



YATAY KUYULARDAKİ SIVI-KATI ÇİFT FAZLI AKIŞIN MODELLENMESİ

Erman Ülker¹ ve Mehmet Sorgun²
^{1,2} İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir

ABSTRACT

It is very complex to identify pressure loss for solid-liquid system because of rotating of drillstring during drilling operation and cuttings are present in a wellbore. While increasing cuttings bed thickness in the wellbore, increasing of pressure loss occurs. When rotation of pipe increase pressure loss of cuttingless Newtonian fluids in an eccentric annulus, the reason of bed erosion gives a reduction of pressure loss for two phase solid-liquid flow system. Computational fluid dynamics (CFD) is used for modelling of solid (cuttings) – liquid flow inside horizontal wells in this study. Various flow rates, pipe rotation speed, and rate of penetration are arranged for cuttings transport experiments. In the cross section of test section, pressure loss and moving and/or stationary bed thickness are obtained. Comparison of experimental data from experiments and CFD results are done. It is understood that CFD model is good enough to estimate the frictional pressure loss.

ÖZET

Sıvı- katı (kesinti) sistemleri için basınç farkını belirlemek sondaj anında tijlerin dönmesinden ve kesintilerin kuyu içinde bulunmasından dolayı oldukça karışık bir hal alır ve hesaplanması zor bir hale gelir. Kuyudaki kesinti yatağı yüksekliği arttıkça, basınç farkı da artar. Borunun dönmesi eksantrik bir annülüsteki tek fazlı Newton tipi akışkanın basınç farkını arttırırken, sıvı-kesinti sisteminde yatağın erozyonu yüzünden basınç farkında bir azalma gözlemlenir. Bu çalışmada, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak yatay kuyu içinde akan katı (kırıntı)-sıvı sistemi modellenmiştir. Kesinti taşınım deneyleri akımın, dönme ve delmenin değişik hızlarında yapılmıştır. Deney kesiti içindeki basınç farkı ve durgun ve/veya hareketli kesinti yatağının kalınlığı kaydedilip, CFD sonuçları deneylerden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ise CFD modelinin sürtünmeden kaynaklanan basınç kayıplarını belirleyebildiğini göstermiştir.

GİRİŞ

Sıvı-katı çift fazlı akışkanın borular arasından akışına mühendisliğin değişik branşlarındaki birçok uygulamada rastlanmaktadır. Örneğin, sondaj mühendisliğinde kuyu akışkan kullanılarak yapılan uygunsuz katı parçacık taşınımı tij sıkışması veya daha yüksek hidrolik gereksinimi gibi birçok problemi ortaya çıkarır. Buna ek olarak, kuyuda kesintilerin bulunması ve borunun dönmesi basınç farkını tayin etmeyi daha fazla zorlaştırır. Tijlerin dönmesi basınç farkını ya azaltır yada arttırır. Dönmenin en belirgin etkisi kesintisiz durumlarda laminar akımın turbülans akıma döndüğü geçiş bölgesinde gözlemlenir[1]. Kesintiler yataklarda birikir ve yüzey sürtünmesini arttırır [2]. Eksantrikliğin ve dönmenin etkisi küçük olduğu zaman bağlantılar ve kesinti yatakları dolaşım basınç farkı üzerinde en

büyük etkiye sahiptir. Bu nedenle, sondaj sırasında bağlantıların ve kesinti yataklarının etkisi göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Dahası, sıcaklığın artması efektif viskoziteyi düşürürken basıncın tam ters etkisi vardır [3]. Eğer akışkan daha viskoz Newton tipi olmayan akışkan ise borunun dönmesi üzerindeki etkisi daha belirgindir. İçteki borunun dönmesi, eğer kuyuda kesinti bulunuyorsa, yatay ve açılı kuyu içerisindeki basınç farkını düşürür [4-5].

