

# AKTİF KATI İLE KİRLENMİŞ SEPIOLİT ÇAMURLARINDA REOLOJİ VE SU KAYBI ÖZELLİKLERİNİN KONTROLÜ

Gürşat ALTUN  
Ali Ettehadı OSGOUEI  
Mehmet ÇELİK  
Umran SERPEN

## ÖZET

Sepiolit temelli çamurlar özellikle yüksek sıcaklıklı ve yüksek tuz içeren ortamlarda oldukça iyi performans göstermektedir. Bununla birlikte, sondaj sırasında çamura giren farklı kirleticiler nedeniyle, sondaj operasyonu teknik ve ekonomik olarak olumsuz yönde etkilenmektedir. Sondaj yapılan formasyonların yaklaşık %70-80'i şeylli formasyonlar olduğundan, sondaj sırasında aktif katıların çamura kirletici olarak girmesi karşılaşılan yaygın bir kirlenmedir ve çamur özelliklerinin değişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, sondaj çamurunun kimyasal ve fiziksel özellikleri formasyonların sondajı sırasında yaşanan matkap sarması, kuyu yıkılması ve/veya şişmesi, kaçak gibi kuyu stabilitesi sorunlarının oluşmasını engelleyecek veya en az düzeyde tutacak şekilde delinen formasyonlarla uyumlu olmalıdır. Kirlenme sonucu sepiolit çamurlarının reolojik ve su kaybı özellikleri katkı maddeleri kullanılarak ekonomik bir şekilde kontrol altına alınabilmektedir.

Bu çalışmada, aktif katı (kil) girişi nedeniyle hem ağırlaştırılmamış hem de barit ile ağırlaştırılmış sepiolit temelli sondaj çamuru özelliklerindeki değişimler deneysel olarak incelenmiş, bozulan reoloji ve su kaybı özelliklerinin nasıl kontrol altına alınabileceği çalışılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, özellikle zorlu sondaj koşullarında (yüksek tuzlu ve yüksek sıcaklık), sepiolit bazlı çamurlar reolojik ve su kaybı özellikleri bakımından diğer çamurlara göre daha iyi performans göstermektedirler.

**Anahtar Kelimeler:** TTB sepiolit kili, Sepiolit çamuru, Aktif katı kirlenmesi, Kuyu stabilitesi, Kuyu temizliği, Yüksek sıcaklık, Yüksek tuzluluk.

## ABSTRACT

Sepiolite based muds perform very well particularly at high temperature and high saline environments. On the other hand, different contaminants penetrating into the drilling fluid cause technical operational problems and result in higher drilling costs. Since formations being drilled consist of approximately 70-80% shales, reactive solid contaminants while drilling a well are common contamination source and play an important role in changing the properties of drilling mud. Consequently, chemical and physical properties of drilling mud should be suitable to these formations in order not to cause or to minimize stability problems such as bit balling, wellbore sloughing and/or swelling, and mud loss. Rheological and fluid loss properties of contaminated sepiolite mud can be economically controlled by using additives.

In this study, variations on the rheological properties of sepiolite muds due to introduction of reactive solid (clay) are experimentally investigated for both weighted with barite and unweighted mud types, and how to control the improper rheological and fluid loss properties is studied. Results reveal that sepiolite based muds perform better than that of rivals in terms of rheological and fluid loss properties, particularly in harsh drilling conditions (high salinity and high temperature).

**Key Words:** TTB sepiolite clay, Sepiolite mud, Active solid contamination, Wellbore stability, Wellbore cleaning, High temperature, High salinity.

## 1. GİRİŞ

Formasyonlar delindikçe, çamur sistemine çok sayıda farklı mineraller girer ve çamur içerisinde bu mineraller mekanik parçalanma ve kimyasal hidratlaşma ile yayılırlar. Çamur içerisindeki bu maddeler genel olarak ya aktif ya da aktif olmayan (inert) katı olarak sınıflandırılırlar.

