

## Sondaj akışkanları ve nanoparçacıkların bu alanda kullanılması

Mehmet Hüseyin YILDIRIM<sup>1</sup>

### 1. Giriş

Sondaj akışkanları ya da sondaj çamuru, sondajın ekonomik ve güvenli yapılmasında çok önemli bir rol oynayan sirkülasyon akışkanlarıdır. Bu karmaşık yapıya sahip sistemler sondaj sırasında, formasyon basınçlarını kontrol eder, kuyu dibini temizler, kuyu içindeki kesinti ve yıkıntıları yüzeye getirir, matkap ve sondaj dizisini soğutup yağlama görevini görür, herhangi bir nedenle sirkülasyon durduğunda annülüsteki kesintileri askıda tutar, yüzey hidrolik gücünü matkaba taşıyarak delme hızını artırır, sondaj dizisi ve koruma borularının ağırlıklarının taşınmasına yardımcı olur. Sondaj çamurunun bu görevleri yerine getirmesi için belirli bir çamur ağırlığına, reolojik, sıvı kaybı ve kek yapma özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin sağlanması için çamur, birçok farklı kimyasalın belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulur.

Temelde çamur tipleri su bazlı, petrol bazlı ve hava bazlı çamur olmak üzere 3 sınıfa ayrılır. Su bazlı sondaj akışkanları ekonomik olması, birçok formasyona uygun olması, bakım ve ıslahının kolay olması ve çevre kirliliği açısından daha az risk içermesi açısından en çok kullanılan sondaj çamuru tipidir. Fakat su bazlı çamur, yüksek sıcaklıklarda reolojik ve filtrasyon özelliklerini kaybetmekte, delme hızını azaltmakta, formasyon kirliliğine ve diğer bazı sondaj problemlerine sebep olabilmektedir. Bu nedenle derin, yönlü, yüksek sıcaklık ve basınçlı

kuyularda petrol bazlı sondaj çamuru kullanılmaktadır. Bu çamur çeşidi 260 °C'ye kadar iyi reolojik özellikler gösterebilmekte, her türlü korozyona karşı çok etkili, ileri derecede yağlayıcı özelliklere sahip ve daha düşük çamur ağırlıklarında kullanılabilen bir akışkan çeşidir. Öte yandan petrol bazlı çamurun maliyeti çok yüksektir ve çevre kirliliği yarattığı için çok sıkı yasal düzenlemelere tabidir. Son olarak düşük basınçlı formasyonların delinmesinde kullanılabilen hava bazlı çamurlar mevcuttur. Bu sondaj çamuru kullanılarak kaçak sorunu yaşanmadan çok yüksek delme hızları elde edilebilir. Fakat havalı sondaj tekniği su içeren formasyonların delinmesinde bazı sorunlara yol açabilir (Bourgoyne vd., 1991).

### 2. Global Enerji İhtiyacı

Global enerji ihtiyacı nüfustaki artış ve büyüyen ekonomiler nedeniyle artmaktadır. Günümüzde bu enerji ihtiyacının %80 kadarı fosil kaynaklardan (petrol, gaz ve kömür) elde edilmektedir. Önümüzdeki 25 yıl için yapılan tahminlerde bu kaynaklara olan bağımlılığın büyük ölçüde devam edeceği öngörülmektedir. Fosil yakıtların sınırlı olması ve çevreye ciddi etkilerinin olması nedeniyle günümüzde yenilenebilir enerjiye olan ilgi ve yatırımlar artmaktadır. Fakat bu enerji kaynağının büyük yatırımlar gerektirmesi ve veriminin düşük olması sebebiyle yatırımlar daha çok gelişmiş ülkeler tarafından yapılabilmektedir. Dolayısıyla 2045 itibarıyla, yenilenebilir enerjinin, toplam enerji ihtiyacının ancak %20'sini karşılayacak seviyelere gelmesi beklenmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1- Global enerji talebi oranları 2019-2045 (OPEC, 2020).

