

BORU HATLARI TASARIMI

Haluk KARADOĞAN

ÖZET

Boru hattı taşımacılığının nedenleri, maliyet analizi, ham petrol, içme suyu, atık su, doğal gaz, hidroelektrik santral, cevher taşıma, proses hatları, endüstriyel borulama konularına değinilip, boruların fiziksel özellikleri, boru seçimi ve tasarım felsefesi, boru hidroliği, boru et kalınlığı ve ekonomik çapın saptanması, su darbeleri, hidromekanik elemanlar, konularına bilgi aktarılacaktır.

Anahtar Kelimeler: boru hattı, boru hidroliği, taşıma, tasarım.

ABSTRACT

Advantages of pipeline transporting of fluids, pipeline economics, pipe materials, piping hydraulics, design philosophy of pipelines, water hammer, hydromechanical elements are introduced

Key Words: pipelines, hydraulics, transportation, design

1. NEDEN BORU HATTI TAŞIMACILIĞI

Ham petrol, ham su ve içme suyu ile doğalgazın taşınması amacıyla Türkiye'nin her yöresinden geçen boru hatlarından oluşan bir ağ ortaya çıkması beklenmektedir.

Buna hidroelektrik tesislerin basınçlı borularını ve cevher taşımakta kullanılan hatlarla proses hatlarını da eklemek gerekir.

Tüm boru hatları düşünüldüğünde gerek tasarım, gerek üretim ve de gerekse işletme aşamalarında yurt içi mühendislik – müşavirlik – yüklenicilik firmalarına, kamu kuruluşlarına görev düşmektedir.

Boru hattıyla taşımının üstünlükleri:

Ekonomik
Taşıma fiyatları değişken değil
İşletmesi kolay, bazen otomatik
Gömülü hat çevreyi rahatsız etmez
Gömülü hat sabotaja karşı daha güvenli
Boş konteynerleri geri göndermek gibi bir sorun yok
Hat kapasitesini artırmak mümkün
Gömülü hat trafik ve benzer servisleri engellemez
Rota seçmek karayolu ve demiryolundan kolay
Kaza/ton-km oranı düşük
Araçların geçemeyeceği yerden geçmesi mümkün

Boru hattıyla taşımanın zayıflıkları:

İlk yatırımı yüksek
Hattın doldurulma maliyeti yüksek
Tıkanma, durma/kalkma sorunları var
Kaçak sorunu

2. MALİYET ANALİZİ

Çelik bir boru hattının maliyetinin genel olarak hangi bileşenlerden oluştuğu aşağıda gösterilmiştir:

Boru	% 40
Kazı.....	%20
Döşeme+kaynak	%14
Mühendislik	% 5
Nakliye	% 6
İzolasyon	% 2
Koruma	% 2
Su darbesi önleme	% 1
Kamulaştırma+diğer	%10