Çamura formasyondan giren aktif katılar genellikle farklı hidratlaşma yeteneğine sahip killerden oluşmaktadır. Aktif katıların kaynağının çoğunlukla şeyl zonları ve şeyl içeriğince zengin formasyonlar olduğu bilinmektedir. Yüksek hidratlaşma yeteneğine sahip montmorillonit türü kilden başka, kaolin, illit ve klorit gibi düşük hidratlaşma (şişme) özellikli killerde çamura giren aktif maddelerin kaynağını oluşturur. Çamur sistemine giren değişik tipteki bu düşük-şişme özellikli killer çamurun toplam katyon değiştirme kapasitesine katkıda bulunur. Bu killer alimünyum oktahedral tabaka ve silika tetrahedron tabaka yapısındaki montmorillonit killerine çok benzerdirler ve yapıları simgesel olarak Şekil 1'de gösterilmektedir [1]. Bu killer arasındaki temel farklılık, tabakaları arasında killerin depolanmaları sırasında meydana gelen farklı iyonların bulunmasıdır. Semektit türü killer tabaka şeklindeki yapıları arasında zayıf bağlar ile tutunmuş katyonlarını çözelti içerisinde bulunan diğer katyonlar ile değiştirebilme yeteneğine sahiptir. Diğer bir deyişle, düşük değerlikli katyonlara sahip killer daha fazla hidratlaşma yeteneğine sahipken, çözelti ortamında bulunan yüksek değerlikli katyonlar tarafından yer değiştirilir ve kilin hidratlaşma yeteneğini azaltır. Bu durum çamurun reolojik ve su kaybı özelliklerinin önlem alınmadığı taktirde oldukça farklılaşmasına neden olabilmektedir. Sondaj akışkanındaki katıların yoğunluk artışına neden oldukları kadar viskozitede de artışa neden olmaktadır. Bütün killerin özgül yoğunlukları (specific density) yaklaşık 2,6 olduğu için, verilen viskozitede kil/su karışımının yoğunluğu kullanılan kilin verimine bağlı olacaktır. Eğer su yoğunluğuna yakın yoğunlukta bir çamur isteniyorsa ise yüksek verimli kil kullanılmalıdır. Eğer yüksek yoğunluklu bir çamur isteniyorsa, düşük verimliliğe sahip kil kullanılabilir.

Silika tetrahedron			
Alümina Oktahedron			KAOLEN
Silika tetrahedron			
Alümina Oktahedron	(+Mg, -Al)*		MONTMORILLONIT
Silika tetrahedron			
Silika tetrahedron	(+Al, -Si)		
Alümina Oktahedron			ILLIT
Silika tetrahedron	(+Al, -Si)		
Alümina Oktahedron	(+Mg, -Al)		
Silika tetrahedron			
Alümina Oktahedron	(+Mg, -Al)		KLORIT
Silika tetrahedron			

\* (+Mg, -Al) notasyonu Mg'nin eklendiği Al'nin uzaklaştırıldığı anlamındadır.

**Şekil 1.** Sondaj Çamurunda Bulunan Tipik Killeri, [referans 1'den değiştirilmiştir].

Aktif olmayan katılar hidratlaşmaz veya çamurdaki diğer bileşenler ile reaksiyona girmezler. Kum, silt, kireçtaşı, fedspat ve API barit gibi mineraller aktif olmayan katılara örneklerdir. Çamur yoğunluğunu arttırmak için kullanılan API baritinin haricinde, aktif olmayan katıların çamur içerisinde bulunmaması istenmektedir. Bunlar akış sisteminde sürtünme basınç kayıplarını artmasına neden olurken, çamurun kayaç kesintilerini yüzeye taşıyabilme yeteneğini önemsiz oranda arttırmaktadır. Bu katıların oluşturduğu çamur keki ince ve görel olarak geçirimsiz değil, aksine kalın ve yüksek geçirgenliklidir.

Bu durum dizi sıkışması, kayıp sirkülasyon, aşırı tork ve sürtünme ve zayıf çimento bağı gibi birçok kuyu probleminin oluşmasının doğrudan nedenidir.

