

Petrol Boru Hatlarının Kontrolü İçin Akıllı Ölçüm Sistemi Tasarlanması

Yunus Emre Kayalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2009

Smart Inspection System Desing For Controlling Petroleum Pipelines

Yunus Emre Kayalı

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

May 2009

Petrol Boru Hatlarının Kontrolü İçin Akıllı Ölçüm Sistemi Tasarlanması

Yunus Emre Kayalı

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
İmalat-Konstrüksiyon Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik

Mayıs 2009

ONAY

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Yunus Emre Kayalı'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Petrol Boru Hatlarının Kontrolü İçin Akıllı Ölçüm Sistemi Tasarlanması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik

Üye : Doç. Dr. Osman Parlaktuna

Üye : Doç. Dr. Naci Zafer

Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümit Er

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Boru hatları, enerji kaynaklarının taşınmasında kullanılan en yaygın sistemlerdir. Özellikle petrol ve doğalgazın transferi için boru hatları vazgeçilmez unsurlardır. Ülkemiz toprakları enerji geçiş noktası olması nedeniyle oldukça büyük oranda boru hattı barındırmaktadır. Yeni enerji yolları gündeme geldikçe bu hatların artması söz konusu olacaktır.

Boru hatlarının ilk kullanıma alınmadan önce ve belli kullanım süreleri sonunda periyodik olarak kontrolü gerekmektedir. Boru hatlarında kurulum sırasında ya da sonradan ezilmeler olmakta ve borunun çapı daralmaktadır. Bu durumda borunun içinden akan petrolün hızı artmakta ve basınç düşmektedir. Bunun sonucu olarak iletilen sıvı miktarının ölçümü hatalı olmaktadır. Borularda oluşan bir diğer önemli problem korozyona dayalı hasarlardır. Korozyon boru hattının hasara uğraması ve çevre kirliliği gibi sonuçlar doğurabilir. Korozyonun meydana getirdiği hasar boru et kalınlığının azalması şeklindedir.

Günümüzde bu kontroller için PIG (Pipeline Inspection Gauge) tabir edilen mekanizmalar kullanılmaktadır. Dünya üzerinde bu amaçla üretilmiş ve kullanılan 500'e yakın farklı tasarım mevcuttur.

Ülkemizde bu amaçla üretilen ve kullanılan yaygın ürün örnekleri olmadığı için genellikle yurt dışından kontrol hizmeti alımı yoluna gidilmektedir. Ancak bu hizmet alımı yüksek miktarda dövizin yurt dışına çıkması demektir. Mevcut boru hatları yaşlandıkça ve yeni boru hatları inşa edildikçe bu hizmete olan ihtiyaç artacaktır. Bu çalışmanın amacı, ülkemiz imkanlarıyla boru hattı muayenesi yapabilecek bir sistem tasarlamaktır.

Endüstriyel kullanıma uygun mevcut sistemlerin çoğundan farklı olarak bu çalışma kapsamında ezilme (deformasyon) ve korozyon (et kalınlığı) tespitlerini birlikte yapan ve hatanın tam koordinatını belirleyen bir sistem geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Petrol boru hatları, boru hattı muayenesi, PIG

SUMMARY

The most common way to transport energy resources are pipelines. Especially, pipelines are the indispensable way for the transfer of petroleum and natural gas. Because of existing on the passing way of energy resources, big percentage of pipelines are passing throughout our country. This pipelines will be increased by the subject of new energy ways.

Before the pipeline is first used and at the end of some using, inspection will be necessary. Dents will be occur and pipe diameter will be decrease while the pipeline is under construction and while under labor conditions. At the same time, petroleum speed will be decrease but the pressure of it will be increase. So the amount of transmitted petroleum can not be evaluated correctly. One of the most important problem is corrosion related defects. Pipeline damages and ecological problems can be caused by corrosion. The defect of corrosion on a pipeline is decrease of wall thickness.

Nowadays, PIG (Pipeline Inspection Gauge)'s are used for these inspections. There are about 500 different PIG designs which are produced for this purpose. There is no general product, produced and used for this purpose in our country.

Because of there is no current produced and used PIG products in our country we import this control service. And high amount of currency lost to get that service into our country. The need for this service is increasing as pipelines get older and new pipelines added day by day. The aim of this project is to build up a sistem to become a self contained country in the matter of pipeline inspection.

The differance of the sistem from the existing industrial one is to make a sistem that can specify dent (deformation) and corrosion (wall thickness) at the same time and determine that defects location.

Keywords: Petroleum Pipeline, pipeline inspection, PIG

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, derslerimde ve tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, fikirleriyle yol gösteren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında ve tezimde maddi desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. BORU HATLARI VE TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ	4
2.1. Türkiye'deki Petrol Boru Hatları	4
2.2. Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı	5
2.3. Ceyhan-Kırıkkale Ham Petrol Boru Hattı	5
2.4. Batman-Dört Yol Ham Petrol Boru Hattı	5
2.5. Şelmo-Batman Ham Petrol Boru Hattı	6
2.6. Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı	6
3. PİGLER VE ÇEŞİTLERİ	7
3.1. Birinci Grup PIG'ler	8
3.2. İkinci Grup PIG'ler	10
3.3. Üçüncü Grup PIG'ler	10
3.4. Dördüncü Grup PIG'ler	12
4. ULTRASONİK KOROZYON KONTROLÜ	13
4.1. Ultrasonik Algılamada Bazı Terimler ve Tanımlamalar	14
4.1.1. Frekans	14
4.1.2. Ses Dalgaları	14
4.1.3. Dalga Boyu	14
4.1.4. Akustik empedans	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.5. Soğurulma ve saçılma	15
4.1.6. Ses zayıflaması	16
4.1.7. Algılama mesafeleri	16
4.1.8. Dalga yayılma modeli ve ultrasonik dalga tipleri	17
4.2. Problar	22
4.2.1. Prob iç yapısı	22
4.2.2. Prob çeşitleri	25
4.3. Ultrasonik Algılama Prensibi	29
4.4. Ultrasonik Algılamada Çalışma Modları	30
4.5. Test Parçasına Ultrasonik Enerji İletimi	30
4.6. Ultrasonik Enerji Demetinin Karakteristikleri	31
4.7. Ultrasonik Enerjinin Ortam İçinde Zayıflaması	32
4.8. Ultrasonik Görüntü Sistemleri	33
4.9. Ultrasonik Cihazın Özellikleri	35
4.10. Ultrasonik Test Metodları ve Yöntemleri	37
4.10.1. Darbe - yankı metodu	37
4.10.2. Direk iletim metodu	38
4.10.3. Rezonans metodu	40
4.10.4. Delta metodu	41
4.10.5. Temas yöntemi ile ultrasonik kontrol	41
4.10.6. Daldırma yöntemi ile ultrasonik kontrol	41
4.11. Ultrasonik Ölçümün Avantajları	42
5. LİTERATÜR ÖZETİ	43
5.1. Önceki Çalışmalar	43
5.2. Aranılan Hasarların Türleri	45
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
6.1. PIG Tasarımı	47
6.2. PIG İmalatı	48

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.3. PIG Testleri	55
6.4. Sonuç ve Öneriler	58
7. GENEL SONUÇLAR	59
8. KAYNAKLAR DİZİNİ	60
9. EKLER	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Bir PIG'in anatomisi	7
3.2. Bıçaklı bir temizleme PIG'i (Guo, et al., 2005)	9
3.3. Yüzer PIG: a) Poliüretan yüzer PIG, b) Poliüretan PIG ile boru hattının temizlenmesi (Guo, et al., 2005)	9
3.4. Geometri ölçüm PIG'i	10
3.5. Manyetik alan PIG'i	11
3.6. Ultrasonik ölçüm PIG'i	12
4.1. Yansıyan ses enerjisini zamana bağlı olarak görüntülenmesi	13
4.2. Ultrasonik dalgaların saçılma mekanizmaları: a) Rayleigh saçılması, b) rastgele saçılma, c) yayılım saçılması (Gür, 1999)	16
4.3. Dalga yayılma modeli ve ultrasonik dalga tipleri (Gür, 1999)	17
4.4. Ultrasonik dalgaların ayırım yüzeylerindeki davranışları (Kayrak, 2001)	21
4.5. Tek kristalli normal prob (Kökdemir, 2007)	26
4.6. Tek kristalli normal probun ölü bölgesi (Kökdemir, 2007)	26
4.7. Çift kristalli normal prob (Kökdemir, 2007)	27
4.8. Açılı prob (Kökdemir, 2007)	28
4.9. Ultrasonik cihazda sinyal görüntüleri (darbe yankı metodu) a) Hata içermeyen parça için, b) Hatalı parça için (Kayrak, 2001)	29
4.10. Ultrasonik enerji demetinin geometrisi (Kayrak, 2001)	32
4.11. A-tarama ultrasonik görüntü sistemi (Kayrak, 2001)	33
4.12. B-tarama ultrasonik görüntü sistemi (Kayrak, 2001)	34
4.13. C-tarama ultrasonik görüntü sistemi (Kayrak, 2001)	35
4.14. Ultrasonik cihazda blok diyagramı (Kayrak, 2001)	36
4.15. Darbe – yankı yönteminin prensibi (Kökdemir, 2007)	38
4.16. Transmisyon yönteminin prensibi (Kökdemir, 2007)	39
4.17. Rezonans yönteminin prensibi (Kökdemir, 2007)	40
6.1. Üretilen PIG'in genel görünümü	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.2. Elektronik kart sisteminin gövde içerisinde konumlandırılması	50
6.3. PIG'in arkadan görünüşü	50
6.4. Ultrasonik sensörün bağlantı şekli	51
6.5. Prototip sistemi oluşturan alt sistemler	51
6.6. Mekanik sistem	52
6.7. Algılayıcıların bağlantı uçları	53
6.8. Konum belirleyen elektronik sayıcı sistem	53
6.9. Ayarlanabilir eşik değerleri	54
6.10. İletişim, kontrol, veri değerlendirme ara yüz yazılımı	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Farklı malzemelere ait ultrasonik hız değerleri (Kayrak, 2001).....	19
5.1. Kabul kriteri örneği (Choi and Bomba, 2003).....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
“	İnç
ρ	Malzeme yoğunluğu
f	Frekans
λ	Dalga boyu
C	Dalga yayılım hızı
C_Y	Yüzey dalgalarının yayılım hızı
C_B	Boyuna dalgaların yayılım hızı
C_E	Enine dalgaların yayılım hızı
E	Elastik modül
Y	Poisson oranı
G	Kayma elastik modülü
Z	Akustik empedans
P_G	Ortama gelen enerji
P_K	2. ortama geçen enerji
P_Y	1. ortama geri yansıyan enerji
θ_{1B}	1. ortamda gelen boyuna dalga açısı
θ_{2B}	2. ortamda kırılan boyuna dalga açısı
θ_{1E}	1. ortamda gelen enine dalga açısı
θ_{2E}	2. ortamda kırılan enine dalga açısı
C_{1B}	1. ortamda boyuna dalga hızı
C_{1E}	1. ortamda enine dalga hızı
C_{2B}	2. ortamda boyuna dalga hızı
C_{2E}	2. ortamda enine dalga hızı
N	Ultrasonik demetin yakın bölge boyu
D	Prob çapı
γ	Yatay eksenden ayrılma açısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
et al.	Ve diğerleri
Hz	Hertz
kHz	Kilo Hertz
MHz	Mega Hertz
dB	Desibel
km	Kilometre
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
gr	Gram
s	Saniye
ms	Milisaniye
PIG	Pipeline Inspection Gauge
BTC	Bakü Tiflis Ceyhan
MFL	Magnetic Flux Leakage
UT	Ultrasonic Tool
OOR	Out of roundness
GPS	Global Positioning System

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji kaynakları ile gelişmiş ülkelerin buluşmasını sağlayan en önemli bağlantı boru hatlarıdır. Petrol ve doğalgaz gibi diğer yöntemlerle nakledilmesi çok maliyetli olacak olan enerji türleri, boru hatlarıyla çok uzak mesafelere, düşük maliyetle taşınabilirler. Ayrıca, boru hatlarının çoğunlukla yer altında veya su altında konumlandırılmaları, enerji iletiminde boru hattı kullanımının diğer iletim yöntemlerine göre daha güvenli bir yöntem olmasını da sağlamaktadır.

Yıllar boyunca dünyada var olan boru hatlarının kapasiteleri artmakla beraber, verimlilikleri giderek azalmaktadır. Bunun sebebi yaşanan boru hatlarının kirlenmesi ve daha fazla deformasyona uğramasıdır. Deformasyona uğramış boru hatlarında ise ileride daha büyük problemler ortaya çıkacaktır. Bu nedenle boru hatlarının yapıldıktan sonra temizlenmesi, test edilmesi ve belirli kullanım süreleri sonunda periyodik olarak kontrollerinin yapılması kaçınılmaz bir zorunluluktur.

Günümüzde bu kontroller için PIG (Pipeline Inspection Gauge) tabir edilen mekanizmalar kullanılmaktadır. Dünya üzerinde bu amaçla üretilmiş ve kullanılan yüzlerce farklı tasarım mevcuttur.

Ülkemizde ise bu amaçla üretilen ve kullanılan yaygın ürün örnekleri olmadığı için yurt dışından “kontrol hizmeti” alımı yoluna gidilmektedir. Çünkü bu cihazların üretimini yapan firmalar, cihazların satışını yapmamakta, bunun yerine kontrol hizmeti vermektedirler.

Ülkemizdeki mevcut olan petrol ve doğalgaz boru hatlarının toplam uzunluğu yaklaşık 10.000 kilometredir. Yeni boru hatlarıyla bu rakam daha da büyüyecektir. Ayrıca rafinerilerin kendi içlerinde de boru hattı kontrolü yapılmalıdır. Mevcut boru hatlarının 1 kilometresinin yenilenmesi maliyeti yaklaşık 1 milyon dolar, gerektiğinde

tamirinin ve kaplamasının yapılma maliyeti 500 bin dolar, periyodik olarak PIG ile kontrol ve onarımının yapılması maliyeti ise yaklaşık 12 bin dolardır.

Boru hatlarında inceleme ve bakım hizmetleri yurtdışından alınabilir. Ancak bu hizmetlerin ülkemiz dışından getirilmesi ekonomik açıdan bir kayıptır. Bu hizmetleri verebilecek tekniğin ülkemize kazandırılmasının getireceği ekonomik katkı önemli boyuttadır. Çünkü bu hizmetler oldukça pahalıya mal olmaktadır. Buna karşın bu maliyetlerin yurt içinde kullanılmasının ekonomiye etkisi de büyük olacaktır.

Endüstriyel kullanıma uygun bu sistemlerin çoğundan farklı olarak bu tez kapsamında ezilme (deformasyon) ve korozyon (et kalınlığı) tespitlerini birlikte yapan ve hataların koordinatlarını belirleyen bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan sistem henüz kullanılmadan, ihale yoluyla alınan kontrol hizmetlerinde firmaların verdiği tekliflerin düşüşü ile ekonomiye katkı sağlanmıştır.

Dünya üzerinde bu konuda yapılmış sistemleri ve teknolojileri kiralayarak kullanmak mümkün olsa bile bu sistemler hem pahalı hem de inceleme koşullarına müdahale edilemeyen sistemlerdir. Boru hatlarının kurulumu yapıldıktan sonra işletmeye alınmadan önce ve çalıştırdıktan sonra belirli aralıklarla periyodik kontrollerinin yapılması zorunluluğu bu konunun önemini artırmaktadır. Yapılacak sistemin ülkemizin jeolojik göstergelerine ve yapısına uygun tasarlanması yani sistemin ülkemize uygun olması gerekmektedir.

Boru hatlarında öncelikle tespiti gereken kusurlar; ezilme, korozyon, çatlama, sızıntı olarak sıralanabilir. İlk kez hizmete alınacak boru hatlarında ezilme ve deformasyon kontrolü yanında boru hattı içinde kalan artıkların temizliği söz konusudur. Kullanımı devam eden boru hatlarında ise deformasyonla beraber korozyon, çatlak, sızıntı kontrolü yapılmalıdır.

Bu çalışmanın 2. bölümünde Türkiye'deki boru hatları ve boru hatlarının ülkemiz için önemi anlatılmıştır. 3. bölümde kullanılan PIG sistemleri tanıtılmış, 4. bölümde ise ultrasonik test yöntemi verilmiştir. 5. bölümde bu konuyla ilgili olarak

dünya üzerinde yapılmış olan çalışmalar özetlenmiştir. Tezin 6. bölümünde tez çalışmaları kapsamında tasarımı, imalatı ve testleri yapılan PIG sistemi anlatılmaktadır.

Ülkemizde imalatı yapılabilen ve güvenilir bir şekilde test hizmeti verebilen bir sistemin hem endüstriye kazandırılması hem de ülkemizde bu konuyla ilgili literatüre katkı sağlaması bu tezin temel amacı olmuştur.

BÖLÜM 2

BORU HATLARI VE TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ

Boru hatları, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarının taşınmasında kullanılan en yaygın sistemlerdir. Ülkemiz toprakları enerji geçiş bölgesi olması nedeniyle oldukça büyük oranda boru hattı barındırmaktadır. Yeni enerji yolları gündeme geldikçe bu hatların artması söz konusu olacaktır.

Ülkemizde halen mevcut olan, yapım aşamasında olan ve yapılması planlanan petrol boru hatları Türkiye'yi uluslararası arenada bir enerji köprüsü haline getirmektedir. Gelişmenin vazgeçilmez unsuru olan enerjinin, küreselleşen dünyada üretim kaynaklarından talep merkezlerine ulaştırılmasında boru hatları en güvenli ve en verimli yollardır. Yaklaşık olarak; Dünya petrol rezervinin %67'sine (Rusya petrol rezervleri de göz önüne alındığında bu oran %72'ye çıkar) sahip olan Orta Doğu ve Orta Asya ülkeleri ile Avrupa arasında coğrafi köprü olan Türkiye'den geçen ve geçecek olan boru hatları, uluslararası önem taşımaktadır. Bu önem Türkiye'yi enerji köprüsü durumuna getirmeye gerekli ve yeterli neden olup, Türkiye'ye çıkar sağlayıcı bu gelişme, artık ulusal bir politika konumundadır. Türkiye'nin uluslararası petrol bağlantıları açısından petrol boru hatları, petrol ihtiyacına güvence getireceği gibi, petrol taşımacılığında Türkiye'ye ekonomik çıkar da sağlanacaktır (Yılmaz, 2005).

2.1. Türkiye'deki Petrol Boru Hatları

Türkiye toprakları üzerinde toplam 3374 km ham petrol boru hattı vardır ve bu boru hatlarıyla petrol taşımacılığı faaliyetleri BOTAŞ tarafından yürütülmektedir. Bu faaliyetler çerçevesinde halen var olan petrol boru hatları: Irak-Türkiye, Ceyhan-Kırıkkale, Batman-Dört Yol, Şelmo-Batman ve Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı olmak üzere 5 adettir.

2.2. Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı

27 Ağustos 1973 tarihinde, Türkiye Cumhuriyeti ile Irak Cumhuriyeti Hükümetleri arasında imzalanan Ham Petrol Boru Hattı Anlaşması çerçevesinde Irak'ın Kerkük ve diğer üretim sahalarında üretilen ham petrolün Ceyhan (Yumurtalık) Deniz Terminali'ne ulaştırılması amacıyla inşa edilmiştir. Toplam uzunluğu 1876 km olan bu hattın 579 km'lik kısmı Irak sınırlarında, 1297 km'lik kısmı Türkiye sınırlarında olup, iki ayrı hattan oluşur. Birinci hat, 345 km'si Irak sınırlarında, 641 km'si Türkiye sınırlarında olmak üzere toplam 986 km uzunluğunda ve 40" çapındadır. İkinci hat ise 234 km'si Irak sınırlarında, 656 km'si Türkiye sınırlarında olmak üzere toplam 890 km uzunluğunda ve 46" çapındadır. 1989 yılında kapasitesi 82 milyon ton/yıl'a çıkartılmıştır.

Irak-Türkiye Ham Petrol Boru Hattı üzerinde 1 adet PIG istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyon Osmaniye'nin Bahçe ilçesindedir (BOTAŞ, 2007).

2.3. Ceyhan-Kırıkkale Ham Petrol Boru Hattı

Kırıkkale Rafinerisi'nin ham petrol ihtiyacını karşılayan bu boru hattı, 1986 yılında işletmeye açılmıştır. Hattın uzunluğu 448 km olup, çapı 24", kapasitesi 5 milyon ton/yıl'dır.

Ceyhan-Kırıkkale Ham Petrol Boru Hattı üzerinde, Aksaray'da 1 adet PIG istasyonu bulunmaktadır (BOTAŞ, 2007).

2.4. Batman-Dört Yol Ham Petrol Boru Hattı

Batman ve çevresinden elde edilen ham petrolü rafinerilere ulaştırmak üzere 4 Ocak 1967 tarihinde işletmeye açılan bu boru hattı, Batman'dan İskenderun Körfezi'ne

ulaşarak, Dörtyol'da son bulmaktadır. Yıllık kapasitesi 3,5 milyon ton olan boru hattının uzunluğu 511 km olup, çapı 18'' dir (BOTAŞ, 2007).

2.5. Şelmo-Batman Ham Petrol Boru Hattı

Şelmo sahasında üretilen ham petrolü Batman Terminali'ne taşıyan boru hattının uzunluğu 42 km, yıllık kapasitesi ise 800.000 ton'dur (BOTAŞ, 2007).

2.6. Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı

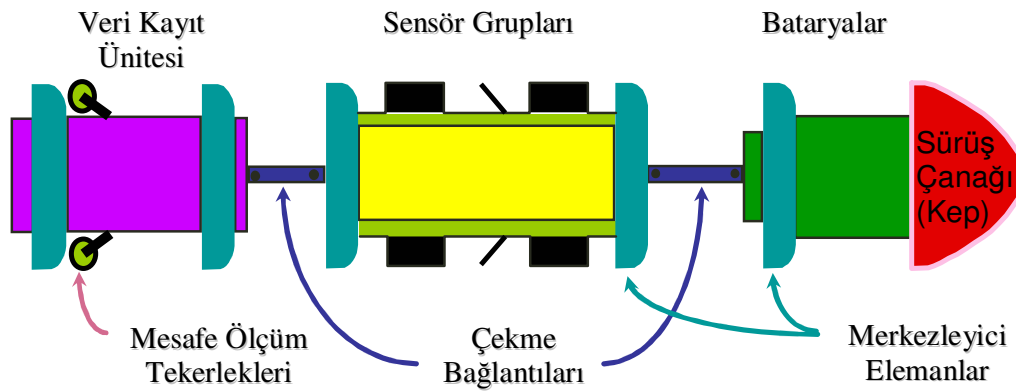
Azerbaycan'da üretilen ham petrolün boru hattı ile Gürcistan üzerinden Ceyhan'daki deniz terminaline, buradan da tankerlerle dünya pazarlarına ulaştırılması amacıyla yapılan boru hattı 1776 km uzunluğunda olup, 1076 km'lik kısmı Türkiye sınırları içinde bulunmaktadır. Dünyanın ikinci en uzun petrol boru hattıdır. Hattın başlangıcından itibaren uzun bir kısmı 42'' çapındadır ancak Ceyhan yakınlarında çap 34''e daralır. BTC boru hattı üzerinde 2 adet PIG istasyonu bulunmaktadır (BOTAŞ, 2007).

BOTAŞ, bu hatların Türkiye sınırları içinde kalan kısımlarının mülkiyetine sahip olmakla birlikte aynı zamanda bu hatların işletilmesi, kontrolü, bakım ve onarımını da üstlenmiştir.

BÖLÜM 3

PIGLER VE ÇEŞİTLERİ

“Pipeline Inspection Gauge” kelimelerinin ilk harflerini alarak oluşturulan PIG sistemleri dünya üzerinde boru hatlarının içten kontrolü için kullanılmaktadır. Bu tanım doğrultusunda farklı görevler için üretilmiş olan çeşitli PIG tasarımları mevcuttur. Şekil 3.1.’de bir PIG’in genel parçaları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bir PIG'in anatomisi.

Bir boru hattının PIG ile kontrolünü gerektiren çok çeşitli sebepler vardır. Öncelikle bir boru hattı tamamlandıktan sonra işletmeye alınmadan önce PIG vasıtasıyla kontrolü gerekir. Yapılan bu ilk kontrolün amacı temizliktir. Henüz kullanılmamış bir boru hattında temizlik yapılmasının nedeni ise boru hattının inşaat edilmesi sırasında işçiler tarafından boru hattı içerisinde kaynak elektrodu, yemek artığı gibi çöplerin unutulmuş olabileceği ihtimalidir. Ayrıca inşaat sırasında boru hattına giren hayvanların ölmesi sonucu içeride kalacak hayvan leşlerinin de dışarıya alınması gerekir.

PIG ile yapılan ilk kontrolün diğerk bir amacı da boru hattının işletme basıncına dayanıp dayanamayacağını tespit etmektir. Bunun için boru hattı içerisine basınçlı temiz su basılır. Suyun temizliğini sağlamak için ilk önce su filtrelerden geçirilerek, 50-100 mikrondan daha büyük parçacıklar suyun içerisinden arındırılır. Boru hattının içine basılan suyun miktarı ve boru hattının çıkışından alınan suyun miktarlarının karşılaştırılmasıyla, kaçak testi yapılmış olur (Guo, et al., 2005).

