

# KATILARIN BORULARLA HİDROLİK TAŞINIMINDA SÜRTÜNMENİN KORELASYONU

Fahri DAĞLI  
Ayla KALELİ

## ÖZET

Bu çalışmada; su ile katı madde taşınımını gerçekleştiren sistemlerde karşımıza çıkan hidrolik problemlerden biri olan yük kaybının (enerji kaybı) belirlenmesi konusu incelenecektir. Bu amaçla kurulan hidrolik transport deney setinde çeşitli deneyler yapılmış ve bu deney sonuçlarından yararlanarak sürtünmenin neden olduğu enerji kaybına ait korelasyon oluşturulmuştur. Geliştirilen bu korelasyon kullanılarak hesaplanan değerlerin, ölçüm sonuçları ile de uyum içinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak; katıların hidrolik transportunu gerçekleştirecek sistemler kurulmadan önce, bu sistemlerin belirli oranda küçültülmüş modeli üzerinde benzer çalışmalar yapılmasının hem sistemin verimli çalışması hem de ekonomikliği açısından faydalı olacağı kanısındayız.

## 1. GİRİŞ

Borularla katı maddenin taşınması tarihsel olarak eskilere gitmesine rağmen, yüksek konsantrasyonlardaki karışımların, uzun mesafelere bu metotla taşınması oldukça yenidir. Gerçek anlamda, ticari boru hatlarının inşası, ancak, 1950 yılından sonra başlamıştır. Günümüzde, bu tip taşınımın pratik ve çoğu hallerde de, diğer taşıma şekillerine göre daha ekonomik olduğunu kanıtlayan çok fazla sayıda tesis mevcuttur[1].

Yiğit ve Yapıcı [2] çalışmalarında; borularla katı madde taşınımı sırasında, karşımıza çıkan hidrolik problemlerin başında, basınç kayıplarının (yük kaybının), kritik hızın ve ortaya çıkacak akış rejiminin belirlenmesi olduğunu ifade etmekte ve bu konuda verilen hesap yöntemlerinin genel olarak deney sonuçlarından elde edilen korelasyonlara dayandığını belirtmektedir.

Bu çalışmada enerji kaybına başlıca parametrelerin etkisi araştırılmış ve bunun için amprik bir bağıntı geliştirilmiştir. Bu amaçla deney seti kurularak, su-kum karışımının kullanıldığı çeşitli deneyler yapılmıştır.

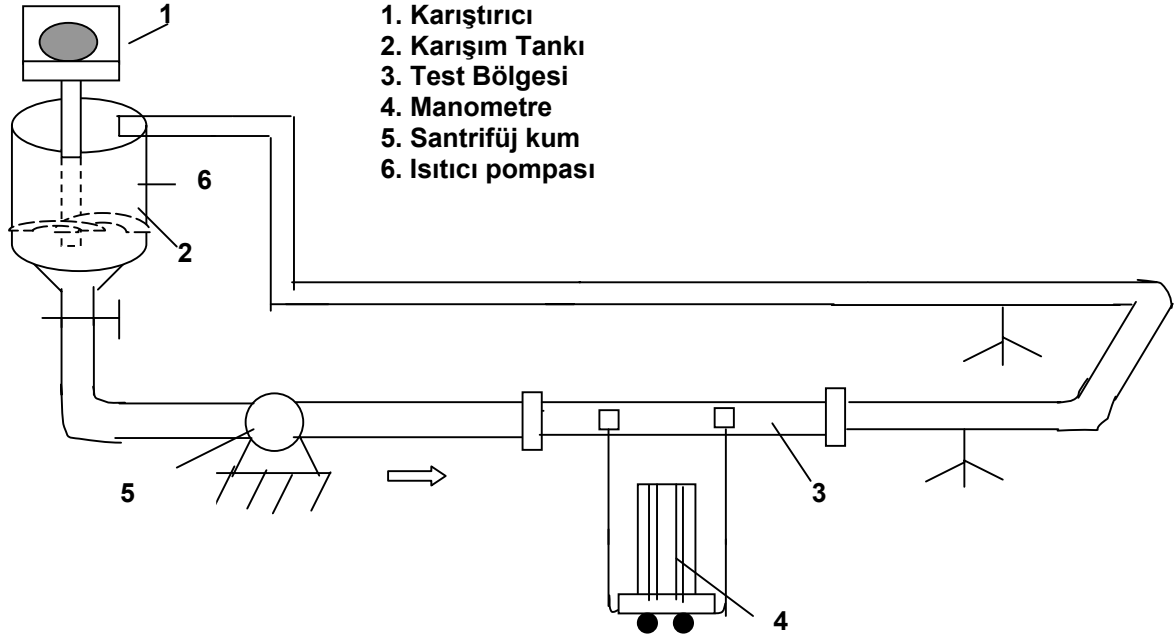
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler, Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney setinin şematik görünüşü, şekil 1'de gösterilmiştir.

