanımlanmıştır. RN'nın sadece (1) yönünde öteleme hareketi yapmasına izin verilmiş bu yöndeki dönmesine izin verilmemiştir. Diğer (2) ve (3) yönündeki öteleme ve dönme hareketlerinin hiç birine izin verilmemiştir. Bunun nedeni de Charpy cihazında kesici ve kablonun bulunduğu kesme bölgesinde kesicinin sadece öteleme hareketi yaptığı kabulüdür.

Ayrıca amacımız deneyin benzetilmesi olması nedeniyle deneydeki kesicinin kesme noktasındaki hızı 5,065 m/s olduğu için bilgisayar modelinde de buna eşdeğer 5065 mm/s'lik ilk hız RN'na tanımlanmıştır. Böylelikle kesicinin bilgisayar modeli, deneydeki kesici ile benzetilmeye çalışılmıştır. Üzerine noktasal yük ve ilk hız tanımlanan RN'nı Şekil 5.25'te görmek mümkündür.

Kablonun sınır şartları; deneyde kablonun uçları (1), (2) ve (3) eksenleri yönünde öteleme hareketi yapmayacak şekilde sabitlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca (1) ve (3) eksenlerinde dönme hareketi yapmayacak şekilde sabitlenmeye çalışılmıştır. Oluşturulan bilgisayar modelinde de deney benzetilmeye çalışılarak (1), (2) ve (3) eksenlerindeki öteleme hareketleri sıfır olarak alınmıştır. Ayrıca (1), (2) ve (3) eksenlerindeki dönme hareketi serbest bırakılmıştır. Dönme hareketinin her üç ekseninde de serbest bırakılmasının temel amacı mesnet noktalarında oluşan dönme hareketlerinin kablonun kesilmesine etki etmeyeceğinin düşünülmüş olmasıdır. Modelde kablo uçlarının nasıl tutulduğu Şekil 5.25.c'de görülmektedir.

Diğer yandan deneyde ve oluşturulan bilgisayar modelinde kullanılan sınır şartlarının durumu Çizelge 5.15'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.25. Kesici ve kablo sınır şartları; a) RN'na tanımlanan kütle ve kablonun kiriş elemanlara bağlanması, b) RN'na tanımlanan ilk hız, c) Kablo uçlarına ve kesiciye tanımlanan sınır şartları [52]

Çizelge 5.15. Deney ve bilgisayar modeli sınır şartları

		KESİCİ		KABLO		Açıklama
		Öteleme	Dönme	Öteleme	Dönme	
DENEY	1 eksen	Serbest	Yok	Yok	Yok	Model ile deney arasındaki tek fark; modelde kablo uçlarının her üç ekseninde de dönme hareketinin serbest bırakılmış olmasıdır.
	2 eksen	Yok	Yok	Yok	Serbest	
	3 eksen	Yok	Yok	Yok	Yok	
MODEL	1 eksen	Serbest	Yok	Yok	Serbest	
	2 eksen	Yok	Yok	Yok	Serbest	
	3 eksen	Yok	Yok	Yok	Serbest	

Sonlu Elemanlar Çözüm Ağı Üretilmesi

İncelenen konunun çok kısa zamanda gerçekleşmesi ve dinamik olması nedenleri çözüm ağını oluşturan elemanların büyüklüğü doğru sonuç alabilmemiz için çok önem taşımaktadır bu nedenle aşağıdaki Eş. 5.6'e göre eleman ölçüleri ile zaman arasındaki bağıntı dikkate alınarak eleman boyutları ayarlanmıştır.

Elastisite modülü [55];

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E \quad (5.4)$$

Ses hızı [55];

$$C_o = V = \sqrt{E/\rho_o} \quad (5.5)$$

buradan plastik dalganın yansımaması için [55];

$$\frac{\chi}{t} = \sqrt{\frac{E}{\rho_o}} \quad (5.6)$$

Plastik dalganın elemanlardan yansıyarak geri gelmemsi için Eş. 5.6'ya dikkat edilmelidir. Bu çerçevede kesicilerin eleman ölçülerinin önemi yoktur. Çünkü rijit oldukları için hesaplamaya girmemektedirler. Kesilecek kablonun;

en küçük eleman boyutu, toplam eleman sayısı ve toplam düğüm noktası sayısı daha önemlidir. Bu çerçevede kesilecek kablo için çözüm ağı özellikleri aşağıda Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Kablo eleman ve giriş eleman için çözüm ağı değerleri

Malzeme	Çap (mm)	Eleman sayısı (adet)	Düğüm Noktası Sayısı (adet)	En küçük eleman kenarın uzunluğu (mm)
Alüminyum	1,98	1140	1488	223,914e-3
	2,39	1248	1600	188,853e-3
	3,5	1672	2093	223,99e-3
	4,26	1920	2409	233,481e-3
	5	2580	3162	248,573e-3
Bakır	1,31	1140	1488	148,147e-3
	2,62	1140	1488	248,573e-3
	4	2064	2550	233,283e-3
	5	2580	3162	248,573e-3
Az Karbonlu Çelik	2,36	1140	1488	248,573e-3
	4	2064	2550	233,283e-3
	5	2580	3162	248,573e-3
Not: Modelin çözüm ağında C3D8R hegzagonal elemanlar kullanılmıştır.				

Kesmenin (Ayrılmanın) tanımlanması

Oluşturulan sonlu elemanlar modelinde, ayrılma işlemi eleman yok etme yöntemi ile yapılmıştır [61]. Çekme deneylerinde elde edilen çekme grafikleri kullanılarak malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Buna istinaden deneylerde elde çekme grafiklerindeki plastik bölgenin sonundaki kopma değeri, elemanların yok olması için kriter olarak kabul edilmiştir.

Literatürde ayrılma işlemi; eleman yok etme, düğüm noktalarının ayrılması, ayrılabilir yapıştırıcı element tanımlama gibi yöntemler kullanılmaktadır [46-50, 60]. Abaqus programında; eleman yok etme, ayrılabilir eleman tanımlama ve çok daha profesyonel kullanıcılar içinde Vumat adı altında programlama yapılarak ayrılma tanımlanabilmektedir [61].

Hazırlanmış sonlu elemanlar modelinin özellikleri

Sonlu eleman modelimiz; bir 7°'lik kesme açısına ve 0°'lik konum açısına sahip rijit kesici ile toplam 800 mm uzunluğundaki kablo modelinden oluşmaktadır.

Kesilecek kablo modeli; ortada 30 mm uzunlu kesilebilecek şekilde modellenen kısım ile sağ ve sol tarafına 385 mm'lik kesilecek malzemenin kesit özellikleri ile aynı olan kiriş eleman tanımlanmıştır. Kiriş elemanın mekanik özellikleri olarak, kesilecek kablonun sadece elastik özellikleri tanımlanmıştır. Kesilecek kablo ile 2 adet kiriş eleman, bütün doğrultularda tek bir parça gibi davranabilmesi için, Abaqus'ün bağlantı elemanları kütüphanesinden seçilen kapling elemanla bağlanmıştır.

Rijit kesicilerin birleşim yerine bir RN tanımlanmış ve bu nokta da çarpma-kesme deneyindeki Charpy deney ağırlığı kadar noktasal ağırlık 0,0205 ton olarak tamamlanmıştır. Ayrıca Charpy deney düzeneğindeki enerji seviyesinin sağlanabilmesi için referans noktasına ilk hız 5065 mm/s olarak tanımlanmıştır.

Modelin gerçek duruma benzemesi için temas kısmında sürtünmeli ve sürtünmesiz tanımlar yapılarak analizler buna göre yapılmıştır.

Kablonun serbest kalan uçları bütün yönlerde öteleme hareketi yapmayacak şekilde tutulmuştur. Bu uçlar dönme hareketi yapabilecek şekilde serbest bırakılmıştır. Kesici takımında ise RN sadece, (1) eksen doğrultusunda öteleme hareketi yapabilecek şekilde serbest bırakılmış diğer bütün öteleme ve dönme hareketleri engellenmiştir.

Analiz

Rijit kesici ve kirişle tamamlanmış katı modelden oluşan kablo katı modeli ayrı ayrı oluşturularak, malzeme özellikleri tanımlanır, parçaların birbirine

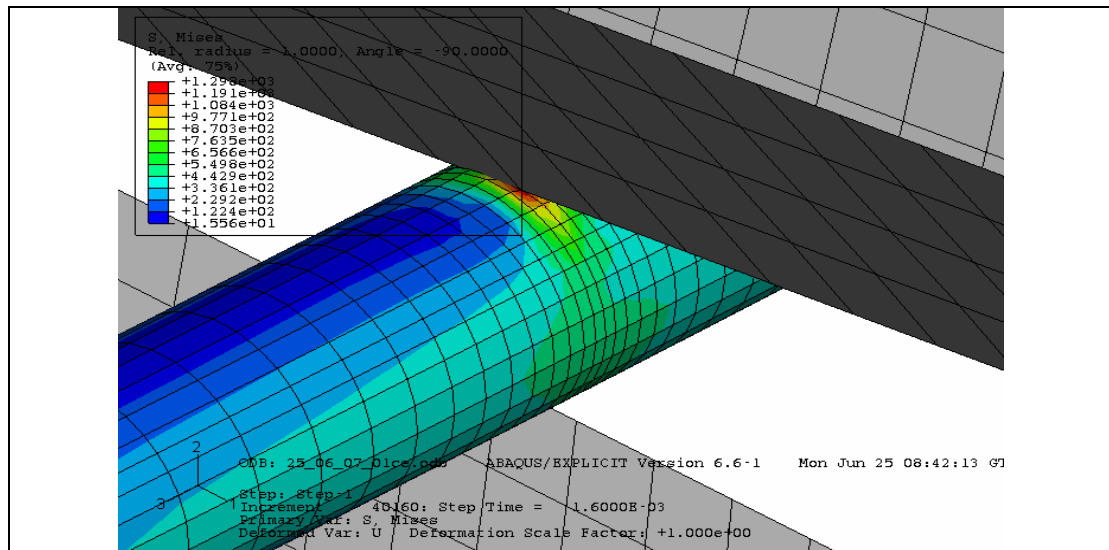
montajı yapılır, temas özellikleri ve bağlantı özellikleri tanımlanır, analizin adımları tanımlanır, sınır şartları ve yük tanımlama işlemleri model üzerinde yapıldıktan sonra, katı model üzerinde sonlu elemanlar çözüm ağı üretilir. Bütün bu işlemler tecrübe ve eğitimle gerçek durumu benzetecek şekilde daha iyi olarak gerçekleştirilebilmektedir. Son olarak hazırlanmış sonlu elemanlar modeli analize verilerek sonlu elemanlar çözümü elde edilir.

5.8.5. Analiz sonuçları

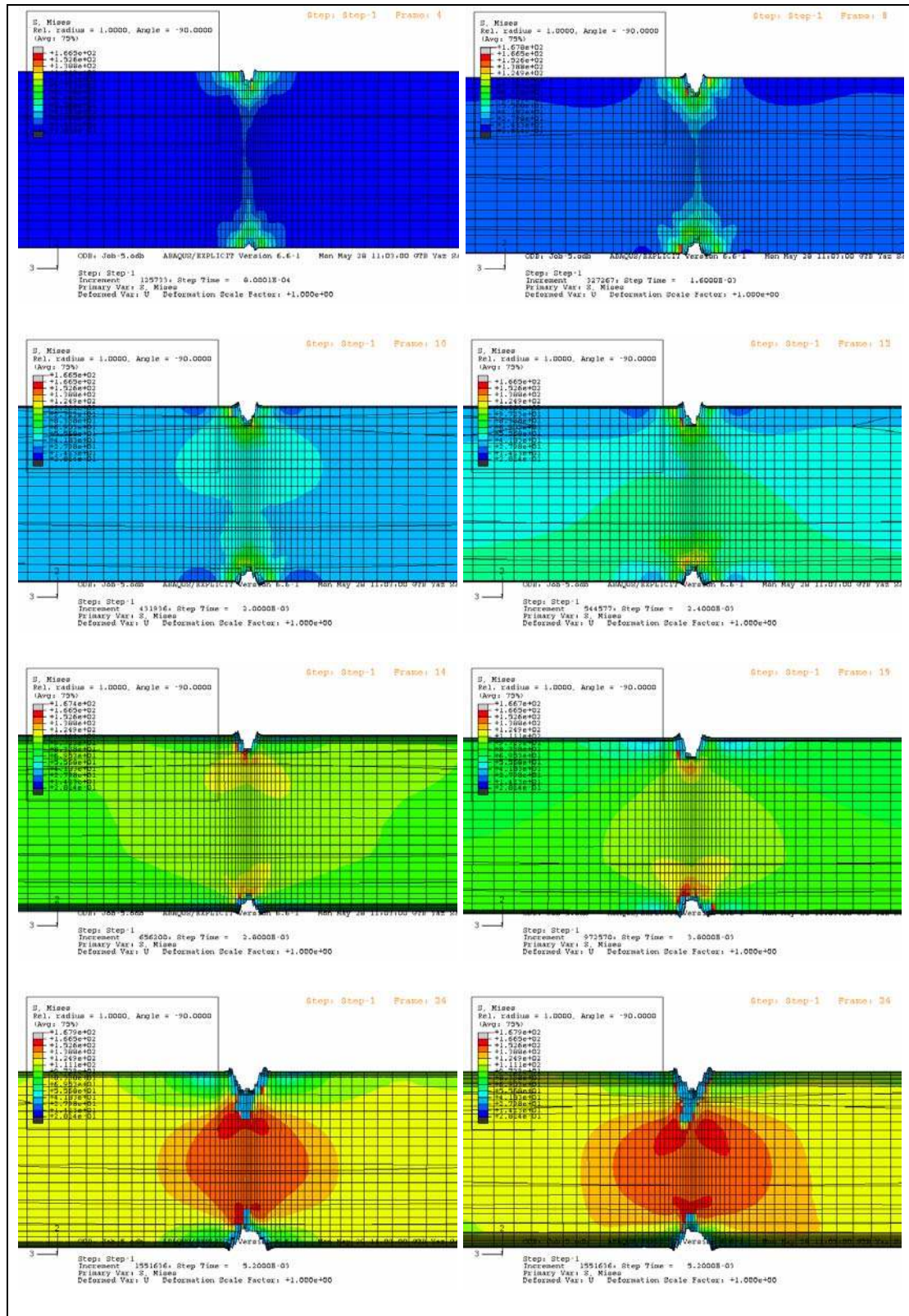
Yukarıda hazırlanan sonlu elemanlar çözüm ağı üretilmiş modeller Çizelge 5.13'te verilen sırayla analize verilmiştir.

Yapılan analizlerde 1-5 mm çap aralığındaki tellerin kesilmesinin 0,008-0,02 saniye aralığında gerçekleştiği gözlenmiştir.