PIG sistemleri 4 temel grupta sınıflandırılırlar;

- Birinci grup; Geleneksel veya yardımcı PIG'ler,
- İkinci grup; Geometri inceleme PIG'leri,
- Üçüncü grup; Aşınma, korozyon ve çatlak tespit PIG'leri,
- Dördüncü grup; Haritalama PIG'leri.

3.1. Birinci Grup PIG'ler

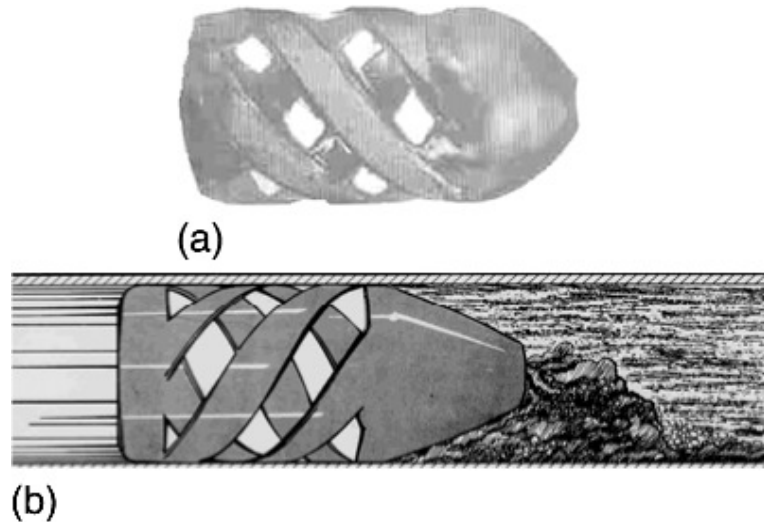
Birinci grup PIG'ler temizleme PIG'leri ve yüzer PIG'ler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Temizleme PIG'leri boru hattı yüzeylerinde zamanla biriken ve bunlardan döküntü haline gelen maddeleri uzaklaştırmaya yarar. Ayrıca bu PIG'ler boru hattında oluşan kimyasalları, suyu ve pislikleri de uzaklaştırır. Temizleme PIG'lerinin fırçalar ve bıcaqlarla donatılmış çok çeşitli modelleri vardır. Şekil 3.2.'de bıçaklı bir temizleme PIG'i gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bıçaklı bir temizleme PIG'i (Guo, et al., 2005).

Yüzer PIG'ler boru hattının suyla doldurulup boşaltıldığı hidrostatik testlerde kullanılırlar. Bu PIG'lerin yüzer başlı veya diskli olan küre, poliüretan (Şekil 3.3.) ve mil şeklinde (metal) olan çeşitleri vardır.



Şekil 3.3. Yüzer PIG: a) Poliüretan yüzer PIG, b) Poliüretan PIG ile boru hattının temizlenmesi (Guo, et al., 2005).

3.2. İkinci Grup PIG'ler

İkinci grup PIG'ler geometri inceleme PIG'leridir. Şekil 3.4.'de bir örneği gösterilmiş olan geometri inceleme PIG'leri, çap ölçme PIG'leri ve boru deformasyon PIG'leri olmak üzere iki gruba ayrılırlar.



Şekil 3.4. Geometri ölçüm PIG'i.

Çap ölçme PIG'leri borunun iç yüzeyinde ilerleyen mekanik kollarla donatılmış, çöküntüleri ve deformasyonları tespit eden araçlardır. Caliper PIG'i olarak da adlandırılırlar.

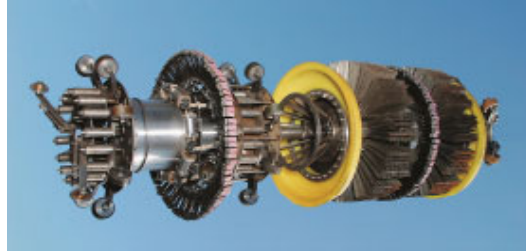
Boru deformasyon PIG'leri, ölçme PIG'leriyle aynı prensipte çalışırlar, ancak, ilave olarak tespit edilen çöküntü ve deformasyonun boru hattının neresinde olduğunu da tespit ederler.

3.3. Üçüncü Grup PIG'ler

Üçüncü grup PIG'ler aşınma, korozyon ve çatlak tespit PIG'leridir. Manyetik alan PIG'leri (MFL) ve ultrasonik PIG'ler (UT) olmak üzere, farklı prensiplerle çalışan iki gruba ayrılırlar.

Manyetik alan PIG'leri, boru hattı boyunca boru yüzeyine manyetik alan uygularlar ve hat boyunca bu manyetik alandaki anormal değişiklikleri kaydederek hasar tespiti yaparlar (Şekil 3.5.).

Bu prensiple çalışan PIG'ler genellikle boru et kalınlığının %20'sinden daha küçük olan hataları tespit edemezler. Ayrıca boru hattındaki stres sonucu oluşan korozyon çatlakları ve kaynak dikişi bölgelerindeki korozyonlar gibi aksenel yöndeki kusurları tespit edemezler.



Şekil 3.5. Manyetik alan PIG'i.

Ultrasonik PIG'ler ise manyetik alan yerine ultrasonik sinyaller kullanırlar ve bu sayede boru et kalınlığındaki azalmaları tespit ederler. Ancak bu teknoloji boru yüzeyi ile ultrasonik sensör arasında boşluk olmamasını, arada kuplaj malzemesi adı verilen yağ benzeri dolgu malzemeleri ile bir temas yüzeyinin oluşturulmasını gerektirir. Bunun sebebi ultrasonik enerjinin boru yüzeyine daha verimli bir şekilde aktarmaktır. Bu yüzden boru yüzeyinde parafin tabakasının oluştuğu ham petrol boru hatlarında tercih edilirler. Doğalgaz boru hatlarında ise böyle bir tabaka oluşmadığından, bu tip boru hatlarının muayenesi için özel problemlerin tasarlanması gereklidir. Şekil 3.6.'da ultrasonik bir ölçüm PIG'i gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Ultrasonik ölçüm PIG'i.

Ayrıca ultrasonik problemlerin kullanıldığı bu yöntemde, yapılan kontrollerden elde edilen sonuçların doğruluğunda boru et kalınlığı da etkileyici bir faktördür. Et kalınlığı çok küçük olmayan boru hatlarında daha iyi sonuç verirler.

3.4. Dördüncü Grup PIG'ler

Dördüncü grup PIG'ler haritalama PIG'leridir. Haritalama PIG'leri boru hattının coğrafik haritasını çıkarır ayrıca boru hattı üzerindeki vanaların ve eklentilerin yerlerini de belirtirler. Bu işlemleri gerçekleştirirken GPS (Global Positioning System) sistemini kullanırlar.

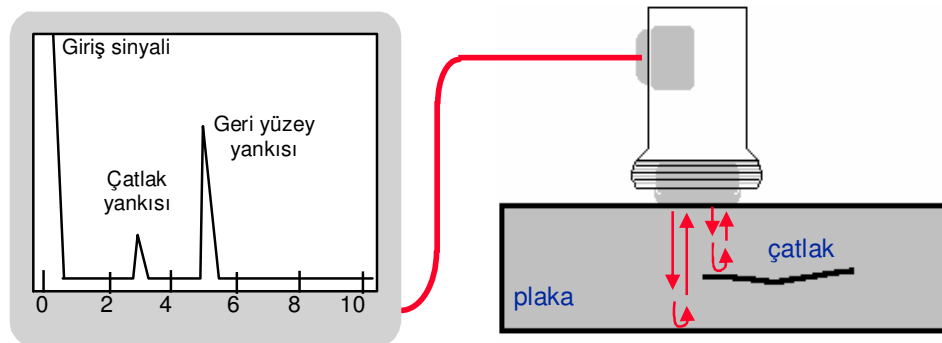
Yaygın kullanım alanına sahip olan bu PIG'lerin dışında kalan ve bazı özel amaçlarla üretilmiş çeşitli PIG'ler mevcuttur.

BÖLÜM 4

ULTRASONİK KOROZYON KONTROLÜ

Tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan ultrasonik test yöntemi çalışmaları 1940'lı yılların öncesine dayanır. Yapılan ilk çalışmalardan itibaren, değişik malzemelerin hata tespitlerinde ultrasonik yöntemin kullanımı, ölçümlere etki edici tüm faktörlerin göz önüne alınmasına dayalı klasik bir deneye dönüşmüştür. Günümüzde ise cihaz teknolojisindeki büyük ilerlemelerle desteklenen ultrasonik testlerin sınırlı toleranslar çerçevesinde yinelenebilir deney sonuçları vermeleri beklenmektedir. Bu da deneylere etki eden faktörlerin tam olarak bilinmesi ve bu faktörlerin deney teknolojisine uygulanabilmesi ile mümkün olmaktadır (Kökdemir, 2007).

Ultrasonik kontrol yönteminde kullanılan ultrasonik dalgalar, yüksek frekanslı basit titreşim dalgalarıdır. Elektronik olarak kontrol edilen ultrasonik dalgalar malzemenin içine gönderilir, hatalardan ve yüzeylerden yansıma sonucu elde edilen dalgalarla birlikte analiz edilerek, hata tespiti gerçekleştirilir. Böylece hata boyutu belirlenebilir ve ölçüm yapılan yüzeyden itibaren hatanın uzaklığı ölçülebilir. Şekil 4.1.'de ses enerjisinin plaka içindeki bir çatlaktan ve geri yüzeyden yansıyarak prob tarafından algılanması ve zamana bağlı olarak görüntülenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yansıyan ses enerjisinin zamana bağlı olarak görüntülenmesi.

4.1. Ultrasonik Algılamada Bazı Terimler ve Tanımlamalar

Bu bölümde, ultrasonik algılamada kullanılan, frekans, ses dalgaları, dalga boyu, dalga yayılma modeli, ultrasonik dalga tipleri, akustik empedans, ses zayıflaması, soğurulma, saçılma ve algılama mesafeleri gibi terim ve tanımlamalar açıklanacaktır.

4.1.1. Frekans

Frekans, bir saniye içinde salınan dalgaların sayısıdır. Frekans değeri dalga boyu ile ters orantılıdır. Dalgaboyu arttıkça frekans değeri azalır. Frekans değerinin birimi Hertz'dir.

4.1.2. Ses Dalgaları

Ses dalgaları, frekans değerlerine göre sınıflandırılırlar. Frekans değerleri 16 Hz'den küçük olan ses dalgaları ses-altı ($f < 16$ Hz), 16 Hz ile 16 kHz arasında frekans değerine sahip olanlar akustik ($16 \text{ Hz} \leq f \leq 16 \text{ kHz}$), 16 kHz'den yüksek frekans değerine sahip olanlar ise ultrasonik ses dalgaları ($f > 16 \text{ kHz}$) olarak sınıflandırılırlar. Tahribatsız muayene tekniklerinde, genellikle 0,5-20 MHz aralığı kullanılmaktadır.

4.1.3. Dalga boyu

Dalga boyu, ultrasonik enerjinin aynı salınım durumu sahip ardışık iki nokta arasındaki birim yayılma mesafesidir. Dalga boyu 4.1 bağıntısı ile tanımlanır. Bağıntıda, "C" dalga yayılım hızının birimi metre/saniyedir.

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (4.1)$$

4.1.4. Akustik empedans

Akustik empedans, bir malzemenin ses dalgalarının yayılmasına karşı gösterdiği direncinin ölçüsüdür. Malzeme yoğunluğunun ve malzeme içindeki dalga yayılma hızının çarpımına eşittir. Farklı akustik empedanslara sahip iki bölgenin arayüzeyine çarpan dalgaların bir kısmı geri yansır, bir kısmı yoluna devam eder. Empedanslar arasındaki fark büyüdükçe yansıyan miktar artar.

4.1.5. Soğurulma ve saçılma

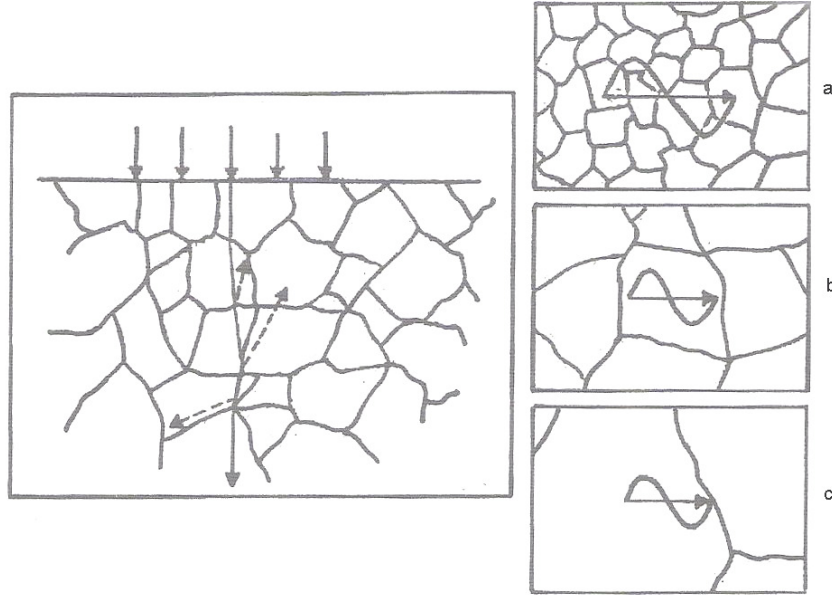
Soğurulma, ses enerjisinin başka bir enerji tipine, örneğin ısıya, dönüşmesidir. Saçılma ise dalgaların tane sınırlarından yansımaları ifade eder ve tane boyutu ile dalgaboyu arasındaki orana bağlıdır.

$0.02 < D/\lambda < 0.2 \rightarrow$ Rayleigh saçılması (Şekil 4.2.a.),

$D/\lambda \approx 1 \rightarrow$ rastgele saçılma (Şekil 4.2.b.),

$D/\lambda > 1 \rightarrow$ yayılım saçılması (Şekil 4.2.c.).

Ortalama tane boyutuna sahip bir malzeme üzerinde yapılan ultrasonik incelemede, dalgaboyu arttırıldıkça (frekans azaldıkça) saçılma azalır. Gri dökme demir ve ostenitik çelik döküm gibi iri taneli malzemelerde Rayleigh ve rastgele saçılma mekanizmaları etkindir ve inceleme için düşük frekanslı probalar tercih edilir (Gür, 1999).



Şekil 4.2. Ultrasonik dalgaların saçılma mekanizmaları: a) Rayleigh saçılması, b) rastgele saçılma, c) yayılım saçılması (Gür, 1999).

4.1.6. Ses zayıflaması

Ses zayıflaması, saçılma ve soğurulmanın yol açtığı ses basıncı kayıplarını ifade eder. Metaller ve seramik malzemelerde saçılma, plastik malzemelerde ise soğurulma mekanizması daha etkindir.

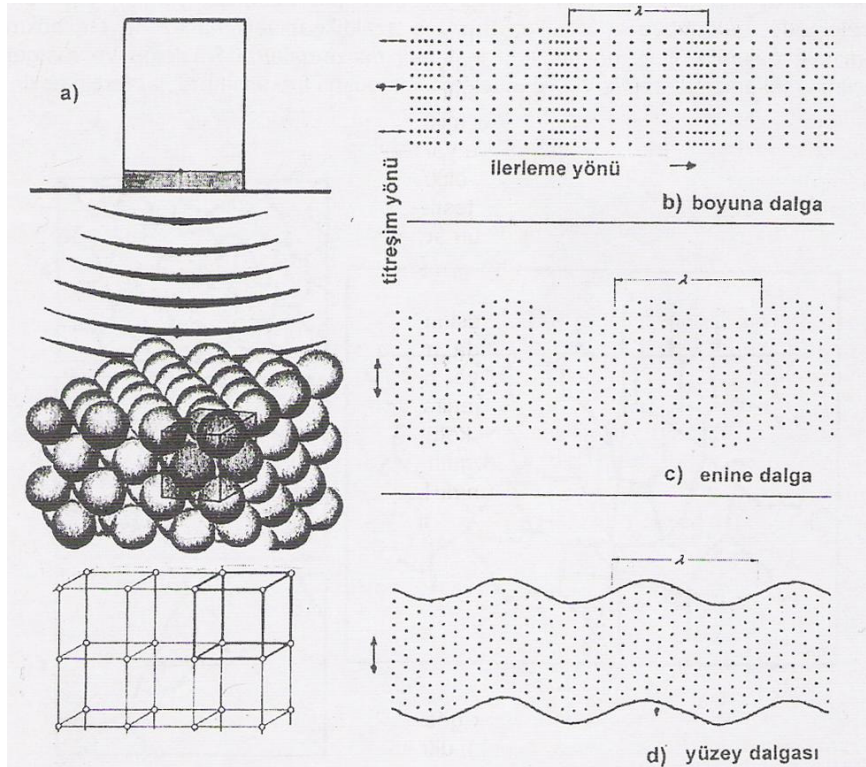
4.1.7. Algılama mesafeleri

Sensörün cisimlere hassas olduğu algılama mesafesidir. Buna algılama penceresi de denir. Minimum algılama mesafesi, belirtilen algılama mesafesinin alt limitidir. Belirtilen algılama mesafesinin üst limiti ise maksimum algılama mesafesidir. Algılamanın yapılabildiği, minimum ve maksimum algılama mesafeleri arasında kalan bölge algılama bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölge cihazın özelliğine bağlı olarak sabit ya da ayarlanabilir.

Sensör ile minimum algılama mesafesi arasında kalan bölgeye ise kör bölge adı verilir. Ultrasonik darbenin iletimi esnasında bu bölgede yankı algılanamaz. Bu sebeple yüze çok yakın olan küçük hatalar probun kör bölgesinde iseler tespit edilemezler.

4.1.8. Dalga yayılma modeli ve ultrasonik dalga tipleri

Bir malzemenin kristal yapısı, atomların düzenli aralıklarla konumlandıkları ve yaylarla sembolize edilen elastik kuvvetlerle bir arada tutuldukları basit bir modelle ifade edilebilir. Ultrasonik propta ses enerjisine dönüştürülen dalgalar, titreşen atomların elastik temasıyla malzeme içerisinde belirli bir hızla yayılırlar (Şekil 4.3.a.). Dalgaların yayılma hızı, titreşen atomların kütlelerine (malzeme yoğunluğuna) ve atomlar arasındaki bağlayıcı kuvvetlere (elastik modüle) bağlıdır (Gür, 1999).



Şekil 4.3. Dalga yayılma modeli ve ultrasonik dalga tipleri (Gür, 1999).

Ultrasonik dalga tipleri, boyuna dalga, enine dalga ve yüzey dalgasıdır. Dalga tipleri, ultrasonik enerjinin ilerleme yönü ile parçacık hareketini temel alarak sınıflandırılırlar.

Boyuna dalgalarda, ilerleme yönü ile titreşim yönü birbirlerine paraleldir (Şekil 4.3.b.). Basınç dalgaları olarak da adlandırılırlar, tüm ortamlarda yayınabilirler ve hızları diğer dalgalardan daha büyüktür. Ultrasonik kontrolde en yaygın olarak kullanılan dalgalardır (Kayrak, 2001).

Enine dalgalarda, salınım yönü yayınım doğrultusuna diktir (Şekil 4.3.c.). Kesme dalgası olarak da adlandırılan bu dalgalar sadece katı ve viskozitesi yüksek sıvı ortamlarda yayınabilirler. Hızları, boyuna dalgaların hızlarının yaklaşık yarısı kadardır (Kayrak, 2001).

Yüzey dalgaları, sadece malzemenin yüzeyi boyunca yaklaşık olarak bir dalgaboyu derinlikte yayılırlar ve yüzey kavislerini izlerler (Kökdemir, 2007). Titreşim hareketleri yayınım doğrultusuna dik bir elips şeklindedir (Şekil 4.3.d). Test parçasının yüzeyinin düzgün olmaması, bu dalgalarda saçılmalara neden olmaktadır. Yüzey dalgalarının hızları ile enine dalgaların hızları arasındaki ilişki 4.2 bağıntısı ile verilmektedir (Kayrak, 2001).

$$C_Y = 0.9C_E \quad (4.2)$$

Çeşitli malzemelere ait yoğunluk ve ultrasonik hız değerleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir. Ultrasonik dalgaların herhangi bir ortamda yayınma özellikleri, o ortamın elastik özellikleri ile ilgilidir. Bu ilişki, 4.3 ve 4.4 bağıntıları ile verilmektedir. Bağıntılarda, “E” elastik modül, “v” poisson oranı ve “G” kayma elastik modülünü ifade etmektedir (Kayrak, 2001).

$$C_B = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (4.3)$$

$$C_E = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (4.4)$$

Bir ortamın ultrasonik enerji yayınına gösterdiği direnç olarak tanımlanan akustik empedans, ultrasonik enerjinin yayını ve yansıma özelliklerini büyük ölçüde etkiler. “Z” akustik empedans, 4.5 bağıntısı ile verilebilir. Bağıntıda, “ ρ ” malzeme yoğunluğu, “C” ise ultrasonik dalga hızı olarak verilmektedir (Kayrak, 2001).

$$Z = \rho.C \quad (4.5)$$

Çizelge 4.1. Farklı malzemelere ait ultrasonik hız değerleri (Kayrak, 2001).

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Boyuna Dalga Hızı C _B (m/sn)	Enine Dalga Hızı C _E (m/sn)
Alumina	2,2	9000	5500
Alüminyum	2,7	6300	3130
Bakır	8,9	4700	2260
Berilyum	1,85	12400	8650
Çelik	7,7	5900	3230
Çinko	7,1	4170	2410
İnconel	8,25	5720	3020
Kadmiyum	8,6	2780	1500
Kurşun	11,4	2160	700
Magnezyum	1,74	5740	3080
Monel	8,83	6020	2720
Nikel	8,8	5630	2960
Polietilen	0,9	1950	540
Titanyum	4,54	6240	3125
Tungsten	19	5460	2620

İki farklı ortamın ayırım çizgisine ulaşan bir ultrasonik enerji demeti, bu sınırdaki farklı kollara ayrılır. Bir miktar enerji kırılarak ikinci ortama geçerken, enerjinin bir kısmı da ara yüzeyden yansırarak birinci ortama geri dönmektedir. Kırılan ve yansıyan enerji oranları, 4.6 ve 4.7 bağıntıları ile verilmektedir. Bağıntılarda “ Z_1 ” birinci ortamın, “ Z_2 ” ise ikinci ortamın akustik empedansıdır (Kayrak, 2001).

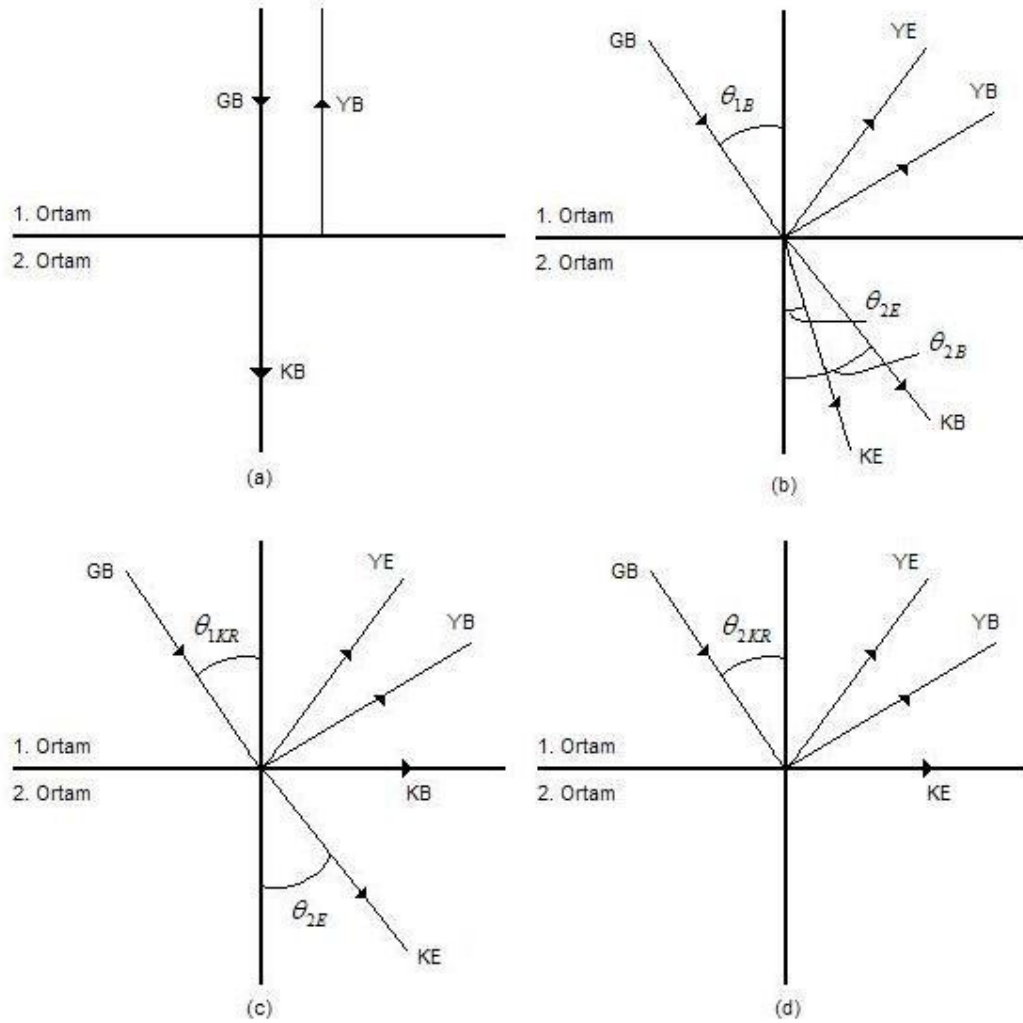
$$\frac{P_Y}{P_G} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (4.6)$$

$$\frac{P_K}{P_G} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad (4.7)$$

Ortamların ayırım yüzeylerine çeşitli açılarla ulaşan ultrasonik enerji, görünür ışık gibi, ara yüzeyden kırılır ve yansır. Tüm bu olaylar, yüzeylerin normali ile açı yapacak veya çakışacak şekilde gerçekleşir. Yansıma ve kırılma açıları, geliş açısına ve ortamdaki ultrasonik hıza bağlı olarak belirlenebilir. Ayrıca, yansıma ve kırılma sırasında, dalgaların formu da değişir. Örneğin, boyuna bir dalga, çeşitli açılarda boyuna ve enine dalgalara ayrılarak, kırılır ve yansır. Her iki ortamdaki gelen, kırılan ve yansıyan dalgaların açısız bağıntıları, dalga hızlarına da bağlı olarak 4.8 bağıntısı ile verilebilir (Kayrak, 2001).

$$\frac{\sin \theta_{1B}}{C_{1B}} = \frac{\sin \theta_{1E}}{C_{1E}} = \frac{\sin \theta_{2B}}{C_{2B}} = \frac{\sin \theta_{2E}}{C_{2E}} \quad (4.8)$$

Verilen tüm açı değerleri normale yapılan açılardır. Gelen dalga normale paralel olduğunda, kırılan boyuna ve yansıyan boyuna dalgalar da normale paralel olmaktadır. Bu durum, Şekil 4.4.a.’da verilmektedir. Boyuna dalga ayırım yüzeyine normale açı yapacak şekilde ulaştığında, Şekil 4.4.b.’de verildiği gibi, kırılan boyuna ve enine dalgalar oluşmaktadır. Gelen boyuna dalgaların geliş açısının, uygun bir değer seçilmesi ile, ikinci ortamda kırılan dalgaların açıları belirlenebilmektedir.