Deney setinde, pompa girişinde alt kısmı konik olan 545 litre hacminde silindirik bir karışım tankı bulunmaktadır. Bu tanktan su, 7.5 kW gücünde ve max devir hızı 1430 dev./dak. olan santrifüj bir pompa ile sisteme basılmaktadır. Deney setinde toplam 29.76 m'lik boru bulunmakta olup, boru hattının sonu atmosfere açılmakta ve basılan karışım, tekrar karışım tankına boşaltılmaktadır.

Deneylerde debi; dereceli debi ölçme kabı kullanılarak ve her defasında en az 3 ölçüm değerinin ortalaması alınarak tesbit edilmiştir.

Bu çalışmada; ölçüm sonuçlarını belirlemede kullanılan test bölgesinin uçları arasında diferansiyel manometre yerleştirilmiştir. Test bölgesine değişik iç çaplarda (6.84 cm; 5.37 cm; 4.11 cm; 3.67cm; 2.71 cm) galvanizli borular yerleştirilerek ve karışım sıcaklığı bir ısıtıcı yardımıyla sabit tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Aşağıda deney setinin şematik resmi verilmektedir.



Şekil 1. Deney setinin şematik resmi.

Deneylerde yoğunluğu  $2500 \text{ kg/m}^3$  ( $\rho_s = 2500 \text{ kg/m}^3$ ) ve 0.505 mm, 0.715 mm, 1.015 mm, 1.435 mm, 2.030 mm çaplarında kum kullanılmıştır.

Bilindiği üzere, katı madde özelliklerinden bir diğeri tane çökme hızı olup, bu hız durgun akışkan içinde serbestçe düşen küresel bir parçacığa denge denklemi uygulanarak elde edilen,

$$w = \sqrt{\frac{4(s-1)gd}{3C_D}} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır . Bu formüldeki,  $C_D$  direnç katsayısını hesaplamak amacıyla; Camp'in deney sonuçlarından elde etmiş olduğu eğriden [3] okunan değerlere regrasyon yöntemi uygulanarak, Kaleli [4] tarafından önerilen denklemler kullanılmıştır:

### 3. KORELASYONUN OLUŞTURULMASI VE SONUÇLAR

Gerek teorik gerekse deneysel deneyimlerden heterojen rejimde yük kaybını etkileyen başlıca parametrelerin aşağıdaki gibi alınabileceği bilinmektedir [5].

$$f\left(\left(\frac{\Delta p}{\gamma_m L}\right), C_v, w, V_m, \rho_L, D, \mu_L\right) = 0$$

Buckingham ( $\pi$ ) teoremi uygulanarak bu değişkenler de;

$$\pi_1 = [\rho_L]^a [V_m]^b [\mu_L]^c (\Delta p / \gamma_m L) \text{ şeklinde yazılıp, aşağıdaki şekilde;}$$

$$\pi_1 = \left(\frac{\Delta p}{\gamma_m L}\right) = \frac{h_L}{L} \quad ; \quad \pi_2 = C_v \quad ; \quad \pi_3 = \frac{w}{V_m} \quad ; \quad \pi_4 = \frac{\rho_L V_m D}{\mu_L}$$

en uygun boyutsuz terimlere dönüştürülebilir. Burada, birim boydaki yük kaybını gösteren terim  $\pi_1$  olduğuna göre, bunu da genel olarak, aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \pi_4) \quad (2)$$

(2) ifadesi ile verilen genel bağıntının biçimini belirlemek için, her defasında  $\pi_1$  dışındaki  $\pi$  terimlerinden birisi hariç diğerleri sabit tutularak, yapılan ölçüm sonuçlarından regresyon analizi ile aşağıdaki bağıntılar bulunmuştur<sup>1</sup>.