Bu arada yapılan analizler sırasında kesicinin kabloya temas ettiği sırada, tel yüzeyinde oluşan ve kesiciler ilerledikçe oluşan basınç dağılımı ve metalin kesilmesi aşağıda 5 mm'lik Alüminyum tel için Şekil 5.26'da görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.27'de aynı telin kesilme aşamaların önden görünüşü görülmektedir.

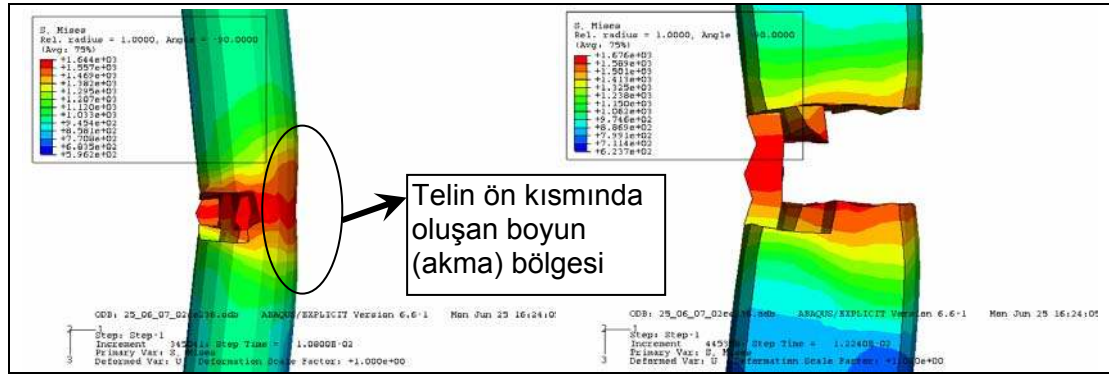


Şekil 5.26. Çapı 5 mm olan Al tele kesicinin ilk temasının görünüşü [52]

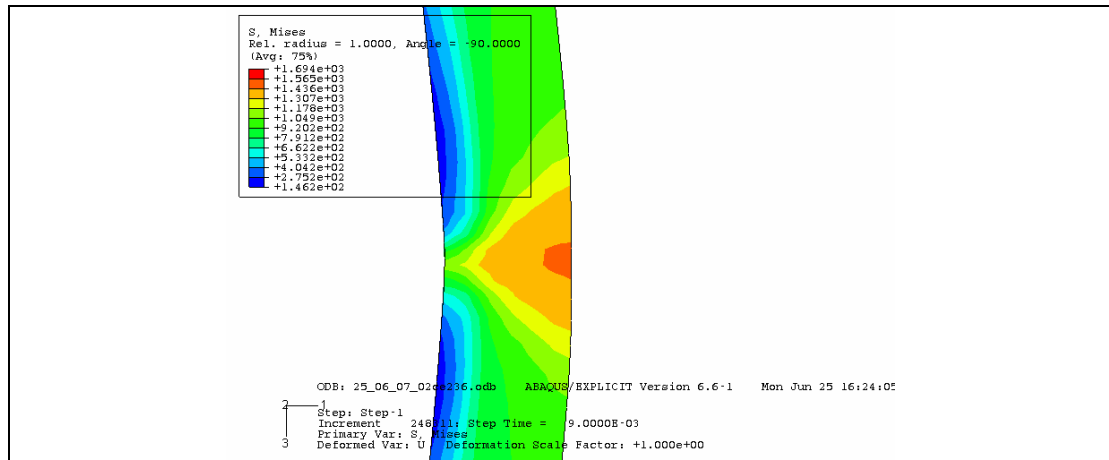


Şekil 5.27. 5 mm kalınlığındaki Alüminyum telin kesilmesinin aşamaları [52]

Aşağıda 5 mm kalınlığındaki Alüminyum telin kesilmesinin üstten görünüşü Şekil 5.28’de görülmektedir. Ayrıca telin kesilme öncesi üstten görünüşündeki basınç dağılımı Şekil 5.29’da görülmektedir.



Şekil 5.28. 5 mm kalınlığındaki Al telin kesilmesinin üstten görünüşü [52]



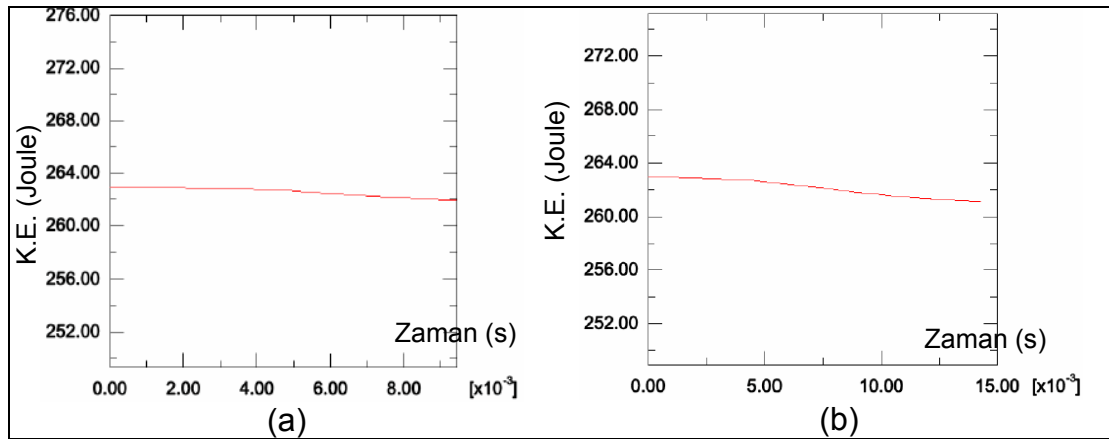
Şekil 5.29. Telin üzerindeki basınç dağılımının üstten kesit alınarak görünüşü [52]

Yapılan analizler sonucunda elde edilen ve bizim için yapılan çarpma kesmesi deneyleri ile kıyaslamak için önemli olan kesme esnasındaki kinetik enerji değişimi grafikleri Alüminyum, Bakır ve Çelik malzemeler için Şekil 5.30 – Şekil 5.41 arasında verilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen kesme için harcanan kinetik enerji değerleri aşağıda tablo halinde Çizelge 5.17’de, deneylerde elde edilen değerlerle karşılaştırılarak verilmiştir.

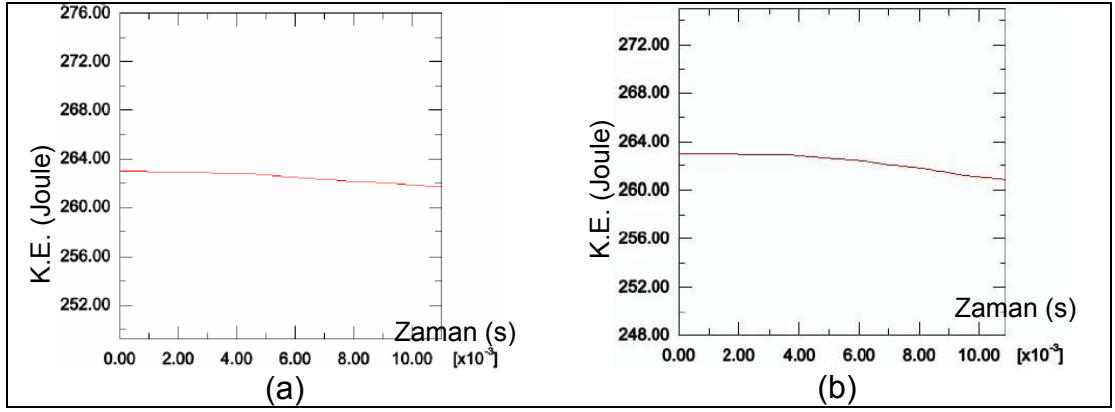
Çizelge 5.17. Analizlerde elde edilen sonuçların, kesme deneylerinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması

Mal.	Çap (mm)	Bilgisayar Benzetiminin Sürtünmesiz K.E. harcanımı (Joule)	Sürtünme katsayısı (Penaltı)	Bilgisayar Benzetiminin Sürtünmeli K.E. harcanımı (Joule)	Deneyde elde edilen Enerji harcanımı (Joule)	% Fark
Al	1,97	1,1	0,2	2	3,71	46
	2,39	1,4	0,2	2,3	5,66	59
	3,5	4,5	0,2	6,8	12,7	46
	4,26	4,5	0,2	9	13,81	35
	5	8,5	0,2	21	-	-
Bakır	1,31	0,9	0,2	1,1	2,76	105
	2,62	5,4	0,2	6,7	-	-
	4	12	0,2	23	-	-
	5	42	0,2	51	-	-
Çelik	2,36	10,5	0,2	23	15,64	-47
	4	41	0,2	90	-	-
	5	143	0,2	175	-	-

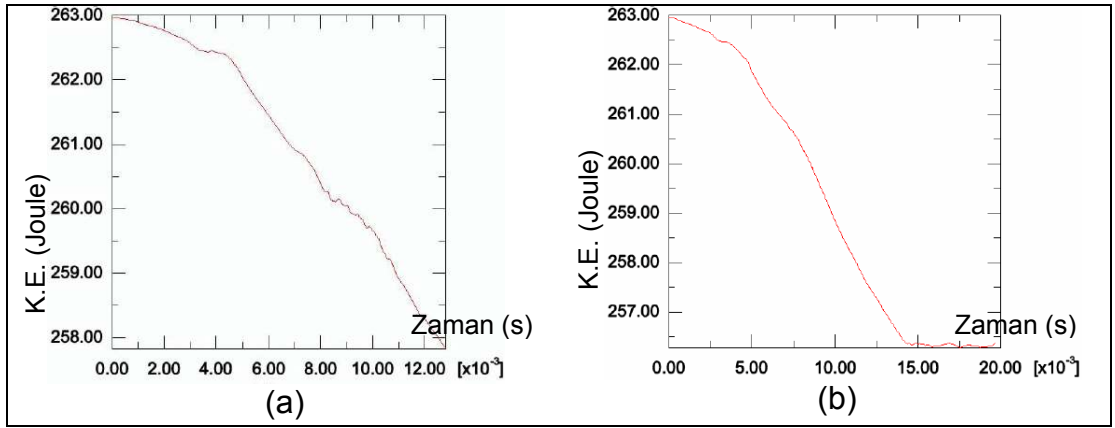
Aşağıda sırasıyla; 1,98 mm, 2,39 mm, 3,5 mm, 4,26 mm ve 5 mm çapındaki Alüminyum teller için çarpma kesmesi analizleri sonrası elde edilen kinetik enerji değişimi grafikleri, Şekil 5.30 – Şekil 5.34’te verilmiştir.



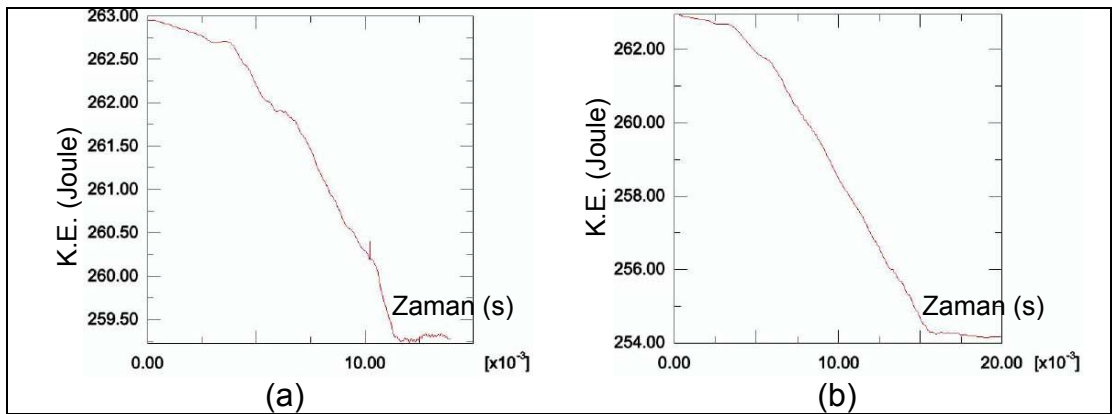
Şekil 5.30. Çapı 1,98 mm olan, Al telin kesme analizi sırasındaki K.E. değişimi; a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



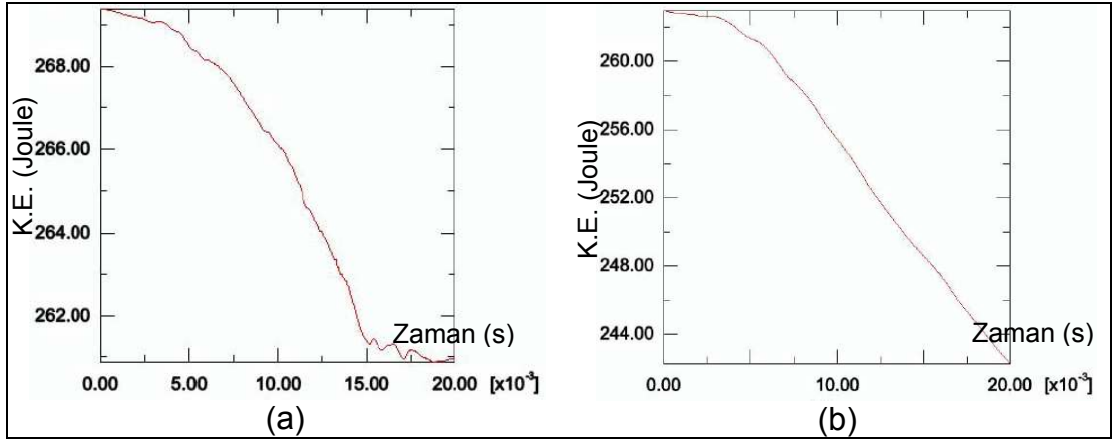
Şekil 5.31. Çapı 2,39 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



Şekil 5.32. Çapı 3,5 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



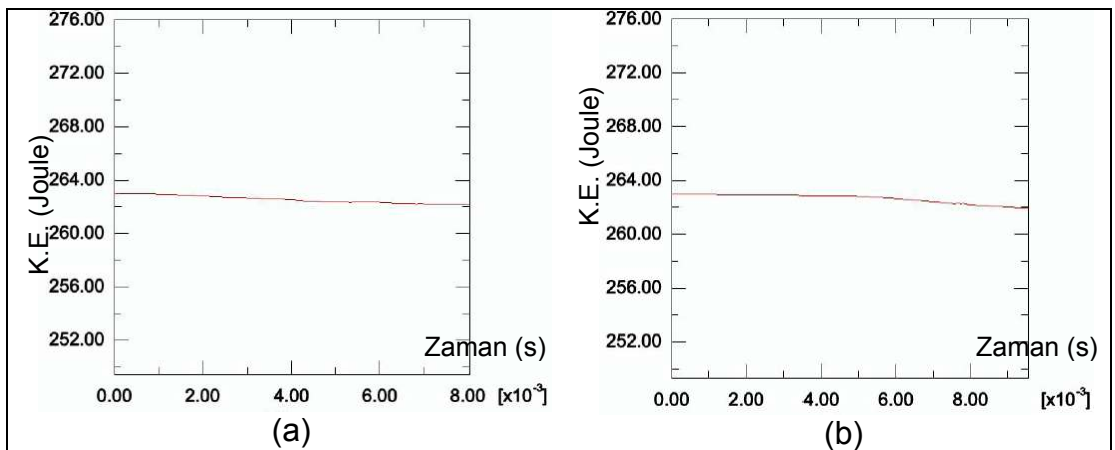
Şekil 5.33. Çapı 4,26 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