Şekil 4.4. Ultrasonik dalgaların ayırım yüzelerindeki davranışları (Kayrak, 2001).

Geliş açısının, bağıntı 4.9'da verilen değeri alması durumunda, ilk kritik açı değeri elde edilir. Bu, kırılan boyuna dalganın normale dik olduğu durumdur ve şekil 4.4.c.'de verilmektedir. İkinci kritik açı değeri ise, kırılan enine dalganın normale dik olduğu durumdur ve 4.10 bağıntısı ile belirlenebilir. Bu durum şekil 4.4.d.'de verilmektedir. Gelen boyuna dalganın açısının, iki kritik açı değerinin arasındaki değerlerini alması durumunda, ikinci ortamda sadece enine dalgalar oluşmaktadır. 4.9 ve 4.10 bağıntıları, 4.8 eşitliğinde sırasıyla, ikinci ortamda kırılan boyuna dalga açısının

ve enine dalga açısının 90° alınması ile elde edilmiştir (Kayrak, 2001).

$$\theta_{1KR} = \sin^{-1}\left(\frac{C_{1B}}{C_{2B}}\right) \quad (4.9)$$

$$\theta_{2KR} = \sin^{-1}\left(\frac{C_{1B}}{C_{2E}}\right) \quad (4.10)$$

4.2. Problar

Ultrasonik dalgaları üreten, ürettiği dalgaları test parçasına yönlendirip yankılarını algılayan düzeneklere prob denir. Problar, tek kristalli problar, çift kristalli problar ve açılı problar olmak üzere üç çeşittir ve bu problar kendi içlerinde bazı elemanlardan oluşmuşlardır. Prob çeşitleri, probu oluşturan elemanlar ve bu elemanların görevleri aşağıda açıklanmıştır.

4.2.1. Prob iç yapısı

Piezoelektrik Transdüser

Piezoelektrik transdüser, probun ultrasonik enerjiyi üreten ve algılayan elemanıdır. Alt ve üst yüzeyleri gerilim plakalarıyla kaplanmıştır. Problar genellikle 10 mikro saniyeden daha kısa süren bir gerilim (voltaj) darbesi ile uyarılırlar. Bu kısa gerilim darbesi ise bir frekans bandından oluşur. Bu sırada, transdüserin rezonans frekansında ve maksimum genlikle bir titreşim oluşur. Probun karakteristik özelliği olan rezonans frekansı transdüserin kalınlığı ile ilgilidir (Kökdemir, 2007).

Probun yapısında piezoelektrik kristal olarak kullanılan, kurşun zirkonat, kurşun metaniobat ve baryum titanat gibi sentetik yapıların yanı sıra, polimer seramik sentetik elementler de geliştirilmiştir. Polimer elementler, test parçası yüzeyine uyum

sağlayabilecek özelliktedirler. Kuartz gibi, kimi doğal kristal yapıları malzemeler de piezoelektrik özelliklere sahiptirler. Kuartz kristal, yüksek termal ve elektriksel dayanıma sahiptir ayrıca sıvı ortamlarda çözünmez. Piezoelektrik elemanların çoğu, hem enine hem de boyuna dalga üretecek şekilde titreşim özelliğine sahiptirler. Direk iletim yöntemi ile testte genellikle, baryum titanat ultrasonik enerji üretici, lityum sülfat ise enerji değerlendirici kristal olarak kullanılır. Lityum sülfat kristali, yüksek duyarlılığa sahip, 110°C'ye kadar verimli olarak kullanılabilen ve küçük sinyalleri bile elektrik enerjisine dönüştürebilen bir kristaldir. Bir kristalin duyarlılığı, küçük süreksizlikleri belirleme ve birbirine yakın iki hatadan alınan sinyalleri ayırt edebilme, yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Kayrak, 2001).

Ultrasonik enerji, piezoelektrik malzemelerin kullanılmadığı elektromanyetik ve termal yöntemler ile de üretilebilir. Manyetik alanın ince metal malzemede titreşimler oluşturması veya lazerle termal titreşimler oluşturulması mümkündür. Ancak piezoelektrik malzeme, ultrasonik enerji üretme ve algılama özelliği açısından en verimli yapıdır (Kayrak, 2001).

Elektromanyetik ve termal yöntemler de, ultrasonik enerji üretiminde kullanılmaktadır. Manyetik alanın ince metal malzemede titreşimler oluşturması veya lazerle termal titreşimler oluşturulması mümkündür. Ancak piezoelektrik malzeme, ultrasonik enerji üretme ve algılama özelliği açısından en verimli yapıdır (Kayrak, 2001).

Sönüm Bloğu

Bir probda transdüserin hemen üzerinde yer alan sönüm bloğunun görevi probun iki önemli fonksiyonu olan ayırma gücünü ve duyarlılığını kontrol etmektir. (Ayırma gücü; malzemede derinlik yönündeki birbirine yakın olan iki hatanın yankılarını ayırt edebilme yeteneğidir. Duyarlık ise küçük hataların yankılarını algılama yeteneğidir.) Probun yüksek ayırma gücüne sahip olabilmesi için gerekli şart transdüser titreşiminin mümkün mertebe hızlı bir şekilde sönümlenmesidir. Buna karşılık, probun yüksek duyarlılığı için, transdüser titreşimi sönümlenmesinin mümkün mertebe düşük

olması sağlanmalıdır. Bu iki şart birbirine ters düşmekte olup, optimum bir sönümleme değerinin seçilmesi gerekmektedir (Kökdemir, 2007).

Sönümleme malzemesi ve transdüser aynı akustik empedansa sahip olduğunda, transdüser titreşimi için maksimum sönümleme elde edilir. Bu akustik empedans uyumu, ultrasonik enerjinin transdüserden sönüm bloğuna kolayca geçmesini sağlar. Sönüm bloğu ayrıca, yüksek derecede zayıflatma ve soğurma özelliğine sahip olmalıdır. Bu sayede, bloğa giren titreşimler dağılarak yok olur ve bloğun arka yüzeyinden herhangi bir yansıma, dolayısıyla rahatsız edici sinyaller meydana gelmez. Darbe yankı problemlerinin sönüm malzemeleri çoğunlukla lifli plastiklerden veya çeşitli plastik maddelerle bağlanmış metal tozlarından yapılmıştır. Örneğin, volfram tozu – araldit karışımı sönüm malzemesi olarak kullanılmaktadır. Zayıflama, tozun tane boyutu ile, empedans ise metal tozu ve plastiğin karışım oranı ile kontrol edilebilmektedir (Kökdemir, 2007).

Denkleştirme Transformatörü

Prob kablosu üzerinden transdüser yönünde ve ters yönde maksimum enerji transferi için piezoelektrik transdüserin elektrik empedansını kablunun elektrik empedansına denkleştiren elemandır.

Akustik Zırh

Çift kristalli problemlerde gönderici ve algılayıcı kısımların birbirine etki etmesini önlemek amacıyla, iki kısım arasına yerleştirilen ses soğurucu maddeden yapılmış bir tabakadır.

Aşınma Tabakası

Sert plastik veya seramikten yapılan ve transdüseri dış etkilere karşı koruyup aşınmaları önleyen tabakadır.

Dış Muhafaza

Prob elemanlarını içinde taşıyan ve bu elemanları koruyan, genellikle metal malzemeden yapılan dıştaki elemandır.

İç Dolgu

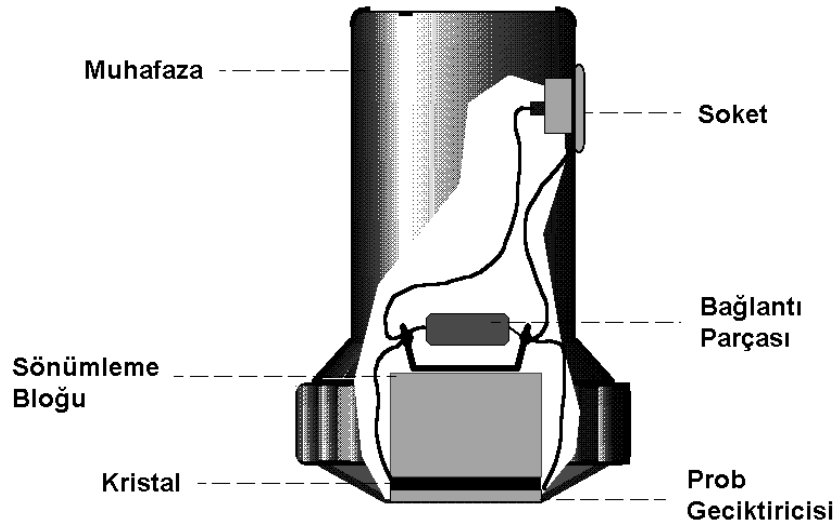
İç dolgu, dış muhafaza kabının içinde kalan boşlukları doldurmak amacıyla kullanılan malzemedir. Genellikle reçine türü malzemeler iç dolgu olarak kullanılır.

4.2.2. Prob çeşitleri

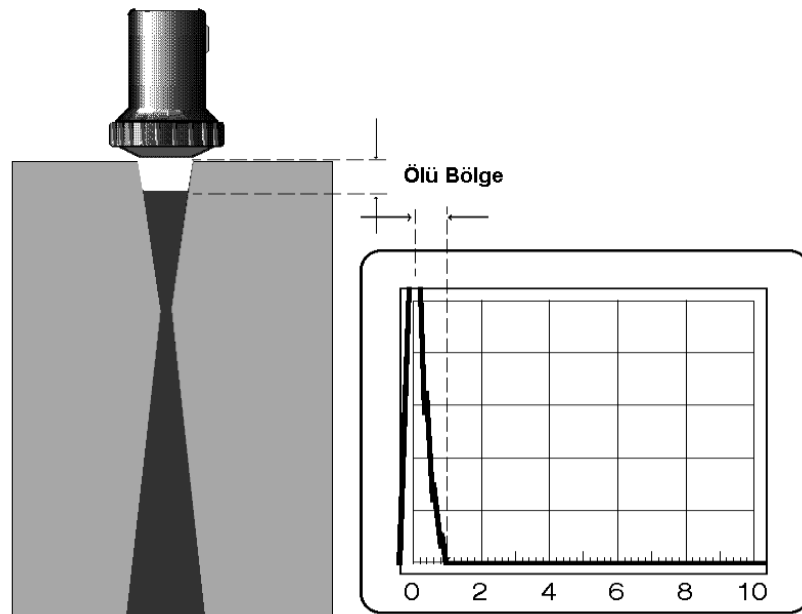
Tek veya çift kristalli olabilen normal proplar ve açılı proplar, prob çeşitleridir.

4.2.2.1. Tek kristalli normal proplar

Tek kristalli normal proplar, genellikle boyuna dalga üretirler ve ses demetini malzeme yüzeyine dik doğrultuda gönderirler. Tek transdüserli proplarda, transdüser hem gönderici hem algılayıcı olarak çalışır. Şekil 4.5. bir normal probu ve iç elemanlarını göstermektedir. Transdüser, cihazın gönderici (darbe) ve yükseltici devreleri ile bağlantılıdır. Bu nedenle başlangıç darbeleri uzun, dolayısıyla ölü bölgeleri büyüktür (Şekil 4.6.). Ölü bölgenin büyük olması, yüzeye yakın hataların tespitinde ve ince cidar kalınlıkların ölçümünde probu kullanışsız hale getirmektedir. Günümüzde, ince malzemelerin testinde daha kullanışlı olan ve daha kısa ölü bölgeye sahip, kısa darbeli proplar üretilmeye başlanmıştır. Normal propları, bir açılı adaptör takmak suretiyle açılı prob olarak da kullanmak mümkündür (Kökdemir, 2007).



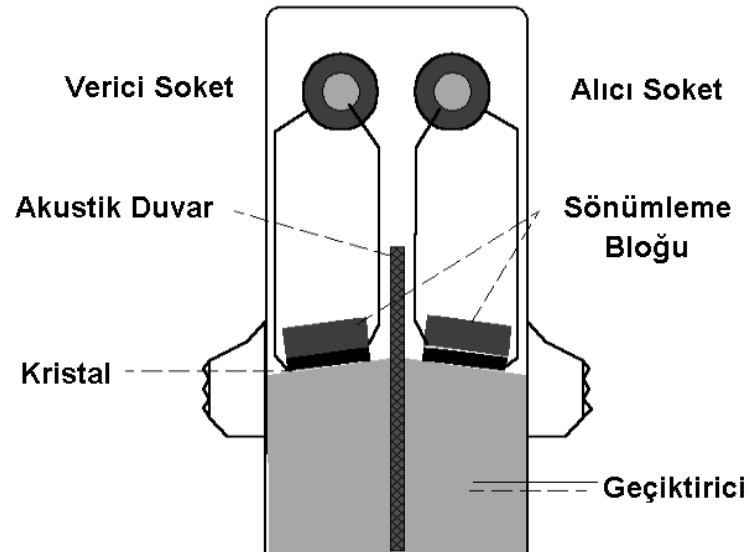
Şekil 4.5. Tek kristalli normal prob (Kökdemir, 2007).



Şekil 4.6. Tek kristalli normal probun ölü bölgesi (Kökdemir, 2007).

4.2.2.2. Çift kristalli normal problar

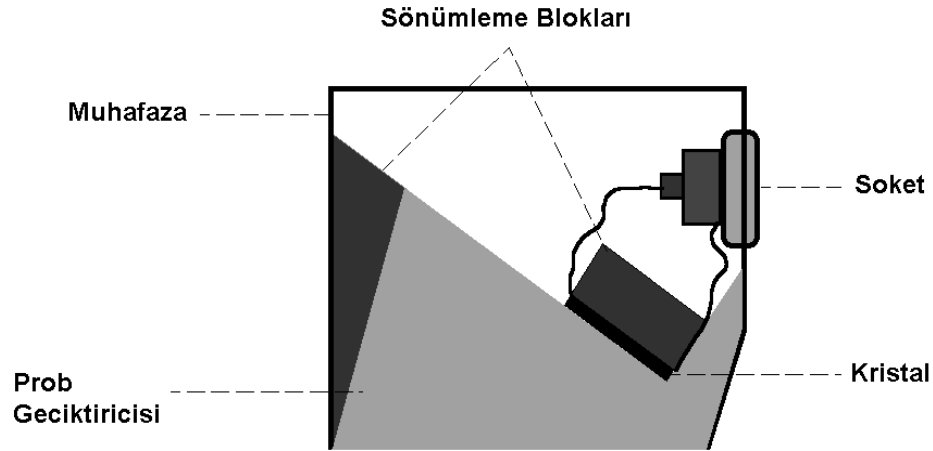
Tek kristalli normal problarda karşılaşılan zorlukları önlemek için çift kristalli normal problar kullanılmaktadır. Şekil 4.7.'den de görüldüğü gibi, bu problar birbirinden akustik bir duvar ile ayrılmış iki ayrı transdüser içermektedir. Transdüserlerden biri cihazın gönderici devresine (veya darbe devresine), diğeri de algılama devresine bağlıdır. Böylece, darbe devresi tarafından yükseltici devreye gönderilen başlangıç elektrik darbesi elimine edilmiş olmaktadır (Kökdemir, 2007).



Şekil 4.7. Çift Kristalli normal prob (Kökdemir, 2007).

4.2.2.3. Açılı problar

Açılı problarda, ultrasonik dalgaları test parçasına çeşitli açılarda iletmek için dalga kırılması ve dönüşümünden yararlanılmaktadır. Bir açılı prob ve iç elemanları Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Açılı prob (Kökdemir, 2007).

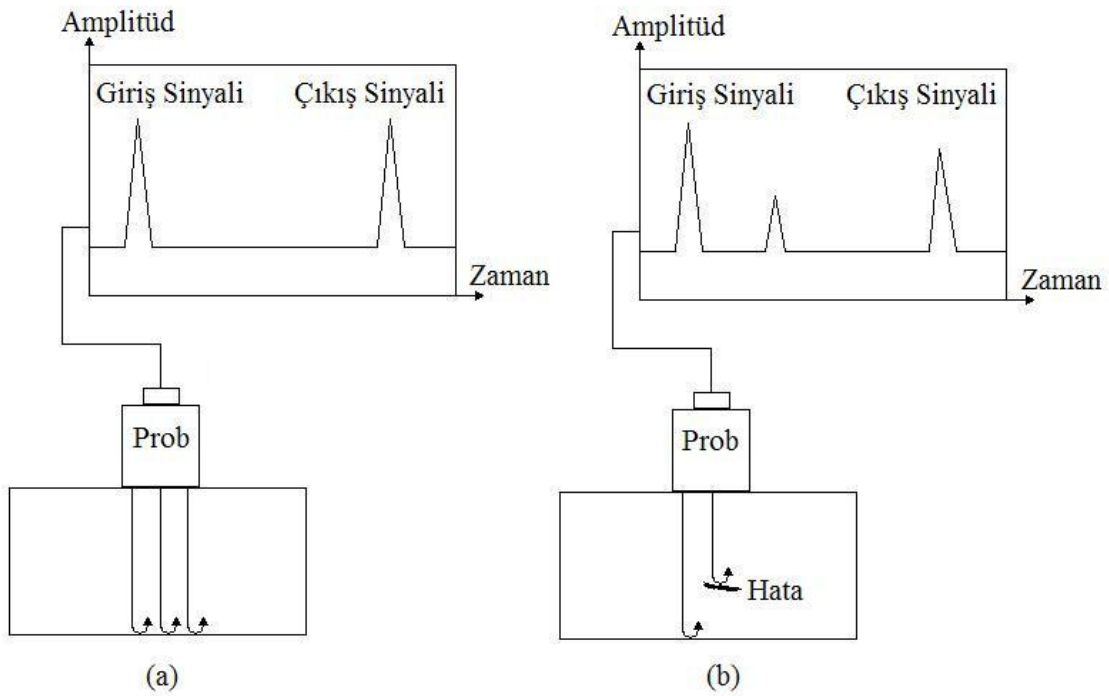
Açılı prob, test parçası yüzeyine belli bir geliş açısı altında boyuna dalgalar gönderir. Geliş açısı kritik açıdan daha büyük olarak seçilir, böylece malzeme ortamında sadece enine dalgalar yayılır. Probla malzemenin temas ettiği ara yüzeyden yansıyan boyuna dalgalar probtaki sönüm bloğu tarafından yok edilir, böylece boyuna dalgaların yaratacağı rahatsız edici belirtiler önlenmiş olur. Çelikteki kırılma açısı ve prob indeksi olarak adlandırılan ses çıkış noktası, probun metal dış muhafazası üzerinde işaretlidir.

Yüzey dalgası problemleri de açılı problemler sınıfına girmektedir. Bu problemler ticari olarak üretildiği gibi, bir normal proba bir pabuç (eğimli taban bloğu) takılarak da enine dalgaların 90° kırılmasını sağlayarak yüzey probu elde etmek mümkündür.

Eğer, çelik için tasarlanmış bir açılı prob başka malzemelerde kullanılacaksa, kırılma açısında oluşacak değişiklik göz önüne alınmalıdır. 35° açılı prob, bakır ve gri dökme demirde kullanıldığında ortamda sırasıyla 57° ve 55° boyuna dalgalar da yayılacak ve bu, test işlemini zorlaştıracaktır. Bu nedenle, bu malzemelerde daha büyük açılı problemler tercih edilmelidir. Ticari olarak üretilen açılı problemler, çelik içinde 35° , 45° , 60° , 70° ve 80° enine dalga yayacak şekilde tasarlanmışlardır (Kökdemir, 2007).

4.3. Ultrasonik Algılama Prensibi

Ultrasonik algılama prensibi, bir yüksek gerilim jeneratörü ile enerjilendirilen transduser tarafından üretilen değişik frekanslardaki ses dalgalarının alıcı tarafından karşılanması için geçen sürenin ölçülmesi prensibine dayanır. Ses dalgalarının 20°C’de havadaki hızı 340 m/s’dir ve 1 metre yol alması 3 ms kadar sürer. Bu süre cihazların içinde bulunan bir mikro kontrolör tarafından ölçülür ve önceden belirlenmiş değerlerle karşılaştırma yapılarak algılayıcının hedefinde bir cisim olup olmadığı ya da bulunduğu mesafe tespit edilir (Gül, 2008). Şekil 4.9.’da sinyal görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.9. Ultrasonik cihazda sinyal görüntüleri (darbe yankı metodu) a) Hata içermeyen parça için, b) Hatalı parça için (Kayrak, 2001).

4.4. Ultrasonik Algılamada Çalışma Modları

Cisimden Yansıma Modu

Tek bir algılayıcı ses dalgalarını üretir ve karşılar. Bir cisim ses dalgalarını geri yansıttığında cisim sensör tarafından algılanmış olur.

Refleks Mod

Tek bir algılayıcı ses dalgalarını yayar ve bir reflektörden geri yansımasıyla yine kendi üzerinde karşılar. Fakat reflektör ile cisim arasında bir cisim olduğunda ses dalgaları kırılmış olur ve böylelikle cisim algılanır. Bu çalışma biçimi özellikle ses dalgalarını emici niteliği olan cisimleri algılamak için oldukça uygundur.

Karşılıklı Mod

Bu moddaki sensör iki bölümden oluşur; Ses dalgalarını üreten verici ve algılayan alıcı. Bu iki parça arasına cisim girdiğinde algılama yapılmış olur.

4.5. Test Parçasına Ultrasonik Enerji İletimi

Yüksek frekanslara sahip olan ultrasonik enerji, havada hızla zayıflar. Ayrıca, hava ile test parçası malzemesinin akustik empedansları arasındaki fark, ultrasonik enerjinin büyük bir oranının parça yüzeyinden yansımasına neden olmaktadır. Test parçasına verimli bir enerji iletimi için, yarı sıvı bir jel test parçası ile prob arasında bulunmalıdır. Jöle kıvamındaki bu malzeme, kuplaj tabakası olarak adlandırılır. Maksimum enerji iletimi için, kuplaj tabakasının homojen kalınlıkta olması ve sürekliliğinin sağlanması önemlidir. Test parçasının yüzey düzgünlüğü, kuplaj tabakasının homojenliğini etkileyen önemli bir faktördür. Ultrasonik enerji farklı ortamlara geçerken yansıyan enerji oranının sıfıra yaklaşması, 4.6 bağıntısında verildiği gibi ortamların akustik empedanslarının birbirine yakın olması ile sağlanabilmektedir.

Bu nedenle, test parçasına maksimum enerji iletiminde uygun kuplaj malzemesi seçiminin önemi büyüktür.

