

TiO₂ Nanopartikülü İle Fonksiyonelleştirilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüpün Su Bazlı Sondaj Çamuruna Etkisinin Belirlenmesi: Deneysel Çalışma

Nilay Hayriye ASKER¹, Vildan ÖZKAN¹, Abdullah ÖZKAN^{1*}

ÖZET: Bu çalışmada, su bazlı sondaj çamuruna (Na-Bentonit bazlı) fonksiyonelleştirilmiş karbon nanotüpün etkisinin tespiti amaçlanmıştır. Bu kapsamda su bazlı sondaj çamurları hazırlanmış ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi ile üretilen TiO₂ nanopartikülü ile fonksiyonelleştirilmiş çok duvarlı karbon nanotüp (TiO₂NP/ÇDKNT) farklı oranlarda (0.001 – 0.01 % k/h) eklenmiştir. Hazırlanan sondaj çamurlarının plastik viskozitesi (PV), görünür viskozitesi (AV), kopma noktası (YP), jel mukavemeti değerleri (10 saniye ve 10 dakika) gibi reolojik özellikleri FANN viskozimetresi ile ayrıca su (filtrasyon) kaybı ve sondaj çamuru kek kalınlığı Amerikan Petrol Enstitüsü (API) sıvı kaybı test ekipmanları ile API standartlarına uygun olacak şekilde detaylı analiz edilmiştir. TiO₂NP/ÇDKNT'ün eklenmesi ile hazırlanan sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon özellikleri kendi içlerinde, daha sonra da katkısız sondaj çamuru ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; TiO₂NP/ÇDKNT'ün su bazlı sondaj çamuruna eklenmesiyle; PV değerinin % 71.4; AV değerinin % 41.8; YP değerinin % 28; 10 saniye değerinin % 8.3; 10 dakika değerinin % 5.6 arttığı; filtrasyon kaybının % 8.6 azaldığı; aynı zamanda da kek kalınlığı değerinin de % 11 oranında arttığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmayla; TiO₂NP/ÇDKNT'ün sondaj çamurunun reolojik özellikleri ile filtrasyon kaybı değerlerine olumlu yönde katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Su bazlı sondaj çamuru, nanopartikül madde, fonksiyonelleştirilmiş çok katmanlı karbon nanotüp, kimyasal buhar biriktirme yöntemi

Effect of TiO₂ Nanoparticle Functionalized Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Water Based Drilling Fluid: Experimental Study

ABSTRACT: In this study, it is aimed to determine the effect of functionalized carbon nanotube on water-based drilling mud (Na-Bentonite based). In this context, water based drilling muds were prepared and multi-walled carbon nanotube (TiO₂NP/MWCNTs) functionalized with TiO₂ nanoparticle produced by chemical vapor deposition (CVD) method was added in different ratios (0.001 - 0.01% w/v). The rheological properties of the prepared drilling muds such as plastic viscosity (PV), apparent viscosity (AV), yield point (YP), gel strength values (10 seconds and 10 minutes) were determined with a FANN viscometer, as well as water (filtration) loss and drilling mud cake thickness have been analyzed using American Petroleum Institute liquid loss test equipment accordance API standards in detail. The rheological and filtration properties of the drilling muds prepared by adding TiO₂NP/MWCNTs were compared with each other and then with pure drilling mud. According to the results obtained; 71.4% of PV, 41.8% of AV value, 28% of the YP value, 8.3% of 10 seconds, 5.6% of 10 minutes increased and 8.6% of the loss of filtration decreased by adding TiO₂NP/MWCNTs to water based drilling mud. At the same time, cake thickness value increased by 11%. With this study; it was found that TiO₂NP/MWCNTs contributed positively to the rheological properties and filtration loss values of the drilling mud.

Keywords: Water based drilling mud, nanoparticle substance, functionalized multi-walled carbon nanotube, chemical vapor deposition method

¹ Nilay Hayriye ASKER (Orcid ID: 0000-0001-8546-0820), Vildan ÖZKAN (Orcid ID: 0000-0001-8719-9099), Abdullah ÖZKAN (Orcid ID: 0000-0002-6799-2396), İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay, Türkiye

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Abdullah ÖZKAN, e-mail: abduallah.ozkan@iste.edu.tr

* Bu çalışma Nilay Hayriye ASKER'in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Sondaj çamuru, sondaj faaliyetlerinin vazgeçilmez bir elemanı olup, sondaj operasyonunda gereksinim duyulan işlevlerin bir kısmını veya tamamını yerine getirmek amacıyla kullanılan bir sirkülasyon akışkanı olarak tanımlanmaktadır (Ersoy, 2008; Özkan ve ark., 2018a). Başka bir ifadeyle, sondaj esnasında açığa çıkan kırıntıların yeryüzüne taşınması, tabanın temizlenmesi, kesintilerin çökmesinin önlenmesi, matkap ile sondaj dizisini soğutması ve yağlaması, göçme ve oyuk oluşumuna engel olunması, geçirimsiz bir pasta oluşumunun sağlanması, yüksek basınçlı formasyonların kontrol edilmesi, dizi ve koruma boruları ağırlığının taşınmasında yardımcı olunması, korozyona karşı sondaj borularını korunması gibi görevleri olan, sondaj operasyonları için hayati öneme sahip bir malzemedir (Ersoy, A., 2008). Bunlardan herhangi birinin olamaması durumunda devasa oranlarda zaman ve maliyet kayıpları yaşanmakta ve hatta bazı durumlarda kuyunun terk edilmesine bile neden olmaktadır. Bundan dolayı; sondaj çamurlarının plastik viskozitesi (PV), görünür viskozitesi (AV), akma sınırı ve jel mukavemeti gibi reolojik özelliklerinin yanı sıra yoğunluk, pH, sıvı kaybı ve kum içeriği değerlerinin de çok iyi ayarlanması gerekmektedir. Eskiden yapılan çalışmalar incelendiğinde bu konuda yapılan iyileştirmelerin; sondaj çamuruna çeşitli katkı kimyasalları eklenmesi ile gerçekleştirildiği ve bu sayede de çamurun özelliklerinde kısmen iyileştirmelerin olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu gelişmeler yetersiz kalmıştır. Son zamanlardaki çalışmalar incelendiğinde ise; nano ve mikro boyutlu maddeler eklenerek sondaj çamurlarının özelliklerinin daha da iyileştirilmesi hedeflendiği görülmüştür. (Özkan ve Özkan, 2019; Subodh ve Ramadan, 2010; Özkan ve Kaplan., 2019; Bicerano, 2009; Özkan, ve ark., 2018b).