Dört temel yöntem kullanılarak çamur içerisindeki katı oranının istenmeyen seviyelere ulaşması önlenir. Bunlar (1) elekten geçirme, (2) kuvvet ile çökertme, (3) kimyasal flokülasyon ve (4) seyreltmedir. İlk iki yöntemde, çamurdaki istenen ve istenmeyen katılar uzaklaştırılabilmektedir. Çamur sistemindeki katıları uzaklaştırmak için öncelikle elek (shale shaker) kullanılmaktadır. Sık gözlü eleklerin kullanılmasıyla çamurdaki çoğu katı boyutları API baritine indirilmeden önce uzaklaştırılabilir. Çamur tanklarındaki doğal yöntem ile çökertme hızı yeterli olmadığı için, çoğunlukla parçacıklara etkiyen yerçekimi kuvveti arttırın diye, hidrosiklonlar ve sentrifüjler kullanılarak kuvvet uygulayarak, çökertme yapılmaktadır. Çamura kimyasalların eklenmesi sonucunda, çok küçük boyutlu parçacıklara flokülasyon oluşturularak (parçacıkların bir araya getirilip topaklaşması) üzüm salkımı şeklinde daha büyük parçalar haline getirilmektedir. Büyük parçalar oluşturulduktan sonra, çökertme yöntemiyle çamurdan ayırma işlemi daha kolay bir şekilde yapılmaktadır. Bu yöntemler ile katı konsantrasyonu düşürülemediğinde seyreltme yöntemi uygulanmaktadır. Sınırlı yüzey çamur tankları kapasitesi nedeniyle, seyreltme yapılmadan önce, bir kısım çamurun atılması zorunlu olabilir. Diğer bir deyişle, seyreltme işlemi için atılan çamur ile birlikte daha önce kullanılmış olan birtakım katkı maddeleri de atılacaktır. Bu durum sondaj çamur maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Seyreltme yapılacak çamur maliyetlerini düşük tutmak için, çamur hacmi minimum tutularak sondaj yapılmalıdır. Artan çamur yoğunluğu ile seyreltme maliyeti de artmaktadır, [1].

## 2. ÇAMUR KIRLETİCİLER

Sondaj akışkanına giren ve akışkanın özelliklerinin değişmesine neden olan yaygın kirleticiler alçıtaşı veya anhidrat, çimento, kireç, sert su, hidrojen sülfat ve karbondioksit olarak sıralanabilir. Bu yaygın kirleticilerin etkinlikleri konsantrasyonlarına bağlı olduğu kadar, ortamın sıcaklığına ve tuzluluğuna göre de değişmektedir. Diğer bir deyişle, sondaj ortamındaki yüksek sıcaklık ve/veya tuzluluk başlı başına bir kirletici etkisi göstermektedir. Sondaj akışkanının bu kirleticiler ile kirlenmesi durumunda, kirlenmeye neden olan kirletici iyon ve kirleticinin uzaklaştırılması için kullanılması gereken katkı maddeleri ve miktarları sondaj endüstrisi tarafından bilinmekte ve uygulanmaktadır. Tablo 1’de yaygın kirleticiler ve kirletici iyonuna karşı çamurda nasıl bir ıslah katkısının kullanılması gerektiği verilmektedir, [1].

**Tablo 1.** Her Bir Varil Çamur ıslahı İçin Gerekli Katkı Maddesi Miktarı, [referans 1’den düzenlenmiştir].

Kirletici	Kirletici iyonu	Eklenecek ıslah katkısı	1 mg/L kirleticiyi uzaklaştırmak için gerekli ıslah katkı miktarı (lbm/bbl)
Alçıtaşı veya anhidrat	kalsiyum ( $Ca^{2+}$ )	Soda külü eğer pH uygun ise	0,000928
		SAPP eğer pH çok yüksek ise	0,000971
		Sodyum bikarbonat eğer pH çok yüksek ise	0,00147
Çimento	kalsiyum ( $Ca^{2+}$ ) hidroksil ( $OH^-$ )	SAPP veya	0,000971
		Sodyum bikarbonat	0,00147
Kireç	kalsiyum ( $Ca^{2+}$ ) hidroksil ( $OH^-$ )	Sodyum bikarbonat	0,00147
		SAPP veya Sodyum bikarbonat	0,000535 0,000397
Sert su	magnezyum ( $Mg^{2+}$ ) kalsiyum ( $Ca^{2+}$ )	pH 10,5’e kadar kostik daha sonra soda külü	0,00116
		Soda külü	0,000928
Hidrojen sülfat	sülfat ( $S^{2-}$ )	pH’yı 10’un üzerinde tut ve çinko temelli karbonat ekle	0,00123
Karbon dioksit	karbonat ( $CO_3^{2-}$ ) bikarbonat ( $HCO_3^-$ )	Alçıtaşı eğer pH uygun ise	0,00100
		Kireç eğer pH çok düşük ise	0,000432
		Kireç	0,000424

