

Sıcaklığın Anülusteki Sürtünme Kaynaklı Basınç Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi

Kazım Onur Gürçay¹, Serhat Akın¹ ve İsmail Hakkı Gücüyener²

¹ODTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, ²GEOS Enerji A.Ş.

ÖZ

Anüluste sürtünme kaynaklı basınç kayıplarının doğru olarak hesaplanması, sondaj ve kuyu tamamlama operasyonlarının kaçak, dizi sıkışması ya da daha ciddi kuyu kontrolü problemleri olmadan yapılabilmesi için gereklidir. Newtonian ve Newtonian olmayan akışkanlar kullanılarak sürtünme kaynaklı basınç kayıplarının belirlenmesi için birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda eş merkezlik, kullanılan akışkanın tipi, iç borunun dönmesi ya da kuyu geometrisi gibi etkenlerin sürtünme kaynaklı basınç kaybına etkileri araştırılmıştır. Buna rağmen, jeotermal kuyular için büyük öneme sahip sıcaklığın etkisi için yapılan çalışmalar yeterli sayıda değildir.

Bu çalışma, sıcaklığın sürtünme kaynaklı basınç kayıplarına etkisi; dik, eş merkezli anüluste deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde su ve polianionik selüloz ile ksantan sakızı içeren polimer bazlı sondaj çamuru kullanılmıştır. Deneyler, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü akış döngüsü laboratuvarında, 21 ft uzunluğunda ve eş merkezli geometriye sahip anüluste basınç farkı, sıcaklık ve akış hızı anlık olarak takip edilerek gerçekleştirilmiştir.

Sıcaklığın, reolojik model parametrelerine, kullanılan akışkana en uygun reolojik model olan Herschel-Bulkley modeli kullanılarak bulunan görünür viskozite ve Reynolds sayısına olan etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre, kıvam endeksi ve akma noktasının, akış davranış indeksine göre sıcaklığa daha duyarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, görünür viskozitenin artan sıcaklıkla birlikte özellikle düşük kayma hızlarında üstel olarak düştüğü görülmüştür. Reynolds sayısı-sıcaklık grafikleri incelendiğinde ise sıcaklığın akış profilinin değişimini hızlandırdığı görülmüştür.

Sonuç olarak, artan sıcaklığın sürtünme kaynaklı basınç kayıplarının azalmasına sebep olduğu görülmüş ve sıcaklık etkisinin doğru olarak hesaplanması için bu çalışmanın daha fazla deneysel ve teorik çalışma ile çeşitlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

1. GİRİŞ

Sondaj ve kuyu tamamlama operasyonlarında, sürtünme kaynaklı basınç kaybı kaçak, takım sıkışması ya da daha ciddi basınç kaynaklı problemleri önleyebilmek için doğru olarak hesaplanmalıdır. Çünkü bu problemler operasyonların durmasına hatta kuyunun terkedilmesine sebep olabilir. Şu ana kadar, bu konuda gerçek kuyu şartlarını simüle etmek amacıyla eş merkezlik, iç borunun döndürülmesi, anüler geometri ya da akış tipi birçok faktör göz önüne alınmış ve teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, Metzner ve Reed (1955), Newtonian olmayan akışkanların boru içinde akışını araştırmış ve laminar ve türbülanslı akış için sürtünme kaynaklı basınç kaybı

ile genellenmiş Reynolds sayısı arasında bir ilişki ortaya çıkarmışlardır. Daha sonra, Dodge ve Metzner (1959) Power Law reolojik modelini kullanarak türbülanslı boru içi akış üzerine çalışmıştır ve sürtünme katsayısı ve genellenmiş Reynolds sayısı arasında bir korelasyon bulmuşlardır. Boru içi akış üzerine yapılan çalışmaları anüler geometride uygulayabilmek için eşdeğer çap tanımları ortaya çıkarılmıştır. Sıklıkla kullanılan tanımlar: hidrolik çap (D_h), slot akış yaklaşımı (D_{sa})(Bourgoyne Jr. ve ark., 1991), Lamb yaklaşımı (D_{lc}) (Lamb, 1945) ve Crittendon yaklaşımıdır (D_{cc}) (Crittendon, 1959).

$$D_h = 4 * \frac{(\pi/4) (D_o^2 - D_i^2)}{\pi(D_o + D_i)} = D_o - D_i$$

$$D_{sa} = 0.816(D_o - D_i)$$

$$D_{lc} = D_o^2 + D_i^2 - \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{\ln(D_o/D_i)}$$

$$D_{cc} = \frac{1}{2} \left(\sqrt[4]{D_o^4 - D_i^4 - \frac{(D_o^2 - D_i^2)^2}{\ln(D_o/D_i)}} + \sqrt{D_o^2 - D_i^2} \right)$$

Yukarıdaki formüllerde D_o ve D_i sırasıyla anüler geometrinin dış ve iç çaplarını göstermektedir.