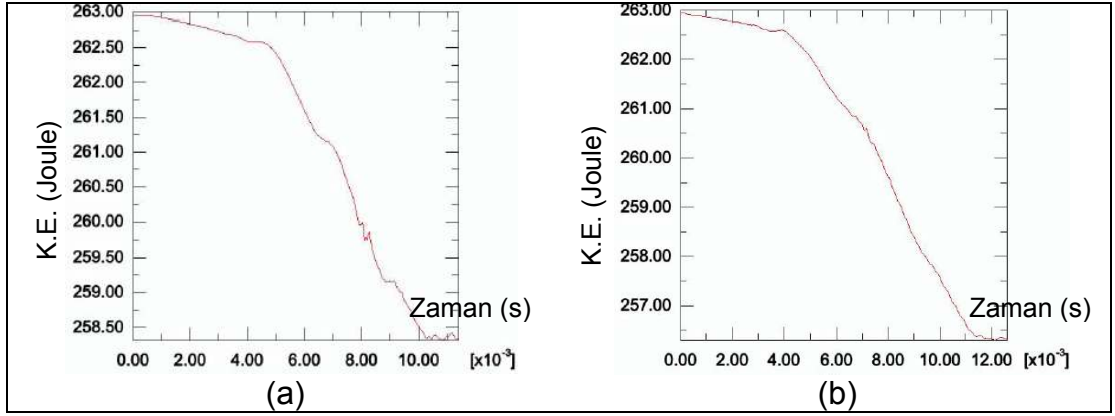
Şekil 5.34. Çapı 5 mm olan, Al telin kesme analizindeki K.E. değişimi; a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]

Aşağıda sırasıyla; 1,31 mm, 2,62 mm, 4 mm ve 5 mm çapındaki Bakır teller için çarpma kesmesi analizleri sonrası elde edilen kinetik enerji değişimi grafikleri, Şekil 5.35 – Şekil 5.38’de verilmiştir.

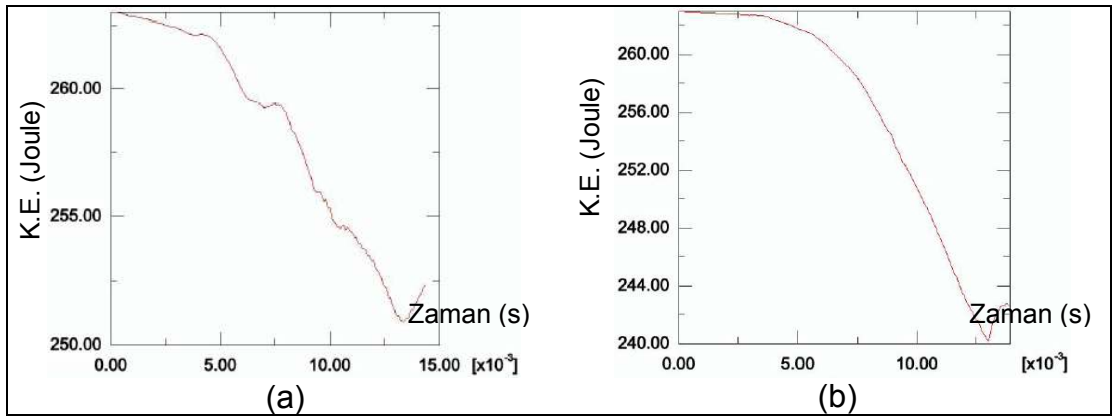
Aşağıda sırasıyla; 2,36 mm, 4 mm ve 5 mm çapındaki Çelik teller için çarpma kesmesi analizleri sonrası elde edilen kinetik enerji değişimi grafikleri, Şekil 5.39 – Şekil 5.41’de verilmiştir.



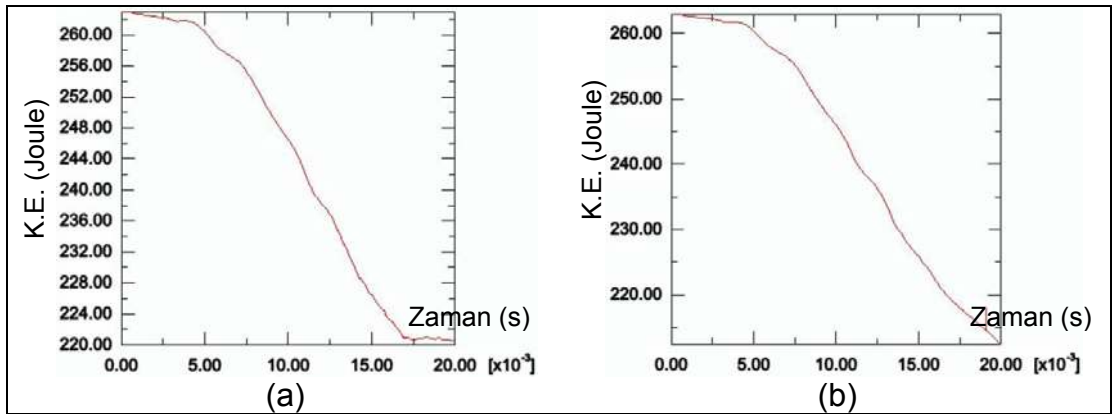
Şekil 5.35. Çapı 1,31 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi; a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



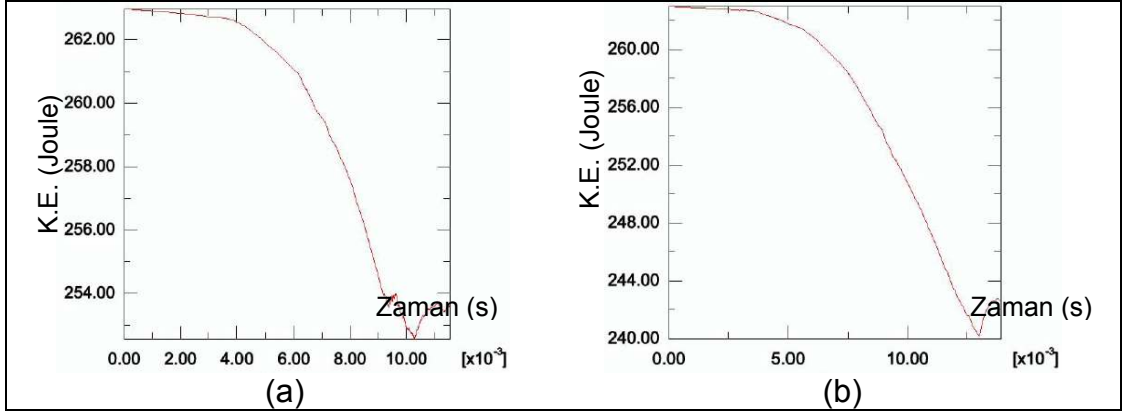
Şekil 5.36. Çapı 2,62 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



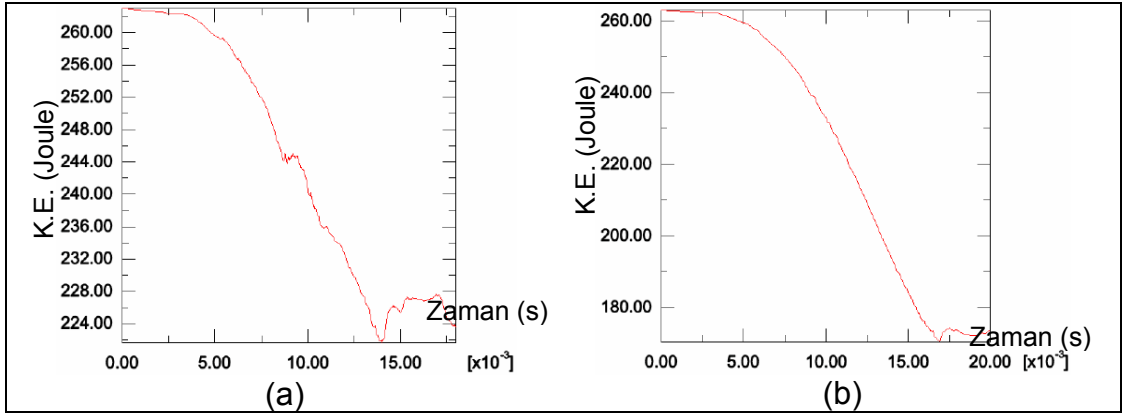
Şekil 5.37. Çapı 4 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



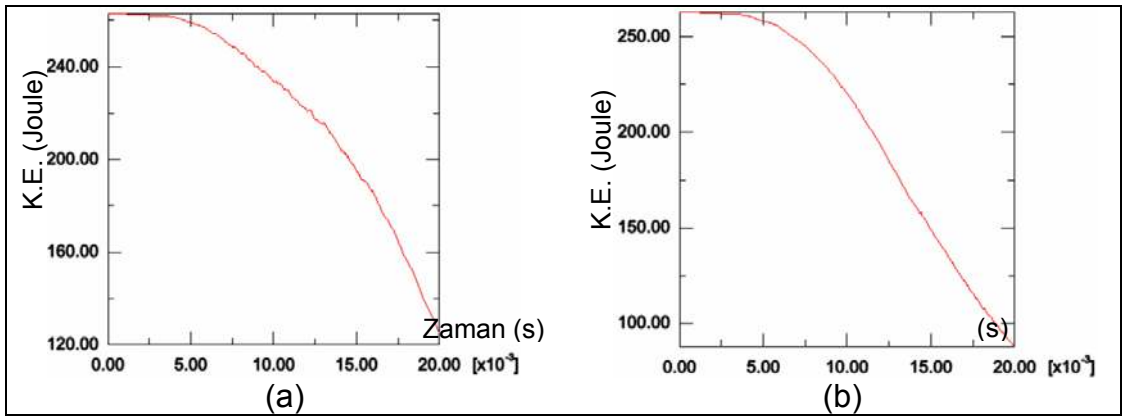
Şekil 5.38. Çapı 5 mm olan, Bakır telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



Şekil 5.39. Çapı 2,36 mm olan Çelik telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



Şekil 5.40. Çapı 4 mm olan, Çelik telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]



Şekil 5.41. Çapı 5 mm olan, Çelik telin kesme analizindeki K.E. değişimi;
a) Sürtünme tanımlanmamış, b) Sürtünme tanımlanmış [52]

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada helikopterlerde kullanılan pasif tel kesme sistemi, deneysel olarak incelenmiş ve bir bilgisayar benzetimi yapılmaya çalışılmıştır. Bu işlemleri yapabilmek için deneylerde ve bilgisayar benzetiminde faydalanabilmek için havadan elektrik iletiminde kullanılan elektrik kabloları üzerine araştırma yapılmış ve çeşitli deneyler yapılmıştır. Özellikle çekme deneyinde elde edilen sonuçlardan, kablonun bilgisayar benzetiminin oluşturulmasında faydalanılmıştır.

Tel ve kablolar için toplam, 27 adet çekme deneyi yapılmıştır. Bu çekme deneylerinde; kabloları oluşturan tellerin kopma mukavemetlerinin kablolardan yaklaşık olarak %10 ile %20 aralığında daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeninde tellerin, kabloları oluşturulurken yapılan büküm (hatve) işlemi olduğu ilgili standartlarda belirtilmektedir.

Diğer yandan çekme grafiklerinden, kablo ve halatların akma bölgesi, kablo ve halatları oluşturan tellerinkinden daha küçük olduğu görülmektedir.

Çekme deneylerinin sonuçlarının daha güvenilir olabilmesi için tel, kablo ve halatların çekme cihazının çenelerine çok dikkatli sabitlenmesi gerekmekte ve bu sabitleme işlemi için özel aparatlar üretilmelidir.

Tel ve kablolarla toplam 120 adet Çarpma-Kesmesi deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde elde edilen kesme yüzeyleri incelendiğinde; daha önceden öngörülen tel malzemenin kesme yüzeyi özellikleri ile çok benzerlikler gösterdiği görülmüştür. Bu çerçevede bıçakların temas ettiği ilk bölümlerde kayma gerilmesinin etkisi ile parlak bir yüzey olduğu, tel kesitinin orta bölgesinde ise çekme gerilmesinin etkisi ile pürüzlü bir bölge olduğu görülmektedir. Tel kesitinin ön bölgesinde ise eğilme momentinin etkisi ile bir miktar akma (boyun) bölgesi olduğu gözlenmiştir. Özellikle sünek

malzemelerde sürtünmenin etkisi ile oluştuğu düşünülen kesitin dışına doğru çapak oluştuğu gözlenmiştir.

Ayrıca kesit özellikleri, sünek ve kırılğan malzemelerin kesilmesi konusunu destekler sonuçlar vermektedir. Alüminyum ve bakır gibi sünek malzemeden tellerin kesilmesinde, kesilen yüzeylerde parlak bölgenin pürüzlü olan kopma bölgesine göre daha büyük olduğu, çelik gibi kırılğan bir malzemede ise bunun tam tersi olarak parlak bölgenin pürüzlü bölgeye göre daha küçük olduğu gözlenmiştir. Sünek malzemelerdeki boyun bölgesi kırılğan malzemelere göre çok daha belirgindir. Çelik malzemelerin ayrılmasında daha çok çekme gerilmesinin etkili olduğu açıkça görülmektedir. Bunun sebebinin çelik malzemenin mukavemetinin daha fazla olması nedeniyle daha çok yük taşıması olduğu düşünülmektedir.

Kesme deneyinde, tel sayısı arttıkça kesme enerjisi de tel sayısına oranla daha hızlı bir şekilde artığı görülmüştür. Bu durum, tel sayısı arttıkça birim alana düşen enerjinin artışından görülebilmektedir.