3. BORU HATTI TÜRLERİ

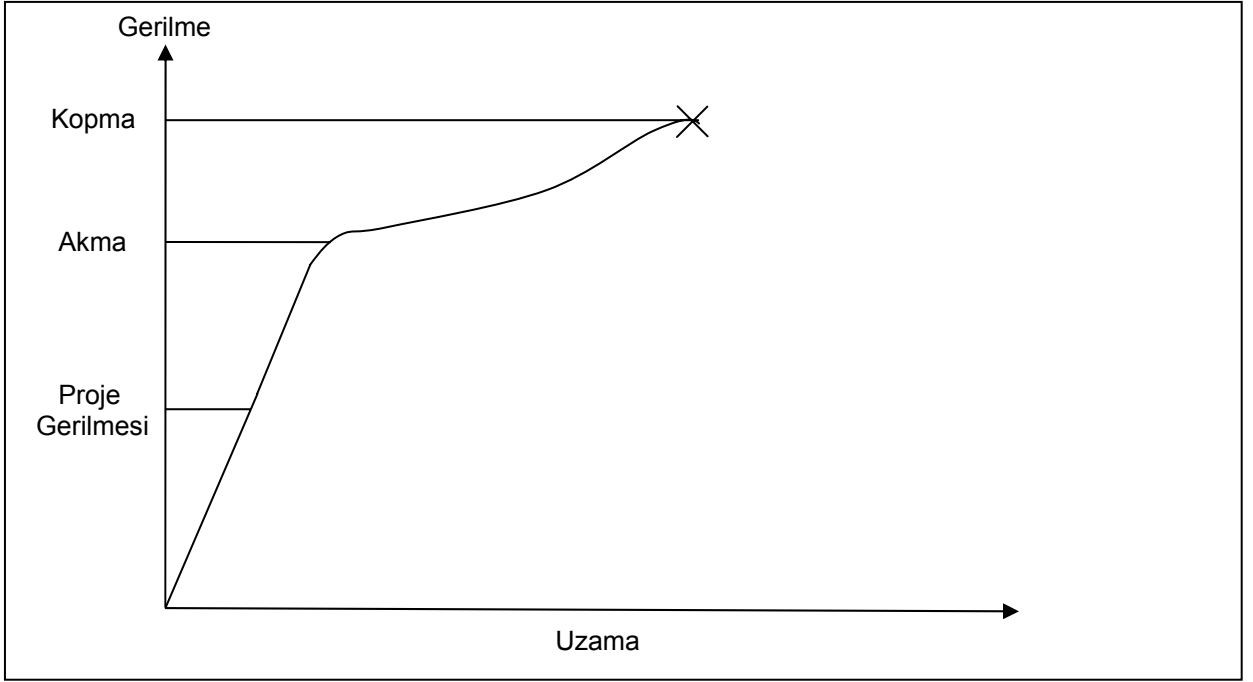
Ham petrol, içme suyu, atık su, doğal gaz, hidroelektrik santral, cevher taşıma, proses Hatları, endüstriyel borulama olarak çeşitlendirilen boru hatları, genel olarak, iletim (isale), dağıtım (şebeke) ve bina bazlı olarak üç farklı ölçekte adlandırılmaktadır.

4. BORULARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Mühendisleri ilgilendiren fiziksel özellikler dayanıklılık, kırılmadan bükülebilme, darbelere karşı dayanımdır. Aşağıda listelenen bazı malzemelerin fiziksel özellikleri birbirinden farklıdır.

Çelik
Döküm
Düktil
PE
PVC
CPVC
CTP
Beton
Diğer

En önemli olan malzemenin gerilme altında uzama özelliğidir.