Jensen ve Sharma (1987), Bingham Plastic ve Power Law reolojik modellerini kullanarak sürtünme kaynaklı basınç kaybını hesaplayabilmek için sürtünme katsayısı ve eşdeğer çap tanımları arasındaki en iyi kombinasyonu bulmak üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda bu reolojik modeller için hidrolik çap ve sürtünme katsayısı arasında bir korelasyon bulmuşlardır.

Sürtünme kaynaklı basınç kaybını hesaplamak için Herschel-Bulkley reolojik modeli Reed ve Pilehvari (1993) tarafından kullanılmıştır. Basınç kaybının doğru olarak hesaplanması için Newtonian boru içi akış ve Newtonian olmayan anüler akış arasında bir ilişki bulmuşlardır. Bu sebeple, laminar akış tipi için “efektif çap” tanımını ortaya çıkarmışlardır. Bu tanım anüler geometri-kayma hızı doğrulama katsayısını (G) içerir ve reolojik modele göre değişiklik gösterir. Subramanian ve Azar (2000) ise farklı polimer bazlı Newtonian olmayan akışkanların boru içi ve anüluste akışını incelemiştir. Bu çalışma, eş merkezli anüluste laminar akış için Herschel-Bulkley modelinin en uygun model olduğunu bulmuştur. Türbülanslı akış da ise polimer bazlı sondaj çamurunun sürtünmeyi azaltma etkisini görülmüş bu yüzden, boru pürüzlülüğün sürtünme kaynaklı basınç kaybı hesaplarında deneysel sonuçlara göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Zamora ve ark. (2005), Demirdal ve Cunha (2007) ve Dosunmu ve Shah (2015) çalışmalarında sürtünme kaynaklı basınç kaybına akış tipinin, reolojik modellerin ve eşdeğer çap tanımlarının etkisini incelemiştirler. İç borunun dönmesi ve eş merkezliliğin etkileri ise Ozbayoglu ve Sorgun (2010), Anifowoshe ve Osisanya (2012) ve Rooki (2015) tarafından araştırılmıştır.

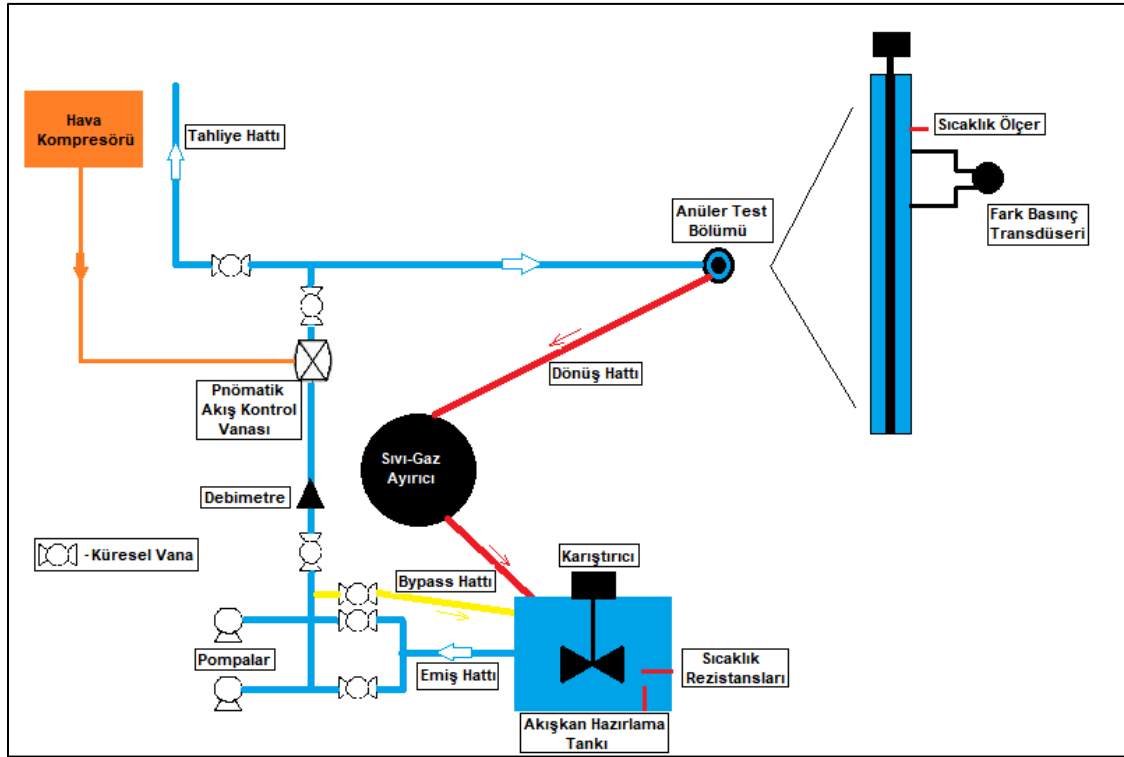
Sürtünme kaynaklı basınç kaybına sıcaklığın etkisi ise Ulker ve ark. (2017) tarafından Newtonian sıvılar için anüler ortamda deneysel olarak araştırılmış ve sonuçta Reynolds sayısı, Taylor sayısı ve Prandtl sayısını içeren ampirik bir korelasyon ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak, sürtünme kaynaklı basınç kaybına akışkan tipi, eş merkezlilik, iç borunun dönmesi, boru pürüzlülüğü, eşdeğer çap tanımları, sürtünme katsayısı ve akış tipleri gibi birçok faktörün etkisi deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Buna rağmen, sıcaklık etkisi ile ilgili yapılan deneysel ve teorik olarak az sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Bu bildirinin amacı, sıcaklık etkisinin polimer bazlı sondaj