Tel sayısı 1'den 7'ye doğru arttığında, tellerin kesilmesi için birim alana düşen enerji miktarında önemli ölçüde artış olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin, kablonun bükümlerinin (hatve) kesicinin çarpmasından sonra bir miktar enerjiyi yutması olduğu ve ayrıca, deneylerde kablonun mesnetlere bağlanmasının yeteri kadar sağlam yapılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tek katlı dairesel kesitli Alüminyum tellerin, birim alanına düşen enerjilerine baktığımızda birbirlerine çok yakın sonuçlar olduğu görülmektedir. Bu da aynı malzemeden yapılmış farklı çaplardaki tellerin kesilmesinde gerekli olan enerjinin sadece alanla değiştiğini göstermektedir.

Kesici takımın tele temas ettiğinde oluşan basınç dağılımı, oluşturulan bilgisayar modelindeki kesici takımın tele ilk temasındaki basınç dağılımı ile çok benzer olduğu görülmektedir.

Oluşturulan bilgisayar benzetimi ile yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar ile Charpy cihazında yapılan çarpma-kesme deneylerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında her malzeme için farklı sürtünme katsayıları tanımlamak gerektiği ayrıca bunun tel kalınlıklarına göre de yeniden gözden geçirilmesi gerektiği görülmektedir. Daha çok deney verisi ile daha doğru sonuçlar elde edilebileceği ve bunlarla daha iyi bilgisayar benzetimleri oluşturulabileceği değerlendirilmektedir.

Bilgisayar benzetimi konusunda bundan sonra yapılacak çalışmalarda helikopterin de kesici ile birlikte değerlendirilmesi ile daha gerçekçi bir bilgisayar benzetimi oluşturulabilir. Bu çalışmada elde edilen bilgiler ışığında, Helikopterin tele çarpması gerçek durumuna, daha yakın şekilde benzetilebileceği düşünülmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda tek bir tel olarak modellenen kabloların, çok telli olarak modellenmesi, ayrıca kompozit özelliklerinin tanımlanması ve uzunluğunun gerçek durumda olduğu gibi iki elektrik direği arasındaki mesafede tanımlanması ve ayrıca yer çekimi etkilerinin de göz önünde bulundurulması ile gerçek duruma daha yakın sonuçların elde edilmesinin mümkün olacağı kıymetlendirilmektedir.

Ayrıca kesici takımlarında rijit yerine gerçek durumda olduğu gibi malzeme özellikleri ile tanımlanması ile sonuçların daha doğru olarak elde edilmesine katkı sağlayacağı göz ardı edilmemelidir.

Çarpma kesme testlerinde kesme esnasında tel üzerinde oluşan gerilmelerin de ölçülebilmesi durumunda elde edilen sonuçların daha sağlıklı olarak değerlendirilmesine imkan sağlayacağı, ayrıca kesme deneyi sırasında

kesme işleminin gerçekleştiği bölgenin hızlı kameralar ile çekilebilmesi durumunda kablonun nasıl kesildiği konusuna ayrı bir bakış açısı getireceği kanısındayız.

Kablo malzemelerinin özelliklerinin daha detaylı olarak tespit edilmesi ve bilgisayar modeline tanımlanması ile elde edilecek sonuçların daha doğru olacağı göz ardı edilmemesi gereken bir konu olduğu düşünülmektedir.

Yapılan analizlerde eleman boyutları ne kadar küçük tutulursa, sonuçların o kadar gerçeğe yakın olduğu görülmüştür. Fakat eleman boyutları küçüldükçe, çözüm süresi de hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu nedenle analizlerin daha iyi bilgisayarlarda yapılması çözüm zamanını kısaltacaktır.

Ayrıca analitik incelemede elde edilen değerlerin daha güvenilir olabilmesi için daha farklı çaplardaki tel ve kabloların deneylerinin daha çok yapılması ile sağlanabileceği düşünülmektedir.

Diğer yandan, diğer kablo güvenliği sistemlerine göre çok daha ekonomik olan ve etkinliği tek başına çok yeterli olmasa dahi kablo kesme sisteminin sivil ve askeri bütün helikopterlerde olması önemli ölçüdeki mal ve can kayıplarını azaltacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Johnson, W., "Helikopter Theory", **Princeton University Press**, New Jersey, 11-20 (1980).
2. Tuomela, C.H., Brennan M.F., "Civil Helicopter Wire Strike Assessment Study", **HumRRO FR-MTR(CA)-80-13**, Virginia, 1:1-58 (1980).
3. Dougghy, L., "Wire Strikes", **Aviation Safety Vortex**, 9:1-4 (1989).
4. Australian Transport Safety Bureau, "Bell 206B, VH-CSH Dunedoo, NSW", **ATSB – 200404590**, Australian, 1-61 (2003).
5. Polkinghorne, A., "Powerlines are the number one hazard for low-flying helicopters", **Flight Safety**, Australlia, 34-35 (2005).
6. Walker, M., White, S., "Wire Strike", **Flight Safety Australia**, July-August 1999, 37-38 (1999).
7. The Transportation Safeyt Board of Canada, "Wirestrike" **TSB-A95A0040**, Canada, 1-14 (1995).
8. Harris, J.S., "Data Show 50 U.S.-registered Helicopters involved in Wire-strike Accident From 1996 Through 2000" **Flight Safety Foundation Helicopter Safety**, 28 (4):1-6 (2002).
9. ARMY Aviation Risk-Management Information, "Tree strikes, you2re out!", **Flightfax**, <http://safety.army.mil>, 27 (6):1-12 (1999).
10. Jackson, K.E., Boitnott, R.L., Fasanella, E.L., "A History of Full-Scale Aircraft and Rotorcraft Crash Testing and Simulation at NASA Langley Research Center", **U.S. Army Research Laboratory**, VA, 1-22 (2003).
11. Jackson, K.E., Fasanella, E.L., "A survey of research performed at NASA Langley research cebter's impact dynamics research facility", American Institute of Aeronautics and Astronautics, **U.S. Army Research Laboratory**, VA, 1-19 (2003).
12. Jackson, K.E., Boitnott, R.L., Fasanella, E.L., "A Summary of DOD-Sponsored Research Performed at NASA Langley's Impact Dynamics Research Facility", **U.S. Army Research Laboratory**, VA, 1-13 (2003).
13. Burrows, L.T., "Investigation of Helikopter Wire Strike Protection Concep's", **USAAVRADCOM-TM-81-D-7**, **U.S. Army Applied Technology Laboratory**, Ft. Eustis, VA, 1-2 (1980).

14. Burrows, L.T., "Verification Testing of a UH-1 Wire Strike Protection System (WSPS)", **USAAVRADCOM-TR-82-D-35, U.S. Army Applied Technology Laboratory, Ft. Eustis, VA**, 1-2 (1982).
15. Türk Standartları Enstitüsü, "Metalik malzemeler – Çekme deneyi" **TS 138 EN 10002**, Ankara, 1-45 (2004).
16. Türk Standartları Enstitüsü, "Tel Halatların Muayenesi", **TS 270**, Ankara, 1-12 (1965).
17. Türk Standartları Enstitüsü, "Hava hattı iletkenleri - Yuvarlak telli eşmerkez tabakalı örgülü iletkenler", **TS EN 50182**, Ankara, 1-23 (2003).
18. Bristol Aerospace Limited, "Wire Strike Protection System Maintenance Manual", **PM-965-027A**, Manitoba, 3-16 (2005).
19. Klocke, F., "Fine Blanking", **WZL RWTH AACHEN**, Germany, 5:1-32 (2005).
20. Law, S.H., Harvey, J.D., Kruhlak, R.J., Song, M., Wu, E., Barton, G.W., Eijkelenborg, M.A.V., Large, M.C.J., "Cleaving of microstructured polymer optical fibres", **Optics Communications**, 258:193-202 (2006).
21. John, W. and Sons, "Knives and Steel", **Materials Science**, 16:1-10 (2001).
22. Ulbricht, V., Franeck, J., Schirmacher, F., Offermann, P., "Numerical Investigations for Cutting of Wires and Threads", **AUTEX Research Journal**, 3(1):9-15 (2003).
23. Chang, T.M., Swift, H.W., "Shearing of Metal Bars", **Journal of The Institute of Metals**, 78: 119–146 (1950).
24. Suliman, S.M.A., "An Experimental Investigation of Guillotining of Aluminum Alloy 5005" **Materials and Manufacturing Processes**, 16(5):673-689 (2001).
25. Murakawa, M., Lu, Y., "Precision cutting of sheets by means of a new shear based on rolling motion", **Journal of Materials Processing Technology**, 66:232-239 (1997).
26. Li, M., "An Experimental investigation on cut surface and burr in trimming aluminum autobody sheet", **International Journal of Mechanical Sciences**, 42:889-906 (2000).

27. Li, M., "Micromechanisms of deformation and fracture in shearing aluminum alloy sheet", **Int. Journal of Mec. Sc.**, 42:907-923 (2000).
28. Stegeman, Y.W., Goijaerts, A.M., Brokken, D., Brekelmans, W.A.M., Govaert, L.E., Baaijens, F.P.T., "An experimental and numerical study of a planar blanking process", **Journal of Materials Processing Technology**, 87:266-276 (1999).
29. Stegeman, Y.W., Goijaerts, A.M., Brokken, D., Brekelmans, W.A.M., Govaert, L.E., Baaijens, F.P.T., "Can a new experimental and numerical study improve metal blanking", **Journal of Materials Processing Technology**, 103:44-50 (2000).
30. Behrens, B.A., Schaeper, E., "New shearing technique with adjustable blade clearance and online blade clearance control", **Universität Hannover-Produktionstechnisches Zentrum-Schönebecker Alle 2 – D-30823 Garbsen**, 1-10 (2003).
31. Brokken, D., "Numerical modelling of ductile fracture in blanking", Doktora Tezi, **Technische Universiteit Eindhoven**, Eindhoven, 1-83 (1999).
32. Alsos, H.S., "A Comparative Study on Shell Element Deletion and Element Splitting", **Massachusetts Institute of Technology, Report No:127**, Massachusetts, 1-94 (2004).
33. Wisselink, H., "Analysis of Guillotining and Slitting, Finite Element Simulations", Doktora Tezi, **University of Twente**, The Netherlands, 1-146 (2000).
34. Linder, C., "An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Finite Element Formulation for Dynamics and Finite Strain Plasticity Models", Yüksek Lisans Tezi, **University Stuttgart**, Stuttgart, 1-115 (2003).
35. Grünbaum, M., "Influence of High Cutting Speeds on The Quality of Blanked Parts", **ERC/NSM-S-96-19**, Ohio, 1-91 (1996).
36. Fasanella, E.L., Jackson, K.E., "Best Practices for Crash Modeling and Simulation", **NASA-CASI NASA/TM-2002-211944**, Virginia, 1-93 (2002).
37. Lee, T.C., Chan, L.C., Zheng, P.F., "Application of the Finite-Element Deformation Method in The Fine Blanking Process", **Journal of Materials Processing Technology**, 63:744-749 (1997).
38. Hatanaka, N., Yamaguchi, K., Takakura, N., Takasi, I., "Simulation of sheared edge formation process in blanking of sheet metals", **Journal of Materials Processing Technology**, 140:628-634 (2003).

39. Moesdijk, R.D.V., Wisselink, H.H., Boogaard, A.H.V., Huétink, J., Bolt, P.J., Sillenkens, W.H., "Blanking by Means of the Finite Element Method", **Computational Mechanics**, Barcelona, 1-13 (1998).
40. Picart, P., Lemiale, V., Touache, A., Chambert, J., "Numerical Simulation of the sheet metal Blanking Process", **VIII International Conference on Computational Plasticity**, Barcelona, 1-4 (2005).
41. Klingenberg, W., Singh, U.P., "Finite element simulation of the punching/blanking process using in-process characterisation of mild steel", **Journal of Materials Processing Technology**, 134:296-302 (2003).
42. Mediavilla, J., Peerlings, R.H.J., Geers, M.G.D., "From ductile damage to ductile fracture in forming processes", **Eindhoven University of Technology, Section of Materials Technology**, Eindhoven, 1 (2004).
43. Goijaerts, A.M., Govaert, L.E., Baaijens, F.P.T., "Prediction of Ductile Fracture in Metal Blanking", **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, 122: 476-483 (2000).
44. Wierzbicki, T., "Fracture of Advanced High Strength Steels (AHSS)", **Impact and Crashworthiness Lab, MIT**, Massachusetts, 1-29 (2006).
45. Goijaerts, A.M., Govaert, L.E., Baaijens, F.P.T., "Evaluation of ductile fracture models for different metals in blanking", **Journal of Materials Processing Technology**, 110:312-323 (2001).
46. Poizat, C., Campagne, L., Daridon, L., Ahzi, S., Husson, C., Merle, L., "Modeling and Simulation of Thin Sheet Blanking using damage and rupture criteria", **International Journal of Forming Processes**, 8(1):29-47 (2005).
47. Komori, K., "Simulation of tensile test by node separation method", **Journal of Materials Processing Technology**, 125-126:608-612 (2002).
48. Komori, K., "Simulation of shearing by node separation method", **Computers and Structures**, 79:197-207 (2001).
49. Ko, D.C., Kim, B.M., Choi, J.C., "Finite-element simulation of the shear process using the element-kill method", **Journal of Materials Processing Technology**, 72:129-140 (1997).
50. Hambli, R., Reszka, M., "Fracture criteria identification using an inverse technique method and blanking experiment", **International Journal of Mechanical Sciences**, 44:1349-1361 (2002).

51. Jones, N., "Structural Impact", **Cambridge University Press**, Cambridge, 62-109, 217-275 (1997).
52. Çakıcı, M., Arşivinden, Ankara (2007).
53. İnternet : Global Security "Mechanical Minesweeping Chapter-8", <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/navy/nrtc/14160ch8.pdf> 8-1/8-15 (2007).
54. Lucas Aerospace, "HYDRAULIC HOIST OVERHAUL MANUAL", Product Support Department, **25-60-02, Lucas Aerospace**, Paris, 4-20 (1997).
55. Meyers, M.A., "Dynamic Behavior of Materials", Jolla, L., **John Wiley & Sons, Inc.**, New York, 1-19 (1994).
56. Griffin, D., "Sharpening a Knife", **Great Plains Veterinary Educational Center of University of Nebraska, Nebraska**, 1-10 (2004).
57. Kayalı, E.S., Eruslu, N., Ürgen, M., Taptık, Y., Çimenoğlu, H., "Hasar Analizi Seminer Notları", Metalurji Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yönetim Kurulu, **T.M.M.O.B.**, İstanbul, 2.1-2.21 (1997).
58. William, C.D., "Materials Science and Engineering An Introduction", **Wiley**, New York, 113-245 (1994).
59. Mat21, "Universal Pendulum Impact Tester", **TQ Education and Training LTD**, Nottingham England, 1-2 (2007).
60. Karabay, S., Yılmaz, M., "Alüminyum iletken imalat sanayiinde AIB2 ve AIB12 ön-alaşımlarının %99.5-%99.7Al ve AlMg0.7Si alaşımları üzerindeki iletkenlik tesirlerinin araştırılması", **Kocaeli Üniversitesi, İzmit**, 1-3 (2005).
61. ABAQUS®, "Abaqus CAE User's Manual, Theory Manual, Analysis User's Manual, Example Problems Manual", **ABAQUS Inc.**, 1-10, 20-75, 142-164, 235-304, 412-489 (2004).
62. Türk Standartları Enstitüsü, "Çelik telli halatlar", **TS 1918**, Ankara, 1-36 (1995).
63. Türk Standartları Enstitüsü, "Örgülü bakır iletkenler- hava hatları için", **TS 3**, Ankara, 1-36 (1994).