Nanoteknoloji yeni bir teknoloji olmasına rağmen, birçok mühendislik uygulamalarında (Dahman, 2017), özellikle de petrol ve doğalgaz aramalarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Evdokimov ve ark., 2006; Fakoya ve Shah, 2017; Rafati ve ark., 2016; Kang ve ark., 2016; Mao ve ark., 2015a). Nanopartiküller 1-100 nm boyutunda olup geniş yüzey alanına sahiptir (Dahman, 2017). Nanopartikül maddelerin su bazlı sondaj çamurlarının kuyu stabilizesini arttırarak delme işlemini kolaylaştırdığı yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir (Kang ve ark., 2016; Mao ve ark., 2015a; Mao ve ark., 2015b). Ayrıca nanopartikül maddeler sondaj çamurunun reolojik özelliklerini iyileştirerek delme esnasında açığa çıkan kırıntıların kolay bir şekilde yüzeye taşınması sağlarken, filtrasyon kaybını ve kek kalınlığını azalttığı da görülmüştür (Mao ve ark., 2015b; Bybee, 2001; Elward-Berry ve Thomas 1994; Javeri ve ark., 2011). Özkan, A., 2018 yaptığı çalışmada kimyasal buhar biriktirme yöntemiyle elde ettiği çok duvarlı karbon nanotüpü (ÇDKNT), su bazlı sondaj çamuruna 0.001, 0.005, 0.01, 0.05 ve 0.1 % k/h oranlarında eklemiş ve API standartlarına göre test etmiştir. Analiz sonuçlarına göre araştırmacı; ÇDKNT'ün su bazlı sondaj çamuruna olumlu etki ettiğini ve en iyi katkılama oranının % 0.1 k/h olduğu belirtmiştir. Kazemi-Beydokhti ve ark., 2018, su bazlı sondaj çamuruna polietilen glikol ile fonksiyonelleştirilmiş çok-duvarlı karbon nanotüp PE/ÇDKNT katkılandırarak sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon özelliklerini analiz etmişlerdir. Çalışma neticesinde, su bazlı sondaj çamurlarına çok az miktarda PE/ÇDKNT ilavesinin, sondaj sıvısının reolojik davranışlarında önemli bir iyileşme sağladığına vurgu yapmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde; formasyon hasarında gözle görülür bir azalma, viskozitede artış, akma gerilmesinde artış, sondaj çamurlarının çeşitli sıcaklıklardaki taşıma kapasitelerinde artış olduğu aynı zamanda, çamur kekinin geçirgenliğinde ise azalma gerçekleştiği belirtilmiştir. Béğ ve ark., ise 2018'de; su bazlı sondaj çamuruna (WBDM) farklı konsantrasyonlarda silika ve titanyum nano-parçacıkları katkılarını yapmışlardır. Silika ve titanyum nano-parçacıkların 80 ° C' de ve statik koşullar altında 16 saat boyunca yaşlanma öncesi ve sonrasında sondaj çamurunun görünür

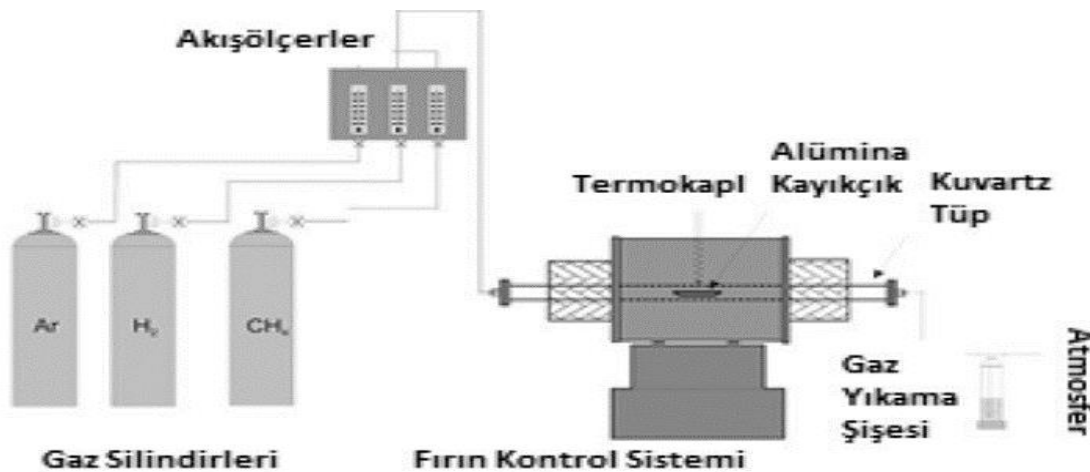
viskozite, plastik viskozite ve jel mukavemetine olası etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; 0.60 % (k/h) oranında titanyum nano-parçacık eklemesinin en iyi katkılama oranı olduğunu bulmuşlardır. Abbasi ve ark., 2015 yılında ise, TiO₂ nanopartikülleri içeren nanoakışkanların reolojik davranışları ve vizkozitesi üzerine deneysel araştırma yapmışlardır. TiO₂ nanopartikülleri ile fonksiyonelleştirilmiş çok katmanlı karbon nanotüp, oksitlenmiş çok katmanlı karbon nanotüp, bozulmamış çok karbonlu karbon nanotüp ve TiO₂ içeren nano akışkanların etkilerini karşılaştırmışlardır. TiO₂ nano-parçacık ve ÇDKNT-TiO₂ nano akışkanların kayma kalınlaşması sergilediklerini, bozulmamış ve oksitlenmiş ÇDKNT'leri içeren nano-akışkanların ise kayma incelmeleri sergilediklerini ortaya koymuşlardır. Ayrıca araştırmacılar ÇDKNT'lerin oksidasyonunun viskozitede azalmaya yol açtığını ve dekore edilmiş ÇDKNT'lerin viskozitesinin, TiO₂ nanopartiküllerinin oranının artmasıyla viskozitenin azaldığını bulmuşlardır.