Şekil 1. Çeliğin Gerilme – Uzama Eğrisi

5. BORU SEÇİMİ / TASARIM FELSEFESİ

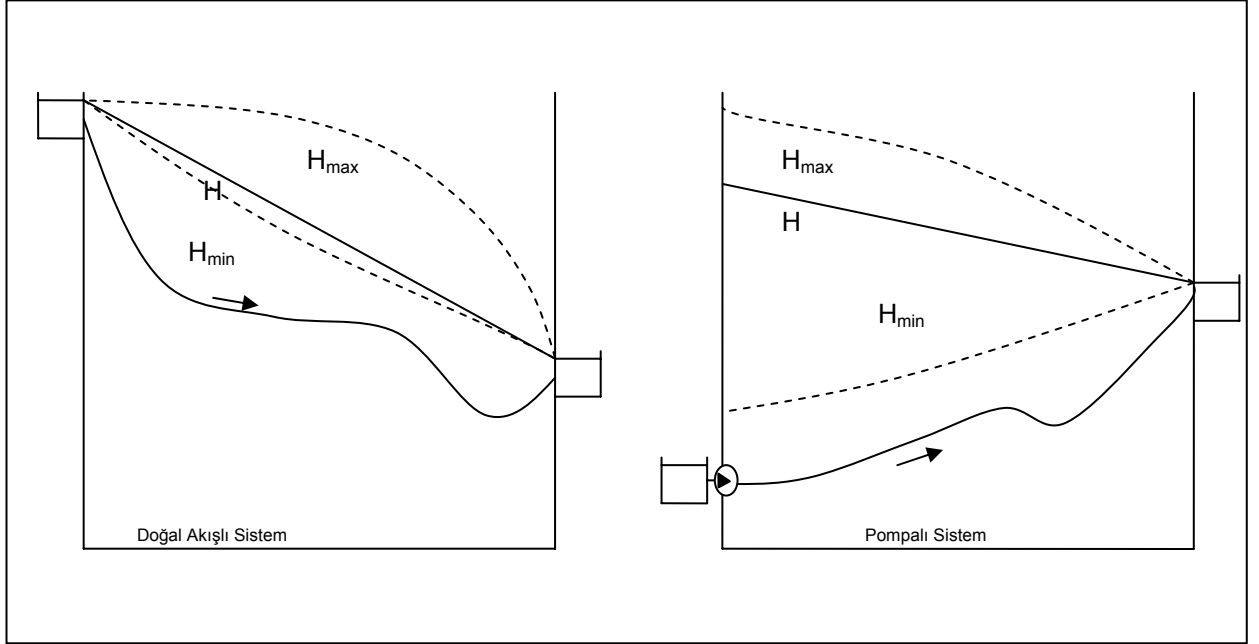
- Çelik boru : yüksek dayanımlı / kırılma emniyetli / hafif / ekonomik ama özel koruyucu kaplama gerektirir.
- Font boru : korozyona dayanıklı / orta dayanımda / uzun ömürlü / ağır / et kalınlığı fazla / darbeye hassas
- Düktil boru : yüksek dayanımlı/ az kırılma emniyetli ama Hüküm miktarda ithal
- Plastik boru : PE ve PVC ama dayanımı az / büyük çaplarda ekonomik değil. (PVC bükülemez)
- CTP boru : dayanımı iyi, korozyona dayanımlı ama ekonomik değil
- Beton boru : az dayanımlı / kırılma emniyetli / ağır
- Diğerleri : tartışılmalı

Boru malzemesi seçilirken taşınacak akışkanın özellikleri, boru hattı güzergahı, ekonomiklik vb pek çok parametre gözden geçirilip öyle karar verilmelidir.

Boru et kalınlığı seçilirken su darbelerine göre alınacak önlemler düşünülerek ve değişken et kalınlığı veya değişken çap ve de ara pompa istasyonları kullanma seçenekleri ayrıntılı olarak tartışılmalıdır.

Olabilecek teknik çözümler içinde en ekonomik olanı bulup çıkarmak ciddi bir mühendislik işidir.

6. BORU HİDROLİĞİ



Şekil 2. Boru Hatlarında Yük Çizgileri

Süreklilik denklemi (kütlenin korunumu)

$$\rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$$

Momentum Denklemi (momentumun korunumu)

$$\Delta F = \rho \cdot Q \cdot \Delta V$$

Enerji Denklemi (Enerjinin Korunumu)

$$z_1 + \frac{F_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{F_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \xi_{1-2}$$

Varsayımlar:

- Daimi
- Sıkıştırılmaz
- Bir boyutlu
- Eksendeki akım çizgisi boyunca

$$\alpha = 1.05 \text{ türbülanslı akışta}$$

$$\alpha = 2 \text{ katmanlı akışta}$$

$$\xi = \xi_{süreklil} + \xi_{vazet}$$

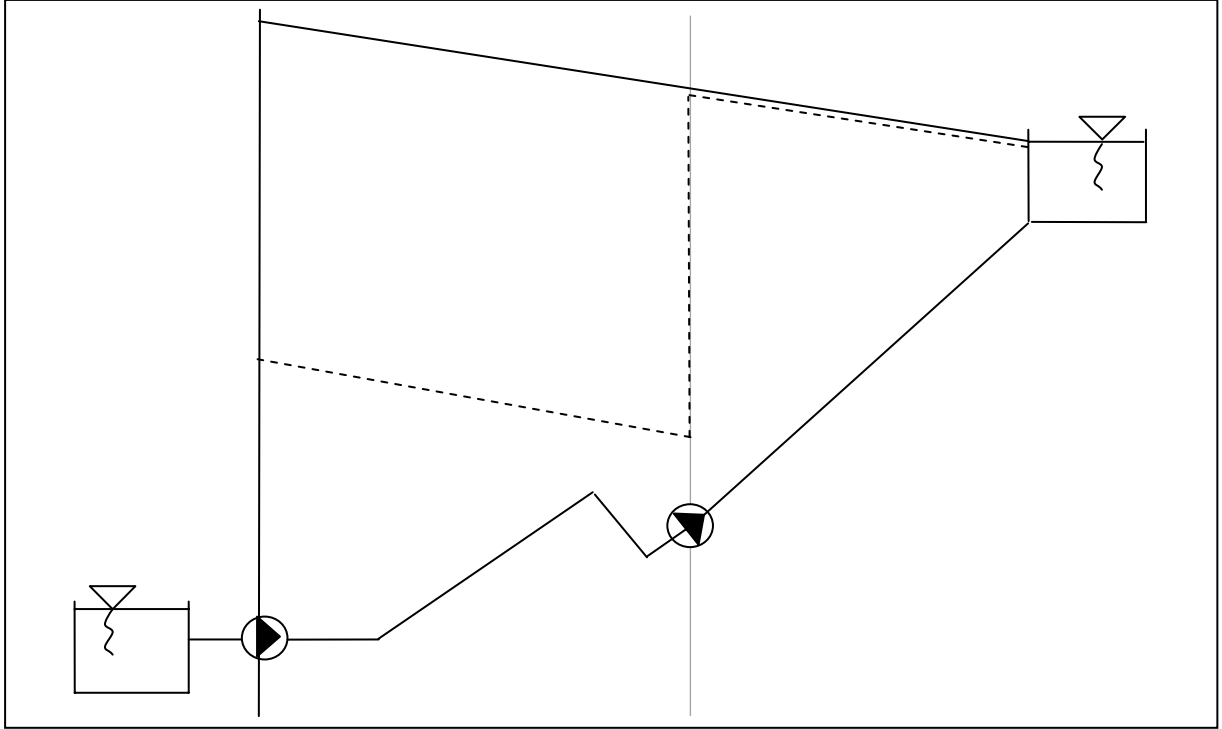
$$\xi_{süreklil} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$\lambda = f(\alpha, Re)$$

$$\alpha = \frac{k}{D} \rightarrow \text{MOODY Diyagramı}$$

Tablo 1. Boruların Ortalama Pürüz Yükseklikleri

k değerleri	K [mm]
Çelik,PVC,Asbest	0,015÷0,06
Kaplanmış Çelik	0,03÷0,15
Galvaniz Boru	0,06÷0,3
Döküm, çimento kaplı	0,15÷0,6
Beton	0,3÷1,5

**Şekil 3.** İki Pompalı ve Tek Pompalı Halde Yük Çizgisi Değişimi

7. BORU ET KALINLIĞI VE EKONOMİK ÇAPININ SAPTANMASI

$$n \times P_c = \frac{2E}{(1-M^2)} \times \left[\frac{S_a}{d_a} \right]^3$$

P_c : Çökme basıncı (üstü açık boruda 1 bar, Üstü dolgulu boruda 1 bar + dolgu yükü)

E : Çeliğin elastisite modülü

M : Poisson oranı

S_a : Boru et kalınlığı

N : Emniyet faktörü

8. EKONOMİK ÇAPIN SAPTANMASI

Boru çapı seçilirken aşağıdaki faktörler göz önüne alınır:

Taleplerdeki büyüme

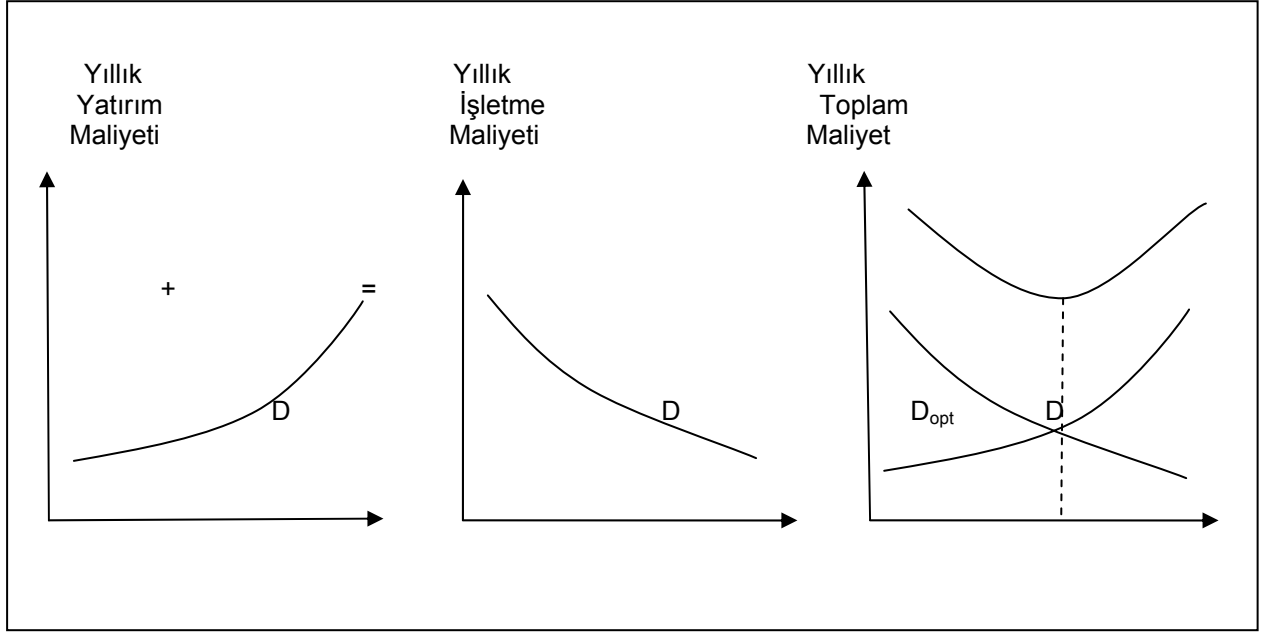
İşletme faktörü (\bar{Q}/Q_{max})

Kapasite faktörü ($Q/Q_{tasarım}$)

Toplam yatırımın zamanla değişimi

Eldeki sermaye ve faiz oranları

Gerektiğinde ikinci bir hattın döşenme güçlüğü



Şekil 4. En Ekonomik Boru Çapının Bulunması

Yıllık Yatırım Maliyeti (yıllık değer kaybı maliyeti) [D] :

$$D = \frac{C(f+a)}{100}$$

C_i : ilk yatırım maliyeti

i : faiz oranı

a : amortisman oranı

Yıllık İşletme Maliyeti [E] :

$$E = P \cdot b \cdot r$$

P : kullanılan güç

b : yıllık kullanma süresi

r : birim enerji maliyeti

Yıllık Toplam Maliyet

$$YTM = D + E$$

9. POMPA SEÇİMİ VE İŞLETİMİ

Talep dalgalanmasına en uygun / ekonomik cevabı verebilmelidir. Pompalar ortalama debi değiştiğinde de verimden çok fedakârlık yapmamalı, kavitasyonsuz çalışmalı ve titreşime girmemelidir.