Literatürde birçok CFD kullanılarak yapılan çalışma olmasına rağmen, borular arasındaki kesinti yatağının kalınlığı ve basınç farkını CFD kullanarak tahmin etmek için yapılan çalışma sayısı kısıtlıdır. Alizadehdaknel vd. [6] çok fazlı akışlardaki basınç farkını tahmin etmek için bulanık mantık ile CFD modellerinin performanslarını karşılaştırmış ve CFD sonuçlarının bulanık mantıktan daha iyi sonuçlar verdiğini keşfetmiştir. Sun vd. [7] CFD kullanarak tij dönmesinin kesinti taşınması üzerindeki etkisinin simülasyonunu yapmıştır. Sorgun vd [8] CFD ve SVR (Support Vector Regression) kullanarak ortak merkezli yatay annülüsten geçen Newton tipli ve Newton tipli olmayan akışkanların basınç farkını tahmin etmiştir. Akhshik vd. [9] dinamik çarpma işlemini hesaba katarak kesinti taşınımını bileşik CFD-DEM (ayrık elemanlar methodu) uygulaması ile simülasyonunu sunmuştur. Fu vd. [10] CFD programı kullanarak yatay eş merkezli borular arasındaki sondaj sıvısı ve kesinti arasındaki etkileşimini modellemiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Kesinti taşınım deneyleri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol Mühendisliği Bölümü Sondaj Simülatorü'nde yapılmıştır. Deney tesisi kesinti birikimi ve enjeksiyon tankları, sıvı tankı, elek, pompalar, kontrol vanası, kompresör, anüler test kısmı, döndürme sistemi, basınç gücü çevrimcisi ve veri alıcı sisteminden oluşmaktadır. Deney bölümünün tipik bir bölümü Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, su enjektisi için iki adet santrifüjlü pompa kullanılmıştır. Akış hızı manyetik akımmetre kullanılarak ölçülmüş ve havalı akım kontrol edici ile kontrol altında tutulmuştur. Akış döngüsü 4.6 m uzunlukla birlikte 0.076m-0.038m anüler deney kısmından oluşur. Deney boyunca Newton tipi akışkan olarak su kullanılmıştır. Deneylerde akışkan hızı aralığı 0.64 m/s ile 1.3 m/s iken, delme hızı 0.00127 ile 0.01 m/s aralığında ve boru dönme hızı 0 ile 120 rpm arasında ayarlanmıştır. Veri alıcı ve toplayıcı programları deneysel verileri toplamak ve saklamak amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada 90'dan fazla deney yapılmıştır. Ortalama kesinti yoğunluğu ve boyutu sırasıyla 2650 kg/m³ ve 3 m'dir.



Şekil 1 Kesinti taşınım deneyi esnasında deney düzeneği kesiti

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ MODELİNİN ÇÖZÜM METODU

Bu çalışmada, yatay kuyulardaki sıvı-katı akışın değişik akışkan hızları, delme hızları ve boru dönme hızları için Euler-Euler CFD modeli kullanılarak simülasyonu hazırlanmıştır.

Hem sıvı hemde katı fazlar için süreklilik denklemi şu şekilde yazılabilir [11,12]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_f C_f) + \nabla \cdot (\rho_f C_f U_f) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_s C_s) + \nabla \cdot (\rho_s C_s U_s) = 0$$

aşağıdaki sınırlarla birlikte

$$C_f + C_s = 1$$

burada f ve s alt indisi sırasıyla akışkan ve katı hali, C ortalama hacim oranını, ρ yoğunluğu, U hız vektörünü ve t zamanı ifade eder.

Her bir faz için momentum denklemi şu şekilde ifade edilir [11-13]

$$\rho_f C_f \left[\frac{\partial U_f}{\partial t} + U_f \cdot \nabla U_f \right] = -C_f \nabla P + C_f \nabla \cdot \tau_f + C_f \rho_f g - M$$

ve katı hal için

$$\rho_s C_s \left[\frac{\partial U_s}{\partial t} + U_s \cdot \nabla U_s \right] = -C_s \nabla P + C_s \nabla \cdot \tau_s + C_s \rho_s g - \nabla P_s + M$$

burada P basıncı, g yerçekim ivme vektörünü, τ viskoz gerilme tensörünü, Ps katı basıncını, ve M sürüklenme kuvveti (Fd) vw kaldırma kuvveti (Fl) nin yaptığı birim hacimdeki arayüzey momentum transferidir.

HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ HESAPLAMALARI

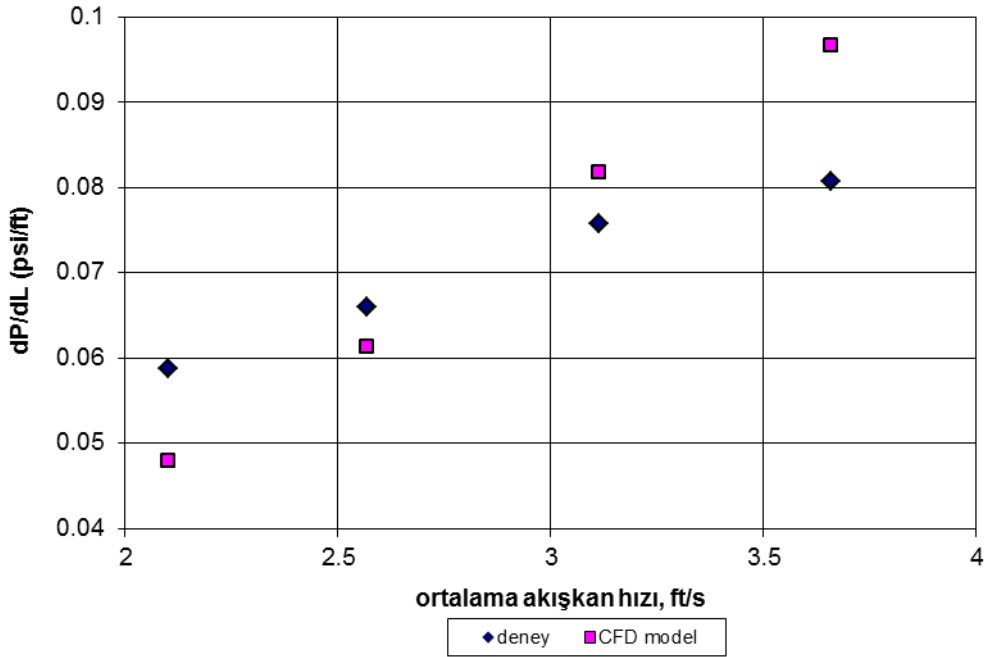
Bu çalışmada kullanılan simülasyonlar ANSYS Workbench 12.1 [14] ticari programı kullanılarak hazırlanmıştır. Yapılan simülasyonlar, programın CFX-Solver bileşeni kullanılarak çözülmüştür. Ortak merkezli iki boru arasından akış gerçekleştirilmiş, 3.5×10^6 tetrahedral ağla kafeslenmiştir. Yapıyı daha fazla ağlara bölme borular arasındaki basınç farkını değiştirmemiştir. Köşe etkilerini ortadan kaldırmak ve tamamen gelişmiş akım elde etmek için farklı boru uzunlukları kullanılarak birçok simülasyon çalışılmıştır. Sonuç olarak, 700mm boru uzunluğu tamamen gelişmiş sıvı-katı akımı vermek için yeterli olduğu gözlemlenmiştir. Giriş başlangıçtaki ortamala hıza bağlı olan giriş hızını ifade eder. Çıktı ise atmosferik basınç olarak tanımlanmıştır. Kesinti yoğunluğu 2.650 kg/m^3 ve 3mm çapındaydı. İçsel tij boru dönmesine bağlı olan dönebilen duvar gibi tanımlanmıştır. Son olarak, simülasyonlar basınç farkını tahmin etmek için tamamen ortak merkezli annülüs içindeki sıvı-katı akım için sonlu elemanlar metodu kullanılarak çözülmüştür.

SAYISAL SONUÇLAR

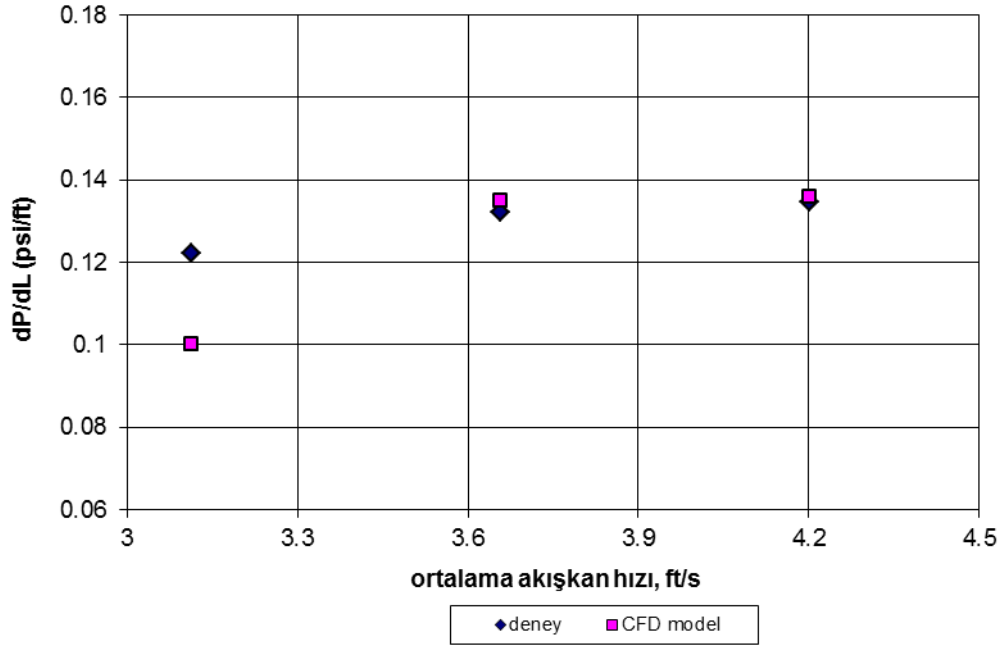
Bu çalışmadaki deneysel verilere göre, kesinti yatağının kalınlığı ve basınç gradyanı arasındaki ilişki incelenmiştir. Kesinti yatağının kalınlığı toplam akış alanının borular arasının kesit bölgesindeki durgun kesintiler tarafından kaplanan alana oranı şeklinde tanımlanmıştır [15]

