

**SİLİNDİRİK BORULARDA TEK FAZLI MANYETO HİDRODİNAMİK AKIŞIN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Ziyaddin RACABOVADİLOĞLU**

Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, 78200, Karabük, Türkiye.

**ÖZET**

Bu çalışmada, manyetikleşme özelliği olmayan bir malzemeden yapılan silindirik bir boruya dik manyetik alanın, tek fazlı laminer manyeto hidrodinamik akışa etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Teorik çalışmada, Slezkin Targ yöntemi kullanılarak hidrodinamik kuvvetler ortalama değerlerine indirgenerek akışkanın zamana ve konuma bağlı hız ve debi ifadeleri elde edilmiştir. Teorik sonuçlar, yapılan deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak elde edilen sonuçların bir biriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetik alan, manyeto hidrodinamik, debi, akış hızı, laminer akış.

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ONE PHASED MAGNETO-HYDRODYNAMIC FLOW ON CYLINDRICAL PIPES**

**ABSTRACT**

In this study, the effect of a magnetic area normal to a cylindrical pipe made by a nonmagnetic material on one phased laminar magneto-hydrodynamic flow has been investigated as theoretical and experimental bases. In theoretical study, while decreasing hydrodynamic forces into average values by Slezkin Targ method, fluid velocity and viscosity values concerning time and location have been determined. Theoretical results have been compared with the experimental results, so that the achieved results have been seen as in harmony one another.

**Key Words:** Magnetic area, magneto-hydrodynamic, flow velocity, laminar flow.

**1.GİRİŞ**

Akışkan hareketlerine elektromanyetik alanın üzerine farklı bilim adamları tarafından birçok araştırma yapılmıştır [1,2,3].Yapılan bu çalışmalarda manyetik alanın akışkan hareketlerine etkilerini ifade edebilen modeller geliştirilmiştir.Özellikle elektrik iletkenliği yüksek akışkanlara manyetik alanın etkisi incelenmiştir.Yapılan deneylerde akışkan olarak plazma, cıva, metal eriyikleri kullanılmıştır. Bu çalışmada ise düşük elektriksel iletkenliğe sahip ham petrolün laminer manyeto-hidrodinamik akışı, hidrodinamik problemlerinin çözümlerinde kullanılan Slezkin Targ yöntemi ile incelenmiştir [4,5].

Akışkanların manyetik alan etkisindeki hareketleri manyeto hidrodinamik denklemleri ile ifade edilirler.Bu denklemler genel olarak,

$$\rho \cdot \frac{d\vec{u}}{dt} = -gradP + \rho \cdot g + \eta \cdot \nabla^2 \vec{u} + \left( \vec{\delta} \times \vec{B} \right) \quad (1)$$

$$\text{rot} \left( \vec{u} \times \vec{B} \right) + \frac{1}{\gamma \cdot \rho} \cdot \nabla^2 \vec{B} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \left( \rho \cdot \vec{u} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\vec{\delta} = \gamma \cdot \left[ \vec{E} - \left( \vec{u} \times \vec{B} \right) \right] \quad (4)$$

şeklinde yazılırlar. Bu denklem sisteminin çözümü kolay olmadığından bazı kabuller yapılarak sistemin çözümü mümkün hale getirilir.

#### Yapılan kabuller:

1. Akış bir boyutlu olup, hız bileşenleri,

$$u_r = u_\varphi = 0, u_z = u = u(r)$$

basınç artışları,

$$\frac{\partial P}{\partial r} = 0, \frac{\partial P}{\partial \varphi} = 0, \frac{\partial P}{\partial z} = \text{sabit}$$

olacaktır. Eşitliklerden de görüleceği üzere, basınç değişimi konuma bağlı olmayıp, sadece zamana bağlıdır.

2. Akış sadece B manyetik alanının etkisinde olup, elektrik alanı etkimemektedir (E=0).

3. Akışkan ideal olmayan ve sıkıştırılmayan bir akışkandır.

4. Boru duvarları pürüzsüz olup, manyetikleşme özelliği olmayan bir malzemeden yapılmıştır.

Bu kabullere göre silindirik koordinat sisteminde manyeto hidrodinamik denklemler aşağıdaki denkleme dönüşmüş olacaktır.

$$\rho \cdot \frac{du}{dt} = \eta \cdot \left( \frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{du}{dr} \right) - k_1 \cdot u - \frac{\partial P}{\partial z} \quad (5)$$

$$k_1 = \gamma \cdot B^2 = \gamma \cdot \mu^2 \cdot H^2$$

## 2. MANYETO HİDRODİNAMİK DENKLEMLERİN SLEZKİN-TARG YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

Yapılan kabullere göre elde edilen 5 nolu denklemi,

$$t=0 \text{ anında } u(r,t) = u(r,0) = 0 \quad (6)$$

başlangıç ve

$$r=R \text{ noktasında } u(r,t) = u(R,t) = 0 \quad (7)$$

sınır şartında çözebilmek için denklemdeki  $\rho \cdot \frac{du}{dt}$  terimini,

$$\rho \cdot \frac{du}{dt} = \rho \cdot \frac{1}{R} \cdot \int_0^R \frac{du}{dt} \cdot dr = \rho \cdot \varphi(t) \quad (8)$$