Bu çalışmada; sondaj operasyonlarında en yaygın olarak kullanılan çamur türü olan su bazlı sondaj çamurları hazırlanmış ve bu sondaj çamurlarına TiO₂NP/ÇDKNT'ler 0.001, 0.05 ve 0.01 konsantrasyonlarında (% k/h) eklenmiştir. Elde edilen sondaj çamurlarının; plastik viskozitesi, görünür viskozitesi, jel mukavemeti gibi reolojik özellikleri FANN 35 Viskometre cihazı ve su kaybı ile sondaj çamuru kek kalınlığı ise Amerikan Petrol Enstitüsü (API) sıvı kaybı test ekipmanları kullanılarak, API standartlarına göre detaylı bir şekilde analiz edilmiştir (API 13B-1, 2009; API 13 A, 2010).

MATERYAL VE YÖNTEM

Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) ile Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKNT) Sentezi

Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi karbon nanotüplerin üretimi için kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Bu yöntem bir hidrokarbon buharının metal katalizör varlığında ısıl bozunması temeline dayanır. Bu yöntem hidrokarbon buharının bozunmasını gerçekleştirecek olan yüksek sıcaklıktaki (2000°C) katalizörün yerleştirildiği bursal reaktörden, hidrokarbon buharının geçişini içerir. Genel olarak kimyasal buhar biriktirme reaktörü Şekil 1.' de görüldüğü gibidir. CVD reaktörü, esas olarak silisyum karbon (SiC) ısıtıcı elementli sıcak cidarlı fırın, kuvars tüp (20 mm çapında) ve gaz akış ölçerlerden oluşmaktadır. (Shah ve ark., 2018).



Şekil 1. Kimyasal buhar biriktirme reaktörü

Katalizör kullanılarak gerçekleştirilen CVD yöntemi birkaç basamaktan meydana gelir. İlk basamak; metal nano partiküllerin substrat (silisyum) üzerinde tutturulmasıdır. İkinci basamakta substratın H₂ veya NH₃ ortamında yaklaşık 30 dak ısıtılarak nano partiküllerin indirgenmesi sağlanır.

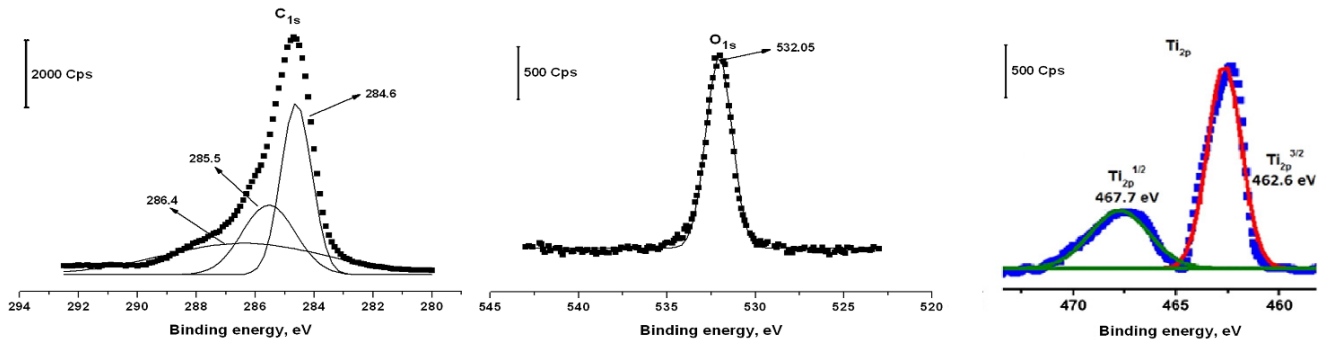
Ardından buhar halinde grafit fırına beslenir ve 2000 °C sıcaklık ve 100 torr basınç altında katalitik bozunma sonucu metal nano partiküller üzerinde karbon birikimi sağlanmış olur (In ve ark., 2018).

TiO₂ Nanopartiküllerinin Eldesi

1 M Titanyum dioksitin 0.5 M NaOH içinde (1:1) (h/h) süspansiyonu hazırlanarak 100 °C'de kalsinasyon işlemi yapılmıştır. 15 dakikalık kalsinasyon işlemi sonrasında elde edilen süspansiyon 90 °C'de 3 saat karıştırılmıştır. Elde edilen kalıntının vakum ortamında süzülmesi işleminden sonra distile su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiş ve yaklaşık olarak 24 saat kurutma işlemi neticesinde TiO₂ nanopartikülü elde edilmiştir (Yola ve ark., 2014).

Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) ile Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKNT)/Nanopartikül (NP) Kompozit Sentezi

Mevcut çalışmada kullanılan deney düzeneğinde (Şekil 1) gerçekleştirilen sentez çalışması için karbon kaynağı olarak çok duvarlı karbon nanotüp+nanopartikül madde (1:1 h/h) içeren dispersiyon kullanılmıştır. Bunun yanı sıra reaksiyon öncesi ve sonrasında da inert atmosfer sağlamak içinse yüksek safiyette argon (%99,999) gazı kullanılmıştır (Shah ve ark., 2018). CVD yöntemine göre; ilk olarak çok duvarlı karbon nanotüp+nanopartikül madde (1:1 h/h) içeren dispersiyon substrat (silisyum) üzerine tutturulmuştur. Ardından substrat H₂ ve NH₃ ortamında yaklaşık 30 dak ısıtılmış ve nanopartiküller çok duvarlı karbon nanotüp üzerine tutturulmuştur. Son olarak buhar halindeki dispersiyon fırına beslenip, 2000 °C sıcaklık, 100 torr basınç altında bozunmaya tabi tutulmuş ve karbon nanotüp+nanopartikül birikimi sağlanmıştır (In ve ark., 2018). Çalışmamızda sentezlenen TiO₂NP/ÇDKNT'e ait XPS görüntüsü (Şekil 2) incelendiğinde; Ti, C ve O'nin bağlanma enerjilerinin sırasıyla 462.6 eV, 284.6 eV ve 532.05 eV olduğu görülmektedir. Literatürde var olan çalışmalarda Ti bağlanma enerjisi değerinin 460-468 eV arası, C'nun bağlanma enerjisi değerinin 284 eV ve O'nin bağlanma enerjisi değerinin de 532 eV civarı olduğu ifade edilmektedir (Moulder ve ark., 1992; Cueto ve ark., 2006). Bu bilgiler ışığında tarafımızca sentezlenen TiO₂NP/ÇDKNT'ün literatür ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Sentezlenen TiO₂NP/ÇDKNT'e ait XPS görüntüsü

Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Hazırlanması (WBDM) ve Analiz Edilmesi

Su bazlı çamurları hazırlanırken 500 g su, 31.25 g bentonit ve 14.25 g barit 15 dakika boyunca yüksek hızlı mikser ile karıştırılmıştır. Daha sonra TiO₂NP/ÇDKNT 0.001, 0.005 ve 0.01 oranlarında (% k/h) ayrı ayrı sondaj çamurlarına eklenmiş ve karıştırılarak iyice homojenize edilmiştir. Daha sonra hazırlanan sondaj çamurları 16 saat boyunca oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta bekletilerek yaşlandırma işlemine tabi tutulmuşlardır.

Elde edilen sondaj çamurlarının plastik viskozite, görünür viskozite, jel mukavemeti gibi reolojik özellikleri FANN 35 Viskometre cihazı ve su kaybı ile sondaj çamuru kek kalınlığı Amerikan Petrol Enstitüsü (API) sıvı kaybı test ekipmanları kullanılarak, API standartlarına göre detaylı bir şekilde analiz edilmiştir (API 13B-1, 2009; API 13 A, 2010).

BULGULAR VE TARTIŞMA

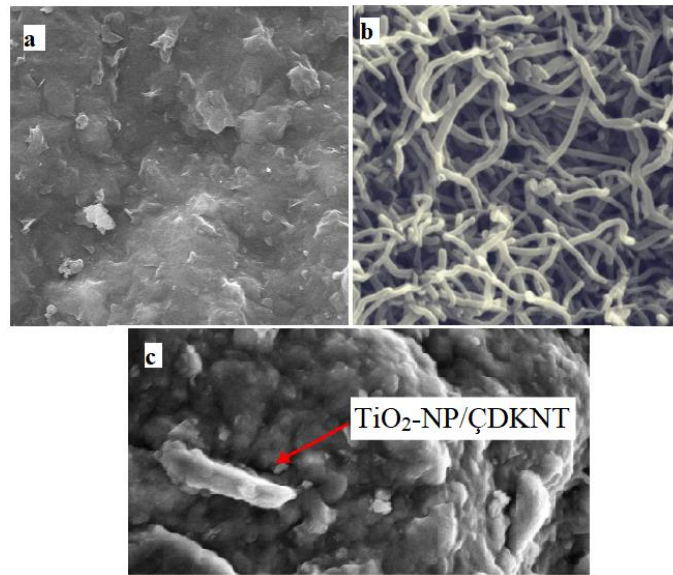
Na-Bentonit ve TiO₂NP/ÇDKNT Karakterizasyonu

Su bazlı sondaj çamuru hazırlanırken kullanılan bentonit ARL OPTIMX model X-Ray Floresans cihazı ile karakterize edilmiştir. Analiz sonuçlarına (Tablo.1) göre kullanılan bentonit türünün Na-bentonit olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 1. Na-Bentonitin Elementel Kompozisyonu

Örnek	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
Na-Bentonit	2.48	2.44	20.9	65.85	-	0.75	1.44	0.29	-	5.85