$$A_r = A_{bed} / A_{wellbore}$$

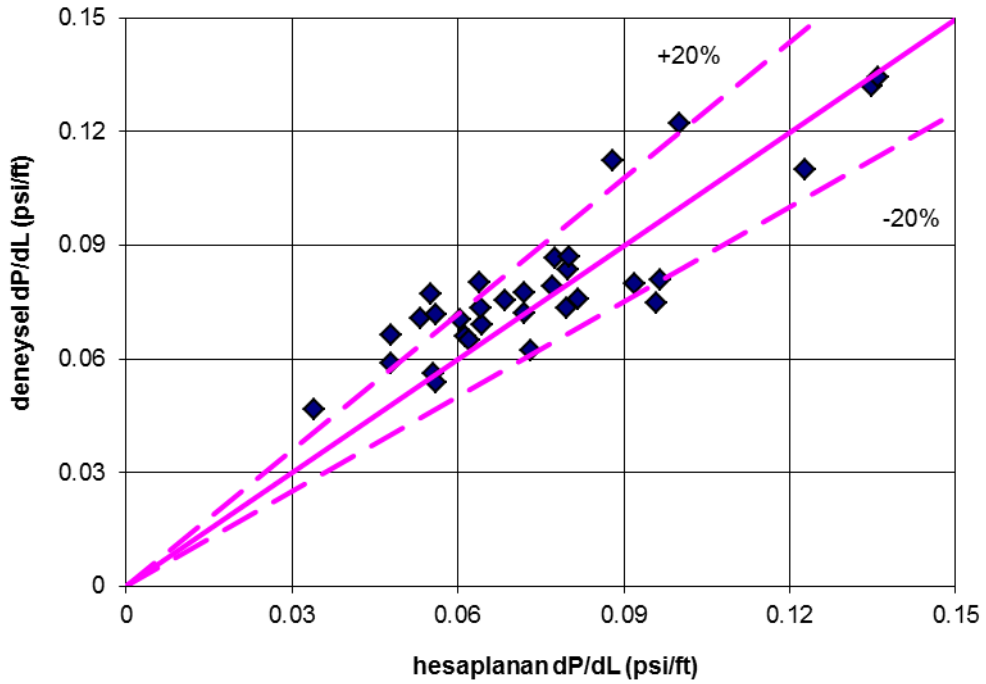
Bu çalışmada, yatay kuyular içindeki sıvı-katı(kesinti) akışı için basınç gradyanı CFD kullanılarak tahmin edilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3 de CFD tarafından tahmin edilen basınç gradyanı değerleri ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır. CFD'nin doğruluğu ise basınç gradyanının deneysel sonuçları ve model tahminlerini gösteren Şekil 4 incelenerek tespit edilebilir. Şekildeki kesik çizgi %±20 hata payını, düz çizgi ise deneysel veri ile hesaplanan sonuçların tam eşleştiğini göstermektedir. Bu figürlerden de görüldüğü gibi, basınç gradyanı çoğu durumda yeterli doğrulukta tahmin edilebilmektedir.