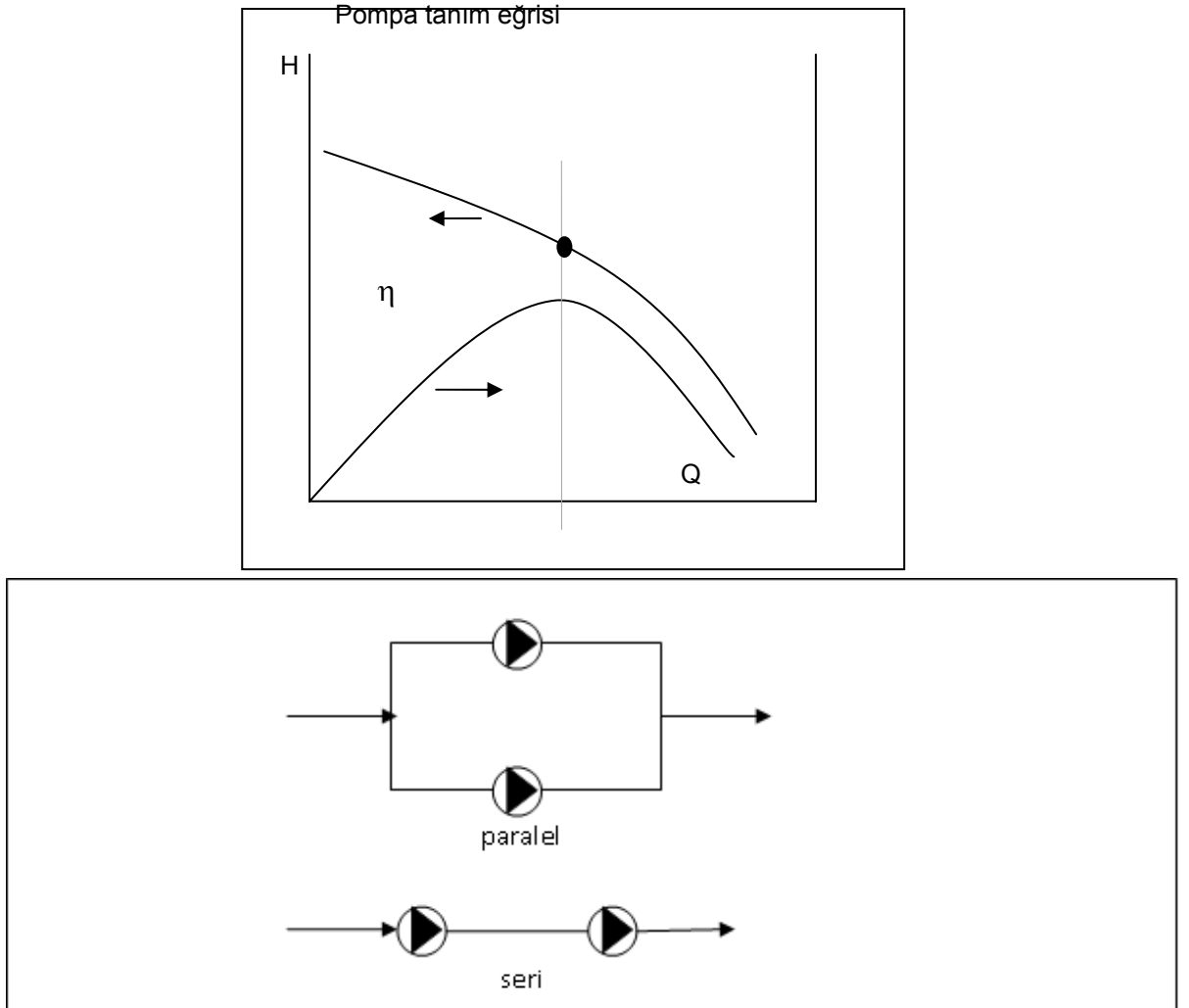
Pompaların en verimli noktaları civarında, özgül enerji tüketimi [kWh/m³] en az olacak şekilde, yıllık toplam maliyeti en küçük olan, kavitasyonsuz, titreşimsiz çalışabilen şekilde seçilmesi bir mühendislik işidir..Arıza durumunda servis süresinin ve maliyetinin ne olacağı kestirilebilmelidir.

Pompalarda Özgül Hız:

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Özgül hız büyüdükçe en ekonomik pompalar aşağıdaki gibi değişim gösterirler:

Radyal
Karışık akımlı
Eksenel



Şekil 5. Pompaların Paralel ve Seri Bağlanması

10. SU DARBELERİ

Elektrik kesilmeleri, ani manevralar, kısmi işletmeler, boru kırılmaları vb. durumlarda ortaya çıkan hareketli sıvının durma/ kalkma momentumundaki değişimler basınç kuvvetinde büyük değişimlere yol açarlar. Bunun sonucunda, eğer boru hattı tasarımında su darbesine karşı hava kazanı, denge bacası, volan vb. önlemler alınmamışsa borunun kırılmasına/çökmesine yol açabilir. Bu konu tek başına incelenebilecek bir konudur. Kapsam dışında tutulmuştur.