şeklinde ifade edilen, boru yarıçapı boyunca ortalama değeri ile ifade etmek gerekir [6]. Bu eşitlikte,

$$\varphi(t) = \frac{1}{R} \cdot \int_0^R \frac{\partial u}{\partial t} \cdot dr \quad (9)$$

şeklinde ifade edilip, (5) nolu denklemde yerine yazıldığında,

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial r} - m^2 \cdot u = \frac{\rho \cdot \varphi(t) + N}{\eta} \quad (10)$$

$$m^2 = \frac{k_1}{\eta} \quad N = \frac{\partial P}{\partial z} \quad (11)$$

eşitliği elde edilir. (10) nolu denklemin genel çözümü,

$$u(r, t) = C_1 \cdot I_0(mr) + C_2 \cdot K_0(mr) - \frac{\rho \cdot \varphi(t) + N}{k_1} \quad (12)$$

şeklinde olur.  $C_1, C_2$  integral sabitleri,  $I_0(mr), K_0(mr)$  Bessel ve Makdonald fonksiyonlarıdır.  $r=0$  noktasında, yani boru ekseninde akış hızı belli bir değere sahip olacağından,  $C_2 = 0$  kabul edilmiştir. Bu durumda,

$$C_1 = \frac{\rho \cdot \varphi(t) + N}{k_1 \cdot I_0(mr)} \quad (13)$$

olacaktır.  $C_1$  ifadesi (12) denkleminde yerine yazıldığında,

$$u(r, t) = \frac{\rho \cdot \varphi(t) + N}{k_1} \cdot \left( \frac{I_0(mr)}{I_0(mR)} - 1 \right) \quad (14)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik, (9) nolu denklemi dikkate alınarak sadeleştirildiğinde,

$$\varphi(t)' + a \cdot \varphi(t) = 0 \quad (15)$$

$$a = \frac{k_1}{\rho \cdot \left( 1 - \frac{1}{R \cdot I_0(mr)} \cdot \int_0^R I_0(mr) \cdot dr \right)} \quad (16)$$

olacaktır. Burada, (15) nolu denklemin çözümü,

$$\varphi(t) = M \cdot e^{\lambda \cdot t} \quad (17)$$

şeklinde olacaktır. Denklemde, M; integral sabiti,  $\lambda$ ; ise (15) diferansiyel denkleminin karakteristik köküdür.

$$\lambda = -a \quad (18)$$

$\varphi(t)$  ifadesi (14) nolu denklemde yerine yazıldığında,

$$u(r,t) = \frac{\rho M e^{\lambda t} + N}{k_1} \left( \frac{I_0(mr)}{I_0(mR)} - 1 \right) \quad (19)$$

olacaktır. Başlangıç şartından yararlanarak M integral sabiti,

$$M = \frac{N}{\rho} \quad (20)$$

şeklinde bulunur. M'in bu değeri (19) nolu denklemde yerine yazıldığında (5) nolu denklemin (6) ve (7) gibi başlangıç ve sınır şartlarında çözümü elde edilmiş olur.

$$u(r,t) = \frac{N}{k_1} \left( \frac{I_0(mr)}{I_0(mR)} - 1 \right) (1 - e^{\lambda t}) \quad (21)$$

Bu ifadeye bağlı olarak akışkanın debisi için,

$$Q(t) = 2\pi \int_0^R u.r.dr = \frac{N}{k_1} \left( \frac{2\pi.R.I_1(mR)}{m.I_0(mR)} - \pi.R^2 \right) (1 - e^{\lambda t}) \quad (22)$$

yazılabilir. Akış kararlı hale geldiğinde, yani teorik olarak  $t = \infty$  olduğunda, akış hızı ve debi ifadeleri,