Şekil 2 Boru dönme hızı (rpm) 0 ve delme hızının (rop) 15 ft/sa olduğu durumlar için CFD simülasyonu ile deneysel verilerin karşılaştırılması



Şekil 3 Boru dönme hızı (rpm) 120 ve delme hızının (rop) 45 ft/sa olduğu durumlar için CFD simülasyonu ile deneysel verilerin karşılaştırılması



Şekil 4 CFD kullanılarak tahmin edilen basınç farkının ölçülen değerlerle karşılaştırılması

SONUÇLAR

Bu makalede, yatay borular arasındaki çift fazlı sıvı-katı akışın basınç farkı CFD kullanılarak tahmin edilmiştir. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Model sonuçları, deneylerle karşılaştırıldığında, modelin pek çok durumumda basınç gradientini $\pm 20\%$ hata payı ile tahmin edebildiği ortaya çıkmıştır.
- Yatay boruların arasından geçen katı-sıvı iki fazlı akışkanın basınç farkı geçerli bir doğrulukta belirlenebilmesi için CFD kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] O. Erge, M.E. Ozbayoglu, S.Z. Miska, M. Yu, N. Takach, A. Saasen, R. May, Effect of Drillstring Deflection and Rotary Speed on Annular Frictional Pressure Losses, *J. Energy Resour. Technol.* 136(4), 042909, Aralık 01, 2014.
- [2] A. Saasen, Annular Frictional Pressure Losses During Drilling—Predicting the Effect of Drillstring Rotation, *J. Energy Resour. Technol.* 136(3), 034501, Mart 04, 2014.
- [3] Y. Zhai, Z. Wang, A Comprehensive Model for Circulating Pressure Loss of Deep-water Drilling and Its Application in Liwan Gas Field of China, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 7(8): 1678-1688, 2014.
- [4] M.E. Ozbayoglu, M. Sorgun, Frictional Pressure Loss Estimation of Water-Based Drilling Fluids at Horizontal and Inclined Drilling with Pipe Rotation and Presence of Cuttings, SPE paper 127300. SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition in Mumbai, India, 20-22 January, 2010.
- [5] M. Sorgun, Simple Correlations and Analysis of Cuttings Transport With Newtonian and Non-Newtonian Fluids in Horizontal and Deviated Wells, *J. Energy Resour. Technol.* 135(3), 032903, Mayıs 24, 2013.
- [6] A. Alizadehdakheel, M. Rahimi, J. Sanjari, A.A. Alsairafi, CFD and Artificial Neural Network Modeling of Two-Phase Flow Pressure Drop, *Int Commun Heat Mass Transfer*; 36(8):850–6, 2009.
- [7] X. Sun, K. Wang, T. Yan, S. Shao ve J. Jiao, Effect of Drillpipe Rotation on Cuttings Transport Using Computational Fluid Dynamics (CFD) in Complex Structure Wells, *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 4(3), 255-261, 2014.
- [8] M. Sorgun, M.A. Ozbayoglu, E.M. Ozbayoglu, Support Vector Regression and Computational Fluid Dynamics Modeling of Newtonian and Non-Newtonian Fluids in Annulus With Pipe Rotation, *J. Energy Resour. Technol.* 137(3), 032901 Ekim 21, 2014.
- [9] S. Akhshik, M. Behzad ve M. Rajabi, CFD-DEM Approach to Investigate the Effect of Drill Pipe Rotation on Cuttings Transport Behavior, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2015
- [10] T.K. Fu, R.E. Osgouei ve E.M. Ozbayoglu, CFD Simulation of Solids Carrying Capacity of a Newtonian Fluid through Horizontal Eccentric Annular, In *Proceedings of the ASME 2013 Fluids Engineering Division Summer Meeting July* (pp. 7-11), 2013.
- [11] B.G.M. Van Wachem, A.E. Almstedt, Methods for Multiphase Computational Fluid Dynamics, *Chemical Engineering Journal* 96, 81–98, 2003.
- [12] M. Eesa ve M. Barigou, CFD Investigation of The Pipe Transport Of Coarse Solids in Laminar Power Law Fluids, *Chemical Engineering Science*, 64(2), 322-333, 2009.
- [13] H. Enwald, E. Peirano, A. Almstedt, Eulerian Two-Phase Flow Theory Applied to Fluidization, *International Journal of Multiphase Flow* 22, 21–66, 1996.
- [14] ANSYS Version 12.1, ANSYS Workbench CFX, ANSYS Inc, 2009.
- [15] M. Sorgun, I. Aydin ve M.E. Ozbayoglu, Friction Factors for Hydraulic Calculations Considering Presence of Cuttings and Pipe Rotation in Horizontal/Highly-Inclined Wellbores, *Journal of petroleum science and engineering*, 78(2), 407-414, 2011.