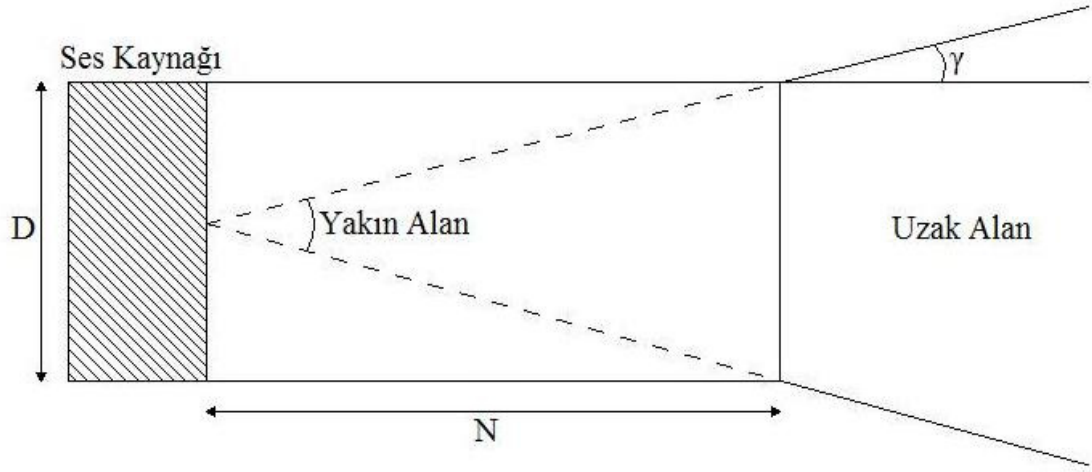
4.6. Ultrasonik Enerji Demetinin Karakteristikleri

Ultrasonik enerji demeti malzeme içinde ilerlerken, saçılmalara uğramakta ve enerji gücünün yoğunluğu değişmektedir. Ultrasonik demet proba ve test parçası yüzeyine yakın bölgelerde, prob çapına eşit çapta silindirik bir bölge içermektedir. Bu bölgeye, yakın alan denir ve girişim nedeniyle, küresel dalgalar yayılmaktadır. Bu dalgalar, basınç değişimine neden olurlar. Yakın bölgenin ardından probdan uzaklaştıkça, girişim olayı ortadan kalkar ve daha uniform bir alan olan uzak bölgeye ulaşılır. Uzak bölgenin boyu arttıkça, ultrasonik enerji yoğunluğu azalır. Ultrasonik demetin yakın ve uzak bölgeleri, şekil 4.10'da verilmektedir. Yakın bölge boyu "N" 4.11 bağıntısı ile verilebilir.

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (4.11)$$

"N" değeri aynı zamanda "λ" değerini belirleyen, ortamdaki ultrasonik hıza ve kaynak frekansına bağlı olarak da değişmektedir. Aynı özelliklerdeki bir proba, farklı malzeme ortamlarında oluşturulan ultrasonik demetler farklılık göstermektedirler. Boyuna ve enine dalgalar üreten problarda çaplar ve frekanslar aynı olsa dahi, aynı malzeme içinde farklı ultrasonik demetler oluşur. Bunun nedeni, ortamdaki yayılım hızlarının farklı olmasıdır. Şekil 4.10.'da verilen ultrasonik demete ait uzak bölge konik yapıdadır ve koninin yüzeylerinin yatay eksenden ayrılma açısı "γ", 4.12 bağıntısı ile verilmektedir ve birimi derecedir. "λ" dalga boyunun ve "D" prob çapının birimleri ise milimetredir.

$$\gamma = 2 \sin^{-1} \left(1,2 \frac{\lambda}{D} \right) \quad (4.12)$$



Şekil 4.10. Ultrasonik enerji demetinin geometrisi (Kayrak, 2001).

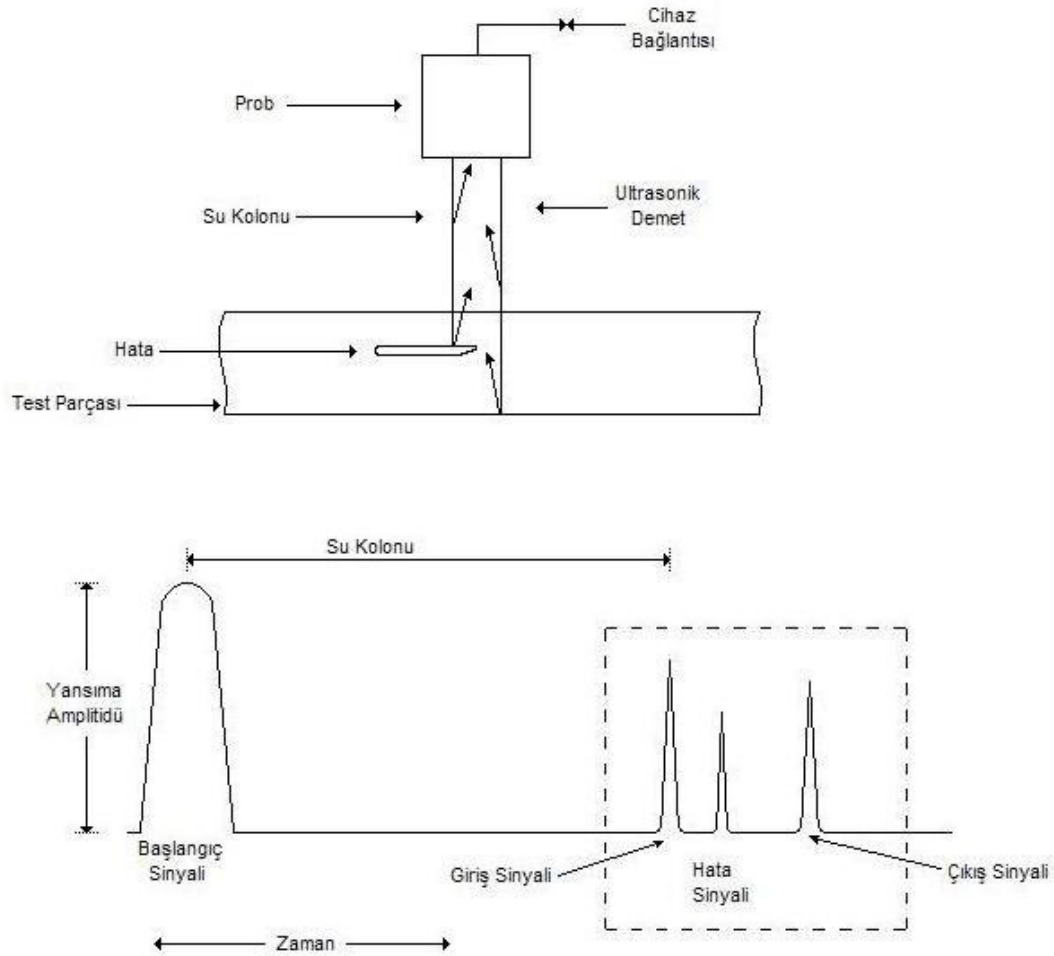
Yakın bölgedeki girişimler nedeniyle, hatanın bu alanda bulunması durumunda, tespit güçlüğü vardır. Uzak bölgede ise, enerji zayıflaması kaçınılmazdır. Bir probun en ideal kontrol noktası, kaynaktan “N” uzaklıkta başlar. Bu noktanın değeri, 4.11 bağıntısı ile belirlenebilir. Ayrıca odaklanma lensleri kullanılarak, ultrasonik enerjinin konik dağılımı önlenerek, bir bölgede toplanması sağlanabilir (Kayrak, 2001).

4.7. Ultrasonik Enerjinin Ortam İçinde Zayıflaması

Test parçası içinde ultrasonik enerjinin zayıflaması, belirlenebilir hata derinliğini ve hata belirleme duyarlılığını azaltmaktadır. Enerji zayıflamasının ana nedenleri, saçılma, absorpsiyon ve geometrik faktörlerdir. Metalik malzemelerde saçılma, çok küçük süreksizlikler, tane sınırları ve geniş kontrol mesafelerinden dolayı oluşmaktadır. Dislokasyonlar boyunca, manyetik ve termoelastik sönümlenme, absorpsiyon karakteristiklerinden dolayı zayıflamaya neden olur. Geometrik faktörler ise, saçılma, yüzeyde kuplaj kaybı gibi etkilere neden olmaktadır. Zayıflama verimliliği, sıcak haddelenmiş perlitik çelik yapıda 10 dB/m iken, paslanmaz çelikte ve alüminyumda 100 dB/m ve polimerlerde 300 dB/m değerindedir (Kayrak, 2001).

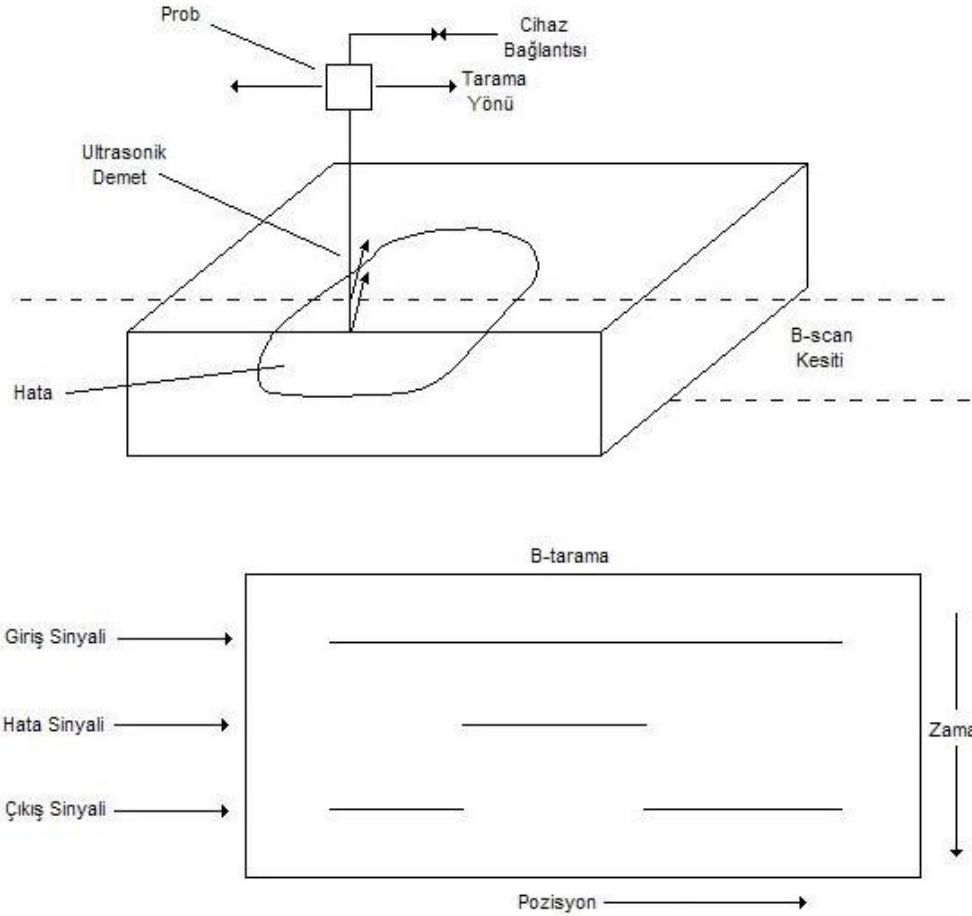
4.8. Ultrasonik Görüntü Sistemleri

Ultrasonik test verilerinin değerlendirilmesinde, farklı sistemler mevcuttur. Bunlar A, B ve C tarama olarak adlandırılan sistemlerdir. En basit olan, A-tarama sistemidir. Probu belirli bir konumu için, tüm parça kalınlığını kat eden enerji demetinin hareketini görüntüler. Hatanın yeri ve boyutu ölçülebilir. Bir osiloskop ekranında oluşan sinyal görüntüsünün kalıcı kaydı alınabilir. Şekil 4.11.'de sistem prensibi, ekran görüntüsü ile birlikte verilmektedir.



Şekil 4.11. A-tarama ultrasonik görüntü sistemi (Kayrak, 2001).

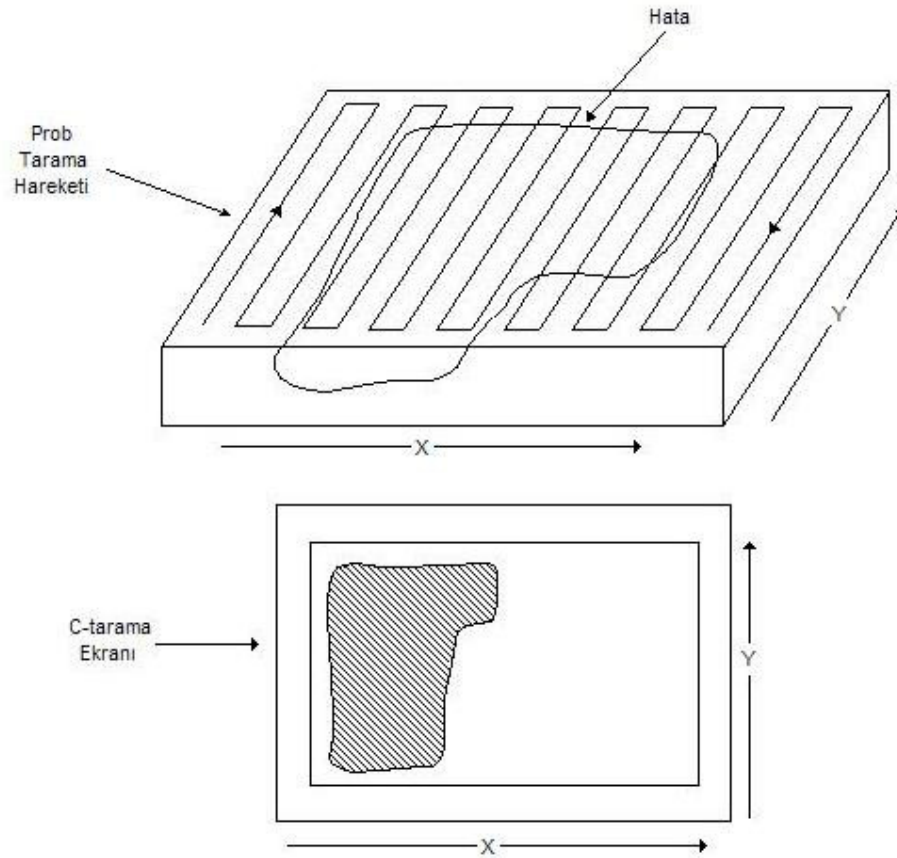
B-tarama sisteminde, belirli bir kesit için tek eksen üzerinde yüzeyde tarama yapılmaktadır. Taramanın kaydı, Şekil 4.12.'de verilmektedir. Görüntü, katot ışınli tüpte veya kalıcı kayıt olarak, bilgisayar sisteminin yardımı ile elde edilebilir.



Şekil 4.12. B-tarama ultrasonik görüntü sistemi (Kayrak, 2001).

C-tarama görüntü sisteminde ise, Şekil 4.13.'de verildiği gibi, prob test parçası yüzeyini iki eksen doğrultusunda hareket ederek tarar. Böylece kesit içindeki süreksizliklerin, iki boyutlu görüntüsü elde edilir. Hata derinliği, sinyallerin şiddetinden belirlenebilir.

Enerji azalmasına duyarlı, renk değişim skalasında hata derinliği görüntülenebilmektedir. Bilgisayar sistemleri ile geliştirilebilen, genellikle otomatik tarama imkanı tanıyan, en gelişmiş ultrasonik görüntüleme sistemidir. Temas ve daldırma test sistemleri ile uyarlanabilir. C- tarama sisteminde hem darbe yankı, hem de direk iletim sistemleri uygulanabilir.

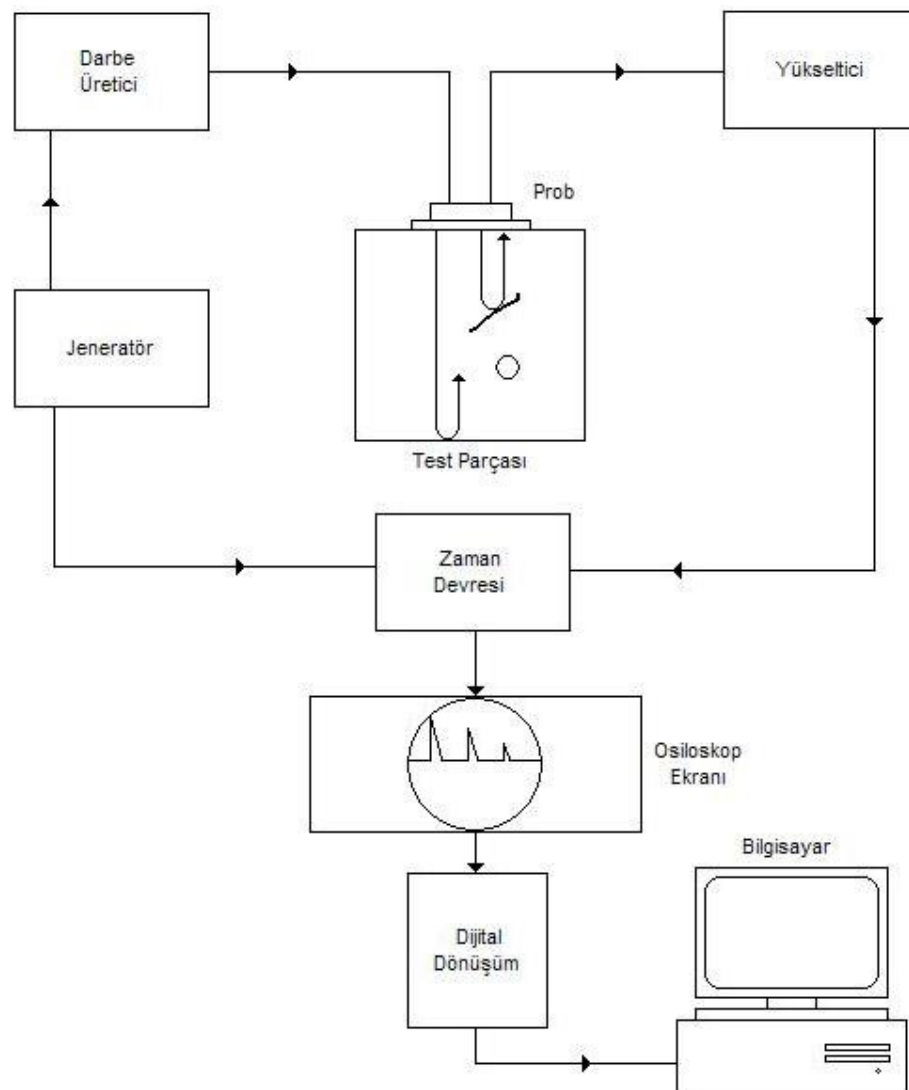


şekil 4.13. C-tarama ultrasonik görüntü sistemi (Kayrak, 2001).

4.9. Ultrasonik Cihazın zellikleri

Bir ultrasonik cihaza ait prensip řeması şekil 4.14.'de verilmektedir. Ultrasonik

enerji demeti test parçasını kat ederken, osiloskop ekranındaki sinyal de, ekranın sağından soluna doğru hareket eder. Tarama hızı, saniyede 50-5000 kez olabilir. Bu hız, otomatik sistemlerde daha yüksektir. Test parçası içine gönderilip arka cidar ve hatalardan yansıyan ultrasonik enerji, cihaz tarafından değerlendirilerek ekranda eko adı verilen düşey sinyaller oluşturulur (Kayrak, 2001).



Şekil 4.14. Ultrasonik cihazda blok diyagramı (Kayrak, 2001).

Elektrik jeneratörü, darbe üreticisini uyarır ve elde edilen elektrik darbeleri, prob tarafından ultrasonik enerjiye dönüştürülür. Üretilen elektrik darbesi, aynı zamanda zamanlama ünitesine de gönderilir ve burada giriş ekosu oluşturulur. Test parçasından alınan yansıma sinyalleri ile giriş ekosu arasındaki zaman farkı, zamanlama ünitesi tarafından ölçülür. Probdan alınan yansıma sinyalleri, kuvvetlendirilerek osiloskop ekranına gönderilirler. Giriş ekosu da aynı oranda kuvvetlendirilir. Ultrasonik kontrol sistemlerine bilgisayar üniteleri eklenerek, verilerin dijital analizleri de mümkün olmaktadır (Kayrak, 2001).

4.10. Ultrasonik Test Metodları ve Yöntemleri

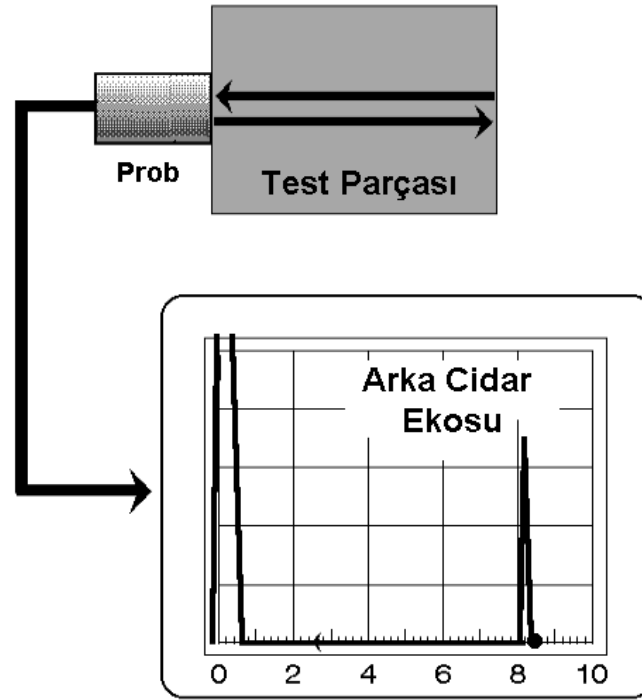
İki farklı ortamın kesişim yüzeyine gelen ultrasonik dalgaların bir kısmı geldikleri ortama geri yansırken, diğer kısmı ikinci ortama geçerek yayılmaya devam eder. Geriye yansıyan dalgaların kullanıldığı ultrasonik test yöntemi darbe - yankı yöntemi, iki yüzey arasında geçiş yapan dalgaların kullanıldığı yönteme de geçirim (transmisyon) yöntemi denir. Malzemelerin, ultrasonik dalgalarla rezonans haline uyarılarak kontrol edildiği yönteme ise rezonans yöntemi denir (Kökdemir, 2007).

4.10.1. Darbe - yankı metodu

Malzemelerin ultrasonik testinde en çok kullanılan yöntemdir. Prob tarafından gönderilen ses dalgalarının malzeme içinde bir süreksizliğe çarptıktan sonra tekrar proba yansması bu yöntemin çalışma prensibidir. Bu yöntemde, tek kristalli veya çift kristalli proplar kullanılabilir gibi, iki ayrı prob da kullanılabilir. İki prob kullanıldığında, proplar malzemedeki aynı yüzey üzerine temas ettirilir ve proplardan biri gönderici diğeri ise algılayıcı olarak çalışır (Kökdemir, 2007).

Tek veya çift kristalli proplar kullanıldığında, cihaz ekranı malzemenin test edilen konumdaki kalınlığını kapsayacak şekilde kalibrasyon yapılarak gereken şekilde

ayarlanmalıdır. Test edilen malzeme içindeki hatanın varlığı ve konumu, arka cidar yankısından önce algılanan yankının varlığı ve konumu ile gösterilir. Bu yöntemde ölçülen büyüklükler; sesin malzeme içinde aldığı mesafe ve yankı genliğidir. Darbe-yankı yönteminin prensibi Şekil 4.15.'de gösterilmiştir (Kökdemir, 2007).

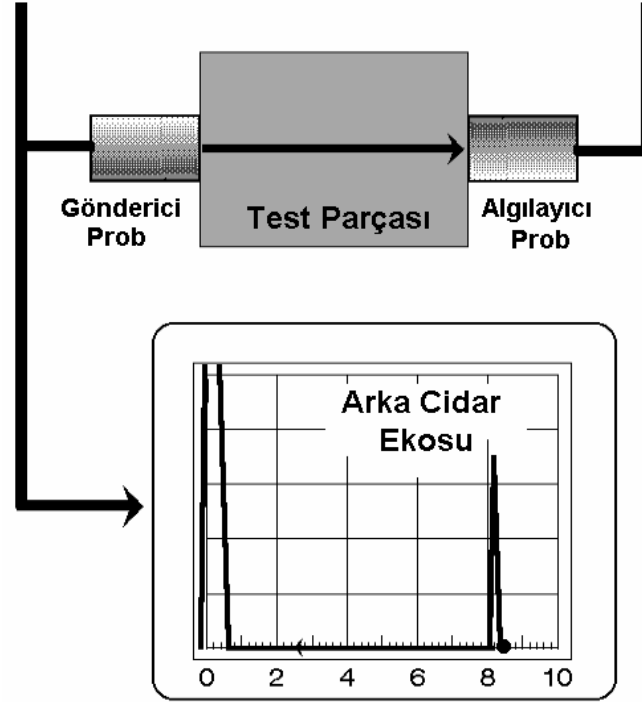


Şekil 4.15. Darbe – yankı yönteminin prensibi (Kökdemir, 2007).

4.10.2. Direk iletim metodu

Diğer bir adı transmisyon metodu olan direk iletim metodunda, biri gönderici diğeri algılayıcı olan iki adet prob kullanılır. Her iki prob test edilecek malzemenin karşılıklı yüzelerine yerleştirilirler. Birbirleriyle paralel olarak yerleştirilen bu problardan biri test parçası içine ultrasonik ses dalgasını gönderir. Gönderici probun tam karşısına yerleştirilmiş olan diğeri prob parçanın içinden geçerek kendisine ulaşan

ses enerjisini algılar. Şekil 4.16.'da direk iletim metodunun çalışma prensibi gösterilmiştir.