	Seviyeler (mboe/d)						Büyüme (mboe/d)	Büyüme (yıllık, %)	Paylaşım (%)	
	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2019-2045	2019-2045	2019	2045
Petrol	91,0	94,4	97,7	99,3	99,7	99,5	8,5	0,3	31,5	27,5
Kömür	77,1	75,1	75,1	74,3	72,8	71,0	-6,1	-0,3	26,7	19,7
Gaz	66,9	69,8	76,2	82,2	87,3	91,2	24,3	1,2	23,1	25,3
Nükleer	14,4	16,1	17,5	19,1	20,8	22,1	7,7	1,7	5,0	6,1
Hidro	7,3	8,1	8,8	9,5	10,2	10,5	3,2	1,4	2,5	2,9
Bio	26,4	28,9	31,0	32,9	34,6	35,5	9,1	1,2	9,1	9,8
Diğer Yenilenebilir	6,0	10,6	15,5	20,8	26,8	31,4	25,4	6,6	2,1	8,7
Toplam	289,1	303,0	321,9	338,1	352,3	361,3	72,1	0,9	100,0	100,0

**mboe/d:**milyon varil petrol eşdeğer enerji miktarı/gün

<sup>1</sup> Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Sondaj Dairesi Başkanlığı, Ankara

### 3. Ankonvansiyonel Petrol ve Gaz Üretimi

Günümüzde petrol ve doğalgazın büyük bir kısmı konvansiyonel rezervuarlardan üretilmektedir. Konvansiyonel rezervuarlar, kaynak kayada bulunan organik maddenin uygun sıcaklıklarda petrol ve gaza dönüşüp, migrasyon sonucu yükselerek, geçirgen ve gözenekli olan ve üstünde geçirgen olmayan örtü kayacın bulunduğu rezervuar kayaçta birikmesi sonucu oluşur. Bu tür rezervuarların sondajı ve üretimi teknik açıdan kolay ve aynı zamanda ekonomiktir. Ancak bu rezervuarların sınırlı olduğu ve artan enerji ihtiyacı da göz önüne alındığında yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için, çok daha yüksek rezervuar hacmine sahip fakat çok düşük geçirgenliği olan ankonvansiyonel kaynaklardan üretime başlanmıştır. 2000 yılından sonra ABD’de hızla üretimi artan kaya gazı bu kaynaklara bir örnektir. Ancak bu rezervuarlar çok daha derinlerde ve zorlu koşullarda bulunmaktadır. Bu rezervuarlardan üretim yapabilmek için derin, yönlü, yüksek sıcaklıklı ve yüksek basınçlı kuyular kazılmaktadır. Bu nedenle bu kuyuların delinmesi yüksek sondaj teknolojisi ve ileri düzeyde sondaj akışkanları performansı gerektirmektedir.

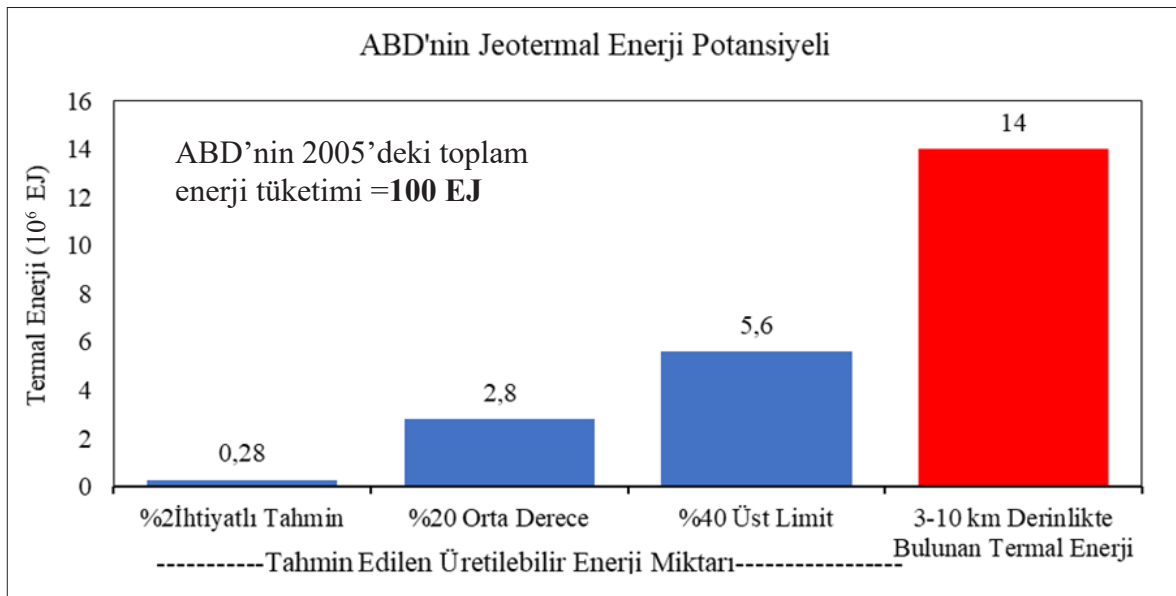
### 4. Jeotermal Enerji Sondajları ve Geliştirilmiş Jeotermal Sistemler

