

# Boru Hatları Tasarımı

## 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.

## 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 taşımamın 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

Prof.Dr. Haluk KARADOĞAN

## 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

**Makale****Boru hattıyla taşımının 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, hidro-elektrik 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  
Düktül  
PE  
PVC  
CPVC  
CTP  
Beton  
Diğer

En önemli olan malzemenin gerilme altında uzama özelliğidir.

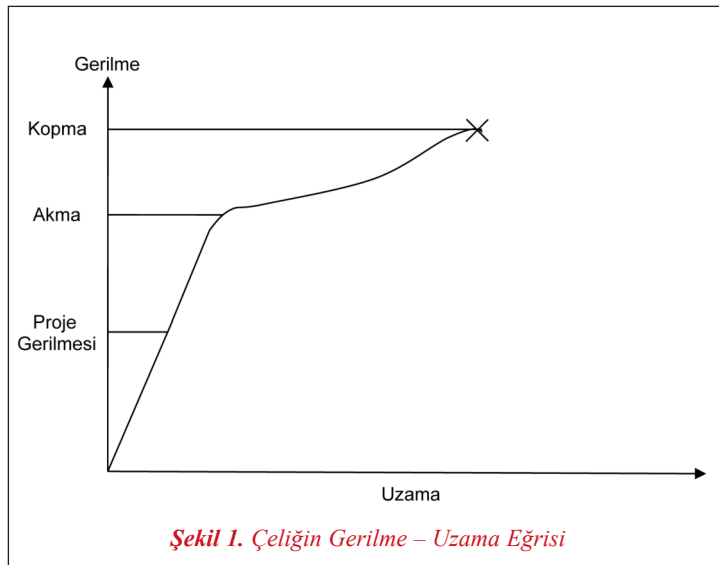
**5. BORU SEÇİMİ / TASARIM FELSEFESİ**

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  
Düktül boru : Yüksek dayanımlı / az kırılma ama Hüyük miktarda ithal  
Plastik boru : PE ve PVC ama dayanımı az / büyük çaplarda ekonomik değil. (PVC bükülmez)  
CTP boru : Dayanımı iyi, korozyona dayanımlı ama ekonomik değil  
Beton boru : Az dayanımlı / kırılma / 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

Süreklilik denklemi (kütle korunumu)

$$\rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$$

Momentum Denklemi (momentumun korunumu)

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

Enerji Denklemi (Enerjinin Korunumu)

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

Varsayımlar:

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

$\alpha = 1.05$  türbülanslı akışta

$\alpha = 2$

$$\zeta = \zeta_{\text{sürekli}} + \zeta_{\text{evsel}}$$

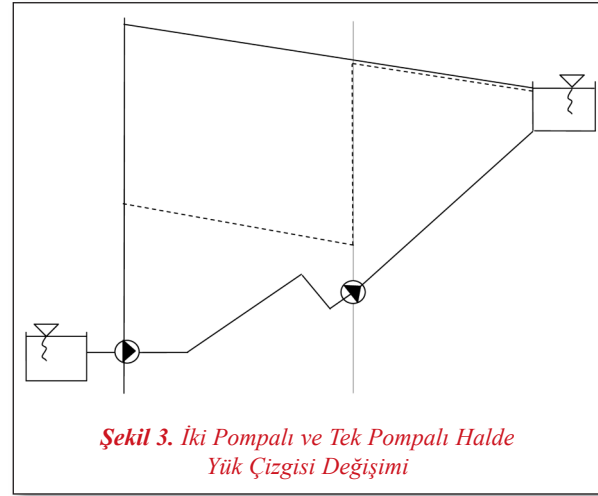
$$\zeta_{\text{sürekli}} = \lambda \frac{LV^2}{D2g}$$