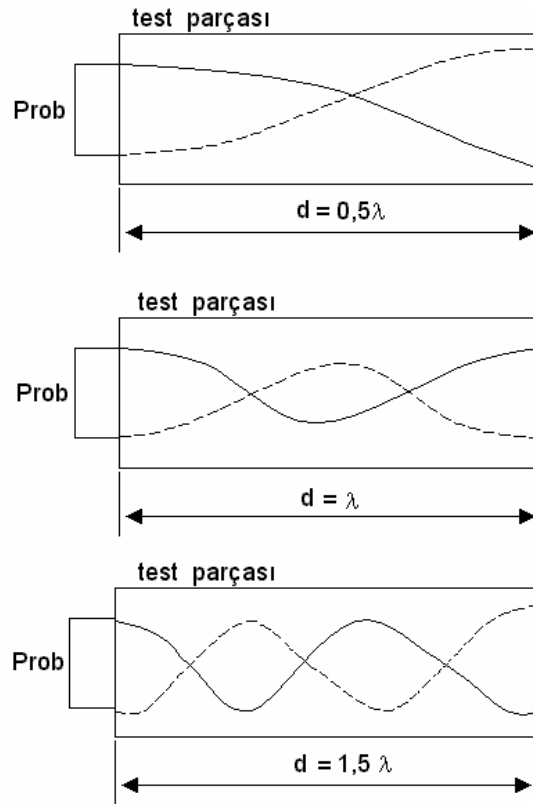


Şekil 4.16. Transmisyon yönteminin prensibi (Kökdemir, 2007).

Bu yöntem, ultrasonik enerji zayıflamasının yüksek olduğu ve büyük hataların bulunduğu ingot ve dökümlerin testinde çok kullanılmaktadır. Yöntem, hatanın büyüklüğünü ve derinliğini vermez. Ayrıca, problar karşılıklı yüzeylere çok duyarlı bir şekilde konumlanmalı ve hareket sırasında konumları bozulmamalıdır. Bu yöntemde yansıyan enerji değerlendirilmez, ölçülen büyüklükler sadece mesafe (veya zaman) ve geçen sesin şiddeti veya genliğidir. Yöntemin en önemli avantajları, ses tek geçiş yaptığı ve geri dönmediği için zayıflama etkisinin yarıya inmesi ve geçiş süresinden dolayı transmisyon sinyalinin diğer yansıtıcı sinyallerden kolayca ayırt edilebilmesidir (Kökdemir, 2007).

4.10.3. Rezonans metodu

Dışarıdan uygulanan tek bir darbenin etkisiyle serbest titreşen bir malzeme, rezonans frekansı ile titreşir ve titreşim sönümleninceye kadar frekansı aynı kalır. Rezonansın oluşabilmesi için, test parçasının ön ve arka yüzeylerinden gelen yansımaların büyük bir kayıpla olmaması, yansımadan sonra geldikleri doğrultuda geri dönmeleri ve başka yönlere saparak kaybolmamaları gerekir (Şekil 4.17.). Yani, test parçası paralel yüzeyli ve pürüzsüz olmalıdır. Rezonans yöntemi, ince malzemelerin cidar kalınlıklarının ve kaplama kalınlığı ölçümünde kullanılmıştır. Bu yöntem yeteri kadar duyarlı olmadığı için günümüzde kullanılmamakta ve yerine, çok daha duyarlı ölçüm yapabilen darbe - yankı tipi cihazlar kullanılmaktadır (Kökdemir, 2007).



Şekil 4.17. Rezonans yönteminin prensibi (Kökdemir, 2007).

4.10.4. Delta metodu

Ultrasonik enerjinin test parçası içerisindeki hatalardan veya test parçasının arka yüzeyinden, açılı olarak yansıdığı durumunda tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde iki adet prob kullanılmaktadır. Problardan biri, enerji gönderirken diğeri, hatalardan açılı olarak yansıyan enerjiyi algılamak üzere, farklı bir noktaya yerleştirilir. Alıcı prob, gönderici probdan biraz daha büyük çaplı ve test parçası içinde hatadan dolayı saçılan enerjiyi toplamak amacıyla, odaklama özelliğine sahip olmalıdır. Açılı problemlerle test işlemi için uygun bir yöntemdir (Kayrak, 2001).

4.10.5. Temas yöntemi ile ultrasonik kontrol

Probu test parçasına, bir kuplaj malzemesi vasıtasıyla direk olarak temas ederek, yüzeyde tarama yaptığı bir yöntemdir. Temas yöntemi, taşınabilir kontrol sisteminin pratikliği nedeniyle, tercih edilen bir yöntemdir. Ancak, prob ile test parçası arasında oluşabilecek hava boşluklarını giderecek ve test parçası yüzeyinde kolay hareket sağlayacak, yüzeyin prob sürtünmesinden dolayı aşınmasını önleyen, bir kuplaj malzemesi mutlaka gereklidir. Bu yöntemde test sonuçlarının hassasiyeti için kuplaj malzemesi kalınlığının sabit olması gerekir. Manuel test uygulamalarında, proba uygulanan basınç kuvvetinin değişimi, kuplaj tabaka kalınlığını ve dolayısıyla test sonuçları etkileyecektir. Bilgisayar kontrollü sistemlerin ilavesi ile otomatik tarama mümkündür. Çeşitli tipte ultrasonik dalgaların ve farklı test metodlarının uygulanması mümkündür (Kayrak, 2001).

4.10.6. Daldırma yöntemi ile ultrasonik kontrol

Ultrasonik enerji test parçasına su içinden geçirilerek gönderildiği bu yöntemde, test parçası ve prob su içindedirler. Test parçası ile prob arasında, sabit kalınlıklı su kolonu kuplaj görevini görür. Otomatik tarama uygulanır, böylece kuplajın homojen kalınlığı korunmuş olur. Yöntem özellikle, karmaşık şekilli ve yüzeyli parçaların testi

için idealdir. Enine dalgaların sıvı ortamlarda yayılmamasından dolayı, sadece boyuna dalgalar üreten probalar kullanılır. Ancak, su ile test parçası ara yüzeyinden ultrasonik enerjinin büyük bir kısmı yansır, az bir enerji oranı kırılarak test parçasına girer. Prob açılarını değiştirmek kolaydır, darbe yankı veya direk iletim metodu uygulanabilir. Ancak, test parçasının boyutları tank içine daldırmaya elverişli olmayabilir. Test düzeneği sabittir ve laboratuvar ortamında test yapılabilir (Kayrak, 2001).

4.11. Ultrasonik Ölçümün Avantajları

- Ultrasonik sensörler, test edilecek cismin renginden, parlaklığından, saydamlığından, biçiminden, halinden (katı, sıvı, toz), materyalinden (metal, kağıt, plastik, cam, ahşap) bağımsızdırlar.
- Ultrasonik sensörlerin içinde herhangi bir mekanik hareket olmadığından cihazlar uzun ömürlüdür.
- Endüstriyel ortamlara çok dayanıklıdır. Tozlu ortamdan, titreşimden, darbeden diğer algılama biçimlerine göre çok daha az etkilenir, bağıl nemin ölçüme etkisi çok azdır. Doğru ölçüm için nemi kompanse etmeye gerek yoktur.
- Muayene edilecek parçaya sadece bir yüzeyden ulaşabiliyor olmak yeterlidir. Bu da boru hatlarında içeriden kontrol yapmaya olanak sağlar.
- Ultrasonik test edilecek malzemede detaylı bir yüzey temizliği gerekmez, probun temas edeceği yüzeyde kabaca bir temizlik yeterlidir.
- Bir kusurun var olduğunu tespitinin yanında, tespit edilen kusurun hangi boyutlarda olduğu ve test parçasının neresinde olduğu da ölçülebilir.
- Ultrasonik ölçümün hassasiyeti çok yüksektir, çok küçük hataların dahi tespiti mümkündür. Ancak test parçasının basit şekilli olması halinde daha iyi sonuç alınır.
- Ultrasonik kontrol yöntemi, ses dalgaları ile yapıldığı için çevre ve personel sağlığı açısından herhangi bir tehlike oluşturmayan, her alanda uygulanabilecek güvenli bir yöntemdir.

BÖLÜM 5

LİTERATÜR ÖZETİ

5.1. Önceki Çalışmalar

Yong Li, Gui Yun Tian ve S. Ward, 2005 yılında yaptıkları çalışmalarında ölçme PIG'inin boru hattı içinde yüksek hızlı hareket etmesi sonucu prob ile boru hattı arasında oluşan manyetik alan ve endüksiyon akımlarının hata tespitine olan etkilerini sayısal simülasyon yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, yüksek hızda çalışacak PIG'ler için manyetik alandaki ani değişikliklere hızlı bir şekilde cevap verebilecek, yüksek band genişliğine sahip sensör sistemlerine ihtiyaç olduğunu tesbit etmişlerdir (Li, et al., 2005).

Hossein Ravanbod, 2004'de yayınlanan çalışmasında boru hatlarındaki hata tipleri ve hata boyutları tespiti için sinirsel bir bilgisayar ağı geliştirmiş ve yaptığı deneylerle bu sistemin mevcut sistemlere oranla daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Kullandığı sistem tespit edilen kusuru fotoğraflarken, alınan verileri güçlendirerek, resimdeki pürüzleri gidererek ve bulanıklıkları azaltarak mevcut sistemlerle oluşturulamayan netlik ve hassasiyette hata tespiti yapmaya olanak sağlamıştır (Ravanbod, 2004).

2004 yılında Riichi Murayama ve arkadaşları stok tankları ve boru hatlarının tahribatsız muayenesinde, sensörlerin test edilen malzeme yüzeyine daima dik konumda ve sabit basınçta temas etmesinin sağlanmasındaki zorlukları göz önüne alarak boru yüzeyini kavraması gerekmeyen elektromanyetik bir dönüştürücü geliştirmişlerdir (Murayama, et al., 2004).

1999 yılında Brezilya'da Sao Paulo Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Petrobras petrol şirketi için yeni bir PIG tasarlamıştır. Yapılan tasarımda güç kaynağı, mikro işlemci, bellek gibi elektronik sistemler çok düşük enerji tüketecek şekilde PIG

üzerine yerleştirilmiştir. Mesafe ölçüm tekerleği, her 100 mm’de bir kez sinyal gönderecek şekilde ayarlanmış ayrıca 1 saniye boyunca sinyal vermediği takdirde PIG’i uyku moduna geçiren bir yazılım kullanmışlardır. Boru cidarındaki korozif kusurların genellikle 10 mm’den küçük olmadığını varsayarak, tasarladıkları sistemde her probun yaklaşık 2 mm’lik ilerleme başına bir kez ölçüm yapmasının yeterli olacağını tespit etmişlerdir. Korozif hataların derinliğini doğrudan kayıt etmek yerine, 8 kademeli bir ölçü kullanarak derinlik değerini 1’den 8’e kadar rakamlar ile kayıt altına almışlar ve ihtiyaç duyulan bellek miktarını küçültmüşlerdir. Bu sayede çok uzun boru hatlarının dahi kesintisiz muayene edilebilmesi mümkün olmuştur (Okamoto, et al., 1999).

Yunwei Zhang ve Guozheng Yan, 2006 yılında yaptıkları çalışma ile boru çapında değişiklik olan uzun mesafeli boru hatlarında kullanılmak üzere boru çapına uyum sağlayan ve çap adaptasyonu sonucu değişen çekiş gücünü düzenleyebilen yeni bir PIG tasarlamışlardır (Zhang and Yan, 2006).

2006 yılında Nestleroth ve Davis inceleme yaptıkları boruya eş merkezli olarak yerleştirdikleri daimi mıknatısları döndürerek oluşturdukları endüksiyon akımını, boru hattı muayenesinde uygulamaya çalışmışlardır. Bu çalışmalarında boru yüzeylerinde oluşan manyetik alandaki yerel değişimleri ölçerek borudaki hasarları tespit etmişler ve hasar tiplerini belirlemişlerdir (Nestleroth and Davis, 2006).

2001 yılında Rio de Janeiro Üniversitesi’nden Bruno ve arkadaşları süperiletken kuantum manyetik ölçer kullanarak, çevresi ısı yalıtım malzemesi ile kaplanmış küçük çaptaki boru hatlarının dış yüzeylerindeki metal aşınımını tespit etme çalışmaları yapmışlardır (Bruno, et al., 2001).

2006 yılında Emrah Turan çalışmalarında uzun bir petrol boru hattının zamana bağlı akım analizlerini gerçekleştirmiştir. Zamana bağlı akım durumları, bu tip boru hatlarının işletilmeleri sırasında beklenen, tipik vana operasyonları ve ani pompa durmalarından kaynaklanmaktadır. Bu tür akımların benzeşimi için, zamanla değişen ve çok sayıda hidrolik akım koşullarında kullanılan “Stoner Pipeline Simulator” isimli mevcut bir program kullanılmıştır. Program su koçu denklemlerinin karakteristikler

metodu ile çözümünü içermektedir. Bu program tarafından yüksek dalga basınçlarının, hatta izin verilebilir en yüksek basınç sınırlarını aşan dalga basınçlarının yerleri tespit edilmiştir. Bu çalışmada istenmeyen büyüklükteki dalga basınçlarından kaçınmak için gerekli önlemler de anlatılmıştır. Boru hattının güvenli işletme koşulları geliştirilmiş ve teknik personelin kullanımı için tavsiye edilmiştir (Turan, 2006).

Bunlar gibi pekçok bilimsel yayında değişik PIG tasarımları ve kontrol yöntemleri konusunda bilgiler verilmektedir. Ancak çoğunlukla ticari ürüne dönüştürülen sistemlerin detayları ile ilgili net bilgiler elde edilememektedir.

5.2. Aranan Hasarların Türleri

Boru hatlarında aranan hasarlar: metal aşınımı (korozyon), çatlaklar, çöküntüler, kıvrılmalar, bükülmeler, şekil bozuklukları ve üretimle alakalı olan anormalliklerdir. Bir boru hattında oluşan çöküntü veya delik şeklindeki hasarlar ise ciddi mekanik hasar olarak tanımlanırlar. Bunun nedeni çöküntü ve deliklerin boru hattının dayanımını azaltmasıdır. Çöküntünün ciddiyeti, çöküntü boyutu ve şekline, kaplamaya veya kaynak dikişine etki etmesine ve delik-çatlak gibi diğer hasar türlerini içermesine bağlıdır. Çoğu durumda hasarın onarılması gerekir ancak bazı durumlarda hasar kabul edilebilir düzeydedir. Hataların karakterinin öğrenilmesi ile tamir gerekip gerekmediğine karar verilebilir. Birden fazla hasar söz konusu ise, hasar durumları gözden geçirilerek karar verilmelidir.

Hasarların kabul seviyeleri konusunda ise kesin bir kriter yoktur. Çünkü çatlak uzunluğu, derinliği, kusurun boru eksenine paralelliği gibi parametreler kabul kriteri seçiminde etkilidirler. Kullanılan muayene sistemi de aynı zamanda kabul kriterini etkileyen bir faktördür. Çizelge 5.1.'de, 24" çapında ve sıvı yakıt taşıyan bir sualtı boru hattında tespit edilen hasarların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere hazırlanmış olan bir kabul kriteri örneği verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kabul kriteri örneği (Choi and Bomba, 2003).

<u>Kusur</u>	<u>Kabul Kriteri</u>
Dahili ve harici korozyon	Cidar kalınlığının % 80'i kadar azalma
Çatlak (çöküntüsüz)	Maksimum 0,3" derinliğe kadar
Çöküntü (çatlaksız)	Maksimum 6" derinliğe kadar
Çöküntü (çatlaklı)	0,2" derinlikte çatlak ile maksimum 2" çökme 0,1" derinlikte çatlak ile maksimum 6" çökme
OOR (out of roundness) (profil bozukluğu) (korozyonsuz)	% 10'a kadar

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. PIG Tasarımı

Petrol boru hatları güvenlik nedeniyle çoğu yerde yer altından gitmektedir. Zamanla yer altında meydana gelen jeolojik yer hareketleri ve toprak kayması gibi nedenlerle boru üzerine kaya gibi ağır nesnelere kayması, boru hattına aşırı yük binmesine sebep olur. Bu nedenle borularda eğilme meydana gelmesi mümkündür. Eğer bir boruda meydana gelen çap değişimi, eğilme veya şekil bozukluğu gibi durumlar boru çapının %5'inden daha büyük oranda değişime neden oluyorsa, boru içindeki akış bu durumdan etkilenmekte ve akış hızı değişmektedir. Petrol akışının sağlıklı olabilmesi için borularda eğilmenin oluşmaması, oluşması halinde ise kısa sürede giderilmesi gerekmektedir.

PIG'in arka kısmında, borularda meydana gelebilecek eğilmeleri kontrol etmek üzere tasarlanmış sensör grupları vardır. Bu gruplar boru içinde borunun cidar şeklini alabilen kep altına yerleştirilmiştir. Kepte meydana gelebilecek tüm eğilmeler hassas bir şekilde bu sensörler tarafından algılanmakta ve eğer müsaade edilen değerden daha fazla değişim gerçekleşiyorsa, bu bilgi kart üzerinden veri depolama sistemine yazılmaktadır.

Aynı şekilde PIG'in arka kısmında, sensör grubunun konumunu algılamak üzere bir teker sistemi eklenmiştir. PIG'in boru içinde harekete geçmesiyle dönmeye başlayan bu tekerlek sayesinde, boru hattı boyunca yol alınan mesafe kaydetme sistemine iletilir. Sensör grubu kaydedilmesi gereken bir eğiklik algıladığında, hem bu eğiklikle ilgili bilgiyi, hem de bu eğikliğin tespit edildiği noktada PIG'in başlangıcına göre kaçınıcı metrede olduğu bilgisini veri kayıt sistemine iletir.

PIG'in ön kısmına bir GPS (Global Positioning System) vericisi yerleştirilmiştir.

Herhangi bir sebeple PIG boru hattı içinde sıkışır ve belli bir süre hareketsiz kalırsa, bu verici sinyal göndermeye başlamaktadır. Bu şekilde PIG'in boru hattının neresinde sıkıştığı tespit edilebilmektedir.

Petrol boru hatlarında boru iç cidarı üzerine zamanla parafin sıvanmaktadır, bu nedenle iç cidarda korozyona neden olabilecek bir durum söz konusu olmamaktadır. Ancak boru yer altında bulunduğu ve sürekli olarak toprakla temas halinde olduğundan dış cidar üzerinde korozif oluşumlar meydana gelmekte ve boru et kalınlığı bu bölgelerde azalmaktadır.

PIG üzerinde, ultrasonik olarak korozyon kontrolü yapmak üzere tasarlanmış olan bir kısım vardır. Bu kısımda PIG'in orta bölümüne yerleştirilen bir ultrasonik proba, et kalınlığının azaldığı yerlerin tespiti yapılmaktadır. Yine kart sistemi bu problemlerden aldığı bilgiyi depolayabilmekte ve hatalı yerlerde mesafe bilgisini kaydetmektedir.

PIG'in orta kısmındaki boru içinde akü grupları, veri toplama kartları ve veri depolama üniteleri bulunmaktadır. Bu kartlar her biri yüksek hassasiyetli olan sensörlerden gelen bilgiyi depolanmak üzere işlemektedir.

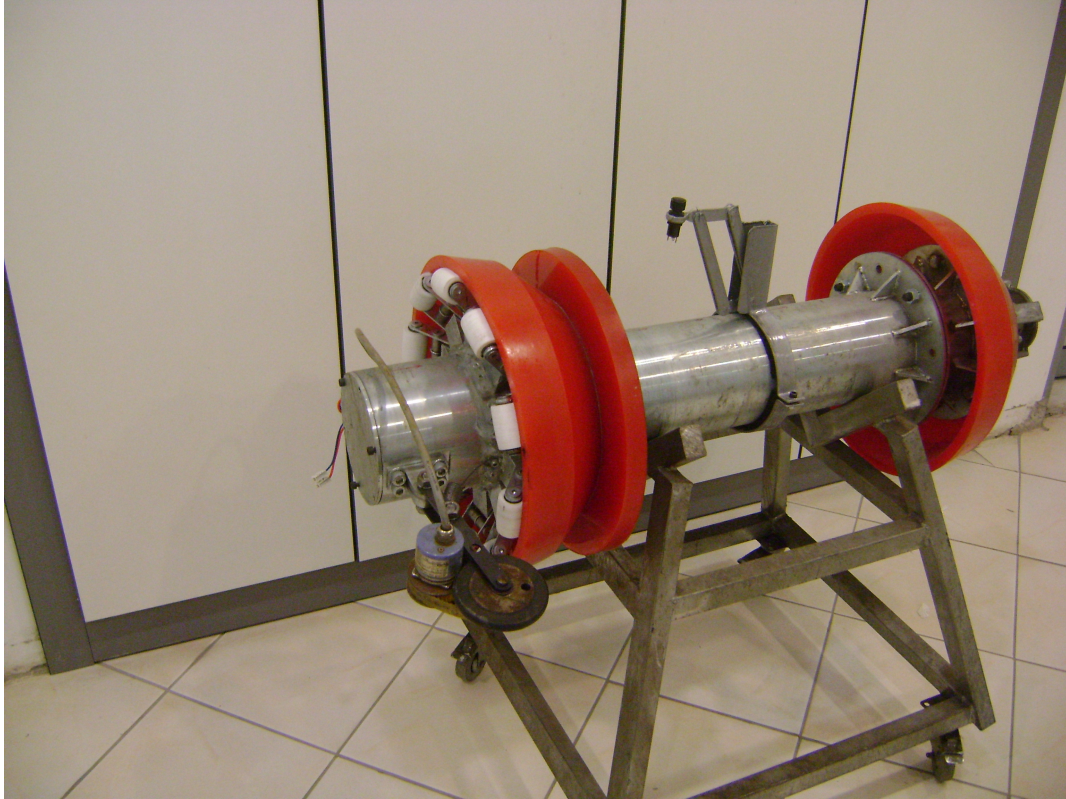
Bu tez kapsamında PIG'in sahip olması gereken özellikler belirlenmiş, PIG'in imalatı proje ortağı firma tarafından bu bilgiler ışığında yapılmıştır.

6.2. PIG İmalatı

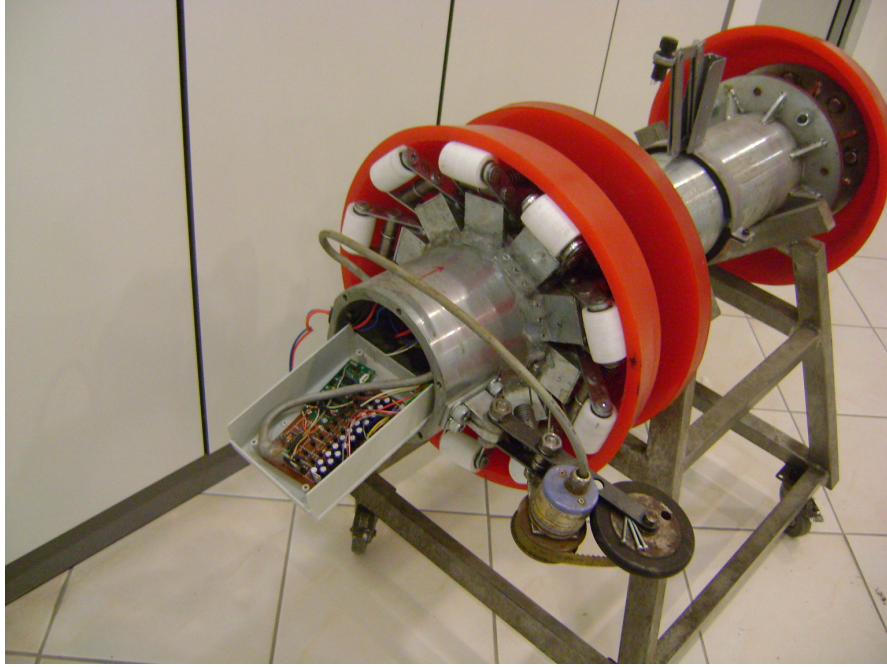
PIG, borularda ovalite ölçümü yapabilecek, hem de üzerindeki ultrasonik problemler yardımıyla korozyon kontrolü yapabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Tasarımı ve imalatı yapılan PIG'e ait genel resimler Şekil 6.1., 6.2., 6.3. ve 6.4.'de verilmiştir. PIG tasarımına ait detaylı teknik resimler ise Ekler'de sunulmuştur.