Jeotermal enerji, verimi diğer yenilenebilir kaynaklara göre daha yüksek olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerjiye olan yatırımlar son dönemde Türkiye’de ve dünyada hızla artmaktadır. Günümüzde jeotermal enerji üretimi çoğunlukla geleneksel jeotermal sistemlerden

yapılmaktadır. Bu sistemlerde, yer altında bulunan akışkan yardımıyla enerji yeryüzüne taşınır. Ancak bu tür rezervuarlar çok yaygın değildir. Bu nedenle kızgın kuru kayadan enerji üretme yöntemleri ile ilgili çalışmalar yapılmış ve geliştirilmiş jeotermal sistemler (EGS) kavramı ortaya çıkmıştır. Bu konudaki en kapsamlı çalışmalardan biri 2005’te ABD’de MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından yapılan bir panelden sonra yayınlanan ‘Jeotermal Enerjinin Geleceği’ isimli rapordur. Bu panelde 18 tane panel üyesi profesör tarafından yürütülen çalışmada ABD’deki farklı bölgelerin jeotermal gradientleri ve jeolojik bilgileri kullanılarak, ülkenin toplam jeotermal enerji potansiyelinin 14 milyon exajoules ( $1EJ=10^{18}$  joules) olduğu ve bu enerjinin 200.000 EJ kadarının üretilebilir olduğu hesaplanmıştır (Şekil 1). Karşılaştırma yapmak açısından 200.000 EJ, ABD’nin 2005’te tüketmiş olduğu toplam enerjinin 2.000 katı kadar bir enerjidir. Ayrıca teknolojik gelişmelerle bu kaynaklardan üretilebilir enerjinin 10 kata kadar artabileceği öngörülmüştür (Tester vd., 2006).

Bu enerjinin üretimi için sondajlar yapılmakta ve petrol sektöründe kullanılan sondaj teknolojisi kullanılmaktadır. Açılan kuyuların derin ve yüksek sıcaklı kuyular olması nedeniyle sondaj sırasında karşılaşılabilecek sorunlar artmakta ve gelişmiş sondaj teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Sondaj; petrol, gaz ve jeotermal enerji arama ve üretiminin en maliyetli ve riskli aşamasıdır. Sondaj maliyetinin derinlik arttıkça katlanarak arttığı daha önce yapılan sondajlarda kanıtlanmıştır (Smith, 2001). Sondajın en önemli parametresi ise sondaj akışkanlarıdır. Gerek zorlu petrol ve gaz sondajları



Şekil 1- ABD'nin jeotermal enerji potansiyeli (Tester vd., 2006).