$\pi_3 = \bar{\pi}_3$  değerinde ve  $\pi_4 = \bar{\pi}_4$  değerinde sabit tutularak  $\pi_1$  ile  $\pi_2$  arasında,

$$C_v < \% 10 \text{ için; } \pi_{1234} = f(\bar{\pi}_2, \bar{\pi}_3, \bar{\pi}_4) = 0.2 \bar{\pi}_2 + 0.052$$

$$\% 10 \leq C_v \leq \% 30 \text{ için; } \pi_{1234} = 0.3 \bar{\pi}_2^2 + 0.072$$

$\pi_2 = \bar{\pi}_2$  değerinde,  $\pi_4 = \bar{\pi}_4$  ve  $\pi_3 = \bar{\pi}_3$  değerlerinde sabit tutularak  $\pi_1$  ile  $\pi_3$  arasında,

$$\pi_{1234} = f(\bar{\pi}_2, \bar{\pi}_3, \bar{\pi}_4) = 0.19 \bar{\pi}_3^{0.21} \quad ; \quad \pi_{1234} = f(\bar{\pi}_2, \bar{\pi}_3, \bar{\pi}_4) = 0.24 \bar{\pi}_3^{0.21}$$

$\pi_2 = \bar{\pi}_2$ ,  $\pi_3 = \bar{\pi}_3$  değerinde sabit tutularak  $\pi_1$  ile  $\pi_4$  arasında,

$$\pi_{1234} = 2.2 \times 10^8 \bar{\pi}_4^{-1.8}$$

bağıntıları elde edilmiştir.

n adet  $\pi$  terimi için  $\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n)$  biçiminde verilen genel bir fonksiyonel bağıntının biçimi, aşağıdaki gibi toplam ya da çarpım kuralına göre birleştirilerek belirlenebilir [6].

Çarpım ve toplam yoluyla birleştirme kuralları uygulanarak, gerekli kontroller yapılmış ve boyutsuz  $\pi$  sayılarının çarpım yoluyla birleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Böylece ,

$$\% 1 < C_v < \% 10 \text{ aralığı için; } \pi_1 = 2.568 \times 10^8 (1 + 3.85 \pi_2) \pi_3^{0.21} \pi_4^{-1.8} \quad (3)$$

bulunur.  $\pi$  terimleri denklem (3)'de yerine yazılırsa, bu eşitlik,

$$\frac{\Delta p}{\gamma_m L} = 2.568 \times 10^8 (1 + 3.85 C_v) \left(\frac{w}{V_m}\right)^{0.21} \left(\frac{\rho_L V_m D}{\mu_L}\right)^{-1.8} \quad (4)$$

olarak yazılabilir.

<sup>1</sup>Kolaylık sağlaması açısından  $f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_s)$  fonksiyonu kısaca  $\pi_{234\dots s}$  biçiminde gösterilmiştir.  $\pi$  sayılarının ve indislerin üzerindeki çizgiler ilgili  $\pi$  sayılarının belli değerlerde sabit tutulduğunu göstermektedir.

$$\%10 \leq C_v \leq \%30 \text{ aralığı için; } \pi_1 = 4.27 \times 10^8 (1 + 4.17 \pi_2^2) \pi_3^{0.21} \pi_4^{-1.8} \quad (5)$$

bulunur veya  $\pi$  terimlerinin denklem (5)'de yerine konulmasıyla,

$$\frac{\Delta p}{\gamma_m L} = 4.28 \times 10^8 \left(1 + 4.17 C_v^2\right) \left(\frac{w}{V_m}\right)^{0.21} \left(\frac{\rho_L V_m D}{\mu_L}\right)^{-1.8} \quad (6)$$

bulunur.