EKLER

EK-1 Bazı malzemeler için kesme direnci

Bazı malzemeler için kesme direnci çeşitli mekaniksel ve kimyasal özellikleri ile birlikte aşağıda Çizelge 1.1’de verilmiştir [35].

Çizelge 1.1. Bazı malzemeler için özellikler [35]

Malzeme	Düşük Karbonlu Çelik	Yüksek Mukavemetli Çelik	Al 2011	110 Bakır
Kalınlık	0,033”	0,054”	0,041”	0,016”
Isıl İşlem Derecesi	EDDQ	50-XF	T3	Sertlik giderme tavlaması
Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)				
C	0,003	0,07		
Mn	0,1	0,39		
P	0,006	0,006		
S	0,007	0,004		
Si	0,01	0,063		
Cu	0,01	0,02	5,5	99,90
Ni	0,02	0,01		
Cr	0,02	0,02		
Mo	0,01	0,01		
V	0,002	0,004		
Sn	0,003	0,005		
Al	0,049	0,058		
Ti	0,056			
Cb	0,001	0,01		
N	0,004	0,005		
B	0	0,0001		
Ca	0,0004	0,004		
Bi	0	0	0,4	
Pb	0	0	0,4	
O	0	0	0	0,04
Sb	0,0052	0,001		
Çekme Özellikleri				
Akma (ksi)	20,55	n/a	43	10-53
Kopma (ksi)	40,98	n/a	55	32-66
Kesme Direnci σ_s (kgf/mm ²)	~25	~32	~12	~20

EK-2 Kablo ve halatların bazı özellikleri

Havai elektrik hatlarında kullanılan örgülü Alüminyum ve bakır kablolar ile genel amaçlar için kullanılan çelik telli halatların bazı tarifleri aşağıda verilmiştir.

Sert Çekilmiş Tel: Elde edilebilen maksimum çekme dayanımına ulaşacak biçimde nihai boyuta kadar soğuk çekilmiş teldir.

Eşmerkez Tabakalı Örgülü İletken: Merkezdeki damarının çevresine, tersyönlerde helis biçiminde sarılmış, bir veya birden fazla bitişik tel tabakalarından meydana gelen iletkenidir.

Örgülü İletken: Aynı anma çaplı birkaç dairesel telin beraber bükülmesiyle oluşan dairesel bir iletkenidir.

Adım Yönü: Sağ el veya sol el olarak tanımlanır. Sağ el adımı, teller, iletken düşey konumda tutulduğunda Z harfinin orta bölümünün yönüne uygun olur. Sol el adımı, teller, iletken düşey konumda tutulduğunda S harfinin orta bölümünün yönüne uygun olur.

Adım Uzunluğu: Örgülü bir iletkende tek bir tel tarafından oluşturulan helisin tam bir turunun eksenel uzunluğudur.

Adım Oranı: Örgülü bir iletkende adım uzunluğunun, tellerin tabakasına karşılık gelen dış çapına oranıdır.

Anma Değeri: Toleranslarla birlikte bir iletkenin veya bir iletken bileşeninin ölçülebilir özelliğinin adı veya tanımlı değeridir. Anma değerleri hedeflenen değerler olmalıdır.

Tel: Çapı her yerinde belirli toleranslar içinde aynı olan, daire kesitli metal çubuk (filmaşın) veya ince filamana denir.

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

Çelik Oranı: Alüminyum-çelik kompozit iletkenlerinde A_x/S_{yz} iletkenlerinde yüzde cinsinden çelik alanının alüminyum alanına oranıdır.

Beyan Çekme Dayanımı: Bileşen tellerin belirtilen çekme özellikleri kullanılarak hesaplanan iletkenin tahmini kopma yüküdür. [17, 62]

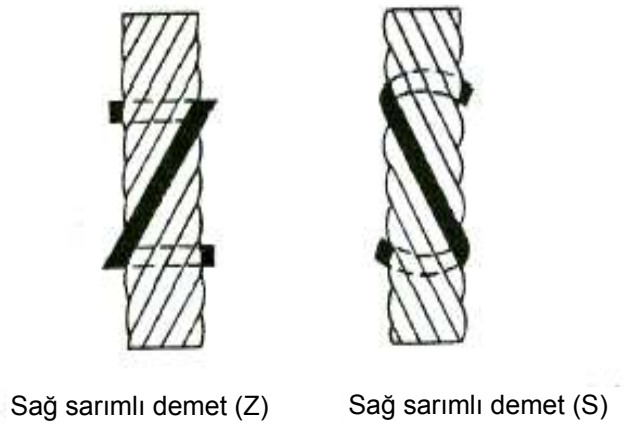
Halat (çelik telli): Lif veya çelik bir öz etrafına, bir veya birkaç kat halinde helisel sarılmış halat demetlerinin meydana getirdiği bir mamuldür.

Demet: Bir öz etrafına bir veya birkaç kat halinde helisel sarılmış en kesiti yuvarlak, üçgen veya oval biçimde olan, çelik teller topluluğudur.

Öz: Halatlarda, etrafına demetlerin, demetlerde ise etrafına demet tellerinin sarıldığı göbek kısmıdır.

Kablo ve halatlar ile ilgili diğer tarifler için ilgili standartlara bakılmalıdır.

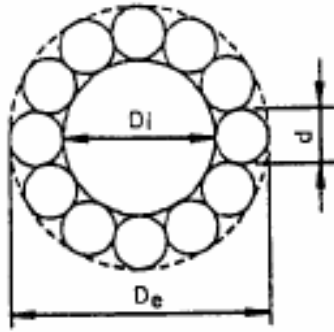
Çok katı kablo ve halatların büküm yönlerine göre isimlendirilmesi aşağıda Şekil 2.1’de görülen hatve yapısına göre yapılmaktadır.



Şekil 2.1. Kablo ve halatların Sağ (Z) ve Sol (S) büküm yönleri şekilleri [62]

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

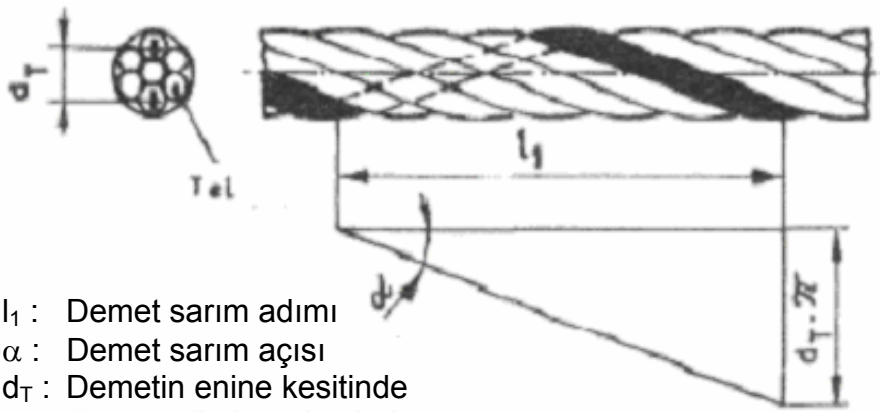
Kablo ve halatları oluşturan demetlerde tel çapı aşağıda Şekil 2.2'de de görüldüğü üzere (d) ile demetin çapı (D_e) ile ve iç tabakanın çapı (D_i) ile gösterilmektedir.



D_e : Kablo (demet) Çapı
 D_i : İç Tabaka Çapı
 d : Tel (damar) çapı

Şekil 2.2. Kablo demetinin kesit görünüşü [62]

Demet sarım adımı Şekil 2.3'te görülen parametreler ile aşağıdaki trigonometrik denklem ile hesaplanabilir.



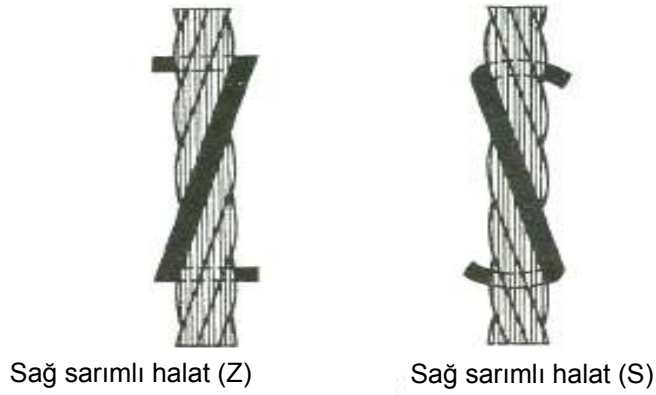
l_1 : Demet sarım adımı
 α : Demet sarım açısı
 d_T : Demetin enine kesitinde demet telleri merkezinden geçen dairenin çapı, (mm)

Şekil 2.3. Kablo demetinin sarım açısı

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

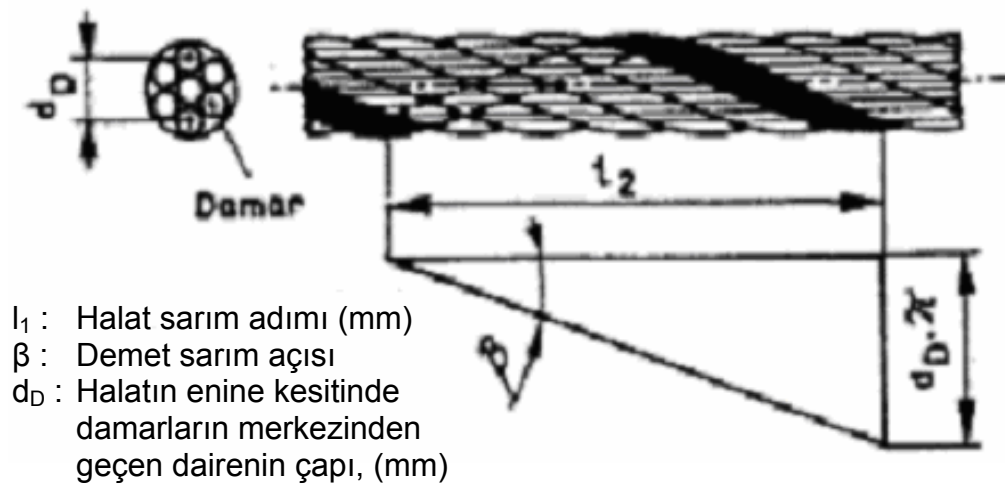
$$\tan \alpha = \frac{d_T \times \pi}{\lambda_1} \quad (2.1)$$

Halat demetleri de kendi aralarında demetlerde olduğu gibi ve aşağıda Şekil 2.4'te görüldüğü gibi Sağ sarımlı olarak sarılırlar.



Şekil 2.4. Halatta demetlerin kendi arasında sağ (Z) ve sol (S) sarımları [62]

Halatlarda demetlerin sarılması ile oluşan halat sarım açısı aşağıdaki Şekil 2.5'ten faydalanarak aşağıdaki trigonometrik denk ile hesaplanabilir.

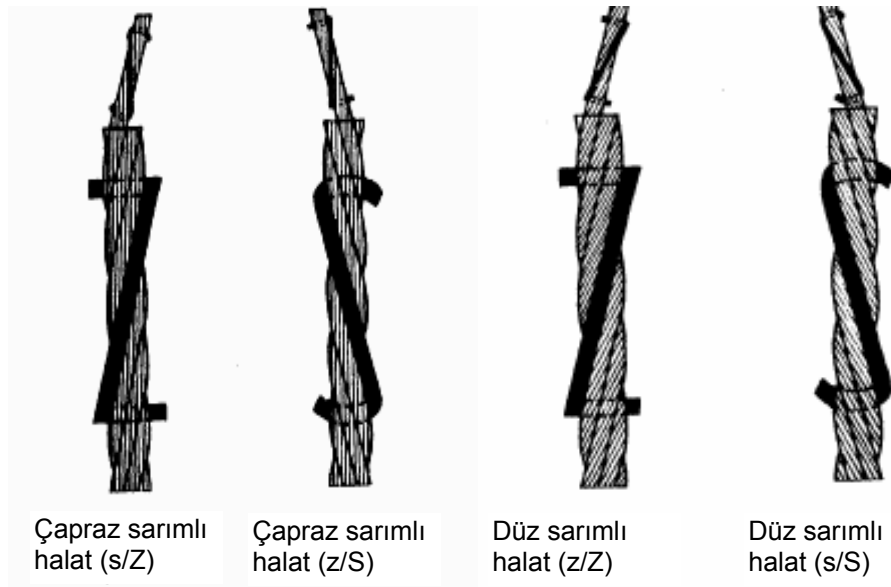


Şekil 2.5. Demetlerin sarılması oluşan halatın adım ve sarım açısı [62]

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

$$\tan \beta = \frac{d_D \times \pi}{\lambda_2} \quad (2.2)$$

Demetlerin kendi üzerine ters ve düz sarılması ile sarılması sonucu aşağıda Şekil 2.6'da görülen yapı elde edilmiş olur.



Şekil 2.6. Halat demetlerinin sarılması sonucu oluşan halat yapıları [62]

Örgülü bakır iletkenlerin adım oranları aşağıdaki Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Örgülü bakır iletkenlerin tabaka adım/metre oranları [63]

İletkendeki Tel Sayısı	6 Telli Tabaka		12 Telli Tabaka		18 Telli Tabaka		24 Telli Tabaka	
7	13	17	-	-	-	-	-	-
19	10	17	10	16	-	-	-	-
37	10	17	10	16	10	16	-	-
61	10	17	10	16	10	16	10	16

Örgülü bakır iletkenlerin mekanik, elektriksel ve imalat özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.2'de verilmiştir.