sıvısının eş merkezli anüluste ortaya çıkardığı sürtünme kaynaklı basınç kaybının deneysel olarak incelenmesidir.

2. DENEYLER

2.1 Deney Düzeneği

Deneyler Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü akış döngüsü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney Düzeneğinin üstten görünümü, Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Deney Düzeneği

Akış döngüsü laboratuvarı, karıştırıcı ve sıcaklık rezistansları bulunan 1500 litre hacme sahip akışkan hazırlama tankı, santrifüj pompalar, akış kontrol vanaları, debimetre ve fark basınç transdüseri ve sıcaklık ölçer bulunan anüler test bölümünden oluşmaktadır.

Sürtünme kaynaklı basınç kayıpları, anüler test bölümündeki fark basınç transdüserinin çıkışlarının bağlı olduğu 1 ft'lik kısımda ölçülmektedir. Anüler test bölümünün toplam uzunluğu 21 ft olup 2.91 inç iç çapa sahip pleksiglas boru ve onun içerisindeki 1.85 inç dış çapa sahip dönebilen iç borudan oluşmaktadır.

2.2 Sondaj Sıvısının Hazırlanması

Deneyler polimer bazlı sondaj sıvısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sondaj sıvısı, GEOS Enerji A.Ş. tarafından sağlanan 0.50 lb/bbl polianionik selüloz (REOPAC HV) ve 0.75 lb/bbl ksantan

sakızı (REOZAN D) kullanılarak hazırlanmıştır. REOPAC HV viskozite artırmak ve sıvı kaybı kontrolü için, REOZAN D ise viskozite artırmak için olarak kullanılmaktadır.

2.3 Deney Prosedürü

Polimer bazlı sondaj çamuru ile yapılan deneyler 24, 30, 37 ve 44°C sıcaklıklarında, 25 gpm'den 110 gpm'e kadar değişen akış hızlarında yapılmıştır. Sürtünme kaynaklı basınç kayıpları ve sıcaklık ölçümleri almak için sistemin denge haline gelmesi beklenmiştir. Ayrıca, her sıcaklıkta reolojik ölçümler de alınmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1 Reolojik Ölçümler

Deneylerin gerçekleştirildiği sıcaklık değerlerinde, 6 farklı kayma hızındaki (600, 300, 200, 100, 6, 3 rpm) kayma gerilimi değerleri viskometre kullanılarak kaydedilmiştir. Bu değerler yardımıyla kayma gerilimi-kayma hızı ilişkisi göz önüne alınarak Bingham Plastic, Power Law ve Herschel-Bulkley reolojik modellerinin parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler ile kayma gerilimi teorik olarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla istatistiksel olarak ortalama hata, standart sapma ve belirleme katsayısı (R^2) açısından karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki tabloda 24°C'deki reolojik model parametreleri ve istatistiksel sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 1: Model Parametreleri ve İstatistiksel Sonuçlar (24°C)