için gerekse geliştirilmiş jeotermal sistemler için açılması gereken kuyuların minimum problemle ve ekonomik olarak açılmasında, sondaj çamuru seçimi ve bakımı hayati bir rol oynamaktadır. Bu kuyuların sondajında daha başarılı sonuçlar veren petrol bazlı sondaj çamurunun kullanımın yasal düzenlemelerle kısıtlanması ve ekonomik olmamaya başlaması yüzünden su bazlı sondaj çamurları kullanılmaktadır. Ancak su bazlı çamura gerekli reolojik, filtrasyon ve kek yapma özellikleri sağlayan kimyasal katkı maddelerinin, yüksek sıcaklıklarda (birçok katkı maddesi maksimum 120 °C'lere kadar termal olarak stabil kalabilir) termal bozulmaya uğrayıp bu özelliklerini kaybettiği görülmüştür. Bu durumda çamur yüksek sıcaklıklarda görevini yapamamakta ve sondaj hızının düşmesine, sondaj dizisinin sıkışmasına, formasyon kirliliğine, dolayısıyla sondaj maliyetinin katlanarak artmasına neden olmaktadır. Bu sorunun çözülebilmesi için, son dönemde nanoparçacıklar, sondaj akışkanına gerekli özellikleri verebilmesi için bir katkı maddesi olarak denenmeye başlanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

## 5. Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, 1-100 nanometre arasındaki parçacıkların kullanılarak yapıldığı bilim, teknoloji ve mühendisliğe verilen bir addir. Bir nanometre bir milimetrenin milyonda biridir. Bu da nanoteknolojinin aşırı derecede küçük boyutlarda yapılan bir bilim dalı olduğunu gösterir. Bu parçacıkların hacimlerine oranla çok fazla yüzey alanına sahip olmaları, çok az kullanıldığında bile yüksek verimli olmalarını sağlar. Bu nedenle çok düşük oranlarda bile kullanılmaları bir akışkana gerekli özellikleri verebilir.

Kimya, biyoloji, fizik, madde bilimi ve mühendislik dalları, nanoteknolojiyi kullanmaya başlayan bilim dallarıdır. Nanoteknoloji şu ana kadar tıp ve sağlık alanında, enerji ve elektronik endüstrisinde, savunma sanayinde ve çevre kirliliğini azaltma gibi alanlarda kullanılmıştır.

## 6. Nanoparçacıkların Petrol ve Gaz Sektöründe Kullanımı

Bu kadar geniş kullanım alanı olan bu nanoparçacıklar, son dönemde petrol ve gaz endüstrisi tarafından da kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmaların çoğu laboratuvar çalışmaları olmasına rağmen saha uygulamaları da mevcuttur. Murtaza vd. (2016) G tipi çimento harcına, harç ağırlığının yüzde 1, 2 ve 3 oranında nano kil ekleyip, bu parçacıkların yüksek sıcaklıkta ve basınçta çimento üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Bu çalışma sonucu %1 oranında nano kilin çimentonun basınç dayanımını arttırdığı,

geçirgenlik ve gözenekliliğini azalttığı bulunmuştur. Bu çimento harcının, kapiler gözenekleri dolduracağı ve böylece gaz kaçağının beklenildiği formasyonlarda etkili olacağı belirtilmiştir.

Nanoparçacıkların petrol kurtarımı üzerindeki etkilerini araştırmak için de birçok laboratuvar çalışması yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu konuda yapılmış çalışmaların geniş kapsamlı bir derlemesi Bera ve Belhaj (2016) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, nanoparçacık kullanımın, petrol kurtarımını ek olarak %10 kadar arttırılabileceğini belirtmiştir. Bu deneysel çalışmaların sahada başarılı bir şekilde uygulanabilmesi durumunda petrol kurtarım oranında çok ciddi artışlar olabileceği vurgulanmıştır.