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

Çizelge 2.2. Örgülü Bakır iletkenin imalat ve teknik özellikleri [63]

İletken Kesit Alanı (mm ²)		İletkendeki Tel Sayısı/Tel Çapı	Yaklaşık ³⁾ Dış Çap (mm)	Yaklaşık Kütle (Kg/km)	Hesaplanmış Minimum Kopma Yüğü (kN)	Hesaplanmış 20°C'de d.a. Direnci (Ω/km)
Anma	Teorik ²⁾					
10	9,57	7/1,32	3,96	85,8	3,96	1,915
16	15,88	7/1,7	5,10	142,4	6,50	1,154
25	24,70	7/2,12	6,36	221,4	9,99	0,742
35	34,35	7/2,5	7,50	308,0	13,91	0,534
50	49,47	7/3,0	9,00	443,5	19,57	0,369
50	48,33	19/1,8	9,00	436,3	19,36	0,384
70	67,05	19/2,12	10,60	605,2	26,55	0,275
95	93,25	19/2,5	12,50	841,7	36,93	0,198
120	116,98	19/2,8	14,00	1056	45,27	0,158
150	145,78	37/2,24	15,68	1320	57,73	0,127
185	181,59	37/2,5	17,50	1644	71,91	0,102
240	240,34	61/2,24	20,20	2179	95,17	0,077
300	299,38	61/2,5	22,55	2715	118,56	0,062

1) Çizelge, Ek-B'deki esaslara göre hazırlanmıştır.
2) Teorik kesit alanı, müstakil bileşen tellerinin kesit alanlarının toplamıdır.
3) Bu sütundaki değerler bilgi için verilmiştir.

Örgülü bakır iletkenlerin diğer özellikleri için ilgili Türk Standardına bakılmalıdır.

Genel amaçlı çelik halatların yapım özellikleri, mekanik özellikleri ve yapım şekilleri detaylı olarak TS 1918 standardında verilmiştir. Aşağıda Çizelge 2.3'te demetteki tel sayılarına göre halat çeşitleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Demetteki tel sayılarına göre halat çeşitleri [62]

Halat Yapım Çeşidi	Açıklamalar
6x7	Halat 6 demetli. Demetler 3 ila 14 telden meydana gelmiş. Dış tel sayısı en fazla 9
6x19	Halat 6 demetli. Demetler 15 ila 26 telden meydana gelmiş. Dış tel sayısı en fazla 12.
6x37	Halat 6 demetli. Demetler 27 ila 49 telden meydana gelmiş. Dış tel sayısı en fazla 18.
8x19	Halat 8 demetli. Demetler 15 ila 26 telden meydana gelmiş. Dış tel sayısı en fazla 12.
19x7 ve 18x7	Halat 19 demetli. Her demet 7 telli, 7x7 kompozisyonlu sol düz, iç halatın 12 demete sağ çapraz olarak örülmesiyle imal edilir. İçteki çelik öz demet yerine lif öz kullanıldığında 18x7 elde edilir. Çapraz tork özelliğiyle bunlar dönmez (Nuflex) halatlardır.

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

Halat yapımında kullanılan tellerin anma dayanımlarına göre çekme dayanımları aşağıda Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Halat imalatında kullanılan tellerin anma dayanımlarına göre çekme dayanımları [62]

Tel Anma Çapı DN mm	Tel Anma Dayanımı, N/mm ² (kgf/mm ²)	
	(160) 1570	(180) 1770
	Çekme Dayanımı, N/mm ² (kgf/mm ²)	
0,19 - 0,50 (dışında)	(160 - 200) 1570 - 1961	(180 - 220) 1770 - 2157
0,50 - 1,00 (dışında)	(160 - 196) 1570 - 1922	(180 - 215) 1770 - 2118
1,00 - 2,00 (dışında)	(160 - 193) 1570 - 1893	(180 - 213) 1770 - 2089
1,50 - 2,00 (dışında)	(160 - 190) 1570 - 1863	(180 - 210) 1770 - 2059
2,00 ve daha çok	(160-187) 1570-1834	(180-207) 1770-2030

Halatlarda aksi belirtilmedikçe imalat sağ sarımlı yapılır. Halatlar ile ilgili olarak daha fazla bilgi için ilgili standarda bakılmalıdır.

Hava hattı kabloları için sert çekilmiş alüminyum tellerin çekme dayanımları aşağıda Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Hava hattı kabloları için sert çekilmiş alüminyum tellerin çekme dayanımı [62]

Anma çapı		En küçük çekme dayanımı (MPa)
Üzeri (mm)	kadar ve dahil (mm)	
-	1,25	200
1,25	1,50	195
1,50	1,75	190
1,75	2,00	185
2,00	2,25	180
2,25	2,50	175
2,50	3,00	170
3,00	3,50	165
3,50	5,00	160

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

Hava hattı alüminyum kabloların gösteriş biçimi ilgili standartta ayrıntılı olarak gösterilmiştir [17].

Homojen alüminyum iletkenler ALx olarak gösterilirler.

Homojen alüminyum kaplı çelik teller, yzSA olarak gösterilirler.

Kompozit alüminyum/çinko kaplı çelik iletkenler ALx/STyz olarak gösterilirler.

Kompozit alüminyum/alüminyum - kaplı çelik teller ALx/yzSA olarak gösterilir.

Alüminyum hava hattı iletkenleri aşağıdaki şekilde tanıtılır:

(a) Tam sayıya yuvarlatılmış uygun olarak alüminyum veya çeliğin anma kesit alanını veren bir kod numarası,

(b) İletkeni meydana getiren tellerin tipini tanımlayan bir gösteriliş. Kompozit iletkenler için ilk gösteriliş zarfa, ikincisi ise damara uygulanır.

Gösteriliş şekline örnek verecek olursak; 16-AL1: 16 mm²'ye yuvarlatılmış kesit alanı 15,9 mm² olan AL1 alüminyum iletken. 401-AL1/28-ST1A: Sınıf A çinko kaplamayla ST1A çinko kaplamalı çelik tellerin damarı etrafındaki AL1 alüminyum tellerden yapılmış iletken. AL1 tellerin tam sayı kesit alanı 401 mm² ve 28 mm²'lik ST1A tellerden meydana gelmiştir [17].

Alüminyum hava hattı iletkenlerinde örgü işlemi; İletkenin bütün telleri eş merkezli olacak şekilde örülmelidir. Bitişik tel tabakaları, birbirine ters adım yönünde örülmelidir. Dış tabakanın adım yönü, alıcı tarafından başkaca belirtilmesi hariç olmak üzere sağ el olmalıdır. Her bir tabakadaki teller, alt tabakadaki tel veya tellerin etrafına düzgün olarak ve sıkıca örülmelidir. Çinko kaplanmış veya alüminyum kaplı çelik tel tabakaları için adım oranları Çizelge 2.6'da verilmiştir [17].

EK-2 (Devam) Kablo ve halatların bazı özellikleri

Hava hattı iletkenlerinin bütün tiplerinin alüminyum tabakaları için adım oranları, Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Çinko kaplanmış veya alüminyum kaplı çelik tabakalar için adım oranları [17]

Çelik tellerin sayısı	Adım oranı							
	3 telli tabaka		6 telli tabaka		12 telli tabaka		18 telli tabaka	
	En küçük	En büyük	En küçük	En büyük	En küçük	En büyük	En küçük	En büyük
3	16		-	-	-	-	-	-
7	-		16	26	-	-	-	-
19	-	-	16	26	14	22	-	-
37	-	-	17	25	16	22	14	18

37 teli geçen çinko kaplanmış veya alüminyum kaplı çelik tel yapıları için dış tabakanın adım oranı, 14 ile 18 arasında ve iç tabakaların adım oranı 16 ile 26 arasında olmalıdır.

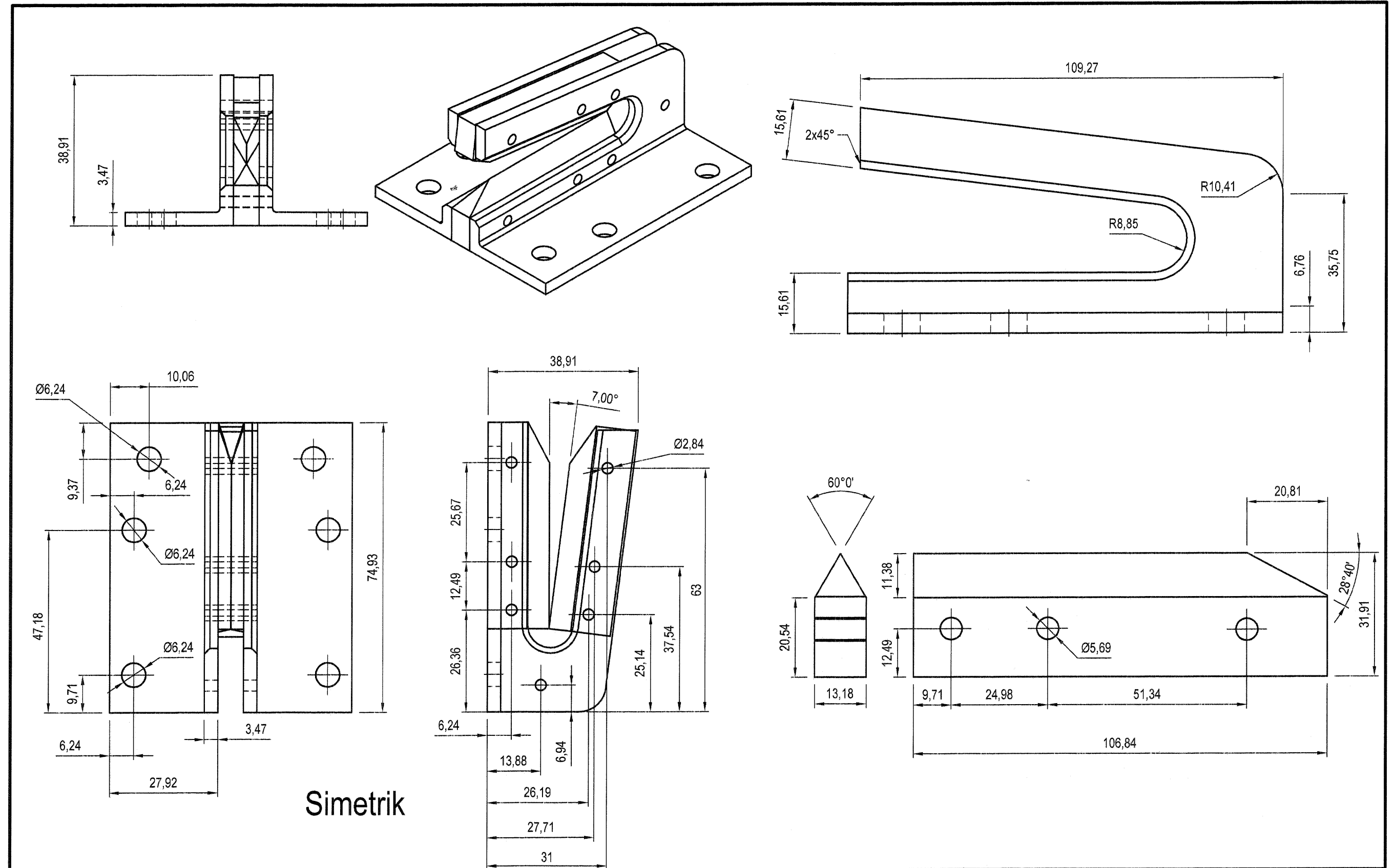
Çizelge 2.7. Alüminyum tabakalar için adım oranları [17]

Bütün iç tabakalar		Dış tabaka	
En küçük	En büyük	En küçük	En büyük
10	16	10	14

Örgü işleminden önce alüminyum ve çelik teller, yaklaşık olarak eşit sıcaklıklara sahip olmalıdır. Alüminyum, alüminyum kaplı çelik ve çinko kaplanmış çelik için kesit alanlarının hesaplanmasında, anma çapı esas alınmıştır. Merkez tel hariç olmak üzere, bütün teller örgülü iletkenlerden daha uzundur. İletkenin beyan çekme dayanımı; homojen alüminyum veya alüminyum kaplı çelik iletkenin beyan çekme dayanımı, bütün tellerin en küçük çekme dayanımının toplamı olarak alınır [17].

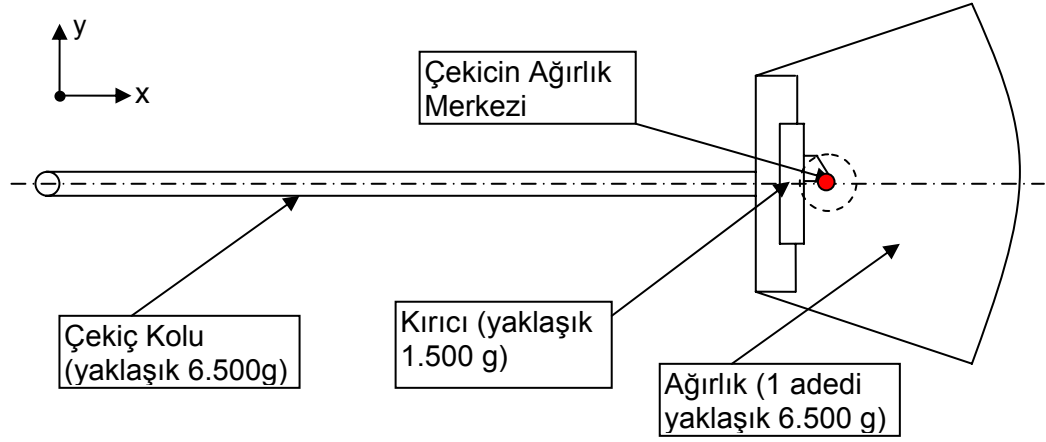
Hava hatlarında kullanılan örgülü iletkenler için ihtiyaç duyulacak bilgiler ile dünya üzerinde bir çok ülkede kullanılan kablo özellikleri Türk Standardı TS EN 50182’de bulunabilir.

EK-3 Kesici takım teknik çizimi



EK-4 Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması

Charpy deney cihazındaki çekicin genel görünümü Şekil 4.1’de görülmektedir. çekicin temel olarak; çekiç kolu, ağırlık ve kırıcı bölümlerinden oluştuğu Şekilde de görülmektedir.