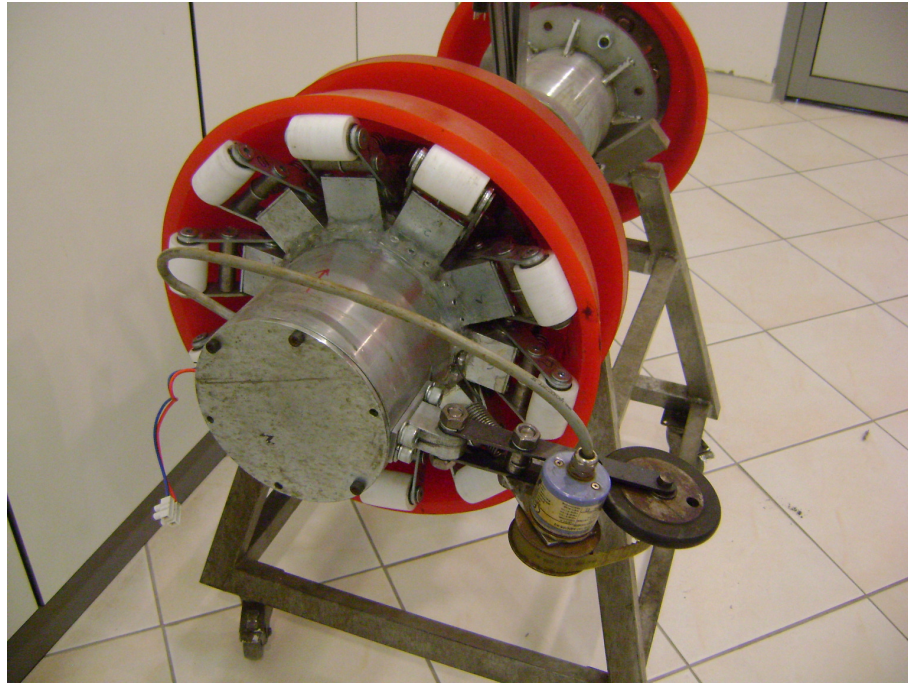
Resimde PIG sisteminin arka kısmını oluşturan sensör grubu ve mesafe ölçüm tekeri görülmektedir. Burada bulunan sensör, eğilme miktarlarını PIG'in iç kısmına konmuş olan ve tasarımı bu çalışmada yapılan elektronik kart sistemine depolamaktadır.



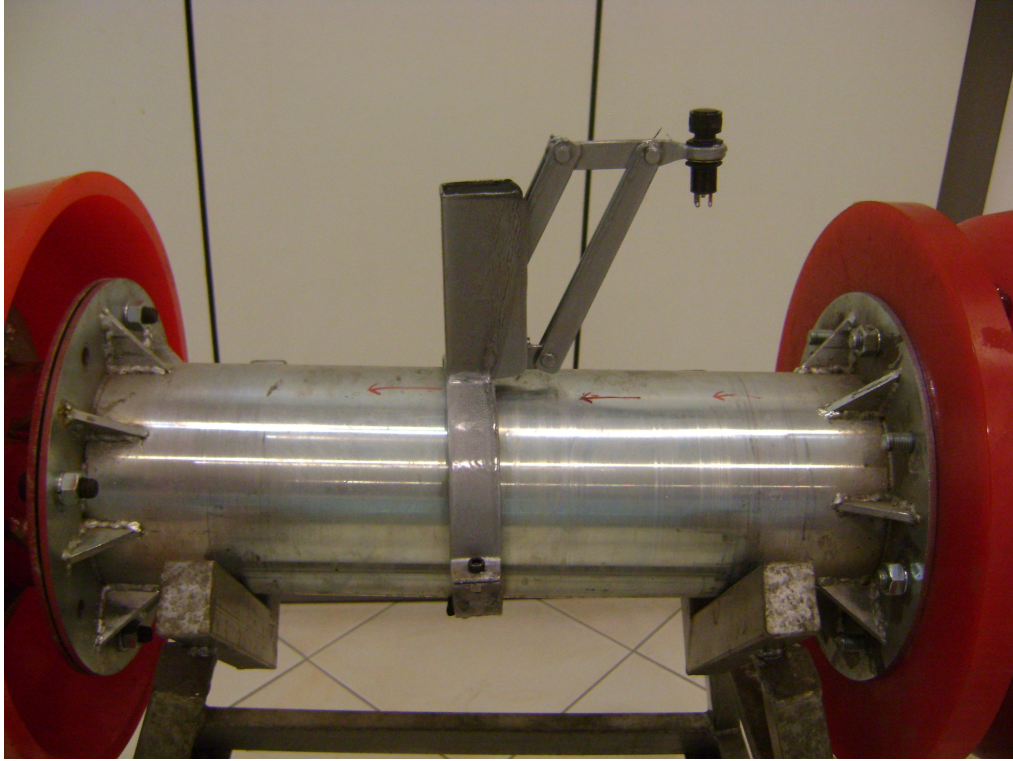
Şekil 6.1. Üretilen PIG'in genel görünümü.



Şekil 6.2. Elektronik kart sisteminin gövde içerisinde konumlandırılması.

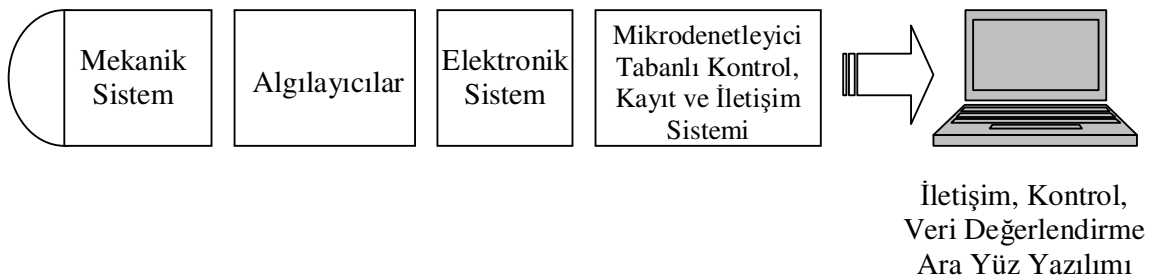


Şekil 6.3. PIG'in arkadan görünüşü.



Şekil 6.4. Ultrasonik sensörün bağlanmış şekli.

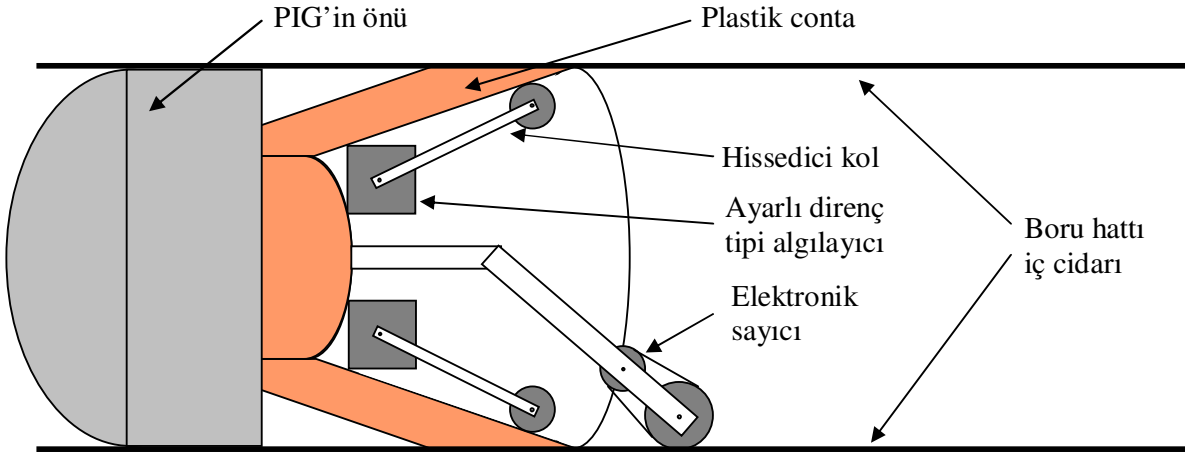
Üretilen prototip PIG sistemi, boru içindeki tahriki, arkadan uygulanan gaz basıncı ile sağlanmak üzere tasarlanmış olup aşağıda açıklanan alt sistemlerden oluşmaktadır.



Şekil 6.5. Prototip sistemi oluşturan alt sistemler.

Mekanik Sistem:

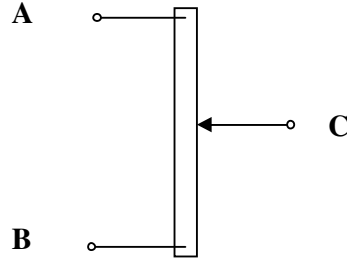
Mekanik sistem, boru iç cidarını 360 derecelik alanda tarayacak 10 adet hasar hissedici kol ve kat edilen yolu ölçerek PIG'in boru içindeki konumunu algılamayı sağlayan elektronik sayıcıya (encoder) bağlanmış bir tekerlekten oluşmaktadır. Hissedici kollar borunun iç cidarına hava kaçırmayacak şekilde tam temas eden fakat borunun şekilsel aksaklıklarında takılmaya sebep olmayacak şekilde elastik yapıda tasarlanmış bir plastik conta içine yerleştirilmiştir. Her bir hissedici kol, kendisine bağlantılanmış ayarlı direnç (potansiyometre) tipi bir algılayıcı ile donatılmıştır. Mekanik sistem ayrıca bünyesinde elektrik ile çalışan sistemleri beslemek için kullanılan şarj edilebilir güç kaynağını da taşımaktadır.



Şekil 6.6. Mekanik sistem.

Algılayıcılar:

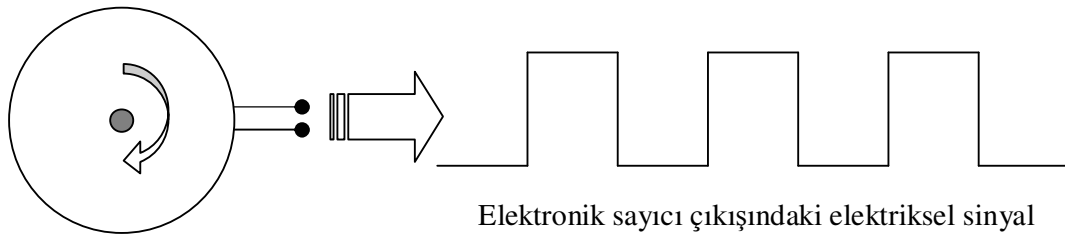
Ayarlı dirençler, direnç değeri bir şaft tarafından ayarlanabilen elektronik yapılar olup 3 adet elektriksel bağlantı ucu içerirler, algılayıcı kollara bağlanmışlardır ve toplam 10 adettirler.



Şekil 6.7. Algılayıcıların bağlantı uçları.

A ve B uçları arasında sabit ve elemanın değerini tanımlayan bir direnç bulunur. C ucu ise şaft hareketi ile birlikte A ve B uçları arasında C ucuna doğru değeri değişen bir direnç değeri oluşturur. Hissedici kol bu şafta irtibatlı olduğundan; boru iç cidarındaki bir hasar hissedici kolu hareket ettirmek sureti ile değişen bir direnç değerine, dolayısıyla da anlamlı bir elektrik sinyaline dönüştürülür.

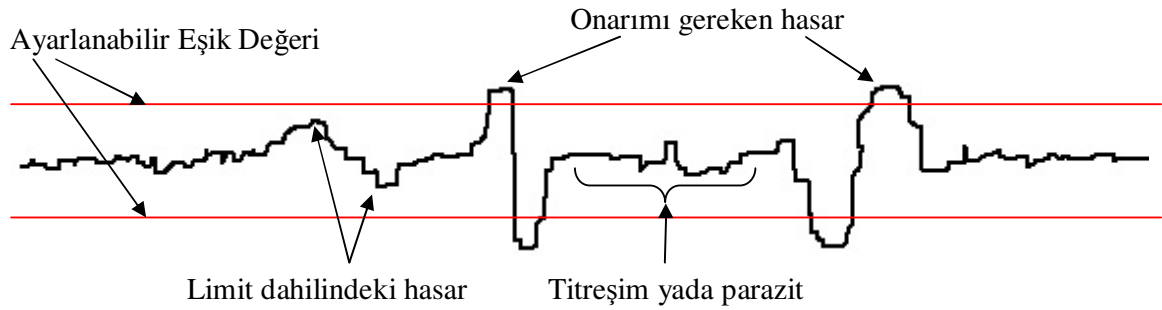
Elektronik sayıcı; boru iç cidarına temas eden bir tekerleğe irtibatlanmıştır. Tekerleğin yüzeyi sürtünme katsayısı yüksek bir malzeme ile kaplanmış ve boru cidarına bir yay kuvveti ile baskı yapacak şekilde tasarlanmıştır. Tekerlek dönüşü bir kayış ile elektronik sayıcı şaftına bağlıdır. Elektronik sayıcı şaftı döndürüldüğünde dönüş miktarı ile doğrusal olarak bağıntılı kare dalga elektrik sinyalleri üretir. Bu sinyaller mikro denetleyici tarafından sayılarak boru içinde kat edilen yol, dolayısı ile de konum bilgisine dönüştürülür.



Şekil 6.8. Konum belirleyen elektronik sayıcı sistem.

Elektronik Sistem:

Elektronik sistem ayarlı dirençlerden gelen elektriksel sinyalleri mikrodenetleyici sisteme iletmek üzere düzenleyen bir sistemdir. Elektronik sistem ayrıca elektronik sayıcıyı, ayarlı dirençleri ve mikrodenetleyici sistemi uygun gerilim değerleri ile besler. Bir tür türev alıcı olarak çalışan sistem ayarlı dirençlerden gelen elektrik sinyallerindeki değişim miktarlarını ayarlanabilir bir eşik değerine göre kıyaslayarak mikrodenetleyici sisteme varlık-yokluk (proximity) sinyaline çevirerek aktarır.



Şekil 6.9. Ayarlanabilir eşik değerleri.

Ayarlanabilir eşik değeri sayesinde cidardaki hasar miktarı onarımı gerektirecek düzeyi aştığında konumu ile birlikte kayda alınır.

Mikrodenetleyici Tabanlı Kontrol, Kayıt ve İletişim Sistemi:

Mikrodenetleyici tabanlı kontrol, kayıt ve iletişim sistemi elektronik sistemden gelen hasar sinyalleri ile elektronik sayıcıdan gelen konum değişim sinyallerini değerlendirerek FRAM tipi kalıcı bir hafıza ünitesinde hasar ve hasar konumu şeklinde sayısal veri çiftleri olarak depolar. Sistem hafızası 32 kilometre uzunluğunda bir boru hattının her bir metresinde hasar olsa dahi bu bilgileri saklayabilecek nitelikte geniştir.

Sistem bünyesinde RS-232 veri iletişim standardı sinyal modelini destekleyecek bir modül ihtiva eder ve kendine özgü bir protokol ile PC tabanlı bilgisayar sistemleri ile iletişim kurabilir.

PIG boru içine yerleştirilmeden önce enerjilenir ve bilgisayar üzerinden kayıt durumuna alınır. Daha sonra bilgisayar bağlantıları ayrılarak yerleştirilir ve görevini icra etmek üzere boru içinden yollanır. Yolculuğunu tamamlayan PIG enerjisi kesilse bile kayıtları muhafaza eder. Tekrar bilgisayara bağlanan sistem bu kayıtları iletişim, kontrol, veri değerlendirme ara yüz yazılımı aracılığı ile PC bilgisayara aktarır.

6.3. PIG Testleri

Tez çalışmaları kapsamında yapılması hedeflenen PIG'in tasarımı, prototip imalatı proje ekibince tamamlanmış ve prototip ile deneme çalışmaları yapılmıştır.

İlk olarak borularda olabilecek şekil bozuklukları üzerine denemeler yapılmıştır. Bu amaçla, prototip PIG daha önce hazırlanan kontrol boru hattına yerleştirilmiş, ön kısmına bir halat bağlanmış ve boru hattının açık olan ucundan bir araç vasıtasıyla çekilerek hareket ettirilmiştir. Bu hareket süresinde PIG üzerinde mevcut olan elektronik kart ve veri depolama sistemi üzerinden bilgi depolanması sağlanmıştır. Yapılan testler sonrasında kontrol boru hattından çıkarılan PIG bilgisayara bağlanarak toplanmış olan veriler analiz edilmiştir.

Kontrol boru hattı üzerinde hangi mesafede ne tür hata olduğu bilinmemekte olduğundan, sistemin elde ettiği verilerin bu bilgiyle ne derece örtüştüğü kontrol edilmiş ve boru içinde mevcut dairesellik kusurlarının ve ezilmelerin yerlerinin doğru olarak tespit edildiği görülmüştür. PIG'in ovalite kusurlarını tespite yönelik denemeleri, bu özelliğin %95 oranında doğru sonuçlar alınarak çalıştığını göstermiştir. Hazırlanan kontrol kartlarının ve test yazılımının da bu şekilde doğru çalıştığı tespit edilmiştir. Şekil 6.7.'de kullanılan test yazılımının örnek ekran görüntüsü verilmiştir.

İletişim, Kontrol, Veri Değerlendirme Ara Yüz Yazılımı:

PC tabanlı bilgisayar sistemleri üzerinde Windows işletim sistemi ile çalışmak üzere tasarlanan iletişim, kontrol, veri değerlendirme ara yüz yazılımı mikrodenetleyici tabanlı kontrol, kayıt ve iletişim sisteminin kayıt durumuna getirilmesini, kullanımdan sonra kayıt verilerinin okunmasını ve daha sonra bu verilerin analizinin yapılmasını sağlayan özgün bir yazılımdır.



Şekil 6.10. İletişim, kontrol, veri değerlendirme ara yüz yazılımı.

Yazılımda indirilen veriler görsel bir anlatım ile kullanıcıya sunulur. Tecrübeli bir kullanıcı bu yazılımdaki gösterimi analiz ederek; hız grafiği ile boru hattının iç cidarındaki kirlenme bölgelerini, boru hattı genel gösterimi ile hattın genel hasar durumunu, detaylı gösterim ile hattaki yürüme hasarlarını ve hatta kanunsuz olarak takılmış vanaları tespit edebilir.

Yeni boru hatları ortalama 32 km istasyon aralıklarında yapılmaktadır. Bu nedenle PIG her 32 km'de boru hattı dışına alınabilmekte ve kontrol kartlarına

depolanmış olan bilgi bir bilgisayara seri porttan bağlantı yapılarak aktarılabilir. Bazı boru hatlarında ve özellikle rafinerilerde bu mesafe daha kısadır, yeni hatlarda bu değer 15-20 km olmakla beraber eski boru hatlarında PIG istasyonları arası mesafe 120 km'ye çıkabilmektedir. Bu çalışma kapsamında hazırlanan yazılım yeni hatlar esas alınarak yapılmıştır, ancak yazılımın eski hatlar için güncellenmesi mümkündür. Hazırlanan yazılımda en üstte hız grafiği alt kısmında ise 32 km lik kısmın hata yerlerini gösteren diyagram yer almaktadır. Hatalı kısımların daha net anlaşılabilmesi için en alt kısımda 40'ar metre aralıklarla hatalı kısımların yerini kaçınıcı metrede olduğunu ve hatanın kaç metre devam ettiğini gösteren diyagram bulunmaktadır. Boru hattı içinden alınan PIG bir bilgisayara bağlanarak PIG üzerinde kontrol kartına depolanmış bilgiler okunmakta ve saniyeler içinde hatalı kısımların yerleri tespit edilebilmektedir.

Ayrıca ultrasonik prob kullanılarak boru cidarında et kalınlığının tespiti ve özellikle korozyona dayalı olarak yüzeyde olabilecek kusurların ortaya çıkarılması konusunda da testler yapılmıştır.

Petrol boru hatlarında iç kısımda belli bir kalınlıkta parafin birikmesi olmaktadır. Bu tabaka iç yüzeyin korozyona karşı korunmasını sağlamakta ve petrol boru hatlarında iç cidarda korozyona bağlı hasar oluşmamaktadır. Bu konuda yapılan literatür çalışmalarında da bu tip bir bilgiye rastlanmamıştır. Ancak bu boru hatları çoğunlukla yer altında bulunmakta ve dış yüzeyleri toprakla temas etmektedir. Toprağın sahip olduğu mineraller ve yağışlardan kaynaklanan nem nedeniyle borunun dış yüzeyinde korozyona dayalı hasar oluşabilmektedir. Boru hatlarında çoğunlukla belli aralıklarla kurulan istasyonlar ve bu aralarda Mg plakalarla yapılan katodik korumaya rağmen boru hatları korozif aşınmaya maruz kalmaktadır. Bu tez kapsamında başarılması hedeflenen bir husus da bu tip korozyon hasarlarını ultrasonik prob kullanarak tespit edebilmektir. Bu amaçla kontrol boru hattı üzerinde belli kısımlarda et kalınlığı azaltılmış ve sanki bu kısımlar korozyona uğramış gibi hasara uğratılmıştır. Yapılan denemelerinde kusurların ve yerlerinin tespitinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

6.4. Sonuç ve Öneriler

İmalatı yapılan PIG'in boru hattı üzerinde mevcut ovalite veya eğiklik gibi kusurları tam olarak tespit edebildiği ve bu bilgiyi eksiksiz olarak bilgisayar ortamına aktarmanın mümkün olduğu görülmüştür.

PIG üzerine konan ultrasonik probula yapılan ölçümlerde doğru sonuçlar elde edilirken bazı olumsuzluklar yaşanmıştır.

PIG hızı 10 km/saat'in üzerine çıkmadığı sürece ultrasonik testler başarılı olmaktadır. Ancak bundan daha büyük hızlarda gürültü artmakta ve kontrol güçleşmektedir.

Bu durum PIG hareketinin hassas kontrolü ile çözümlenebilir. Elimizdeki imkanlarla yapılamamış olan, boru hattının hem PIG giriş hem de PIG çıkış hattından birer kompresörle beslenmesi işlemdir. Boru hattının iki taraflı beslenmesi ve PIG üzerine akış valflerinin eklenmesiyle PIG hızının hassas kontrolü mümkün olabilecektir. Ayrıca daha yüksek hızlarda ses dalgasını gönderip toplayabilecek ultrasonik problemlerle denemeler yapılarak sorunun çözülebileceği düşünülmektedir.

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR

Petrol Boru hatlarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve hasar oluşumunun, hasar büyümeden tespit edilmesi çok önemlidir. Günümüzde dünya üzerinde petrol boru hattı kontrolü üzerine çalışan firmalar bulunakla beraber bu kontrollerin yapılmasında kullanılan cihazların satışı yapılmamaktadır. Bu nedenle, petrol boru hattını kontrol ettirmek isteyen firmalar veya ülkeler bu tip firmalardan hizmet satın almak zorunda kalmaktadırlar.

Hizmet satın alma bedelinin yüksek olması nedeniyle bu tez kapsamında petrol boru hatlarında kontrol yapmaya imkan verecek bir sistem tamamen yerli imkanlarla tasarlanmış, üretilmiş ve hizmete alınmıştır. Bu tez kapsamında yapılan işlemlerle bir boru hattında oluşabilecek ovalite kusurlarının yüksek güven seviyesinde tam olarak konumunun belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Tasarımı ve imalatı yapılan PIG sistemi ile, PIG'in boru hattı içindeki hızının kontrol edilmesi mümkün olduğu sürece et kalınlığının kontrolü de mümkün olmuştur.

Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda korozyon kontrolüne dönük olarak kullanılacak olan ultrasonik ölçüm sisteminin geliştirilmesine devam edilecektir.

Yapılan tezin, bu konuda çalışan kişi ve kurumlara faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- BOTAŞ, 2007, Yıllık Rapor, Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi, 120 s.
- Bruno, A.C., Schifini, R., Khüner, G.S., Barbosa, C.H., Wikswo J.P. and Camerini, C.S., 2001, New magnetic techniques for inspection and metal-loss assessment of oil pipelines, *Journal of Magnetism and Materials*, 226-230, 2061-2062.
- Choi, H.S. and Bomba, J.G., 2003, Acceptance criteria of defects in undersea pipeline using internal inspection, *Ocean Engineering*, 30, 1613-1624.
- Guo, B., Song, S., Chacko, J. and Ghalambor, A., 2005, *Offshore pipelines*, Elsevier Inc., 281 p.
- Gül, E., 2008, Ultrasonik algılama, Türkiye’de ve Dünyada Otomasyon Aylık Elektrik Elektronik, Makine, Bilgisayar Dergisi, 2, 132-134.
- Gür, C.H., 1999, Tahribatsız teknilerin malzeme özelliklerinin belirlenmesindeki yeri, 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ed. Hakan Gür, Ankara, 357-372.
- Kayrak, M.A., 2001, Uçak bakımında tahribatsız kontrol yöntemleri, Anadolu Üniversitesi Basımevi, 175 s.
- Kökdemir, E., 2007, Alaşımız yapı çeliği levhalarında kaynak dikişlerinin ultrasonik muayenesi, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 125 s.
- Li, Y., Tian, G.Y. and Ward, S., 2005, Numerical simulation on magnetic flux leakage evaluation at high speed, *NDT&E International*, 39, 367-373.
- Murayama, R., Makiyama, S., Kodama, M. and Taniguchi, Y., 2004, Development of an ultrasonic inspection robot using an electromagnetic acoustic transducer for a Lamb wave and an SH-plate wave, *Ultrasonics*, 42, 825-829.
- Nestleroth, J.B. and Davis, R.J., 2007, Application of eddy currents induced by permanent magnets for pipeline inspection, 40, 77-84.
- Okamoto, J., Adamowski, J.C., Tsuzuki, M.S.G., Buiochi, F. and Camerini, C.S., 1999, Autonomous system for oil pipelines inspection, *Mechatronics*, 9, 731-743.