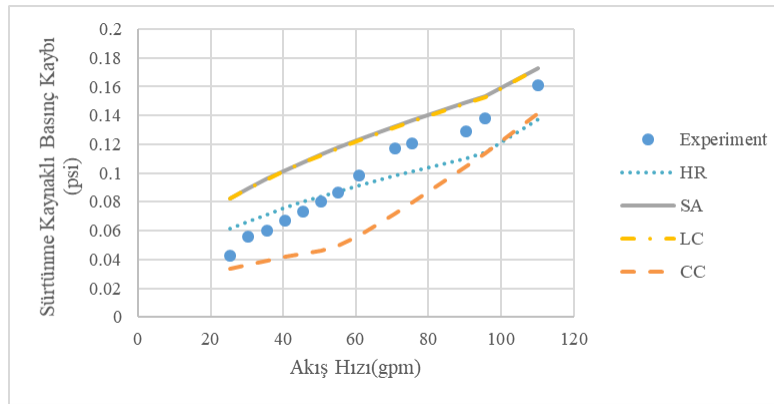
	Bingham Plastic	Power Law	Herschel-Bulkley
Ortalama Hata (%)	27.21	3.57	1.64
Standart Sapma	9.30	9.12	9.64
R^2	0.9314	0.9966	0.9980
Plastik Viskozite	0.02		
Akma Noktası	6.41		2.18
Akış Davranış Endeksi		0.38	0.52
Kıvam Endeksi		1.98	0.74

Diğer sıcaklık değerleri içinde benzer sonuçlar elde edilmiştir (Gürçay, 2018). Hazırladığımız polimer bazlı sondaj çamuru için en uygun olan reolojik modeli bulmak ve buna göre sürtünme kaynaklı basınç kaybını hesaplamak için istatistiksel sonuçlar incelenmiştir. Sonuç olarak, hem istatistiksel olarak hem de API RP 13D (American Petroleum Institute Recommended Practice 13D for Rheology and Hydraulics of Oil-Well Drilling Fluids) (American Petroleum Institute (API), 2009) ile uyumlu olması açısından Herschel-Bulkley modeli seçilmiştir.

3.2 Sürtünme kaynaklı Basınç Kaybı Hesaplanması

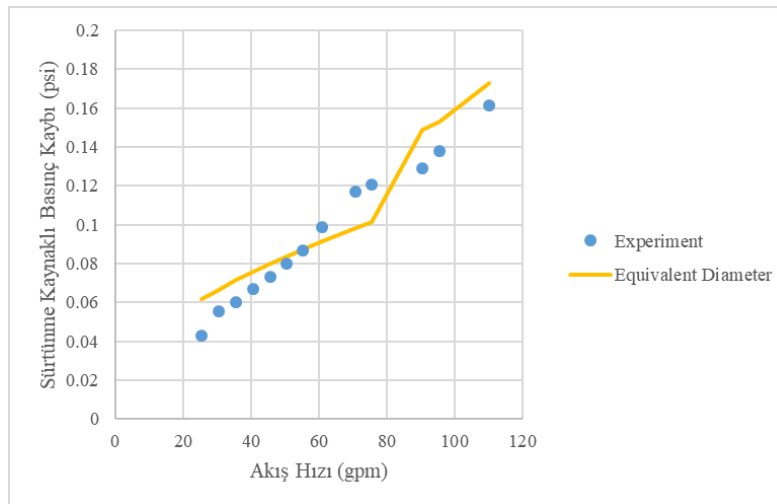
Sürtünme kaynaklı basınç kaybı, her sıcaklık için Herschel-Bulkley reolojik modeli ile API RP 13D referans alınarak hesaplanmıştır. API RP 13D hesaplamalarda anüler geometriyi temsil etmek için hidrolik çap (HR) konseptini kullanmaktadır. Buna ek olarak, bu çalışmada slot akış yaklaşımı (SA), Lamb (LC) ve Crittendon (CC) tarafından ortaya konan diğer eşdeğer çap tanımları

kullanılmıştır. Ayrıca, API RP 13D reolojik parametreleri bulmak için sahada kullanılan temel formülleri kullanırken, bu çalışmada reolojik parametreler Microsoft Excel’de bulunan SOLVER fonksiyonu kullanılarak bulunmuştur. SOLVER fonksiyonu yardımı ile hesaplanan ve deneyden elde edilen kayma gerilimi arasındaki farkın karesi minimize edilerek optimizasyon yapılmış ve bunu sağlayan parametreler kaydedilmiştir. API RP 13D’de verilen temel saha formüllerinin kullanılmamasının sebebi SOLVER’den elde edilen parametrelerin daha düşük hata vermesidir. Tablo 1’de gösterilen Herschel-Bulkley model parametreleri de bu şekilde bulunmuştur. Sonuç olarak, sürtünme kaynaklı basınç kaybı-akış hızı grafikleri, her bir sıcaklık için dört farklı anüler geometri yaklaşımı kullanılarak hazırlanmıştır. Aşağıdaki şekil 24°C’deki sürtünme kaynaklı basınç kaybı-akış hızı grafiğini göstermektedir.