$$u(r) = \frac{N}{k_1} \left( \frac{I_0(mr)}{I_0(mR)} - 1 \right) \quad (23)$$

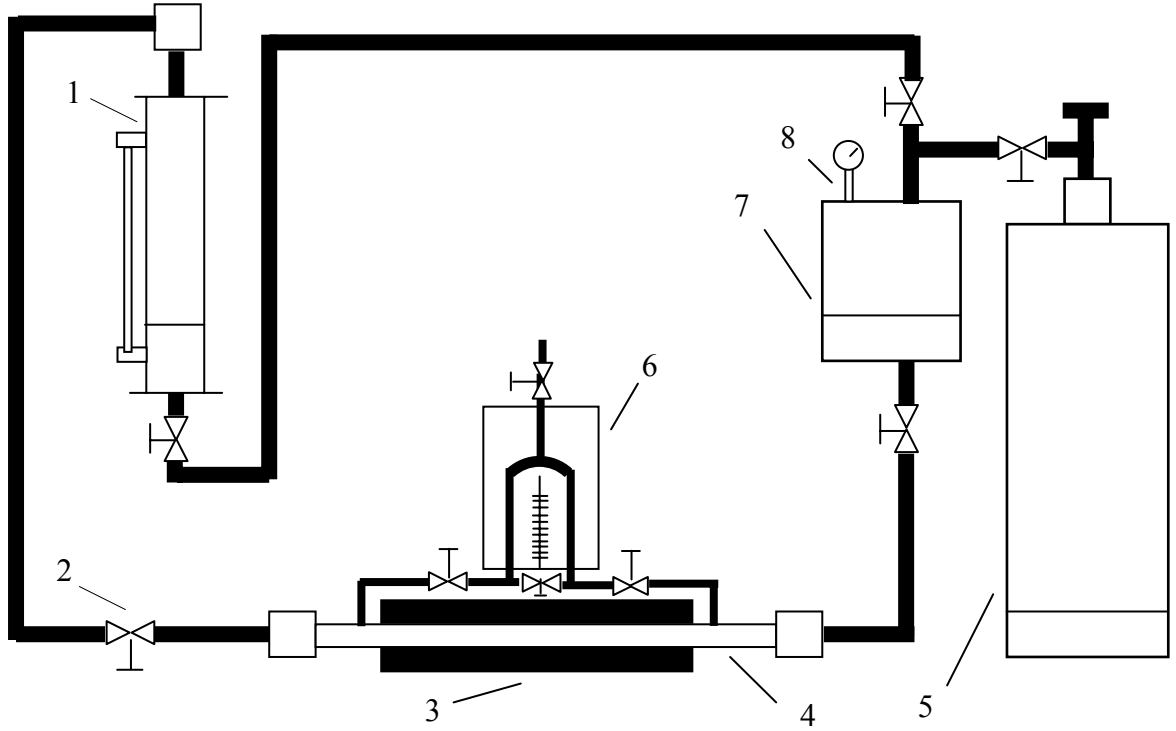
$$Q = \frac{N}{k_1} \left( \frac{2\pi.R.I_1(mR)}{m.I_0(mR)} - \pi.R^2 \right) \quad (24)$$

ifadelerine dönüşecektir. Bu ifadelerden elde edilen teorik sonuçların doğruluğunu gösterebilmek için deneyler yapılmıştır.

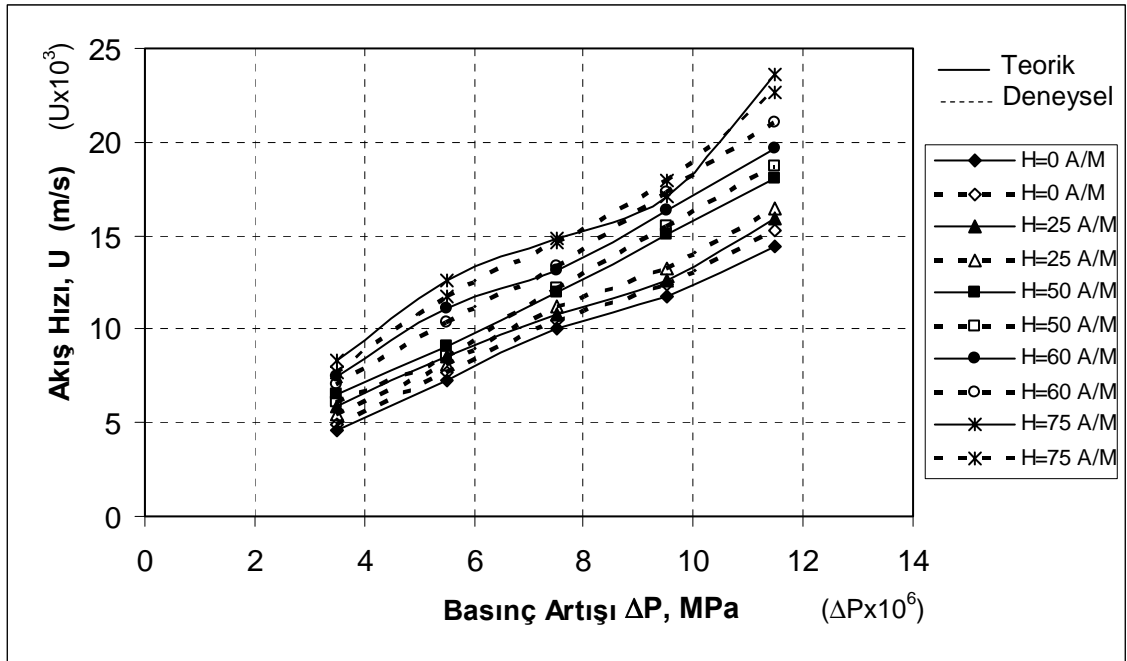
### 3. DENEY DÜZENEGİ ve DENEY SONUÇLARI