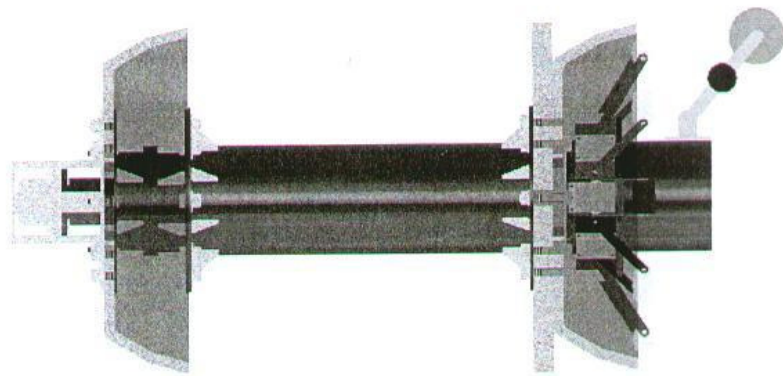
KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Raj, B., Jayakumar, T. and Thavasimuthu, M., 2002, Practical non-destructive testing, Alpha Science International Ltd., 184 p.
- Ravanbod, H., 2005, Application of neuro-fuzzy techniques in oil pipeline ultrasonic nondestructive testing, NDT&E International, 38, 643-653.
- Turan, E., 2006, Numerical simulations of unsteady flow in an oil pipeline under various hydraulic conditions, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 122 p.
- Yılmaz, N.F., 2005, Petrol ve doğal gaz boru hatları üzerine genel bir değerlendirme, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 87, 4-14.
- Zhang, Y. and Yan, G., 2007, In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting, Mechanism and Machine Theory, 42, 1618-1631.

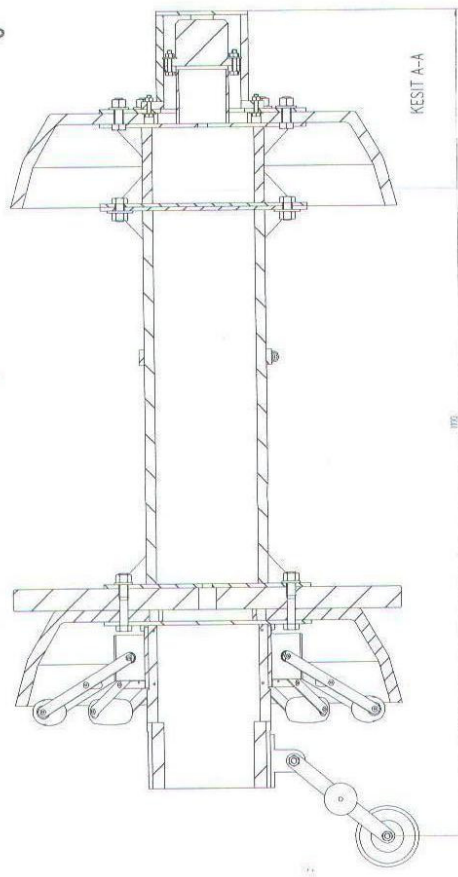
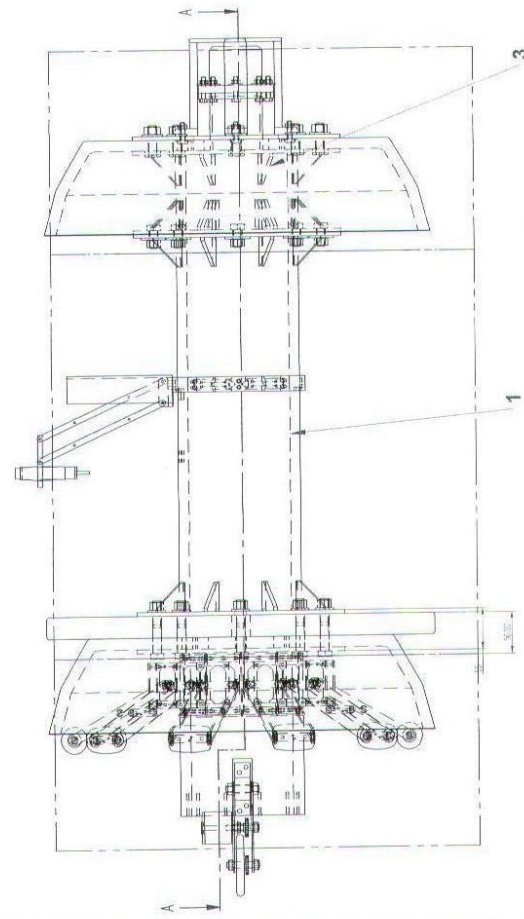
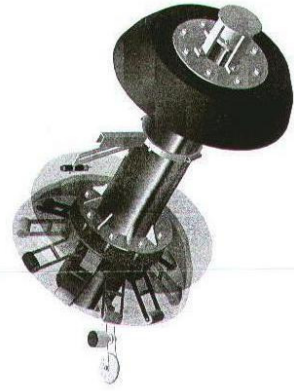
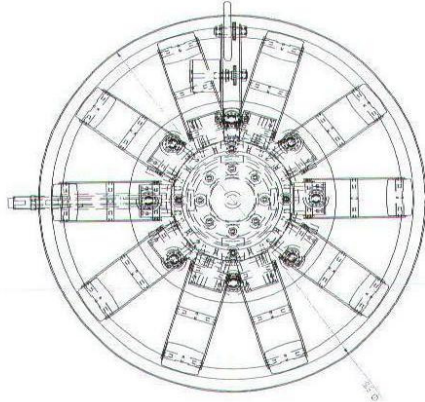
EKLER

- Ek. 1. Boru Kontrol Robotu
- Ek. 2. BKR-0-0-0 Boru Kontrol Robotu
- Ek. 3. BKR Ana Gövde
- Ek. 4. BKR-1-0-0 Ana Gövde
- Ek. 5. BKR-1-1-0 Gövde
- Ek. 6. BKR-1-2-0 Flanş
- Ek. 7. BKR-1-3-0 Flanş
- Ek. 8. BKR-1-4-0 Bayrak
- Ek. 9. BKR-1-5-0 Merkezleme Plakası
- Ek. 10. BKR-1-6-0 Ultrasonik Prob Grubu
- Ek. 11. BKR Arka Gövde
- Ek. 12. BKR-2-0-0 Arka Gövde (Sensör Grubu)
- Ek. 13. BKR-2-1-0 Arka Gövde
- Ek. 14. BKR-2-2-0 Flanş
- Ek. 15. BKR-2-3-0 Merkezleme Konisi
- Ek. 16. BKR-2-4-0 Hata Sensörü
- Ek. 17. BKR-2-5-0 Mesafe Sensörü
- Ek. 18. BKR n Gövde
- Ek. 19. BKR-3-0-0 n Gövde
- Ek. 20. BKR-3-1-0 Gövde
- Ek. 21. BKR-3-4-0 RFV Kafesi

BORU KONTROL ROBOTU



BKR - 0 - 0 - 0



1. Disiplin	BKX-1.02-0	2	
2. Bidang Keahlian	BKX-1.02-0	2	
3. Kejuruteraan (Kod Rango)	BKX-1.02-0	2	
4. Program Kejuruteraan	BKX-1.02-0	2	
5. Papan Atas / Bahagian	11114	1	
6. Bilangan	1		
7. Nama			
8. Lokasi			
9. Bilangan			
10. Bilangan			
11. Bilangan			
12. Bilangan			
13. Bilangan			
14. Bilangan			
15. Bilangan			
16. Bilangan			
17. Bilangan			
18. Bilangan			
19. Bilangan			
20. Bilangan			
21. Bilangan			
22. Bilangan			
23. Bilangan			
24. Bilangan			
25. Bilangan			
26. Bilangan			
27. Bilangan			
28. Bilangan			
29. Bilangan			
30. Bilangan			
31. Bilangan			
32. Bilangan			
33. Bilangan			
34. Bilangan			
35. Bilangan			
36. Bilangan			
37. Bilangan			
38. Bilangan			
39. Bilangan			
40. Bilangan			
41. Bilangan			
42. Bilangan			
43. Bilangan			
44. Bilangan			
45. Bilangan			
46. Bilangan			
47. Bilangan			
48. Bilangan			
49. Bilangan			
50. Bilangan			
51. Bilangan			
52. Bilangan			
53. Bilangan			
54. Bilangan			
55. Bilangan			
56. Bilangan			
57. Bilangan			
58. Bilangan			
59. Bilangan			
60. Bilangan			
61. Bilangan			
62. Bilangan			
63. Bilangan			
64. Bilangan			
65. Bilangan			
66. Bilangan			
67. Bilangan			
68. Bilangan			
69. Bilangan			
70. Bilangan			
71. Bilangan			
72. Bilangan			
73. Bilangan			
74. Bilangan			
75. Bilangan			
76. Bilangan			
77. Bilangan			
78. Bilangan			
79. Bilangan			
80. Bilangan			
81. Bilangan			
82. Bilangan			
83. Bilangan			
84. Bilangan			
85. Bilangan			
86. Bilangan			
87. Bilangan			
88. Bilangan			
89. Bilangan			
90. Bilangan			
91. Bilangan			
92. Bilangan			
93. Bilangan			
94. Bilangan			
95. Bilangan			
96. Bilangan			
97. Bilangan			
98. Bilangan			
99. Bilangan			
100. Bilangan			

BKX - 0 - 0 - 0

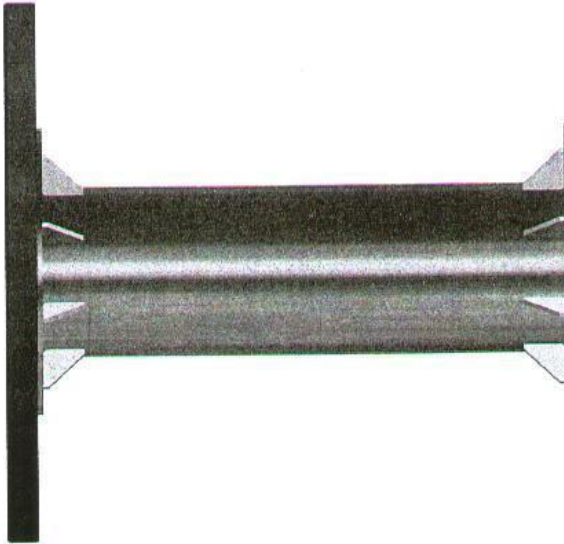
BORU KONTROL ROBOTU

1723

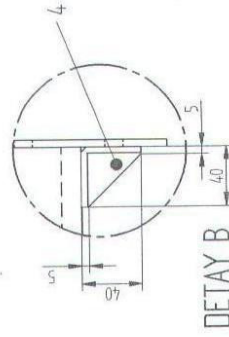
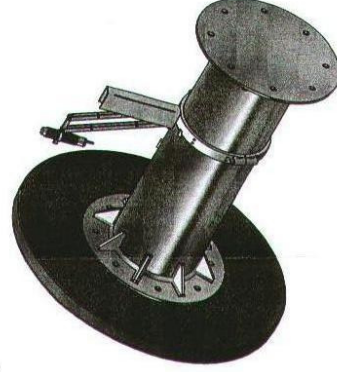
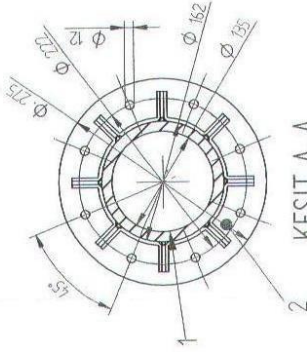
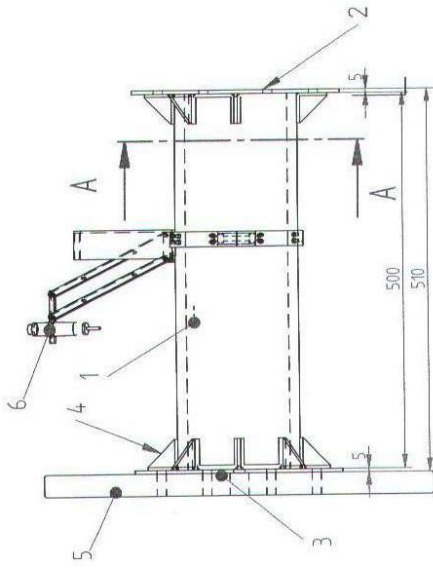
KESIT A-A

100

BKR ANA GÖVDE

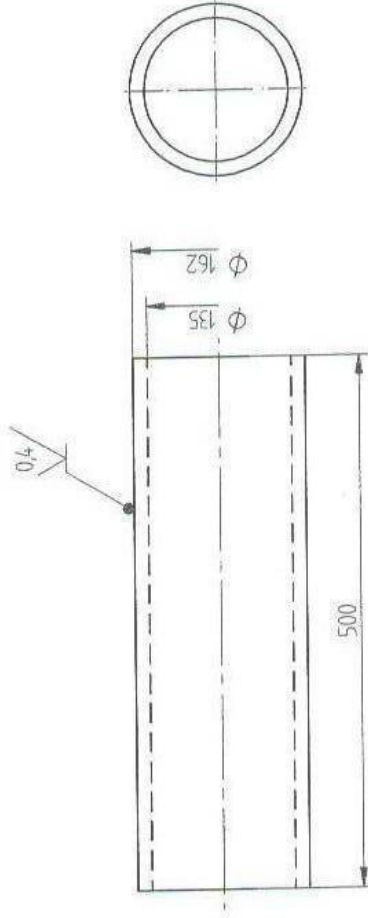


BKR - 1 - 0 - 0

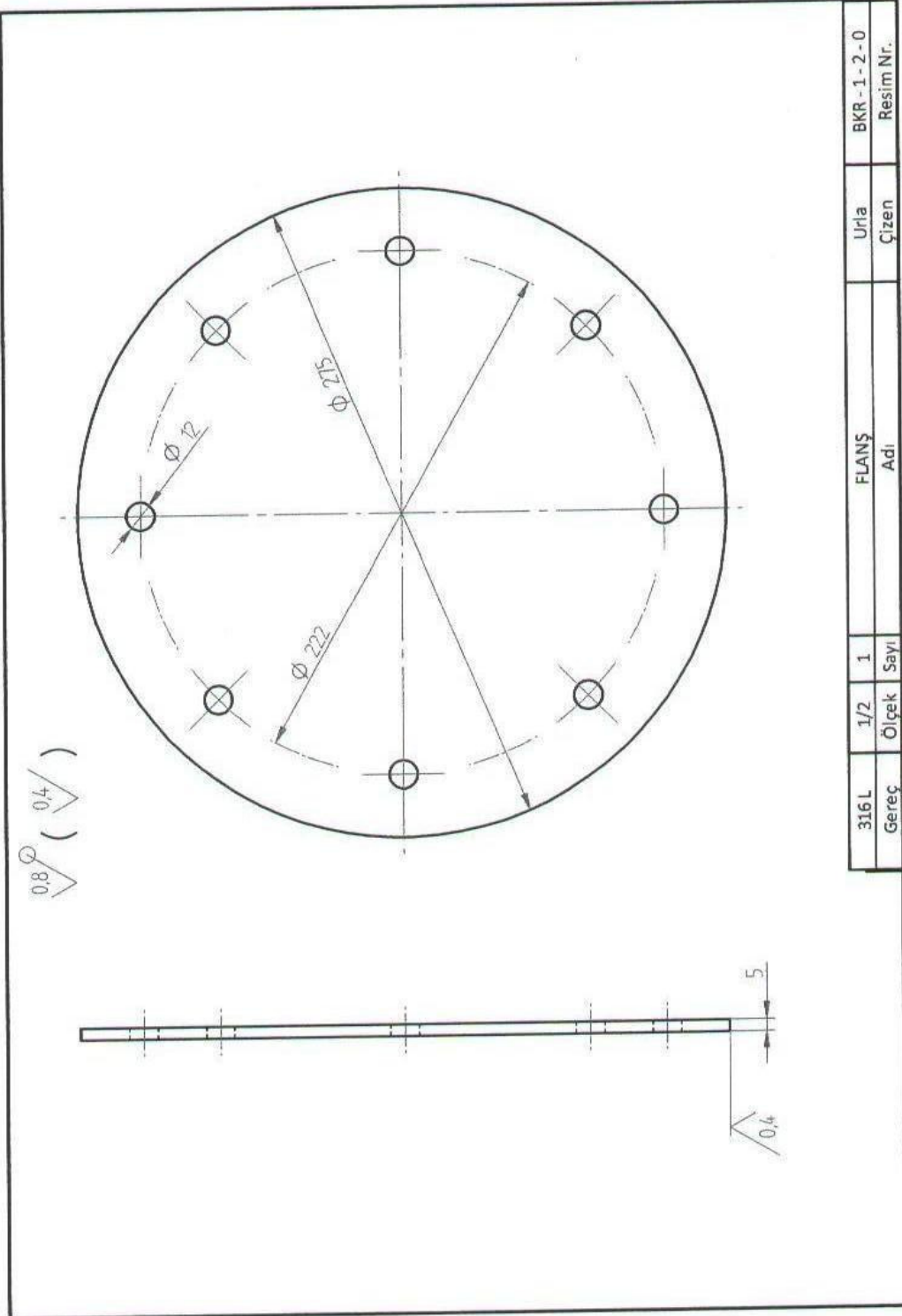


1	Ultrasonik Prob Grubu	BKR - 1 - 6 - 0	6	316 L	
1	BKR merkezleme plakası	BKR - 1 - 5 - 0	5	Vulkolan	
16x2	Bayrak	BKR - 1 - 4 - 0	4	316 L	
1	Flans	BKR - 1 - 3 - 0	3	316 L	
1	Flans	BKR - 1 - 2 - 0	2	316 L	
1	Gövde	BKR - 1 - 1 - 0	1	316 L	
Sayı	Parça Adı ve Açıklamalar	Resim Nr.- St. Nr.	Parça Nr.	Gereç	Açıklamalar
	Tarih	Soyadı	İmza	Sayı	
	Çizen	Ufuk		1	
	Kontrol	Ufuk			
	Onay	Çelik			
	Ölçek	BORU KONTROL ROBOTU			Resim Nr.
	1/5	ANA GÖVDE (Akü grubu)			BKR - 1 - 0 - 0
T. C. ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ					

(0,4)

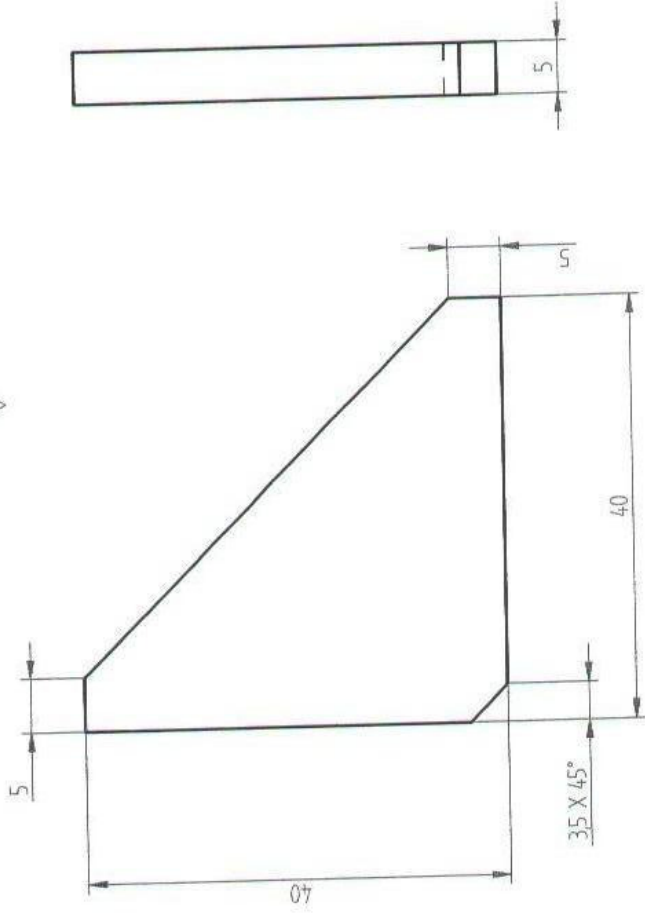


316 L	1/2	1	GÖVDE ($\phi 165 \times 13,5$ L = 550)	Urla	BKR - 1 - 1 - 0
Gereç	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim Nr.

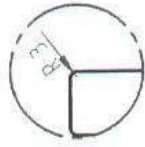
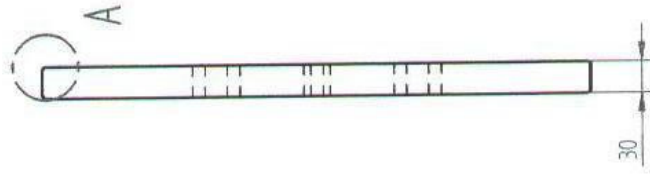


316 L Gereç	1/2 Ölçek	1 Sayı	FLANŞ Adı	Urla Çizen	BKR - 1 - 2 - 0 Resim Nr.
-------------	-----------	--------	-----------	------------	---------------------------

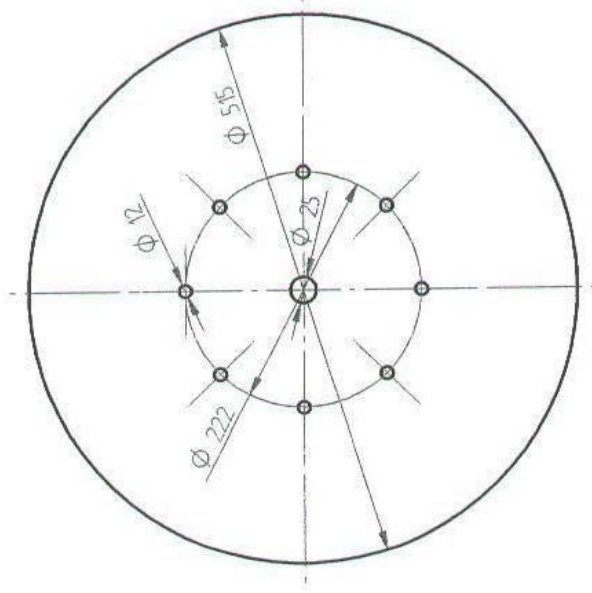
0.8



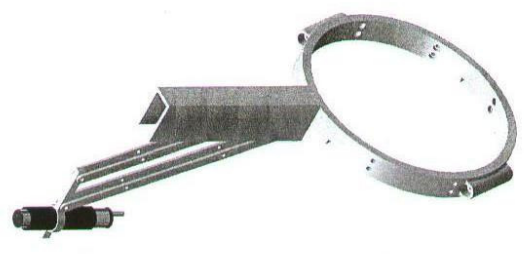
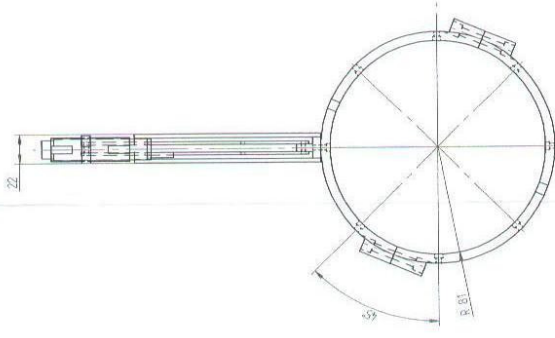
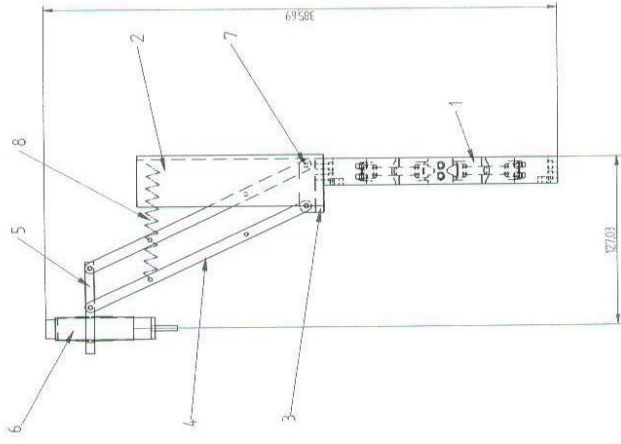
316 L Gereç	1 Ölçek Sayı	BAYRAK Adı	Urla Çizen	BKR - 1 - 4 - 0 Resim Nr.
----------------	-----------------	---------------	---------------	------------------------------



DETAY A



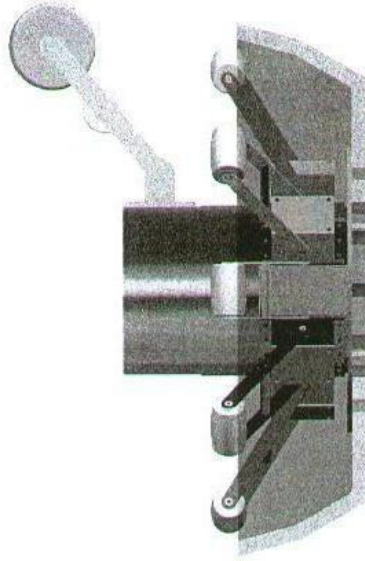
Vukolan Gereç	1/5 Ölçek	1 Sayı	BKR MERKEZLEME PLAKASI Adı	Urla Çizen	BKR - 1 - 5 - 0 Resim Nr.
---------------	-----------	--------	----------------------------	------------	---------------------------