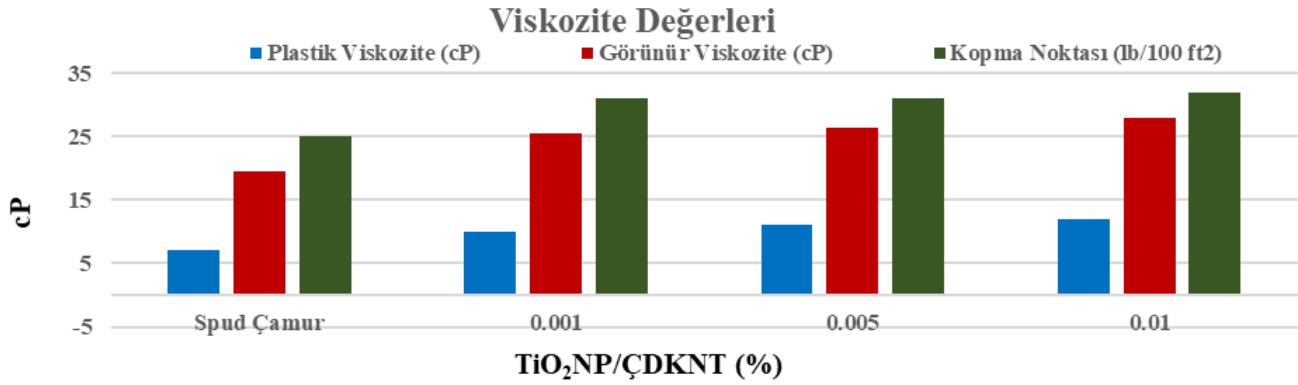
Ayrıca sentezlenen TiO₂NP/ÇDKNT, TiO₂NP/ÇDKNT katkısız su bazlı sondaj çamuru ve TiO₂NP/ÇDKNT katkılı su bazlı sondaj çamuru örnekleri LeO EVO40 marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile karakterize edilmiş olup, numunelerin SEM görüntüleri Şekil 3. de verilmiştir.



Şekil 3. (a) TiO₂NP/ÇDKNT katkısız (spud) su bazlı sondaj çamuru, (b) TiO₂NP/ÇDKNT ve (c) TiO₂NP/ÇDKNT katkılı su bazlı sondaj çamurunun SEM Görüntüleri

TiO₂NP/ÇDKNT Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Reolojik Özellikleri

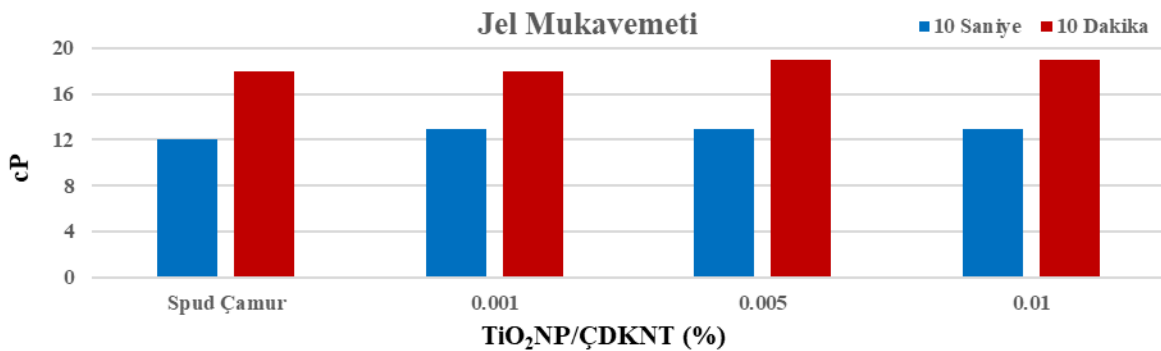
Genellikle akmaya karşı gösterilen direnç olarak tanımlanan viskozite; sıcaklık, katı madde içeriği, çamura katılan katkı ve koruyucu maddeler gibi değişkenlerden etkilenerek, sondaj işleminde pompa kuvvetini etkilemektedir. Sondaj çamurunun viskozitesi; Görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV) ve akma sınırı (kopma noktası) (YP) olarak hesaplanmaktadır. AV, akışkanın belirli bir kuvvet altında veya belirli bir hızla akışı sırasındaki viskozitesidir. PV, akış bölgesini karakterize eden sabit bir değerdir. YP, akmayı başlatan kuvvettir. Yapılan çalışma sonucundaki Fann viskozimetresinin 300 rpm ve 600 rpm kadran okumalarına göre ölçülerek hesaplanan reolojik özellikleri ve 10 saniye - 10 dakika değerlerine ait sonuçları Şekil 4. ile Şekil 5.te gösterilmiştir.



Şekil 4. TiO₂NP/ÇDKNT Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurunun Viskozite Değerleri

Plastik viskozite, görünür viskozite, kopma noktası değerlerinin TiO₂NP/ÇDKNT miktarının artışıyla paralel olarak arttığı görülmüştür. API standartları ile karşılaştırıldığında TiO₂NP/ÇDKNT eklemesinin su bazlı sondaj çamurunun reolojik özelliklerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca farklı oranlarda TiO₂NP/ÇDKNT'ün eklenmesi sonucu elde edilen sondaj çamurlarının reolojik özellikleri birbirleriyle karşılaştırıldığında en iyi TiO₂NP/ÇDKNT ekleme oranının 0.01 (% k/h) olduğu görülmüştür. TiO₂NP/ÇDKNT ilavesinin sondaj çamurunun PV değerini %71.4, AV değerini %41.8 ve YP değerini de %28 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Özkan, A., 2018'de, CVD yöntemiyle ÇDKNT'ü sentezlemiş ve su bazlı sondaj çamuruna eklemiştir. Çalışma sonucunda sondaj çamurunun reolojik özelliklerinde olumlu yönde değişimlerin olduğunu ifade etmiştir. Benzer şekilde Asker ve ark., 2019'da CVD yöntemiyle sentezledikleri ZnO nanopartikül içeren ÇDKNT'ü su bazlı sondaj çamuruna ilave etmişler ve çalışma sonucunda PV değerinin % 42.8, AV değerinin % 31.6 ve YP değerinin de % 28 oranında attığını tespit etmişlerdir. Ayrıca literatürdeki çalışmalar incelendiğinde normal koşullar altında bir sondaj çamurunun PV değerinin 18-29 cP aralığında olması gerektiği (Aftab ve ark., 2016) belirtilmiştir. TiO₂NP/ÇDKNT ilavesinin sondaj çamurunun PV değerlerini artırıcı özellik göstermesi çalışmamız adına olumlu bir gelişme olarak dikkat çekmektedir.