## 7. Nanoparçacıkların Sondaj Akışkanı Katkı Maddesi Olarak Kullanılması

Son dönemde nanoparçacıkların yüksek sıcaklıkta sondaj çamuru katkı maddesi olarak kullanılmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu parçacıkların kullanımının, yüksek sıcaklıkta çamurun reolojik, filtrasyon ve kek yapma özelliklerini geliştirdiği, çamurun yağlama ve soğutma özelliklerini arttırdığı ve killi formasyonların stabilite problemlerini azalttığı görülmüştür. Araştırmacılar, farklı çeşit, değişik tanecik büyüklüğünde ve farklı oranlarda nanoparçacıklar kullanmış, bu parametrelerin optimum değerleri bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar yüksek sıcaklık ve basınçlarda, farklı çamur tipleriyle yapılmıştır (Abdo vd., 2016; Amanullah vd., 2009; Halali vd., 2016; İsmail vd., 2014; Mahmoud vd., 2016; Smith vd., 2018; Taraghikhah vd., 2015).

Ancak yapılan çalışmaların genellikle laboratuvar çalışması olması ve kullanılan nanoparçacıkların pahalı katkı maddeleri olması, bu teknolojinin sahada uygulanabilirliği ve ekonomik olması problemlerini akla getirebilir. Öncelikle sondaj sektörü petrol, gaz ve jeotermal aramalarının en pahalı aşamasıdır. Bu da sahada yaşanabilecek herhangi bir problemin çok ciddi ekonomik sonuçları olacağı anlamına gelmektedir. Böylece bu alanda yapılan teknolojik gelişmelerin sektör tarafından kabul edilip sahada uygulanması biraz zaman alabilmektedir.

Nanoparçacıkların maliyetinin yüksek olması sondaj sektörü için ekonomik olarak bir sorun teşkil etmeyecektir. Birinci nedeni, bu tanecikler çok düşük oranlarda (ağırlık olarak %0,01-0,5) kullanılmalarıdır. Bu parçacıkların tanecik yüzey alanının hacmine oranla çok yüksek olması, bunların çok düşük oranlarda bile yüksek performans göstermesini sağlamaktadır. Sondaj derinliğinin arttıkça maliyetin

katlanarak arttığı, özellikle deniz sondajlarında günlük maliyetin milyon dolarları bulabildiği ve kara sondajlarında onlarca bin doları bulabildiği bir sektörde, nanoparçacıkların ekonomik olabileceği söyleyenebilir. Nano katkı maddeli sondaj çamurunun, sondajda karşılaşılan problemleri azaltması ve delme hızını arttırması maddi olarak çok büyük tasarruflar sağlayabilir. Ayrıca, nanoparçacıklar su bazlı çamurla kullanılıp, yüksek sıcaklıklarda çamur performansını arttırdığında, petrol bazlı çamurun kullanılmasına ihtiyaç duyulmayacaktır. Petrol bazlı çamurun maliyetinin yüksek olması, aynı performansla sahip ve daha çevreci olan su bazlı nano çamurun, ekonomik olarak uygulanabilir olmasını sağlayacaktır.

## 8. Sonuç ve Öneriler

Yakın dönemde global enerji ihtiyacının artması ve petrol ve gaz gibi fosil enerji kaynaklarına olan bağımlılığın aynı oranlarda devam etmesi beklenmektedir. Aynı anda artan enerji talebi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımları arttıracak, bu kaynaklar içinde verimi yüksek olan ve çok büyük bir potansiyele sahip olan jeotermal enerji için arama ve sondaj faaliyetleri artacaktır. Ancak hem petrol ve gaz aramaları hem de jeotermal enerji için açılması gereken kuyular çok daha zorlu ve yüksek sıcaklıklı kuyular olacaktır. Bu sondajların başarı ile gerçekleşmesi için sondaj çamurunun performansı çok büyük önem arz edecektir. Bu nedenle gelişmiş bir performansla sahip, çevre dostu ve ekonomik olarak uygulanabilir bir sondaj akışkanı karışımı gerekmektedir. Bu noktada, nanoparçacıkların bir çamur katkı maddesi olarak kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yapılmış ve özellikle yüksek sıcaklıkta bu taneciklerin çamurun performansını geliştirdikleri kanıtlanmıştır.