Akışkan hareketine, manyetik alanın etkisini deneysel olarak inceleyebilmek için Şekil 1.'de görülen deney düzeneği kurulmuştur. Tanka doldurulan ham petrol basınçlı hava ile harekete getirilmiştir. Manyetik alanın etkisinin olmadığı halde ve manyetik alan şiddetinin çeşitli değerleri halinde debi ölçü kabı ile, basınç artışı ise diferansiyel manometre ile ölçülmüştür. Akışın ortalama hızı  $u_D = Q_D / A$  ifadesi ile hesaplanmıştır. Teorik hesaplamalar ise (23) ve (24) ifadelerine dayalı olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre manyetik alan şiddetinin çeşitli değerlerinde ortalama akış hızının basınç artışına göre değişimi Şekil 2.'de verilmiştir.

- 1 - Ölçü kabı  
2 - Vanalar  
3 - Manyetik alanı oluşturan aygıt  
4 - Birleştirici borular  
5 - Hava ile doldurulmuş tüp  
6 - Diferansiyel manometre  
7 - Tank  
8 - Etalon manometre



Şekil 1. Akışkan hareketine manyetik alanın etkisini incelemek için kurulan deney düzeneği



Şekil 2. Manyetik alan etkisindeki akış hızının basınç artışı ile değişimi

#### 4. SONUÇLAR

1. Manyetik alan etkisinde bulunan ham petrolün debisinde ve akış hızında belirli şekilde fark edilebilir artışlar olduğu görülmüştür. Akış yönüne dik olarak yerleştirilen manyetik alanın şiddeti artırıldığında akış hızı ve debisi artmaktadır.

2. Teorik ve deneysel debi sonuçları arasındaki fark %4,3, teorik ve deneysel hızlar arasındaki hata ise %5.1 civarında olmuştur. Bu oranlar, teorik ve deneysel sonuçların birbiriyle uyum içerisinde olduklarını göstermektedir.

3. Genel hidrodinamikte kullanılan Slezkin-Targ yöntemi manyeto hidrodinamik problemlerinin de çözümlerinde kullanılabilir.

#### Semboller

$u$	: Akışkanın akış hızı (m/s),
$u_T$	: Akışkanın teorik akış hızı (m/s),
$u_D$	: Akışkanın deneysel akış hızı (m/s),
$\eta$	: Akışkanın dinamik viskozitesi (kg.s/m <sup>2</sup> ),
$\rho$	: Akışkanın yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> ),
$\gamma$	: Akışkanın özgül elektriksel iletkenliği (1/Ohm.m),
$\delta$	: Elektrik akım yoğunluğu (A/m <sup>2</sup> ),
$t$	: Zaman (s),
$R$	: Borunun yarıçapı (m),
$H$	: Manyetik alan şiddeti (A/m),
$B$	: Manyetik alan indüksiyonu (Wb),
$V$	: Akışkanın hacmi (m <sup>3</sup> ),
$Q_T$	: Akışkanın teorik debisi (m <sup>3</sup> /s),
$Q_D$	: Akışkanın deneysel debisi (m <sup>3</sup> /s),
$\Delta P$	: Basınç artışı (MPa),
$\nabla^2$	: Nabla operatörü,
$g$	: Yerçekimi ivmesi (m/s <sup>2</sup> ),
$\varphi, z, r$	: Silindirik sistemin koordinatları,

#### KAYNAKLAR

1. Kauling T., **Magnitnaya Hidrodinamika**, Moskova, 1979.
2. Çebes A.O., **Magnitnaya Hidrodinamika**, Moskova, 1984
3. Klassen V.İ., **O Sostoyanii Rabot v Oblasti Vozdeystviya Magnitnıx Poley na Vodı**, Moskova, 1967.
4. Slezkin N.A., **Dinamika Vyazkoy Nesjımayemoy Jıdkostı**, Moskova, 1955.
5. Çernikin V.İ., **Peredaça Neftı b Çılındırıçeskıx Truboprovodax**, Jurnal, Neft i Gaz, NO 7, Moskova, 1989.
6. Radjabov Z.A., **İssledovaniye Vliyaniya Magnitnogo Polyı na Dvıjenıye Jıdkostey s Çelyu Sozdaniya Elektromagnitnoy Oseçki Neftegazovıx Fontanov**, Doktorskaya Dissertaçiya, Bakü, 1990.