Jel mukavemetini; kolloidal bir dispersiyonun, kaymaya karşı direncine bağlı olarak bir jel formunu geliştirme ve tutma yeteneğinin bir ölçüsü olarak tanımlamak mümkündür (Gel Strength Definition, 2007). Jel mukavemeti 10 saniye ve 10 dakika değerlerinin ölçülmesi sonucu belirlenmektedir. TiO₂NP/ÇDKNT konsantrasyonunun su bazlı sondaj çamurunda artmasıyla 10 s ve 10 dak değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir.



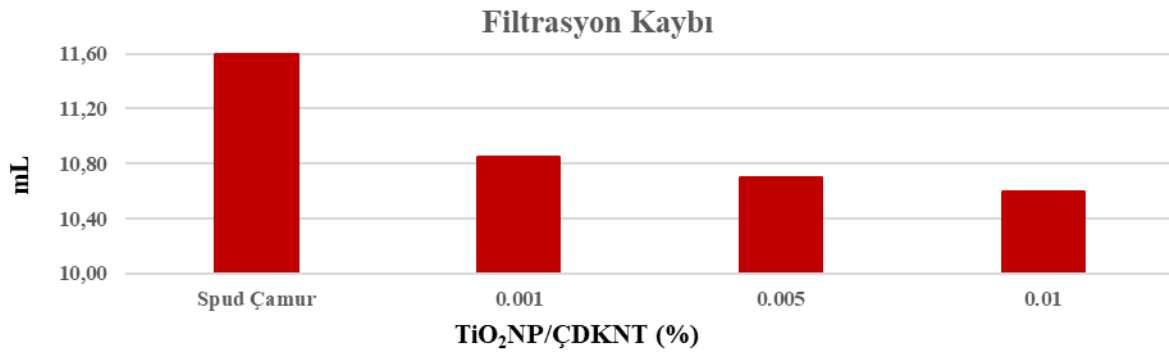
Şekil 5. TiO₂NP/ÇDKNT Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurunun Jel Mukavemeti Değerleri

Jel mukavemeti değerinin çok yüksek olması pompalar üzerinde aşırı baskı oluştur ve duran bir pompanın tekrar çalışması anında, kuyu içerisindeki çamur sirkülasyonunun tekrar başlamasını

engelleyici yönde etki eder (Bayat ve Shams, 2019). Bu açıdan değerlendirildiğinde, çalışmamızda elde edilen sonuçların ideal bir çamurun jel mukavemeti değerlerine yakın özellik gösterdiği ve herhangi bir olumsuz etkiye sebep olmadığı tespit edilmiştir.

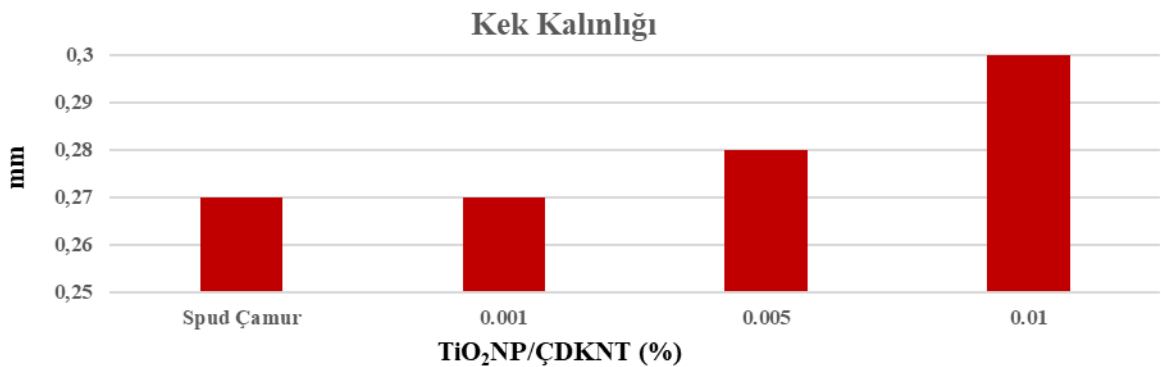
TiO₂NP/ÇDKNT Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurlarının Filtrasyon Kaybı ve Kek Kalınlığı

Filtrasyon kaybı (düşük filtreleme) kuyu stabilitesine katkıda bulunmakla birlikte su bazlı sondaj sıvıları için oldukça önem arz etmektedir. Sondaj çamurlarında yüksek miktarda filtrasyon kaybı sondaj operasyonunda olumsuz etkilere sebebiyet oluşturabileceğinden dolayı arzu edilmez (Bayat ve Shams 2019). Şekil 6.'da çalışmamıza ait filtrasyon kaybı verileri bulunmaktadır. TiO₂NP/ÇDKNT miktarı arttıkça sıvı kaybının azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla çalışmamızda su bazlı sondaj çamuruna TiO₂NP/ÇDKNT ilavesinin olumlu etki ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 6. TiO₂NP/ÇDKNT Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurunun Filtrasyon Kaybı Değerleri