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

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

**Tablo 1. Boruların Ortalama Pürüz Yükseklikleri**

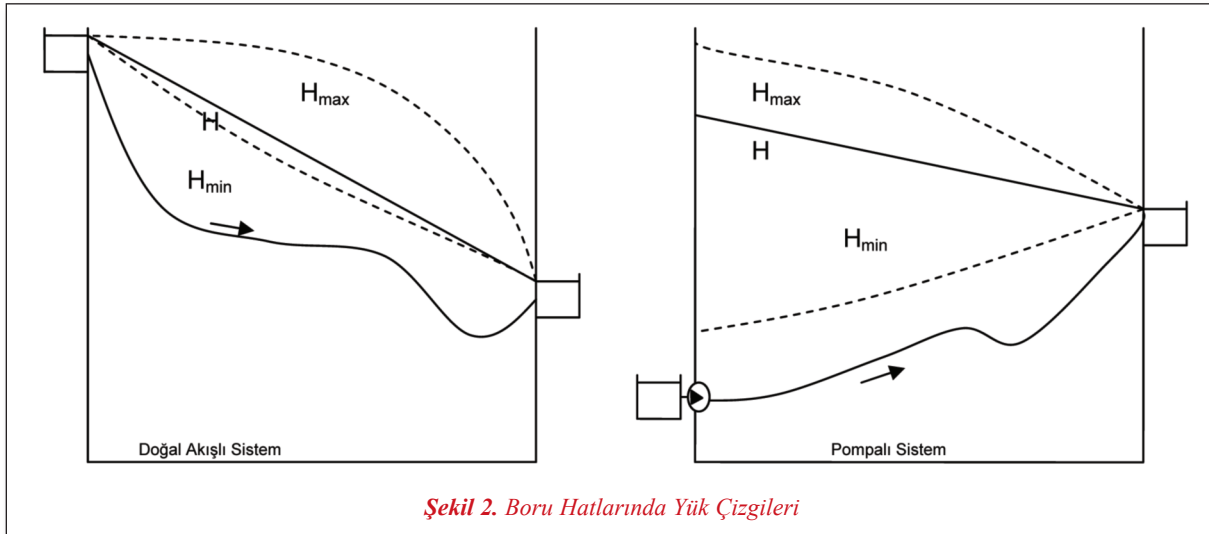
k değerleri	K [mm]
Çelik, PVC, Asbest	0,015+0,06
Kaplanmış Çelik	0,03+0,15
Galvaniz Boru	0,06+0,3
Döküm, çimento kaplı	0,15+0,6
Beton	0,3+1,5



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

## 7. BORU ET KALINLIĞI VE EKONOMİK ÇAPININ SAPTANMASI

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



**Şekil 2. Boru Hatlarında Yük Çizgileri**

**Makale**

$P_{\phi}$  : Çökme basıncı (üstü açık boruda 1 bar, Üstü dol-  
gulu 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

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

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

$C_i$  : 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.

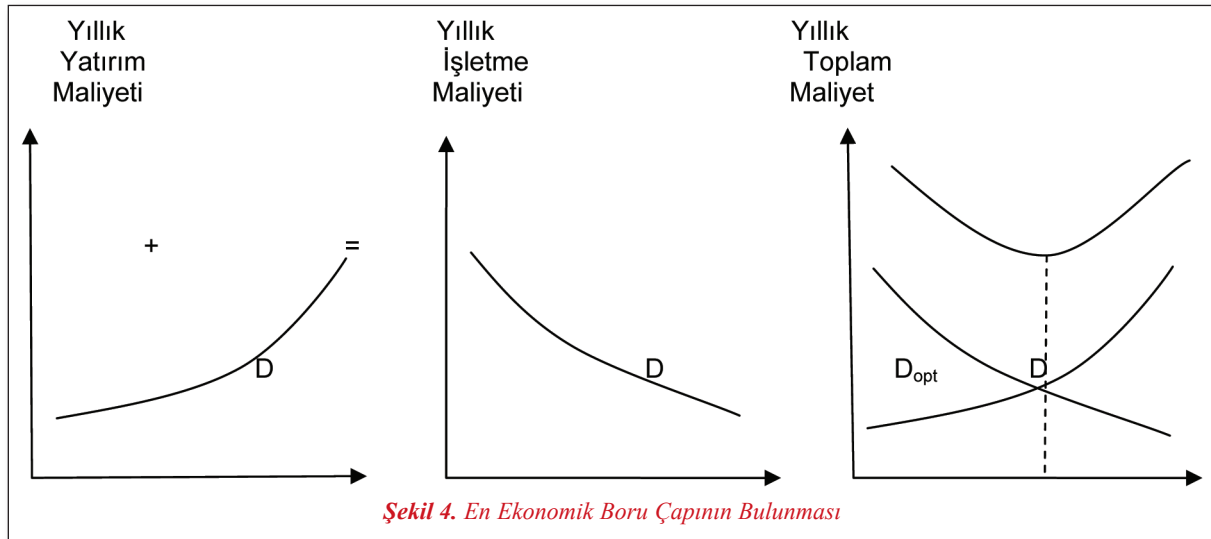
Pompaların en verimli noktaları civarında, özgül enerji tüketimi [kWh/m<sup>3</sup>] en az olacak şekilde, yıllık toplam maliyeti en küçük olan, kavitasyonsuz, titreşimsiz çalışabilen şekilde seçilmesi bir mühendislik işidir. Arıza durumunda servis süresinin ve maliyetinin ne olacağı kestirilebilmelidir.