(4) ve (6) denklemlerinde,

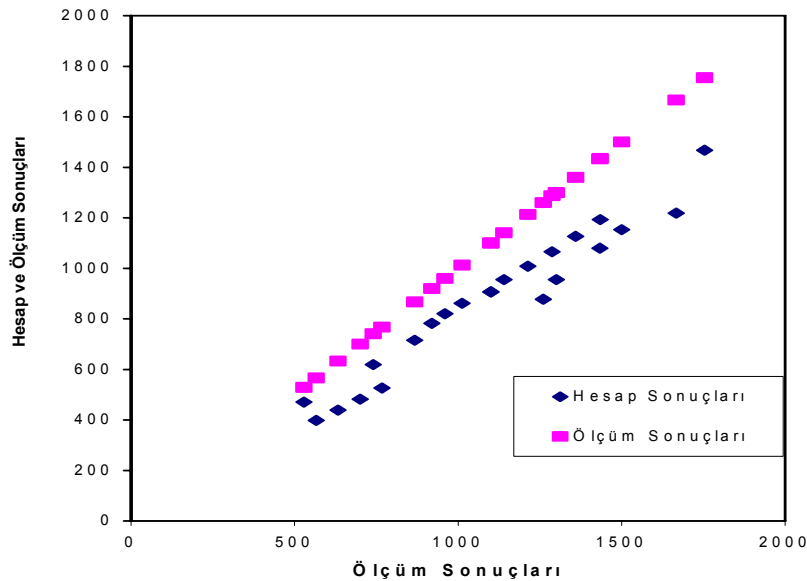
$$C_v = v_s / v_m \quad ; \quad \rho_m = \rho_L (1 - C_v) + \rho_s C_v \quad ; \quad Re = \frac{\rho_L V_m D}{\mu_L}$$

dır. Bu çalışmada; olaya etki ettiğini kabul ettiğimiz parametreler, yukarıda anlatıldığı şekilde, boyut analizi yöntemi ile boyutsuz terimlere dönüştürülerek, aralarındaki bağıntının tipi belirlenmiş ve bir denklem önerilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi; önerilen (4) ve (6) denklemlerinin sonuçları, ölçüm sonuçlarıyla grafiksel olarak kıyaslanmaktadır. Gerçek değerlerle daha iyi mukayese edilebilmesi açısından grafiğin hem x hem de y eksenlerine ölçüm sonuçları yazılmıştır. Eğer; hesaplanan değerler ölçüm sonuçları ile aynı olsaydı grafik 45 derecelik bir doğru olacaktı. Ancak şekil 2'den de görüldüğü gibi, hesapla bulunan değerlerin 45 derecelik doğrudan sapmaları söz konusudur. Olaya etki eden bazı parametrelerin ihmal edilmesi (örneğin, boru pürüzlülüğü), ölçme hataları veya sistemden kaynaklanan hatalar bu gibi sapmalara neden olabilmektedir. Bu sapmalar 45°'lik doğruya ne kadar yakın ise hesapla bulunan değerler gerçeğe o kadar yakın demektir. Şekil 2'de de görüldüğü gibi, hesap değerleri ölçümle bulunan sonuçlarla uyum içerisindedir. Bu da geliştirilen korelasyonun bu deney seti için kullanılabileceğini göstermektedir.

Böyle bir bağıntının ilgili deney seti veya bir sistemin modeli için doğru şekilde belirlenmesi; denklemin geçerli olduğu şartlara bağlı kalmak koşulu ile, parametrelerden herhangi birinin değerini ara değerler için de hiç deney yapmadan direkt formülden hesaplama kolaylığı sağlamaktadır. Bu da hem zaman hem de enerji tasarrufu demektir. Bir sistemin dizaynında da bu veriler oldukça önemlidir.