Sondaj akışkanı basıncı ile formasyon basıncına bağlı olarak kuyudan formasyona ya da formasyondan kuyuya sürekli bir akış söz konusudur. Sondaj kuyusunun bütünlüğünü korumak sondaj çamurunun en önemli görevlerinden biridir. Kalın filtrat keki, stabil ve düşük maliyetli bir kuyu içi işlem için tercih edilmez. Sondaj sıvısındaki TiO₂NP/ÇDKNT konsantrasyonundaki artışla birlikte kek kalınlığının da arttığı görülmektedir (Şekil 7.). İstenmeyen bu artış maksimum kek kalınlığı değeri olan 4 mm 'den düşük seviyede olduğu için tolere edilebilecek seviyededir. Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler, literatürdeki çalışmalar (Asker ve ark., 2019; Özkan, 2018) ile uyum içerisindedir.



Şekil 7. TiO₂NP/ÇDKNT Katkılı Su Bazlı Sondaj Çamurunun Kek Kalınlığı Değerleri

SONUÇ

Bu çalışmada; CVD yöntemiyle TiO₂NP/ÇDKNT sentezlenmiş, SEM ile karakterize edilmiş ve su bazlı sondaj çamuruna 0.001, 0.005 ve 0.01 % (k/h) oranlarında eklenmiştir. Ardından TiO₂NP/ÇDKNT'ün su bazlı sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ve API standart değerleri aşağıdaki tabloda (Tablo 2.) verilmiştir.

Tablo 2. Reolojik ve Filtrasyon Kaybı Analiz Sonuçları ve Referans (API) Değerleri

Parametre	Referans (API) Değerleri	WBDM	İlave edilen TiO ₂ NP/ÇDKNT (w/v %)		
			0.001	0.005	0.1
PV (cP)	Min 7	7	10	11	12
YP (lb/100 ft ²)	Max 50	25	31	31	32
AV (cP)	Min 15	19.75	25.5	26.5	28
Jel Mukavemeti - 10 s	15	12	13	13	13
Jel Mukavemeti - 10 dak	31	18	18	19	19
Filtrasyon Kaybı (mL)	10-15	11.6	10.85	10.7	10.6
Kek Kalınlığı (mm)	Max 4	0.27	0.27	0.28	0.30

Tablo 2.'de verilen ışığında TiO₂NP/ÇDKNT eklenmesinin su bazlı sondaj çamurunun;

- Plastik viskozite değerini % 71.4;
- Görünür viskozite değerini % 41.8;
- Kopma noktası değerini % 28;
- Kek kalınlığı değerini % 11;
- 10 saniye değerini % 8.3;
- 10 dakika değerini % 5.6 oranında arttırdığı,
- Filtrasyon kaybını da % 8.6 oranında azalttığı görülmüştür.

Başarılı bir sondaj işlemi, sondaj sıvısının etkin bir şekilde kullanılmasıyla mümkündür. Oldukça küçük boyut ve dolayısıyla yüksek yüzey alan/hacim oranına sahip TiO₂NP/ÇDKNT gibi nanomalzemelerin sondaj operasyonlarında kullanılmasıyla; özellikle yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta karşılaşılan kalın filtrat keki, sondaj dizisinin sıkışması, aşırı filtrasyon kaybı gibi sondaj problemlerinin giderilebildiği yaptığımız çalışmayla tespit edilmiştir. Nanomalzemelerin çok düşük miktarlarının bile sondaj çamurlarının performanslarına önemli ölçüde olumlu katkı sağladıkları (Özkan, 2018; Özkan, 2020; Mohidden ve ark., 2019; İsmail ve ark., 2016) göz önünde bulundurulduğunda, nanomalzemelerin su bazlı sondaj çamurlarına ilevesinin sondaj operasyonuna ek bir maliyet oluşturmayacağı ve uygulama noktasında sıkıntı yaratmayacağı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbasi S, Zebarjad SM, Baghban SHN, Youssefi A, Ekrami-Kakhki MS, 2016. Experimental investigation of the rheological behavior and viscosity of decorated multi-walled carbon nanotubes with TiO₂ nanoparticles/water nanofluids. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 123(1), 81-89. API 13B-1, 2009.
- Aftab A, Ismail AR, Khokhar S, Ibutoto ZH. 2016. Novel zinc oxide nanoparticles deposited acrylamide composite used for enhancing the performance of water-based drilling fluids at elevated temperature conditions. Journal of Petroleum Science and Engineering, 146, 1142-1157.