Şekil 2: Sürtünme kaynaklı Basınç Kaybı-Akış Hızı Grafiği (24°C)

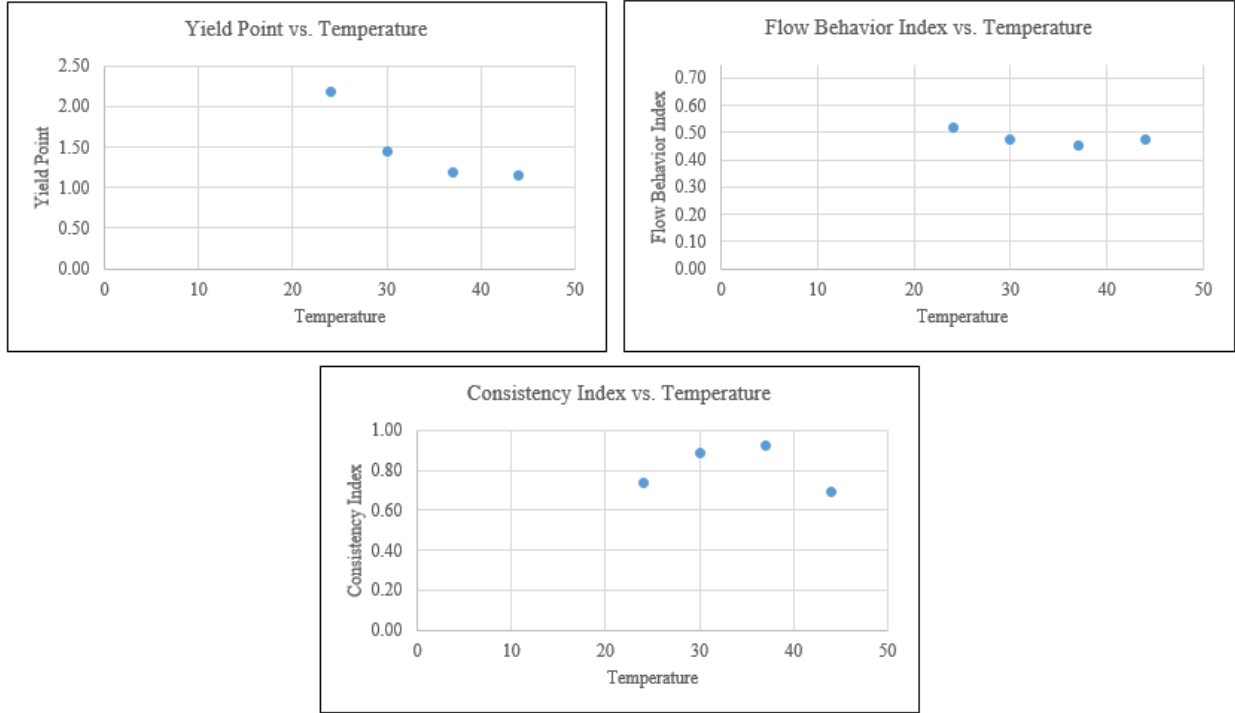
Daha önce belirtildiği gibi, API RP 13D anüler geometriyi temsil etmek için hidrolik çap konseptini kullanmaktadır. Fakat, Şekil 2’deki grafik, akış tipinin değişmeye başlaması, deneysel sonuçların, hidrolik çap yaklaşımından uzaklaştığını slot akış ve Lamb yaklaşımına yaklaştığını göstermiştir. Diğer sıcaklık değerleri içinde aynı durumun geçerli olduğu görülmüştür (Gürçay, 2018). Bu yüzden, hesaplamalarda ilk olarak akış tipinin değiştiği akış hızı belirlenmiş ve buna göre laminar akış için hidrolik çap konsepti, laminar akış bittikten sonra slot akış yaklaşımı uygulanarak sürtünme kaynaklı basınç kayıpları hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3: Sürtünme kaynaklı Basınç Kaybı-Akış Hızı Grafiği (24°C)