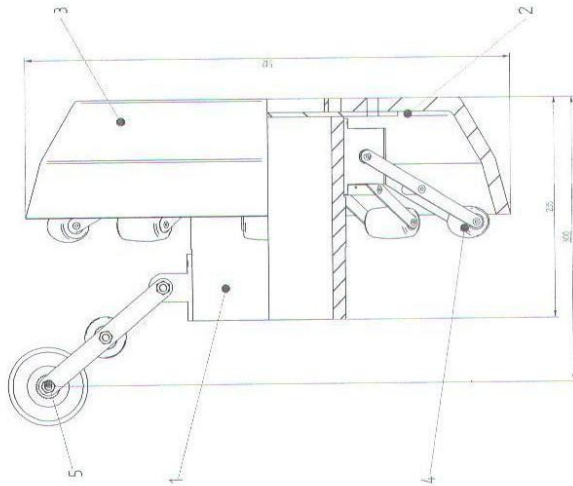
1	Yay			8	Yarçınçili
6	Pim	BKR-2-6-7	7	S137	
	Ultrasonik prob	BKR-2-6-6	6	Harz	
1	Prob başlıgını taşıyıcı	BKR-2-6-5	5	316L	
2	Mecanizma kolu	BKR-2-6-4	4	316L	
1	Mecanizma gövdesi	BKR-2-6-3	3	316L	
1	Mecanizma başı	BKR-2-6-2	2	316L	
1	Kelebek V152	BKR-2-6-1	1	316L	
Şarj.	Parça Adı ve Açıklamaları	Resim No-Şe. No.	Parça No	Şartlar	Açıklamalar
	Tarih	Soyadı	İmza	Sayı	
	Çizim	Usta			
	Kontrol	Usta			
	Onay	Çelik			
	Ölçek				
1/2					
BORU KONTROL ROBOTU					
ULTRASONİK PROB GRUBU					
					Resim No.
					BKR - 6 - 0

T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ
ÜNİVERSİTESİ

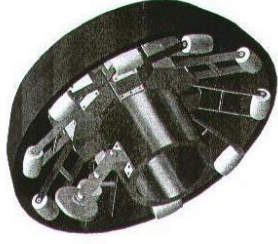
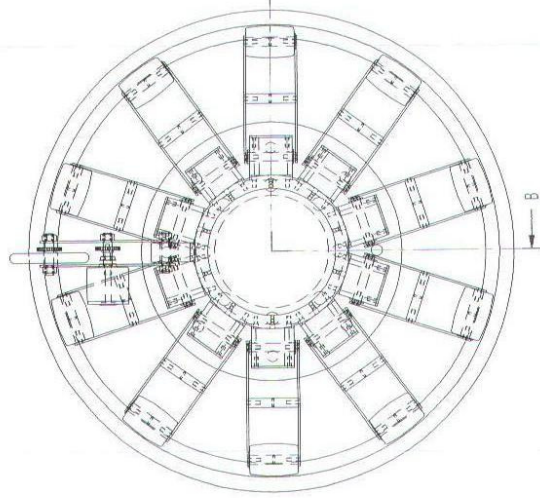
BKR ARKA GÖVDE



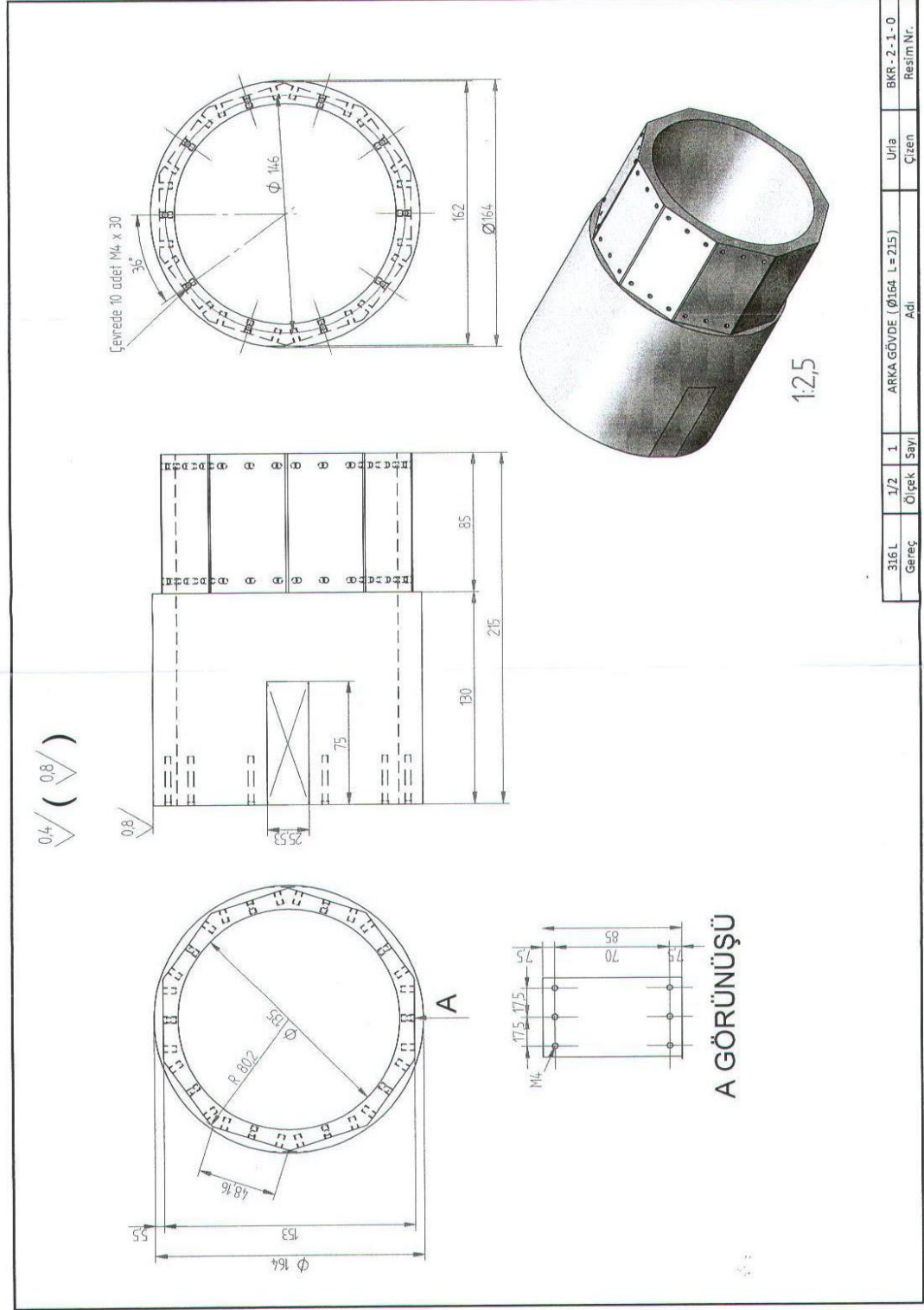
BKR-2-0-0



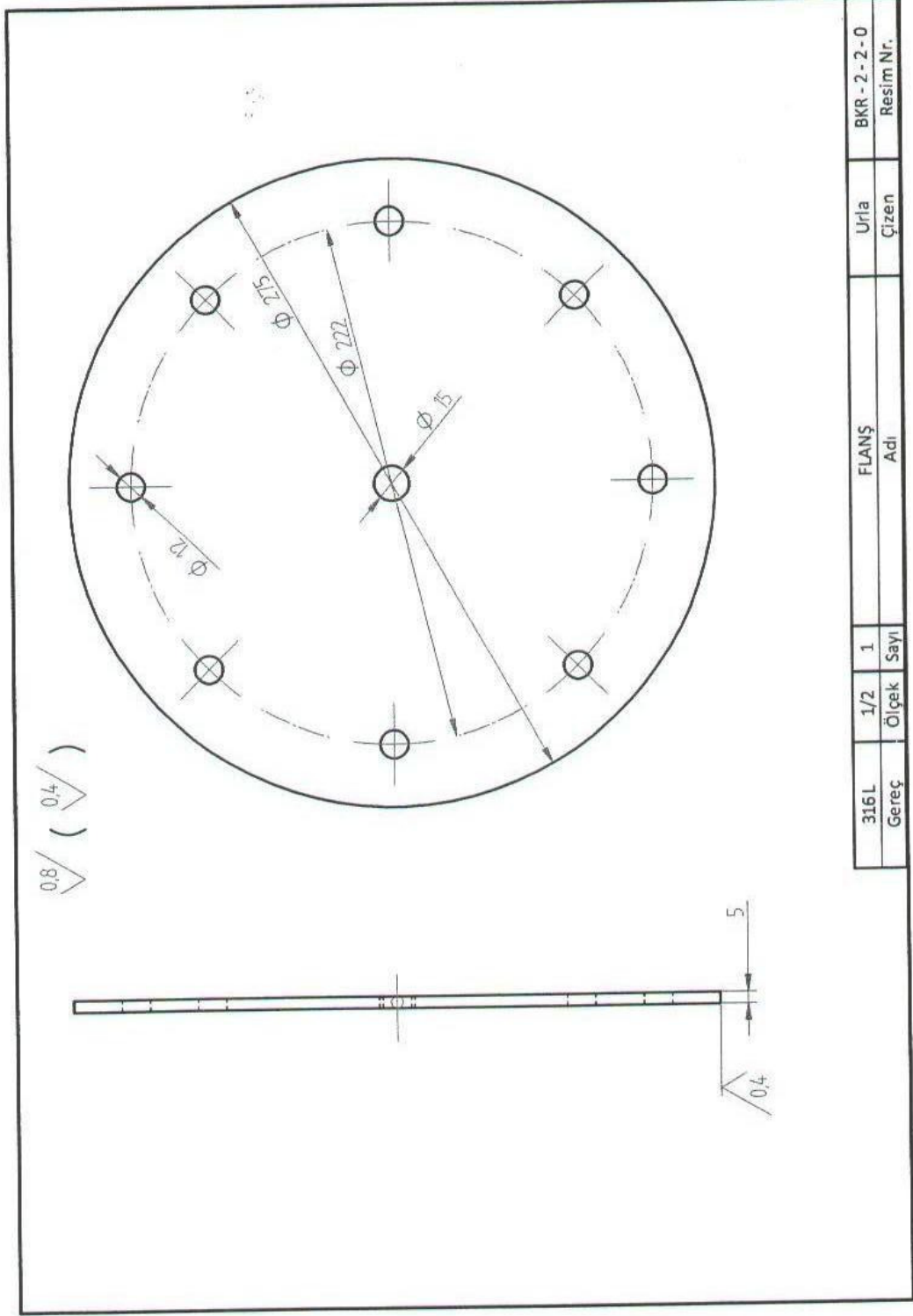
KESİT B-B



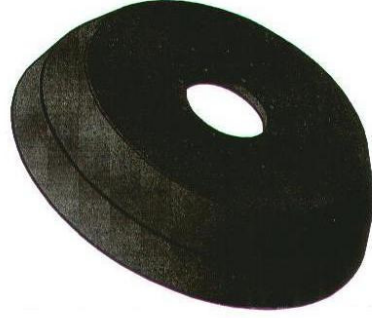
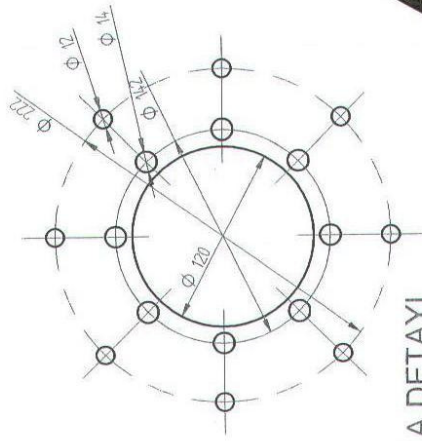
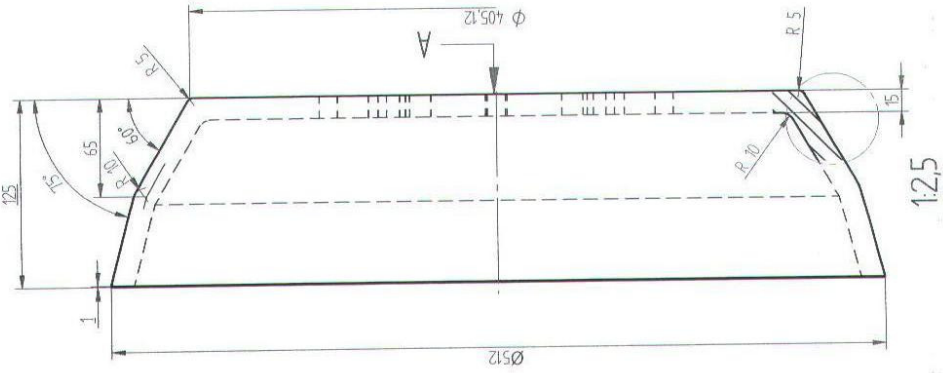
1	MONTAJ KESİMİ	BİRİM	1	1
2	MONTAJ KESİMİ	BİRİM	1	1
3	MONTAJ KESİMİ	BİRİM	1	1
4	MONTAJ KESİMİ	BİRİM	1	1
5	MONTAJ KESİMİ	BİRİM	1	1
T.C. ERZURUM İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ				
MÜHÜR				
KURUM				
BÖLÜM				
SINIF				
ARAŞTIRMA GRUBU				
BİRİM NO				
BİRİM ADI				



316 L Gereç	1/2 Ölçek Sayı	1 Adı	ARKA GÖVDE (Ø164 L=215)	Ufca Çizen	BKR - 2 - 1 - 0 Resim Nr.
----------------	-------------------	----------	-------------------------	---------------	------------------------------

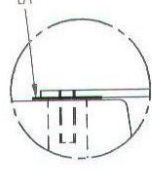
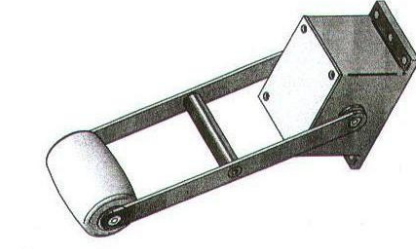


316 L Gereç	1/2 Ölçek	1 Sayı	FLANŞ Adı	Urla Çizen	BKR - 2 - 2 - 0 Resim Nr.
-------------	-----------	--------	-----------	------------	---------------------------

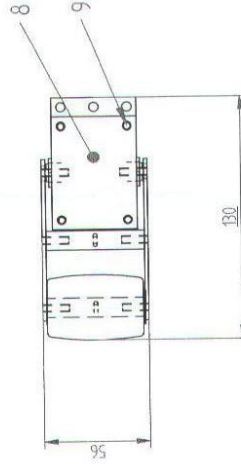
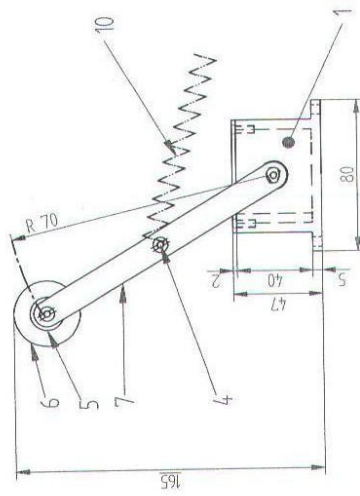
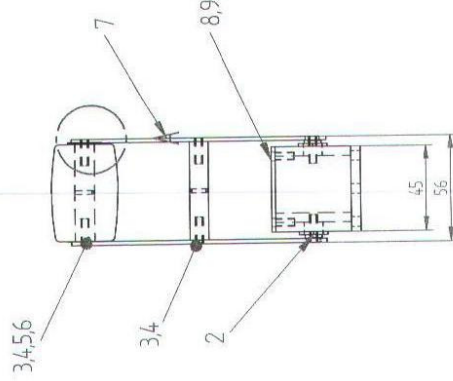


A DETAYI

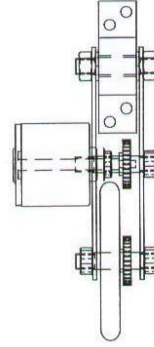
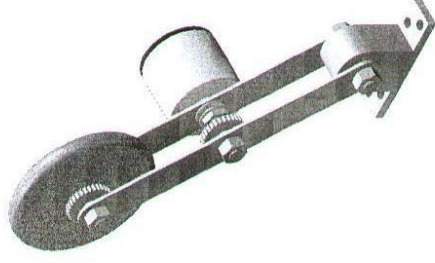
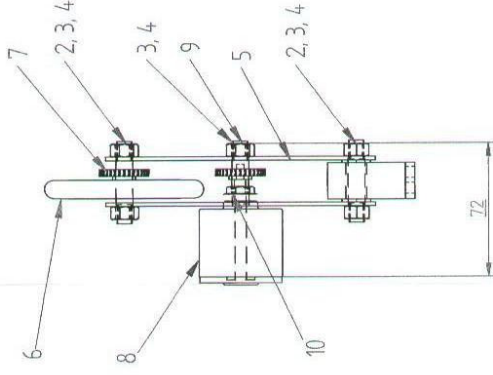
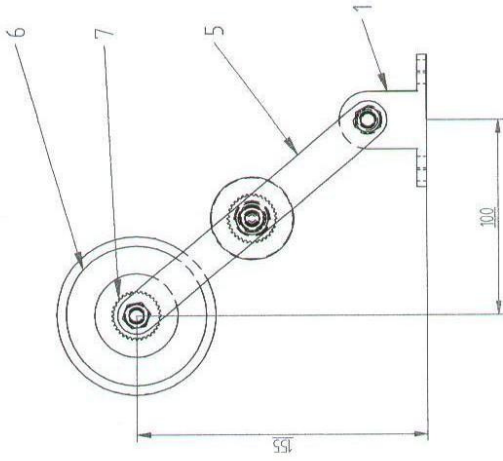
Vulkan Gerçeç	1/2.5	2	BKR MERKEZLEME KONUSI	Ufuk	BKR-2-3-0
	Ölçek	Sayı	Adı	Çizen	Resim Nr.



DETAY A

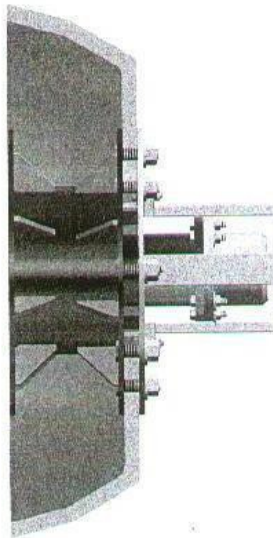


1	Yay	Hazır	10
4	Altılığe Oyuklu M3x12	Hazır	9
1	Kapak	BKR - 2 - 4 - 8	8 316 L
2	Sensör kolu	BKR - 2 - 4 - 7	7 316 L
1	Sensör tekeri	BKR - 2 - 4 - 6	6 Teflon
4	Aşınma plakası		5 St 37
4	Altılığe Oyuklu M3x12	Hazır	4
1	Mil	BKR - 2 - 4 - 3	3 St 37
1	Potansiyometre Mili	Hazır	2
1	Gövde	BKR - 2 - 4 - 1	1 St 37
Sayı	Parça Adı ve Açıklamalar	Resim Nr. - St. Nr.	Parça Nr. Gereç
	Tarih	Soyadı	İmza
	Çizen	Uria	
	Kontrol	Uria	
	Onay	Çelik	
	Ölçek		
1/5			
BORU KONTROL ROBOTU		Resim Nr.	
HATA SENSÖRÜ		BKR - 2 - 4 - 0	
T. C. ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ			

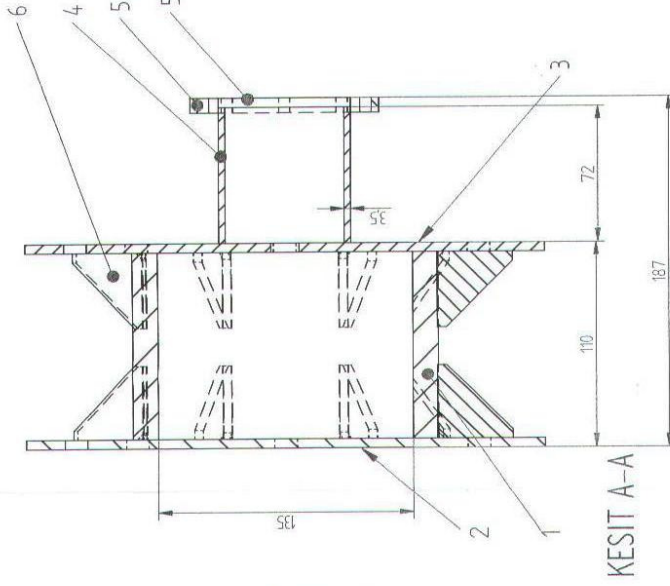
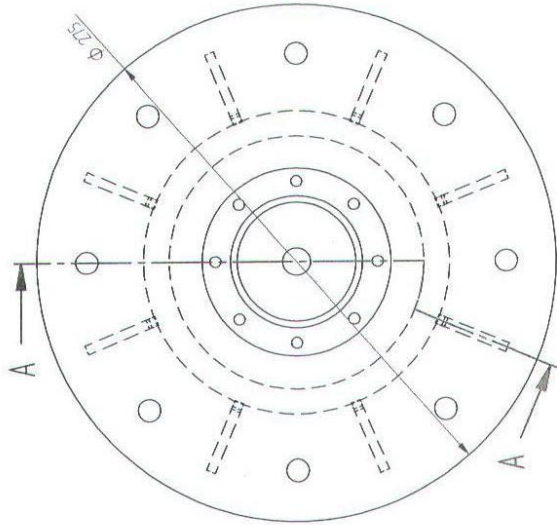


1	Takipci tespit somunu M8	BKR- 2 - 5 - 9	10	Hazır
1	Takipci tespit milli	BKR- 2 - 5 - 9	9	St.37
1	Takipci	BKR- 2 - 5 - 7	8	Hazır
2	Takipci dişlisi	BKR- 2 - 5 - 6	7	Kestamid
1	Takipci tekeri	BKR- 2 - 5 - 5	6	Kestamid
2	Teker kolu	BKR- 2 - 5 - 5	5	316 L
5	Altı köşe somun M8	BKR- 2 - 5 - 2	4	Hazır
5	Rondela 0,5 x ϕ 8,2	BKR- 2 - 5 - 2	3	Hazır
2	Mil ϕ 9	BKR- 2 - 5 - 1	2	St.37
1	Gövde	BKR- 2 - 5 - 1	1	St.37
Sayı	Parça Adı ve Açıklamalar	Resim Nr.- St. Nr.	Parça Nr	Açıklamalar
Çizen	Tarih	Soyadı	İmza	Sayı
Kontrol	Ufuk	Ufuk		1
Onay	Çelik			
Ölçek				
1/2	BORUKONTROL ROBOTU		Resim Nr.	
	MESAFE SENSÖRÜ		BKR - 2 - 5 - 0	
	T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ			

BKR ÖN GÖVDE



BKR - 3 - 0 - 0



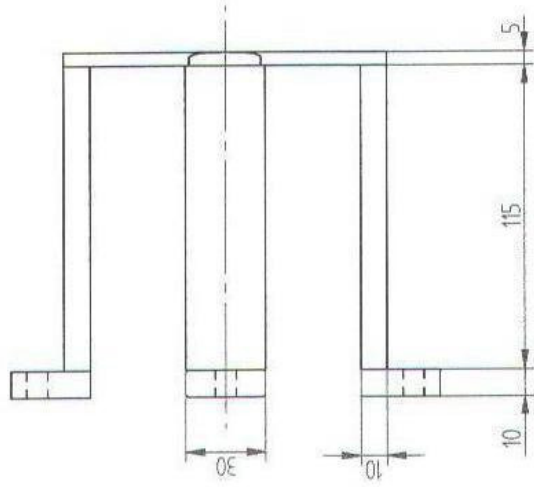
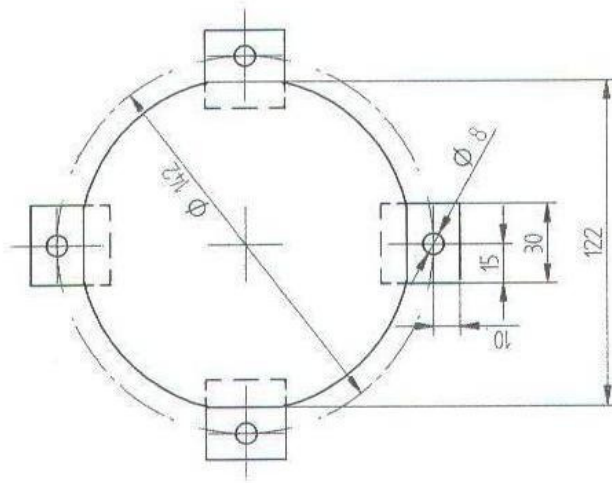
KESİT A-A

Sayı	Parça Adı ve Açıklamalar	Resim Nr.	St. Nr.	Parça Nr.	Gereç	Açıklamalar
0	Bayrak	(BKR-1-4-0)		6	316 L	
1	Flanş	BKR-3-1-3		5	316 L	
1	RFV bağlantı Gövdesi 3,5 x Ø 72 L=100	BKR-3-1-2		4	316 L	
1	Flanş	BKR-3-1-3		3	316 L	
1	Flanş	BKR-3-1-2		2	316 L	
1	Gövde Ø 162 x 13,5 L=100	BKR-3-1-1		1	316 L	

Tarih	Soyadı	İmza	Sayı
	Uria		1
	Çelik		

Çizen	Kontrol	Onay	Ölçek
			1/2

T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ	
BORU KONTROL ROBOTU ÖN GÖVDE	
Resim Nr.	
BKR-3-1-0	



1:5

316 L Gereç	1/2 Ölçek	1 Sayı	RFV Kafesi Adı	Urla Çizen	BKR-3-4-0 Resim Nr.
-------------	-----------	--------	----------------	------------	---------------------