Şekil 4.1. Charpy çekicinin genel görünümü [52]

Çarpma-kesme deneyinin yapılabilmesi için çekiç üzerindeki ağırlıkların yönlerinin değiştirilmesi gerekmiştir. Bu nedenle Charpy ağırlığı birebir çizilmiş ve ağırlığın homojen olduğu kabul edilerek ağırlık merkezi bilgisayarda yapılan çizimle bulunmuş ve yapılacak olan hesaplamalarda kullanılmak üzere aşağıda Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

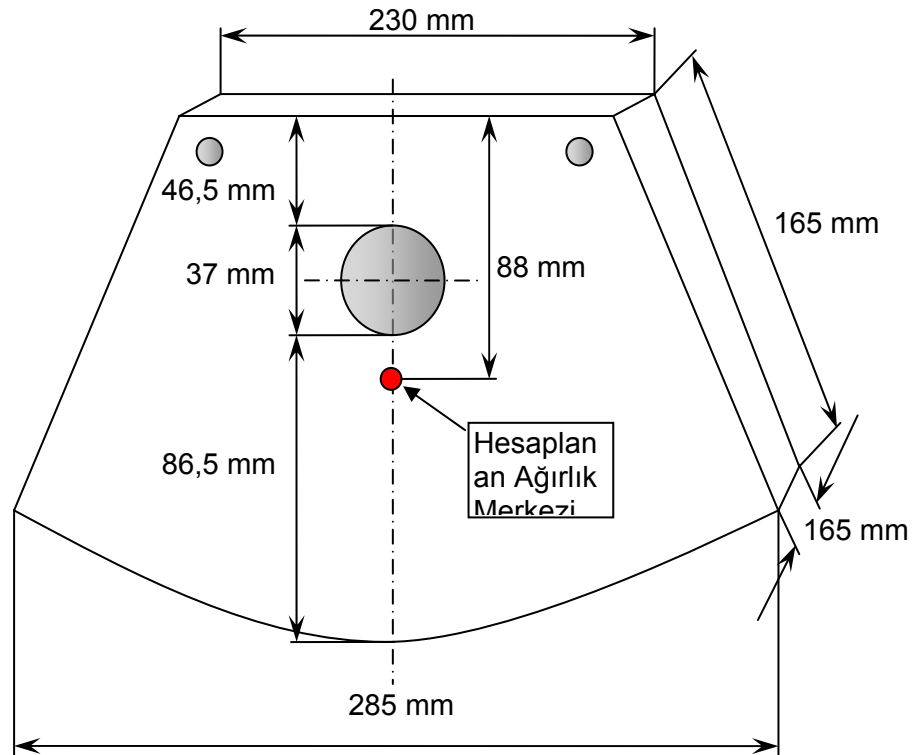
Bu bilgiler ışığında çekiç kolunun ağırlık merkezi çekicin ucunda kırıcı ve ağırlık var iken Şekil 4.3’ten faydalanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\sum M_{\text{ÇAM}} = 0$$

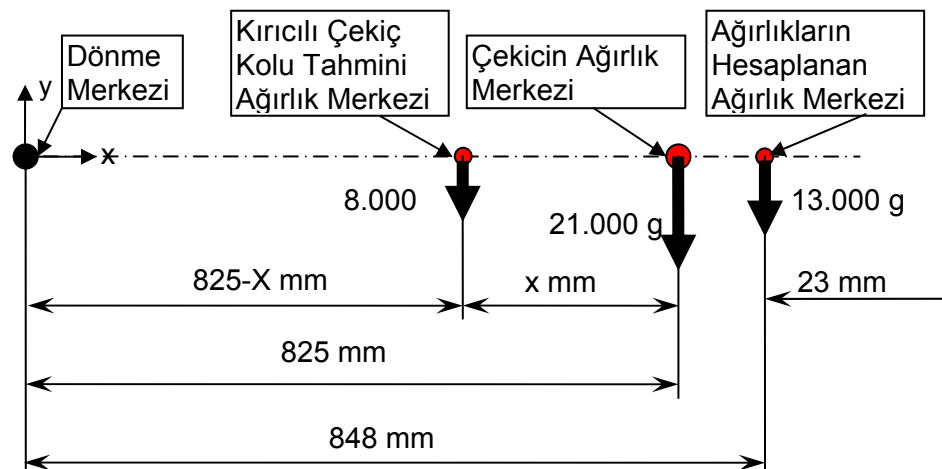
$$\sum M_{\text{ÇAM}} = 8000 \cdot x - 13000 \cdot 23 = 0 \text{ ise } 8.000 \cdot x = 13000 \cdot 23$$

$x = 13000 \cdot 23 / 8000$ dan $x \approx 37,4$ mm olarak bulunur.

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması



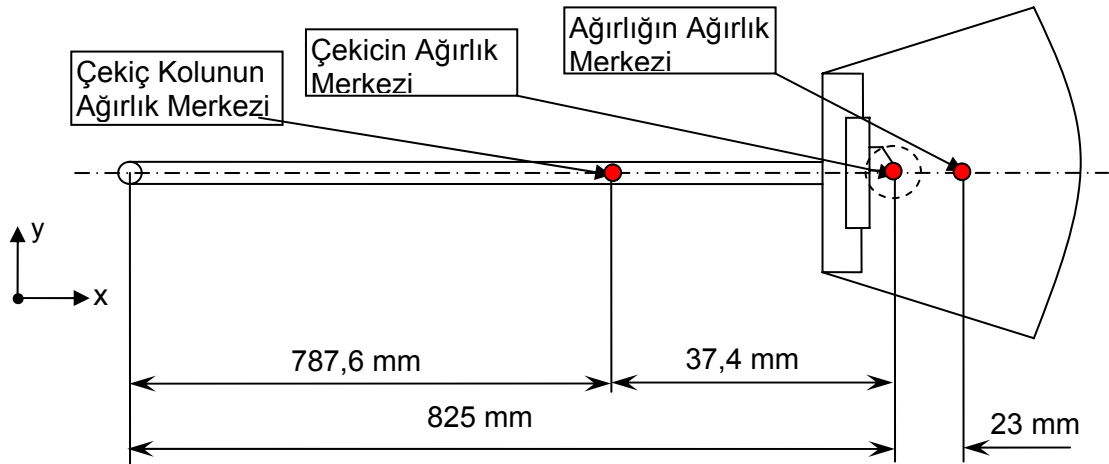
Şekil 4.2. Charpy ağırlığının ağırlık merkezinin bulunması için yapılan çizim
[52]



Şekil 4.3. Çekiç kolu üzerindeki ağırlık ve merkezlerinin çizimi [52]

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması

Buna göre çekiç kolunun ağırlık merkezinin kırıcı varken dönme merkezinden uzaklığı; $l_1 \approx 825 - 37,4 = 787,6$ mm olarak Şekil 4.4'te görüldüğü gibi bulunur.



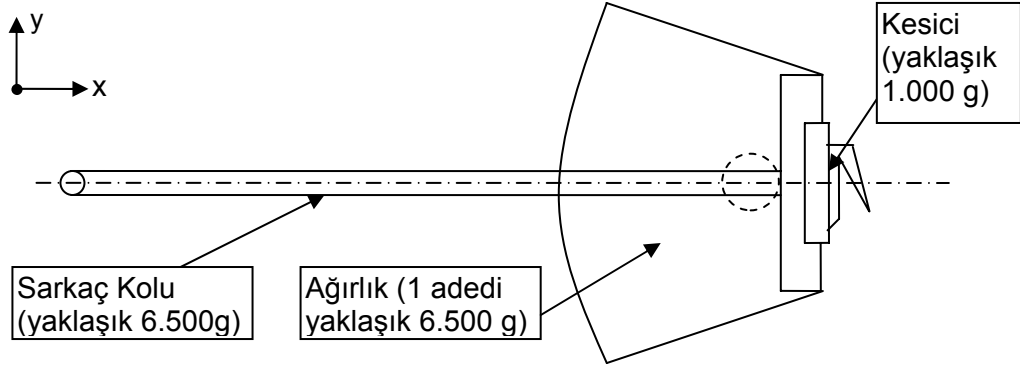
Şekil 4.4. Charpy çekicinin normal durumda üzerindeki ağırlık merkezleri [52]

Charpy çekicindeki kırıcıyı çıkararak kesici taktığımızda ve ağırlıkları ters çevirdiğimizde aşağıda Şekil 4.5'te görülen çekiç elde edilmektedir. Bu durumda çekiç üzerindeki ağırlık merkezleri ve dolayısı ile Charpy sisteminin standart enerji seviyesi değişmektedir. Bir dizi hesaplama ile değişimler aşağıda anlatıldığı üzere yaklaşık olarak bulunabilmektedir.

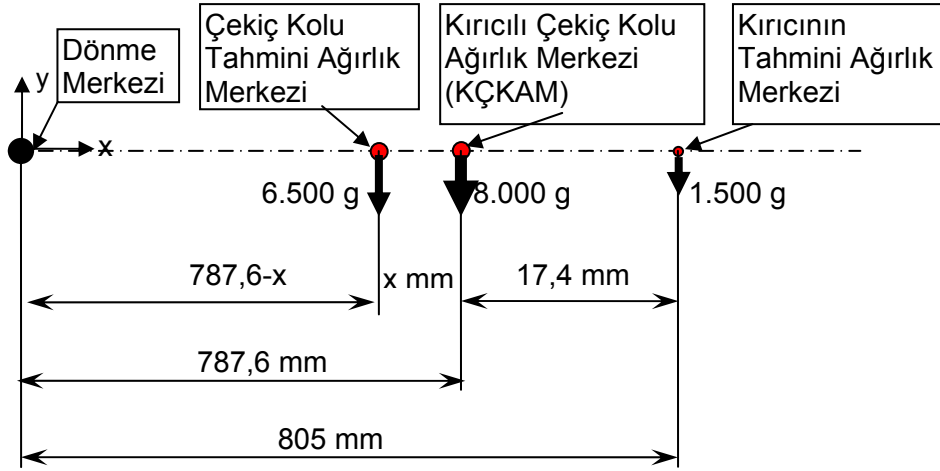
Kırıcı ile kesici arasında yaklaşık olarak 500 gram bir kütle farkı bulunmaktadır. Dolayısı ile sistemin kütlesi 21.000 gramdan 20.500 grama düşmektedir. Hesaplarda bu husus dikkate alınmıştır.

İlk olarak çekiç kolunun tek başına ağırlık merkezi aşağıda Şekil 4.6'dan faydalanarak ağırlıklar yokken ve kırıcı takılı iken yaklaşık olarak bulunabilir.

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması



Şekil 4.5. Charpy çekicinde; kırıcının çıkartılıp yerine kesicinin takılmış ve ağırlıkların ters çevrilmiş hali [52]



Şekil 4.6. Çekiç üzerinde ağırlıklar yokken kolun ağırlık merkezi konumu [52]

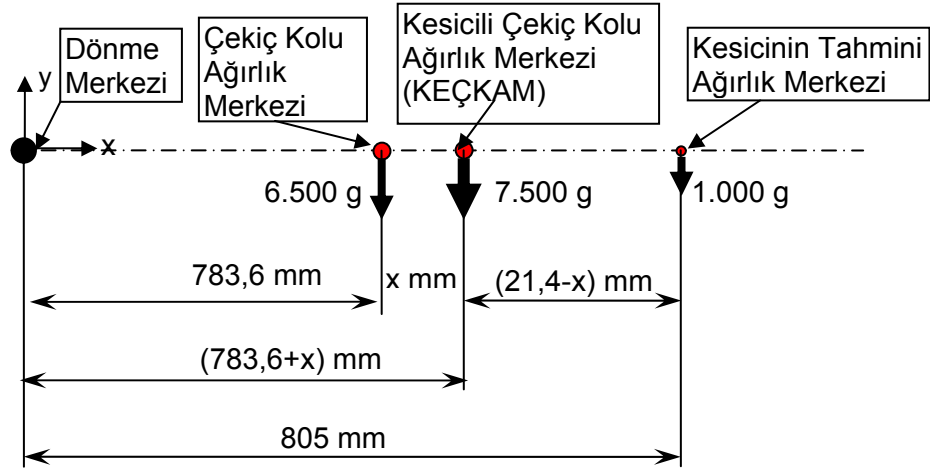
$$\sum M_{KÇKAM} = 0 \text{ ise } \sum M_{KÇKAM} = 6500 \cdot x - 1500 \cdot 17,4 = 0 \text{ olur buradan;}$$

$$6500 \cdot x = 1500 \cdot 17,4 \quad x = 1500 \cdot 17,4 / 6500 \quad x \approx 4 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Buna göre çekiç kolunun ağırlık merkezinin tek başına dönme merkezinden uzaklığı; $l_2 = 787,6 - 4 = 783,6 \text{ mm}$ olarak bulunur.

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması

İkinci aşama olarak da yukarıdaki bilgilerde kullanılarak çekicinin ucuna kesici takılmış iken çekiç kolunun ağırlık merkezi aşağıdaki Şekil 4.7'den yararlanarak yaklaşık olarak bulunabilir.



Şekil 4.7. Çekice kırıcı yerine kesici takılmış iken kütle dağılımı [52]

$$\sum M_{KEÇKAM} = 0$$

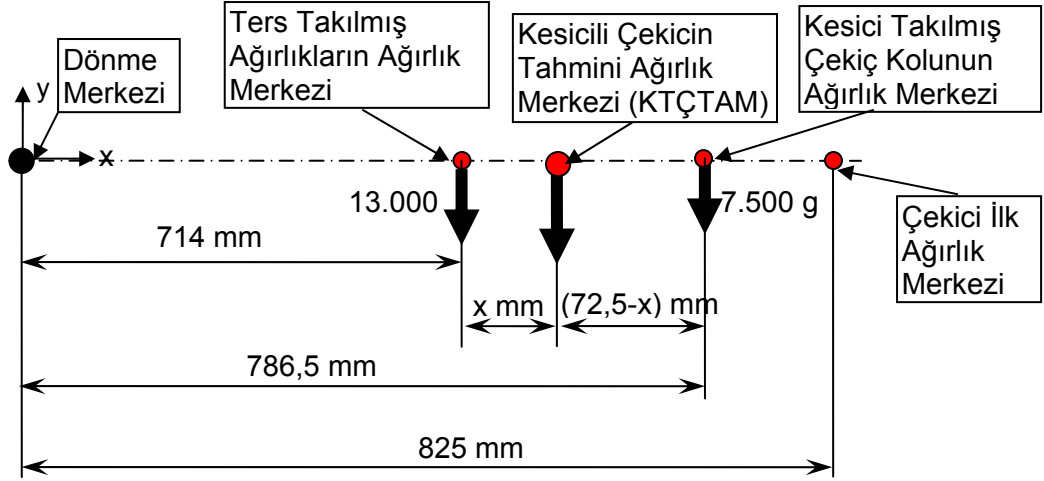
$$\sum M_{KEÇKAM} = 6500 \cdot x + 1000 \cdot (21,4 - x) = 0 \text{ ise } 6500 \cdot x = 1000 \cdot (21,4 - x)$$

$$7500 \cdot x = 1000 \cdot 21,4 \quad x = 1000 \cdot 21,4 / 7500 \quad x \approx 2,9 \text{ mm olarak bulunur.}$$

Buna göre çekiç kolunun ucuna kesici takılı iken çekiç kolunun ağırlık merkezinin dönme merkezinden uzaklığı; $l_3 \approx 783,6 + 2,9 = 786,5 \text{ mm}$ olacaktır.

Bütün bu yukarıdaki bilgiler kullanılarak çekicinin üzerinde kesici ve ağırlıklar takılı iken çekicinin ağırlık merkezi aşağıdaki Şekil 4.8'den faydalanarak yaklaşık olarak bulunabilir.