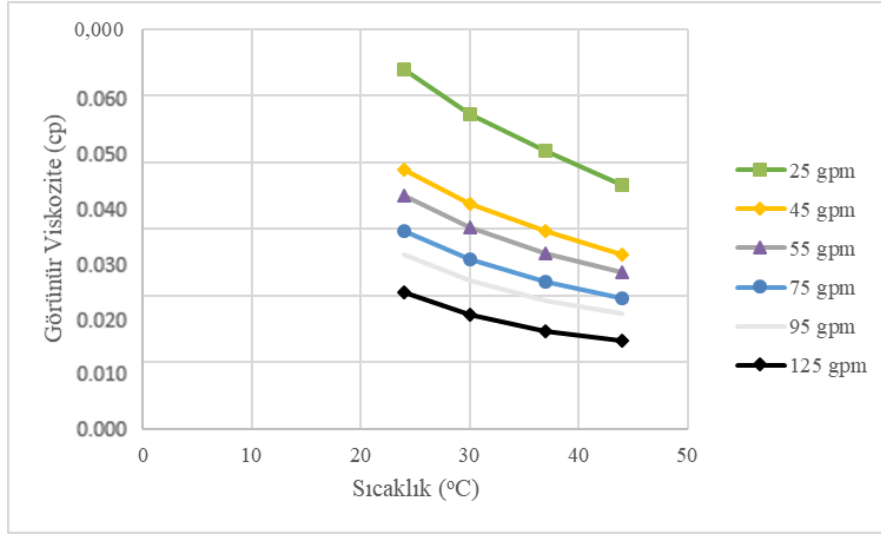
3.3 Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi

Sıcaklık etkisinin belirlenebilmesi için, reolojik parametreler, görünür viskozite, Reynolds sayısı ve sürtünme kaynaklı basınç kayıplarının sıcaklıkla olan değişimleri incelenmiştir. Herschel-Bulkley model parametrelerinin sıcaklıkla değişimi aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Bu grafiklere göre, akış davranış endeksi sıcaklık artışından fazla etkilenmemiştir. Fakat, kıvam endeksi sıcaklıkla birlikte önce artmış daha sonra azalmıştır. Normal şartlar altında sıcaklık artışı kıvam endeksini düşürmesi beklenmektedir çünkü kıvam endeksi sondaj sıvısının düşük kayma hızlarındaki viskozitesini göstermektedir (MI Swaco, 1998). Bu yüzden, akış davranış endeksi ve kıvam endeksine sıcaklığın etkisi hakkında bir çıkarım yapılamamıştır. Buna rağmen, akma noktası yükselen sıcaklıkla birlikte beklendiği gibi düşüş göstermiştir.



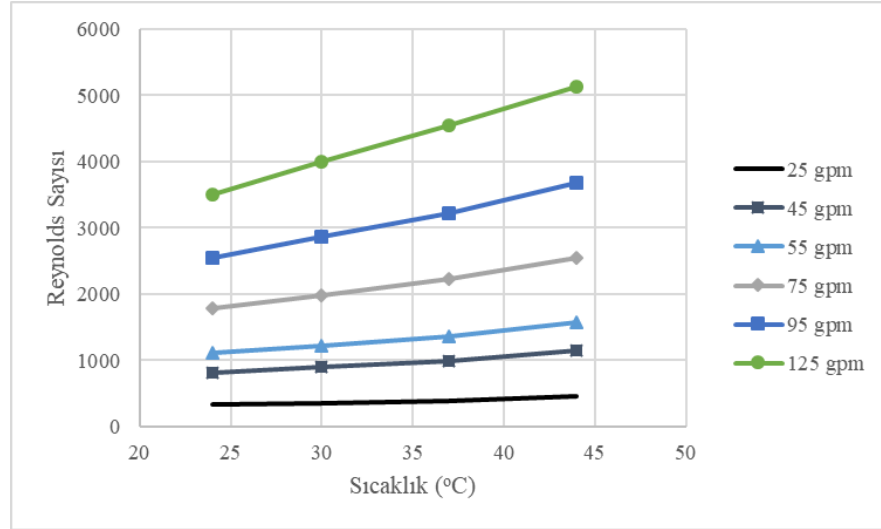
Şekil 4: Herschel-Bulkley Model Parametreleri-Sıcaklık İlişkisi

Sıcaklığın reolojik parametrelere olan birleşik etkisini görebilmek için görünür viskozite incelenmiştir. Farklı akış hızlarında, görünür viskozitenin sıcaklıkla olan değişimi Şekil 5’de gösterilmiştir. Görünür viskozite artan sıcaklıkla birlikte beklendiği gibi düşüş göstermiştir. Düşük akış hızlarında görünür viskozitenin sıcaklıkla değişimi daha belirgin şekilde gözlenmiştir. Bu durum, hazırlanan sondaj çamurunun kayma incelmesi özelliğinden kaynaklanmaktadır.