Sonuç olarak; katıların sıvı içinde boru hatlarıyla hidrolik taşınımını gerçekleştirmek amacıyla bir sistem kurmadan önce, mutlaka o sistemin belli oranlarda küçültülmüş modeli üzerinde çalışmak faydalı olacaktır.



**Şekil 2.** Geliştirilen bağıntı kullanılarak hesaplanan birim boydaki yük kaybı değerlerinin ölçüm sonuçları ile grafiksel mukayesesini.

#### 4. ÖNERİLER

Konunun deneysel bir çalışma olması nedeniyle, çeşitli araştırmacıların sunmuş oldukları ifadelerin yalnızca o deney şartları için geçerli olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle; bu konu ile ilgili bundan sonra yapılacak çalışmalarda; boru yüzey pürüzlülüğü de dikkate alınarak ve bilhassa uygulamaya yönelik çeşitli katı maddelerin, daha geniş tane aralığı için geliştirilecek yeni bağıntılarının gerçeğe daha yakın sonuçlar vereceği aşikardır.

#### SEMBOLLER

$C_D$	Direnç katsayısı
$C_v$	Hacimsel konsantrasyon (%)
$D$	Boru çapı (m)
$d$	Tane çapı (mm)
$g$	Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$L$	Boru boyu (m)
$P$	Basınç (Pa)
$Re$	Reynolds sayısı
$s$	Katı maddenin bağıl yoğunluğu ( $s = \rho_s / \rho$ )
$V_m$	Karışımın ortalama hızı (m/s)
$w$	Çökme hızı (m/s)
$\pi_1, \pi_2, \pi_3$	Boyutsuz sayılar
$\rho_L$	Sıvı yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$\mu_L$	Sıvının dinamik viskozitesi (Pa.s)
$\nabla_m$	Karışımın hacmi ( $m^3$ )
$\gamma_m$	Karışımın özgül ağırlığı ( $N/m^3$ )
$\rho_m$	Karışımın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$\nabla_s$	Katı madde hacmi ( $m^3$ )
$\rho_s$	Katı madde yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$\left( \frac{\Delta p}{\gamma_m L} \right) = \frac{h_L}{L} = i_m$	Birim boyda meydana gelen (yük kaybı) basınç düşüşü

#### KAYNAKLAR

- [1] AVCI, İ. "Borularla Katı Maddenin Hidrolik Taşınımında Kritik Hızın Deneysel Olarak Belirlenmesi", Doçentlik Tezi, 1981.
- [2] YİĞİT, O. ve YAPICI, R. "Su İle Kum Naklinde Basınç Kayıpları ve Kritik Hızların Deneysel Belirlenmesi", 93-102, Tr. J. Of Engineering and Environmental Sciences, Cilt No:, Sayı No:2, 1996.
- [3] GILES, R.V. "Schaum's Outline of Theory and Problems of Fluid Mechanics and Hydraulics", 1956.
- [4] KALELİ, A. "Direnç Katsayısı İlişkilerinin Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi", 34-36, Mühendis ve Makine, Cilt No:38, Sayı No: 455, 1997.
- [5] OLSON, R. M. "Essentials of Engineering Fluids Mechanics" , International Textbook Company Ltd., London, 1968.
- [6] DAĞLI, F. "Benzeşim ve Model Tekniği", Ders Notları, 1997.

## ÖZGEÇMİŞ

### Fahri DAĞLI

1936 yılı Zonguldak doğumludur. Lisans ve master eğitimini Amerika Birleşik Devletleri'nde Utah Eyalet Üniversitesi'nde ve doktora eğitimini de Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik bilim dalı alanında New York Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde tamamlamıştır. 1979 yılında doçent, 1986 yılında da profesör ünvanını almıştır. Evli ve iki çocuk babası olup, halen, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi'nde Makina Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır.

### Ayla KALELİ

1973 yılı Zonguldak doğumludur. 1993 yılında Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Aynı yıl Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isı-Enerji Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış ve 1998 yılında da yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 1994 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde başladığı araştırma görevliliğine halen aynı bölümde devam etmektedir.