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması



Şekil 4.8. Çekiçte kesici ve ağırlıklar ters takılmış iken ağırlık merkezleri [52]

$$\sum M_{KTÇTAM} = 0$$

$$\sum M_{KTÇTAM} = 13000 \cdot x - 7500 \cdot (72,5 - x) = 0 \text{ ise } 13000 \cdot x = 7500 \cdot (72,5 - x)$$

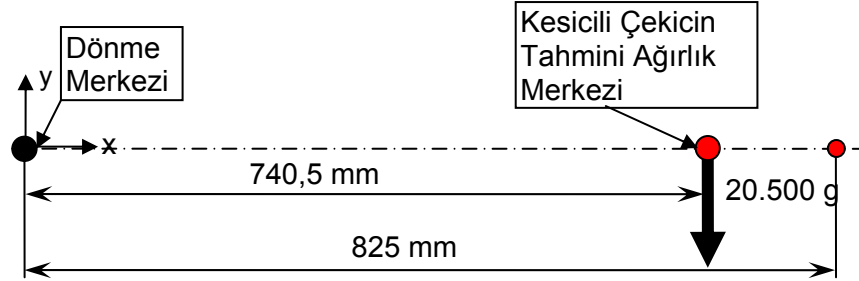
$$20500 \cdot x = 7500 \cdot 72,5 \quad x = 7500 \cdot 72,5 / 20500 \quad x \approx 26,5 \text{ mm olur.}$$

Buna göre çekicinin üzerinde ağırlıklar ve kesici takılı iken ağırlık merkezinin uzaklığı, dönme merkezinden; $l_4 \approx 714 + 26,5 = 740,5 \text{ mm}$ olarak bulunur.

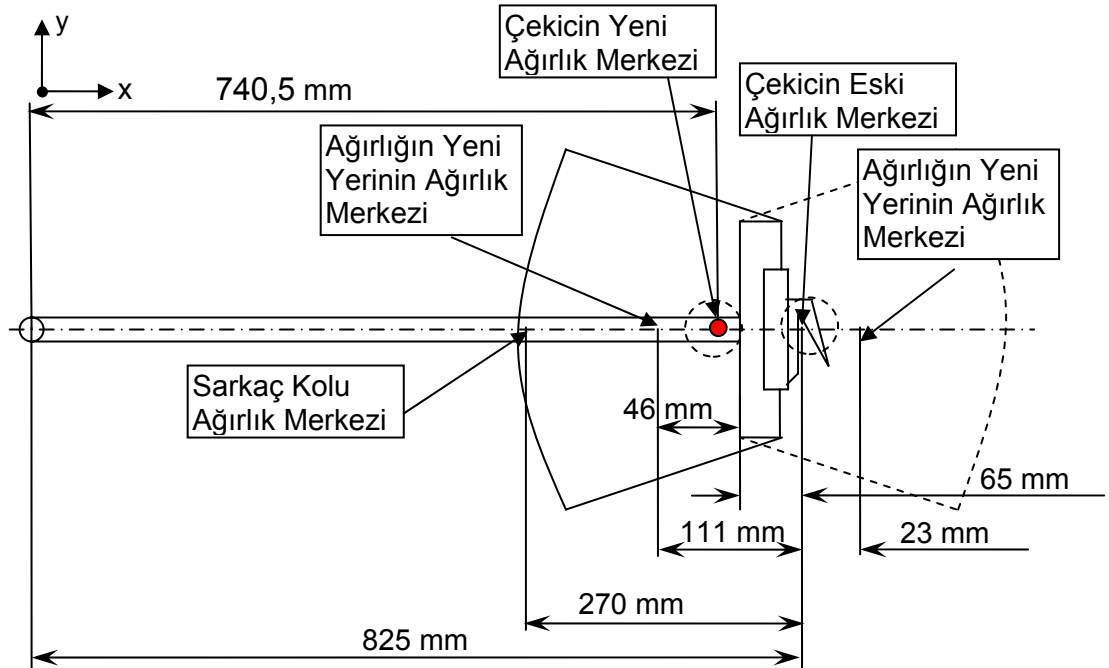
Bu durumda çekicinin üzerinde kesici varken ve ağırlıklar normal haline göre ters takılmış iken Charpy çekicinin ağırlığı ve ağırlık merkezi aşağıdaki Şekil 4.9'da görüldüğü gibi olacaktır. Buna göre çekicinin gerçek durumu Şekil 4.10'da görüldüğü gibi olacaktır.

Şimdi bu bilgileri kullanarak Charpy deney düzeneğinde yapılan değişikliklerin deney esnasında hangi ölçüm farklılıklarına neden olduğunu yaklaşık olarak hesaplayacak olursak;

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması



Şekil 4.9. Charpy çekicine kesici takılmış ve ağırlıklar ters çevrilmiş iken ağırlık ve mesafeler [52]

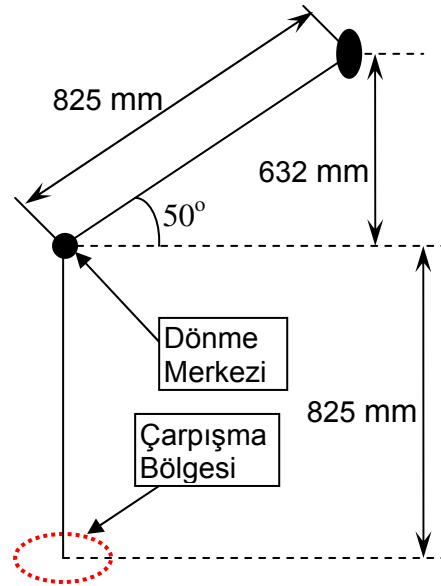


Şekil 4.10. Charpy çekicine kesici takılarak ağırlıkların ters çevrilmesi sonucu son hali [52]

İlk olarak Charpy deney sisteminin hiçbir değişiklik yapılmamış halindeki değerleri kontrol edelim;

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması

Charpy deneyinde çekiç 140° yukarıdan durağan halden serbest bırakılarak potansiyel enerjinin tamamının kinetik enerjiye dönüştüğü kabul edilen alt nokta çarpışma gerçekleştirilerek numunenin kırılmasını sağlayan enerji çekici karşı tarafta ne kadar yükseldiği ise tespit edilerek ilk yükseklikle son yükseklik arasındaki farktan kırılma için harcanan enerji tespit edilmektedir. Şekil 4.11'de görüldüğü konumdan serbest bırakılmaktadır. Sistemin genel çalışma prensibi budur. Buna göre aşağıdaki hesaplarda yer çekimi ivmesi $g=9,81 \text{ m/s}^2$, Charpy çekicinin normal toplam kütlesi $m=20,996 \text{ kg}$ olarak alınacaktır.



Şekil 4.11. Charpy cihazının normal pozisyon ve ölçüleri [52]

Sistemin Toplam Enerjisi;

$$\sum E = KE + PE$$

$$PE = m.g.h$$

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması

Charpy deney düzeneğinin normal hali için ve yukarıdaki şekilden de faydalanarak;

$$PE = 20,996.9,81.1,457$$

PE=300 Joule olarak bulunur.

Çekicinin hızının en yüksek olduğu noktada potansiyel enerji sıfır iken kinetik enerji en yüksek değerine ulaşır. Buna göre;

$$KE = \frac{1}{2}.m.V^2$$

$$KE = 300 \text{ joule ise } \frac{1}{2}.m.V^2 = 300$$

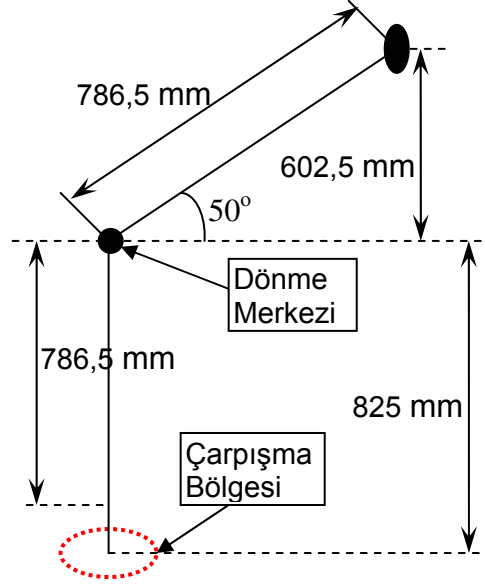
$$V = \sqrt{\frac{300 .2}{m}} \text{ ise } V = \sqrt{\frac{300.2}{20,996}}$$

$V \approx 5,35 \text{ m/s}$ olduğu görülmektedir.

Bu da Charpy deney sisteminin yayınlarında geçen enerji miktarıyla aynıdır. Bu enerjinin çarpışma noktasında tamamının kinetik enerjiye dönüştüğü kabul edilmektedir. Çekiçten ağırlıklar çıkartılmış ve kırıcı yerine kesici takılmış halde iken deney sisteminin enerjisini Şekil 4.12'den faydalanarak yaklaşık olarak hesaplırsak;

Ağırlıksız durumda kesici takılmış iken sistemin potansiyel enerjisini yukarıdaki Şekil 4.12'den de yararlanarak $m=7,5 \text{ kg}$ ve $h=1,389 \text{ metre}$ iken aşağıdaki gibi yaklaşık olarak hesaplırsak;

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması



Şekil 4.12. Çekicinin ağırlıksız ve kırıcı yerine kesici takılmış hali [52]

$$PE_{AKT} = m.g.h$$

$$PE_{AKT} = 7,5.9,81.1,389 \text{ ise } PE_{AKT} = 102,2 \text{ joule olarak bulunur.}$$

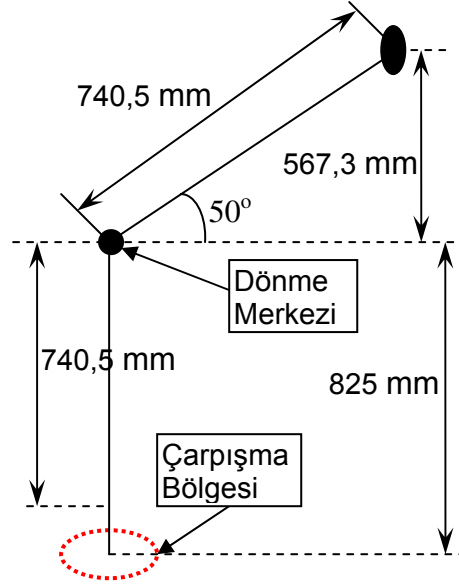
Buna göre ağırlık merkezinin hızı ise;

$$KE_{AKT} = \frac{1}{2}.m.V^2 = 102,2 \text{ joule}$$

$$V_{AKT} = \sqrt{\frac{102,2.2}{7,5}} \text{ ise } V_{AKT} \approx 5,22 \text{ m/s olarak bulunur.}$$

Deney düzeneğinde son olarak kesme deneylerini yapabilmek için çekice ağırlıklar ters olarak takılmış ve kesici takım takılmış olarak aşağıdaki Şekil 4.13'ten de faydalanarak Charpy deney sisteminin enerjisini $m=20,5$ kilogram kütle ve $h=1,3078$ metre yükseklik için aşağıdaki gibi yaklaşık olarak hesaplamak mümkün görünmektedir;

EK-4 (Devam) Charpy deney düzeneğindeki yapılan değişiklikler sonucu oluşan değişimlerin hesaplanması



Şekil 4.13. Çekicinin ağırlıkları ters takılmış ve kırıcı yerine kesici takılmış hali [52]

$$PE_{\text{TAKT}} = m \cdot g \cdot h$$

$$PE_{\text{TAKT}} = 20,5 \cdot 9,81 \cdot 1,3078 \text{ ise } PE_{\text{TAKT}} = 263 \text{ joule olarak bulunur.}$$

Buradan kinetik enerji eşitliğinden ağırlık merkezinin hızını hesaplamak mümkün olacaktır.

$$KE_{\text{TAKT}} = 263 \text{ joule} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_{\text{TAKT}}^2$$

$$V_{\text{TAKT}} = \sqrt{\frac{263 \cdot 2}{20,5}} \quad V_{\text{TAKT}} = \sqrt{\frac{263 \cdot 2}{20,5}} \quad V_{\text{TAKT}} \approx 5,065 \text{ m/s olarak bulunur.}$$

Buna göre kesicinin, çekicinin ağırlık merkezinde olduğunu ve hızının da **5,065 m/s** olduğunu kabul edeceğiz.

EK-5 ABAQUS© sonlu elemanlar programında kullanılan birimler

Çizelge 5.1. Abaqus programında kullanılacak birimler karşılığında elde edilen sonuçların birimleri [61]

Kütle	Uzunluk	Zaman	Kuvvet	Gerilme	Enerji	ρ (Steel) Yoğunluk	E (Steel) Elastisite
kg	M	s	N	Pa	Joule	7.83e+03	2.07e+11
kg	Cm	s	1e-02N			7.83e-03	2.07e+09
kg	Cm	ms	1e+04N			7.83e-03	2.07e+03
kg	Cm	ms	1e+10N			7.83e-03	2.07e-03
kg	Mm	ms	kN	Gpa	kN-mm	7.83e-06	2.07e+02
gm	Cm	s	dyne	dyne/cm ²	Erg	7.83e+00	2.07e+12
gm	Cm	ms	1e+07N	Mbar	1e7Ncm	7.83e+00	2.07e+00
gm	Mm	s	1e-06N			7.83e-03	2.07e+11
gm	Mm	ms	N		N-mm	7.83e-03	2.07e-06
ton	Mm	s	N	Mpa	N-mm	7.83e-09	2.07e+05
lbf-s ² /in	İn	s	lbf	Psi	Lbf-in	7.83e-04	2.07e+07
slug	Ft	s	lbf	psf	Lbf-ft	1.52e-01	2.07e+09
1 slug=32,18 kg 1 ft = 0,3048 m= 12*2,54 cm 1 N = 100 000 dyne= 1 lbf/4,4482 1 Mbar = 10¹² dynes/cm² 1 bar = 14,7 psi = 1,0 atm = 105 Pa 1 kg/m³ = 10⁻³ gr/cm³ 0,9112 slug/ft²							

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKICI, Murat
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 16.04.1972 Dörtöl
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 566 11 17
 Faks : 0 (312) 566 12 17
 e-mail : muratcakici901@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Müh. Bölümü	2007
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi / Uçak Müh. Bölümü	1994
Lise	Adana Motor Teknik Lisesi	1990

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1995-1997	901. Hava Aracı Ana Depo ve Fabrika Komutanlığı, Ankara	Ar-Ge Müh.
1997-1999	Başer Tekstil A.Ş. Adana	İşletme Şefi
1999-2000	Özler Tarım A.Ş. Adana	Teknik Müdür
2000-	5. Ana Bkm.Mrk. Komutanlığı Ankara	Sistem Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar, Bilgisayar Teknolojileri, Tenis, Futbol, Yüzme, Balık Avı, Kitap Okumak, Sinema ve Tiyatro.