11. HİDROMEKANİK ELEMANLAR

Boru hattının işletiminin mühendisçe ve ekonomik bir şekilde yapılabilmesi için uygun seçilmiş ve çalışır tutulabilen ölçü ve kontrol cihazlarına ihtiyaç bulunmaktadır.

Kabaca sıralanacak olursa:

Kontrol vanaları
Akış kontrol vanaları
Seviye kontrol vanaları
Vantuzlar
Drenaj vanaları
Debi ölçerler
Basınç ölçerler
Seviye ölçerler
Pompa istasyonu ölçü ve kontrol elemanları
Genleşme parçaları
Sökme takma parçaları
Vb

Tüm hidromekanik elemanların seçiminde bu elemanların karakteristikleri kullanılarak ve her boru hattı için ayrı hesap yapılarak karar verilmelidir.

Uygun kapasitede seçilmeyen hidromekanik elemanlar hattın işlevini normal olarak yerine getirmesine engel olurlar.

SONUÇ

Boru hatlarının Türkiye'de yapılabilirlik oranları aşağıda belirtilmiştir.

boru% 90
inşaat işçiliği% 100
nakliye.....% 80-90
proje yönetimi....% 50-60
pompa.....%10-50
vanalar.....% 10-50
müşavirlik..... % 30-40
izolasyon.....% 100
tanklar.....% 90
kontrol/haberleşme..% 70

Boru hattı toplam yatırımının % 25 i işçilik, yurt içinde kalabilecek bir katma değerdir. Boru üreten çok fabrikamız, ayrıca demir çelik fabrikalarımız vardır. mühendislik/müşavirlik hizmetleri yurt içinden karşılanabilecektir.

ÖZGEÇMİŞ

Haluk KARADOĞAN

1949 yılında Mersin’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini orada tamamladı. 1971 yılında İTÜ Makina Fakültesi’nden “Makina Yüksek Mühendisi” olarak mezun oldu. Aynı yıl İTÜ Makina Fakültesi Su Makinaları Kürsüsü’nde asistan olarak göreve başladı. 1971 ve 1975 yıllarında Dz.K.K Taşkızak Tersanesi’nde askerlik görevini tamamladı. “Pülsatif Akımlarda Yük Kaybı” adlı çalışmasıyla 1978 yılında İTÜ Makina Fakültesi’nden “Doktor” ünvanını aldı.

1979 yılında TÜBİTAK yurt dışı doktora sonrası araştırma bursunu alarak gittiği ABD’deki Lehigh Üniversitesi’nde “akışın yarattığı titreşimler” konusunda araştırmalar yaptı ve ders verdi. 1982 yılında İTÜ Makina Fakültesi’ndeki eski görevine döndü. 1982’de “Yrd. Doçent”, 1984’de “Doçent” ve 1992’de “Profesör” olarak atandı. Akışkanlar Mekaniği, Hidrolik Makinalar, Pompalama Sistemleri, Boru Hatları Tasarımı, Akışın Yarattığı Titreşimler, başta olmak üzere çeşitli lisans ve lisansüstü dersler verdi. Araştırma konuları esas olarak: akışın yarattığı titreşimler, pompalar ve pompalı sistemler, boru hatları. Çok sayıda makale bildiri, araştırma projesi raporu ve teknik raporu yayınladı. POMSAD ve TAKDER kurucu üyesi, MMO üyesidir. Su idarelerine ve çeşitli sanayi kuruluşlarına uzmanlık konularında teknik danışmanlıklar yapmıştır. 2004-2008 yılları arasında İTÜ Rektör Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. Halen İTÜ Makina Fakültesi Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar Anabilim Dalı’nda öğretim üyesi olarak çalışmalarına devam etmektedir.