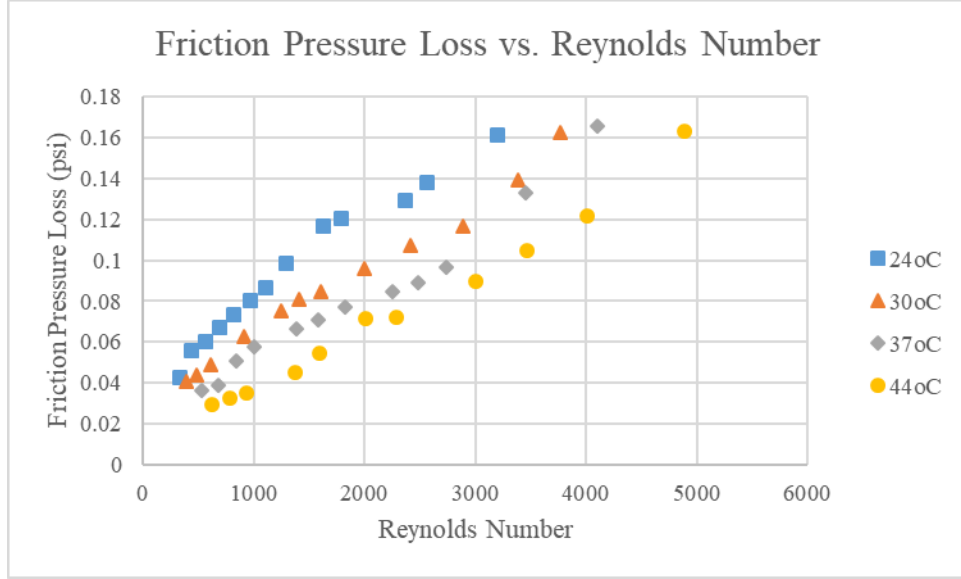


Şekil 5: Görünür Viskozite-Sıcaklık İlişkisi

Reynolds sayısı'nın sıcaklıkla değişimi de araştırıldı. Şekil 6'da farklı akış hızlarında Reynolds sayısının sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir. Sonuçlara göre, yüksek akış hızlarında, Reynolds sayısındaki artışın daha belirgin olduğu gözlemlendi. Bunun sebebi, görünür viskozite ve özkütlenin sıcaklığa bağlı değişkenler olmasıdır. Bu değişkenler de Reynolds sayısını doğrudan etkilemektedir. Viskozitedeki düşüş, özkütledeki düşüşten daha büyük olduğu için Reynolds sayısında artış gözlenmiştir. Sonuç olarak, akış tipinin değişimi sıcaklık etkisiyle daha erken olmuştur. Ayrıca, sürtünme kaynaklı basınç kaybının Reynolds sayısı ile ilişkisi Şekil 7'de gösterilmiştir. Buna göre, sıcaklık artışının sürtünme kaynaklı basınç kaybında düşüşe sebep olduğu görülmüştür.



Şekil 6: Reynolds Sayısı-Sıcaklık İlişkisi



Şekil 7: Sürtünme kaynaklı Basınç Kaybı-Reynolds Sayısı İlişkisi

4. SONUÇLAR

1. 6 farklı viskometre hızında alınan reolojik ölçümler değerlendirildiğinde, Herschel-Bulkley modelinin Bingham Plastic ve Power Law modellerine göre hazırlanan sondaj çamuruna istatistiksel açıdan en uygun model olduğu görülmüştür.
2. Sürtünme kaynaklı basınç kaybı hesaplamaları Herschel-Bulkley modeli kullanılarak ve API RP 13D referans alınarak yapılmıştır. Farklı olarak, model parametreleri sahada kullanılan temel formüller yerine daha az hataya sahip olan SOLVER yardımı ile hesaplanmıştır.
3. Slot akış yaklaşımı ile Lamb yaklaşımı sürtünme kaynaklı basınç kaybı hesaplamalarında aynı sonucu vermiştir. Ayrıca, laminar akışta hidrolik çap, akış tipi değişimiyle beraber slot flow ve Lamb yaklaşımları deneysel sonuçlara daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu yüzden hesaplamalar akış tipine göre farklı anüler geometri yaklaşımları ile yapılmıştır.
4. Kıvam endeksi ve akma noktasının, akış davranış indeksine göre sıcaklığa daha duyarlı olduğu görülmüştür. Sadece akma noktası sıcaklıkla beklenen davranışı göstermiştir.
5. Görünür viskozite artan sıcaklıkla birlikte özellikle düşük kayma hızlarında üstel bir düşüş göstermiştir. Bunun sebebi sıcaklıkla birlikte hazırlanan sondaj çamurunun kayma incelmeye özelliğidir.
6. Akış tipinin değişimi artan sıcaklıkla özellikle yüksek akış hızlarında daha erken olmaktadır.
7. Sürtünme kaynaklı basınç kayıplarında sıcaklık artışıyla birlikte düşüş gözlemlenmiştir.