Pompalarda Özgül Hız:

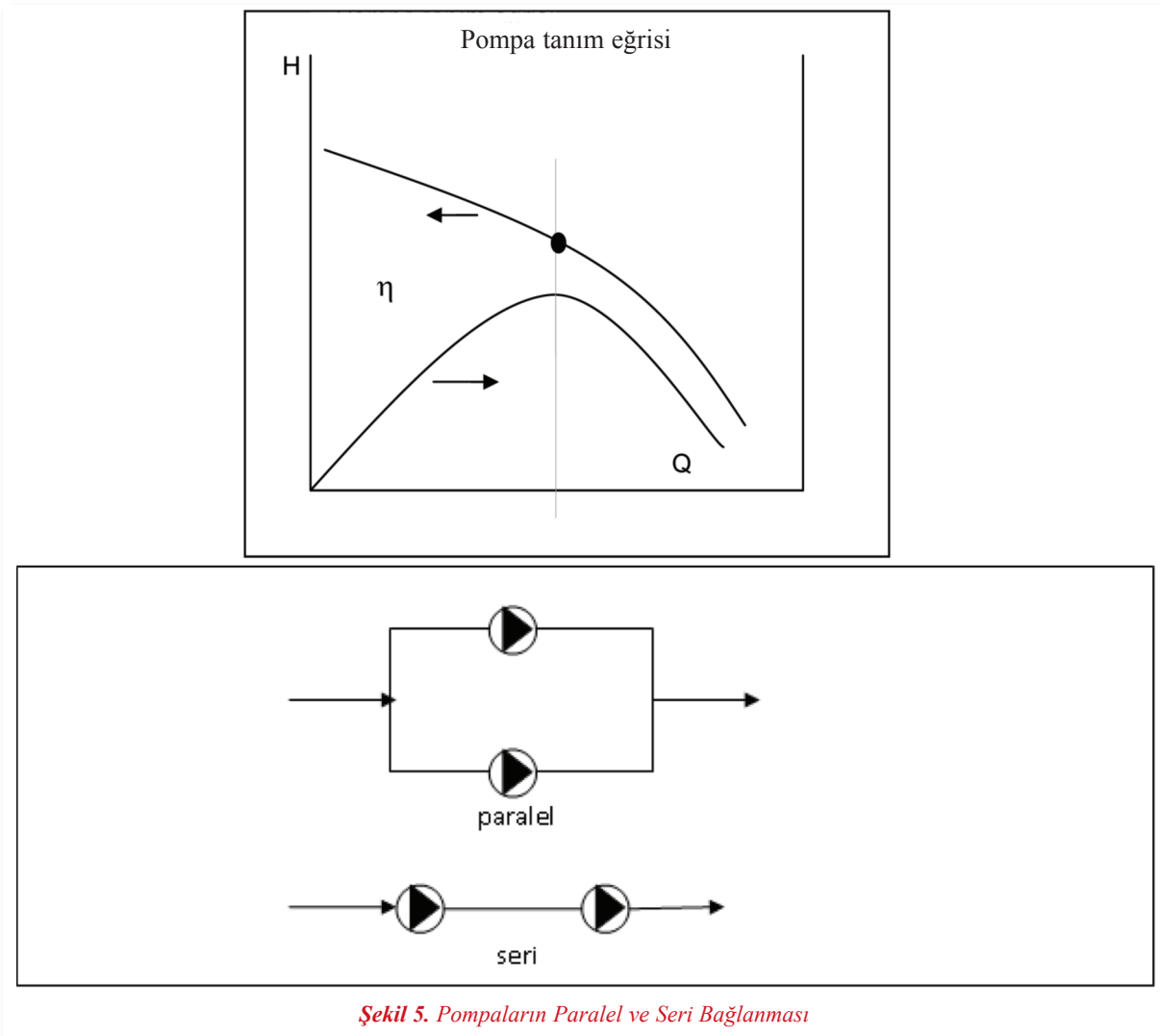
$$n_s = \frac{n\sqrt{2}}{H^{1/4}}$$

Özgül hız büyüdükçe en ekonomik pompalar aşağıdaki gibi değişim gösterirler:

Radyal  
 Karışık akımlı  
 Eksenel



Şekil 4. En Ekonomik Boru Çapının Bulunması



**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.

**Makale**

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

pompalar.....%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.