Enerji talebinin artacak olması, enerji kaynaklarının sınırlı olması ve bu konuda devrim niteliğinde bir buluş olmaması durumunda enerji fiyatlarının artması öngörülebilir. Bu durumda enerji üretimi için daha fazla yatırım yapılabilecek ve bu da daha önce ekonomik olmayan kaynakların üretilebilmesini sağlayacaktır. Petrol üretimi ve jeotermal enerjide kurtarma faktörü çok düşüktür. Dolayısıyla daha fazla yatırımla bu oranlar yükselebilir.

Bu nedenle sondaj akışkanları konusunda özellikle nanoparçacıkların katkı maddesi olarak kullanılmasıyla alakalı daha fazla çalışma yapılmalıdır. Yapılan çalışmalarda farklı nanoparçacıklar, farklı oranlarda ve değişik tip çamur karışımlarıyla denenmeli ve optimum oranlar bulunmalıdır. Bu çalışmalar sadece laboratuvar ile sınırlı kalmayıp saha uygulamaları da yapılmalıdır. Aynı zamanda

bu taneciklerin ekonomik olarak uygulanabilirliği ve çevre dostu olup olmaması da detaylı bir şekilde analiz edilmelidir.

## Değerlenen Belgeler

- Abdo, J., AL-Sharji, H., Hassan, E. 2016. Effects of nanosepiolite on rheological properties and filtration loss of water-based drilling fluids. *Surface and Interface Analysis* 48(7), 522-526.
- Amanullah, M., Al-Tahini, A. M. 2009. Nano-technology- its significance in smart fluid development for oil and gas field application. Paper presented at the SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium.
- Bera, A., Belhaj, H. 2016. Application of nanotechnology by means of nanoparticles and nanodispersions in oil recovery-A comprehensive review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 34, 1284-1309.
- Bourgoyne Jr, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., Young Jr, F. S. 1991. *Applied Drilling Engineering*. SPE Textbook Series Volume 2, Kindle Edition.
- Halali, M. A., Ghotbi, C., Tahmasbi, K., Ghazanfari, M. H. 2016. The role of carbon nanotubes in improving thermal stability of polymeric fluids: Experimental and modeling. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 55(27), 7514-7534.
- İsmail, A. R., Rashid, N. M., Jaafar, M. Z., Sulaiman, W. R. W., Buang, N. A. 2014. Effect of nanomaterial on the rheology of drilling fluids. *Journal of Applied Sciences* 14(11), 1192.
- Mahmoud, O., Nasr-El-Din, H. A., Vryzas, Z., Kelessidis, V. C. 2016. Nanoparticle-based drilling fluids for minimizing formation damage in HP/HT applications. Paper presented at the SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control. Louisiana: Society of Petroleum Engineers 1-26.
- Murtaza, M., Rahman, M., Al-Majed, A. 2016. Mechanical and microstructural studies of nanoclay based oil well cement mix under high pressure and temperature application. *International Petroleum Technology Conference*, 14-16 November, Bangkok, Thailand.
- OPEC, J. G. 2020. World oil outlook 2010. <https://www.opec.org/chapter.php?chapterNr=12&tableID=66>, web sitesi erişim tarihi:27.02.2020.
- Smith, J. R. 2001. Energy demand creates new opportunities and challenges for drilling. *Journal of Canadian Petroleum Technology* 40(05).
- Smith, S. R., Rafati, R., Haddad, A. S., Cooper, A., Hamidi, H. 2018. Application of aluminium oxide nanoparticles to enhance rheological and filtration properties of water based muds at HPHT conditions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 537, 361-371.

Taraghikhah, S., Kalhor Mohammadi, M., Tahmasbi Nowtaraki, K. 2015. Multifunctional nanoadditive in water based drilling fluid for improving shale stability. . In: Presented in international petroleum technology conference, Doha, Qatar, 6–9 December.

Tester, J. W., Anderson, B. J., Batchelor, A., Blackwell, D., DiPippo, R., Drake, E., Garnish, J., Livesay, B., Moore, M. C., Nichols, K., Pretty, S., Toksöz, M. N., Veatch, R. W. 2006. The future of geothermal energy. Massachusetts Institute of Technology 358.