REFERANSLAR

- American Petroleum Institute (API). (2009). API Recommended Practice 13D – Rheology and hydraulics of oil-well drilling fluids.
- Anifowoshe, O. L., & Osisanya, S. O. (2012). The Effect of Equivalent Diameter Definitions on Frictional Pressure Loss Estimation in an Annulus with Pipe Rotation. In SPE Deepwater

- Drilling and Completions Conference. Galveston, Texas: Society of Petroleum Engineers. <https://doi.org/10.2118/151176-MS>
- Bourgoyne Jr., A. T., Millhelm, K. K., Chenevert, M. E., & Young Jr., F. S. (1991). Applied Drilling Engineering. (J. F. Evers & D. S. Pye, Eds.), Spe Textbook Series (Second Pri, Vol. 2). Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.
- Crittendon, B. C. (1959). The Mechanics of Design and Interpretation of Hydraulic Fracture Treatments. *Journal of Petroleum Technology*, 11(10), 21–29. <https://doi.org/10.2118/1106-G>
- Demirdal, B., & Cunha, J. C. S. (2007). Pressure Losses Of Non-Newtonian Fluids In Drilling Operations. In International Oil Conference and Exhibition in Mexico. Veracruz, Mexico: Society of Petroleum Engineers. <https://doi.org/10.2118/108711-MS>
- Dodge, D. W., & Metzner, A. B. (1959). Turbulent flow of non-newtonian systems. *AICHE Journal*, 5(2), 189–204. <https://doi.org/10.1002/aic.690050214>
- Dosunmu, I. T., & Shah, S. N. (2015). Friction Pressure Prediction for Annular Flow of Power Law Fluids. *Chemical Engineering Communications*, 202(10), 1380–1388. <https://doi.org/10.1080/00986445.2014.938806>
- Gürçay, K. O. (2018). Experimental Investigation of the Effect of Temperature on Friction Pressure Loss of Polymeric Drilling Fluid through Vertical Concentric Annulus. Middle East Technical University. Retrieved from <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12622633/index.pdf>
- Jensen, T. B., & Sharma, M. P. (1987). Study of Friction Factor and Equivalent Diameter Correlations for Annular Flow of Non-Newtonian Drilling Fluids. *Journal of Energy Resources Technology*, 109(4), 200. <https://doi.org/10.1115/1.3231347>
- Lamb, H. (1945). *Hydrodynamics* (6th Ed).
- Metzner, A. B., & Reed, J. C. (1955). Flow of non-newtonian fluids—correlation of the laminar, transition, and turbulent-flow regions. *AICHE Journal*, 1(4), 434–440. <https://doi.org/10.1002/aic.690010409>
- MI Swaco. (1998). Rheology and Hydraulics. In *MI Swaco - Drilling Fluids Handbook* (p. 5.1-5.36). MI Swaco.
- Ozbayoglu, E. M., & Sorgun, M. (2010). Frictional Pressure Loss Estimation of Non-Newtonian Fluids in Realistic Annulus With Pipe Rotation. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 49(12), 57–64. <https://doi.org/10.2118/141518-PA>
- Reed, T. D., & Pilehvari, A. A. (1993). A New Model for Laminar, Transitional, and Turbulent Flow of Drilling Muds. In *SPE Production Operations Symposium* (pp. 469–482). Oklahoma City, OK. <https://doi.org/10.2118/25456-MS>
- Rooki, R. (2015). Estimation of Pressure Loss of Herschel–Bulkley Drilling Fluids During Horizontal Annulus Using Artificial Neural Network. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 36(2), 161–169. <https://doi.org/10.1080/01932691.2014.904793>
- Subramanian, R., & Azar, J. J. (2000). Experimental Study on Friction Pressure Drop for NonNewtonian Drilling Fluids in Pipe and Annular Flow. In *International Oil and Gas*

Kazım Onur Gürçay, Serhat Akın ve İsmail Hakkı Gücüyener

Conference and Exhibition in China. Beijing, China: Society of Petroleum Engineers.
<https://doi.org/10.2118/64647-MS>

Ulker, E., Sorgun, M., Solmus, I., & Karadeniz, Z. H. (2017). Determination of Newtonian Fluid Flow Behavior Including Temperature Effects in Fully Eccentric Annulus. *Journal of Energy Resources Technology*, 139(4), 042001-1–5. <https://doi.org/10.1115/1.4035908>

Zamora, M., Roy, S., & Slater, K. (2005). Comparing a Basic Set of Drilling Fluid Pressure-Loss Relationships to Flow-Loop and Field Data. *AADE National Technical Conference and Exhibition*. Retrieved from http://scholar.google.no/scholar?cluster=14681169229685361298&hl=no&as_sdt=2005&sciodt=0,5