- API RP 13B-1, 2009. Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids. 4th Edition: API.
- Asker NH, Özkan V, Özkan A. Su Bazlı Sondaj Çamurunun Reolojik ve Filtrasyon Özelliklerine ZnO Nanopartikülü ile Fonksiyonelleştirilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüpün Etkisinin Araştırılması. Euro Asia 5th. International Congress on Applied Sciences, 15-17 November, 2019, p139-147, Adana, Turkey.
- Bayat AE, Shams R. 2019. Appraising the impacts of SiO₂, ZnO and TiO₂ nanoparticles on rheological properties and shale inhibition of water-based drilling muds. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 581, 123792.
- Bég OA, Espinoza DS, Kadir A, Shamshuddin MD, Sohail A, 2018. Experimental study of improved rheology and lubricity of drilling fluids enhanced with nano-particles. *Applied Nanoscience*, 8(5), 1069-1090.
- Bicerano J, 2009. U.S. Patent Application No. 12/178, 785.
- Bybee K, 2001. Water-Based Drilling-Fluid Systems for Deepwater Norway. *Journal of Petroleum Technology*, 53(11), 36-36.
- Cueto LF, Hirata GA, Sánchez EM. 2006. Thin-film TiO₂ electrode surface characterization upon CO₂ reduction processes. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 37(2), 105-109.
- Dahman Y, 2017. *Nanotechnology and Functional Materials for Engineers*. Elsevier.
- Elward-Berry J, Thomas EW, 1994, January. Rheologically Stable Deepwater Drilling Fluid Development and Application. In SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Ersoy A, 2008. *Sondaj Teknikleri ve Uygulamaları*. Nobel Kitabevi, Adana.
- Evdokimov IN, Eliseev NY, Losev AP, Novikov MA, 2006, January. Emerging petroleum-oriented nanotechnologies for reservoir engineering. In SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Fakoya MF, Shah SN, 2017. Emergence of nanotechnology in the oil and gas industry: Emphasis on the application of silica nanoparticles. *Petroleum*, 3(4), 391-405.
- Gel Strength Definition, 2007. Retrieved on December 18, 2011 from Oil & Gas Field Technical Terms Glossary: <http://oilglossary.com/gel-strength.html>
- In JB, Cho KR, Tran TX, Kim SM, Wang Y, Grigoropoulos CP, ... Fornasiero F, 2018. Effect of Enhanced Thermal Stability of Alumina Support Layer on Growth of Vertically Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes and Their Application in Nanofiltration Membranes. *Nanoscale research letters*, 13(1), 173.
- Ismail AR, Aftab A, Ibupoto ZH, Zolkifile N. 2016. The novel approach for the enhancement of rheological properties of water-based drilling fluids by using multi-walled carbon nanotube, nanosilica and glass beads. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 139, 264-275.
- Javeri SM, Haindade ZMW, Jere CB, 2011, January. Mitigating loss circulation and differential sticking problems using silicon nanoparticles. In SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Kang Y, She J, Zhang H, You L, Song M, 2016. Strengthening shale wellbore with silica nanoparticles drilling fluid. *Petroleum*, 2(2), 189-195.
- Kazemi-Beydokhti A, Hajiabadi SH, 2018. Rheological investigation of smart polymer/carbon nanotube complex on properties of water-based drilling fluids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 556, 23-29.
- Mao H, Qiu Z, Shen Z, Huang W, 2015a. Hydrophobic associated polymer based silica nanoparticles composite with core-shell structure as a filtrate reducer for drilling fluid at ultra-high temperature. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 129, 1-14.
- Mao H, Qiu Z, Shen Z, Huang W, Zhong H, Dai W, 2015b. Novel hydrophobic associated polymer based nano-silica composite with core-shell structure for intelligent drilling fluid under ultra-high temperature and ultra-high pressure. *Progress in Natural Science: Materials International*, 25(1), 90-93.

- Mohideen AAM, Saheed MSM, Mohamed NM. 2019. Multiwalled carbon nanotubes and graphene oxide as nano-additives in water-based drilling fluid for enhanced fluid-loss-control & gel strength". In AIP Conference Proceedings, Vol. 2151, No. 1, p. 020001. AIP Publishing.
- Moulder JF, Stickle WF, Sobol PE, Bomben KD. 1992. Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy. Chastain, J. Perkin-Elmer Corp., Eden Prairie, MN.
- Özkan A, 2018, Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Water-Based Drilling Muds. Mus Alparslan University Journal of Science, 6(2), 591-594.
- Özkan A, Kaplan B.M, 2019. Investigation of the Effects on Rheological and Filtration Properties of Water-Based Drilling Mud of Boron Minerals: An Experimental Study. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences. DOI: 10.5505/pajes.2019.89990.
- Özkan A, Kaplan BM, Özkan V, Turan S.E, 2018b. Effect of Micro-Sized Colemanite on the Rheological Properties of the Water Based Drilling Fluid. Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 33(4), 83-88.
- Özkan A, Özkan V, 2019. Effect of Clinoptilolite-Rich Zeolite on the Properties of Water Based Drilling Fluid, Fresenius Environmental Bulletin, 28(3), 2232-2237.
- Özkan A, Turan SE, Kaplan BM, 2018a. Investigation of Fly Ash Effect on Rheological and Filtration Properties of Drilling Muds. Fresenius Environmental Bulletin, 27(12A), 9189-9194.
- Özkan, A. 2020. Effect of Gold Nanoparticle Functionalized Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Properties of Na-Bentonite Water Based Drilling Fluid. Fresenius Environmental Bulletin, 29(1), 143-151.
- Rafati R, Haddad AS, Hamidi H, 2016. Experimental study on stability and rheological properties of aqueous foam in the presence of reservoir natural solid particles. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 509, 19-31.
- Shah KA, Najjar FA, Sharda T, Sreenivas K, 2018. Synthesis of multi-walled carbon nanotubes by thermal CVD technique on Pt–W–MgO catalyst. Journal of Taibah University for Science, 12(2), 230-234.
- Singh SK, Ahmed RM, Growcock F, 2010, January. Vital role of nanopolymers in drilling and stimulations fluid applications. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- Specifications, A. P. I, 2010. 13A, 2010. Specification for Drilling Fluid Materials.
- Yola ML, Eren T, Atar N, 2014. A novel efficient photocatalyst based on TiO₂ nanoparticles involved boron enrichment waste for photocatalytic degradation of atrazine. Chemical Engineering Journal, 250, 288-294.