Tabloda aynı kirletici için birden çok katkı maddesinin kullanılabilmesi görülmekle birlikte, bu katkı maddelerinin seçimi ortamın pH değeri, sıcaklığı ve tuzluluğuna bağlıdır. Bu katkıların büyük bir bölümü tatlı su ve 250-300 °F sıcaklığa kadar etkindir. Bu sınırların üstünde çalışabilen az sayıda polimerik temelli katkı maddesi bulunmakla birlikte, bu katkıları hem yüksek sıcaklık, hem de yüksek tuzluluğun birlikte olduğu ortamlarda etkin değillerdir. Bu nedenle, sondajda yaygın olarak kullanılan çamur türleri (bentonit veya potasyum klorür çamurları gibi) bu zorlu ortamlarda kullanılamaz olmakta ve çok pahalı olan sentetik çamurların (>100\$/bbl) kullanılması gerekmektedir. Zorlu sondaj ortamlarında kullanılması önerilen pahalı sentetik çamurlar ise, istenilen çamur özelliklerini sağlayamayabilir. Literatürde bu tür zorlu ortamlarda görev yapabilen çamurların reolojik parametreleri genellikle çamur servisi yapan şirketler tarafından verilirken, su kaybı değerlerinin verilmemesi de ilginç bir durumdur.

Zorlu sondaj ortamı, sondaj akışkanının kolay ve hızlı bir şekilde flokülasyonuna neden olmaktadır. Flokülasyon kil parçacıklarının kenar-kenar ve kenar-yüzey olacak şekilde bir araya oyun kartı destesi gibi gelmesi nedeniyle, çamurun kalınlaşmasını (thickening) ifade eder. Floküle olmuş bir çamurun reolojik (viskozite ve jel kuvveti) ve su kaybı özellikleri kabul edilemeyecek derecede yüksektir ve sondaj akışkanından beklenen görevleri sağlayamamasına yol açarak, önemli teknik ve ekonomik sondaj sorunlarına neden olmaktadır. Sondaj akışkanının flokülasyonuna neden olan üç temel unsur (1) formasyonlardan çamura giren yüksek aktif katı madde miktarı, (2) yüksek sıcaklık ve (3) yüksek elektrolit konsantrasyonudur (yüksek tuzluluk). Sonuç olarak, bu tür zorlu sondaj ortamlarında yüksek aktif katı madde girişiyle birlikte hem yüksek sıcaklık, hem de çok farklı tuz konsantrasyonlarında etkin çamur(lar)a gereksinim vardır. Bu özelliklere sahip olan çamur, aynı zamanda çamur sistemine aktif katı madde girişine neden olan şey zonları ve şeylce zengin formasyonların sondajı sırasında kuyu stabilitesi dengesinin sağlanması görevini de yerine getirecektir.

### 3. SEPIOLİT ÇAMURLARI

Fiber yapılı bir magnezyum silikat kil minerali olan sepiolit, yüksek sıcaklık ve yüksek tuzlu ortamlar için önerilmektedir. Her ne kadar sıcaklık etkisi nedeniyle kristal yapısında küçük değişiklikler olsa bile, sepiolit 500 °F (260 °C) sıcaklıklara kadar yapısını koruduğu bilinmektedir [2,3,4,5,6,7,8]. Bununla birlikte, sepiolit temel yapısının doymuş tuzlu su ortamında da değişime uğramadığı rapor edilmektedir. Bu nedenle, sepiolit temelli çamurlar, özellikle yüksek sıcaklığın çamur üzerine sorun oluşturduğu kuyuların delinmesi için iyi bir alternatif olarak değerlendirilebileceği önerilmektedir, [9, 10].

Dünya sepiolit rezervlerine sahip ülkeler arasında Türkiye ilk sırada veya bazı çalışmalarda İspanya'dan sonra ikinci sırada gösterilmektedir. Jeotermal sondajların yanında, sıcaklık ve tuzluluğun yüksek olduğu derin petrol ve gaz kuyularının ve/veya tuz domlarının sondajında da kullanılacak nitelikte sepiolit çamurlarının geliştirilmesi, ülkemizde bulunan sepiolit yataklarının değerlendirilmesine yol açarak, ülke ekonomisine de katkıda bulunabilecektir. Türkiye ve dünya sepiolit rezervlerinin durumu, farklı sepiolit yataklarından alınan örneklerle hazırlanan sepiolit çamurlarının yüksek sıcaklık, yüksek basınç (YSYB) ve tuzluluklardaki reolojik ve su kaybı özellikleri, sepiolit killerin jeolojik oluşumu bilgileri, yaygın endüstriyel kullanım alanları [11] reolojik ve su kaybı özelliklerinin ticari katkıları ile nasıl kontrol altına alınabileceği [10] yaptıkları çalışmada verilmektedir. Belirtilen çalışmaların ortak özellikleri, aktif katı girişiyle kirlenen sepiolit çamur özelliklerinin nasıl etkilendiğinin çalışılmamış olmasıdır.

### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Sivrihisar-Eskişehir civarından elde edilen ve TTB ticari adıyla bilinen sepiolit kili ile Amerikan Petrol Enstitüsü (API) standartlarında belirtilen kriterlere göre hazırlanan sondaj çamuruna yüksek aktif katı madde kirlenmesi uygulanmış ve bu kirlenmiş sepiolit çamurunun reolojik ve su kaybı

özelliklerinin nasıl kontrol altına alınabileceği araştırılmıştır. Çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan sepiolit killeri öğütüldükten sonra, 200 mesh (74 mikron) elekten geçirilmiştir. Sepiolitlerin içerisindeki yabancı maddeler ayıklanmamış ve içerisine özelliklerini geliştirici hiçbir katkı maddesi eklenmemiştir. TTB sepiolit çamurunun mineral kompozisyonu açısından %100 sepiolit grubuna ait olduğu belirlenmiştir [9]. TTB kilinin XRF analiz sonuçları Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2.** TTB Sepiolit Kilinin XRF Analiz Değerleri.

Örnek no	CaO %ağırlık	MgO %ağırlık	SiO <sub>2</sub> %ağırlık	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %ağırlık	K <sub>2</sub> O %ağırlık	Na <sub>2</sub> O %ağırlık	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %ağırlık
TTB	4.37	23.22	52.31	1.23	0.35	<0.01	2.69

TTB sepiolit kili ile hazırlanan çamur örneklerinin reolojik ve su kaybı özellikleri belirlenirken API RP-13B Standardında belirtilen prosedürler bu çalışmada takip edilmiştir. Standartlarda belirtilmeyen durumlar için, örneğin aktif katı madde ile kirletme, endüstrinin uyguladığı pratikler göz önüne alınmıştır. Çamur örnekleri 350 ml tatlı suya farklı TTB kil miktarı eklenerek hazırlanmıştır. Bu değerler, ağırlaştırılmamış çamurlar için 20 g ve ağırlaştırılmış çamurlar için 10 g’dır ve sırasıyla 20 lbm/bbl ve 10 lbm/bbl konsantrasyona karşı gelmektedir. Ağırlaştırılmamış ve API barit ile ağırlaştırılmış sepiolit çamur örneklerinin kompozisyonları Tablo 3’te çamur kodlarıyla birlikte verilmektedir. Kompozisyonu oluşturan öğeler, sırasıyla TTB sepiolit kili, soda külü, viskozite kontrol edici ticari polimer, su kaybı kontrol edici ticari polimer, ağırlaştırıcı API barit ve stabilite sağlayıcı glikoldür. Tablodaki değerler her bir maddenin su miktarına göre (kütlece veya hacimce) hangi oranda kullanıldıklarını göstermektedir. Çalışmada ağırlaştırma yapılmadan tatlı su ile hazırlanan çamurlar SM-1 ve SM-2 koduyla, ağırlaştırılarak tatlı su ile hazırlanan çamurlar SM-3 ve SM-4 koduyla ve ağırlaştırılmayla birlikte tuz girişine izin verilerek hazırlanan çamur SM-5 koduyla gösterilmiştir.

**Tablo 3.** TTB Sepioliti ile Hazırlanan Çamur Örneklerinin Kompozisyonu.

Malzeme	Miktar (lbm/bbl)	
	Ağırlaştırılmamış	Ağırlaştırılmış
TTB Sepiolit	20	10
Soda külü	0,1	0,1
Polimer – 1	4	4
Polimer – 2	5	5
Barit	-	150
Glikol	% 3 hacimce	% 3 hacimce

Aktif katı madde girişi ile kirlenme etkisinin simülasyonu endüstrinin bu amaçla kullandığı OCMA kili ile gerçekleştirilmiştir. OCMA kili API bentonit kil özelliklerini sağlayan aktif bir kil türüdür, [9]. OCMA kili sepiolit çamurunun hazırlanmasından sonra çamura kirletici olarak 80 lbm/bbl konsantrasyonunda eklendikten sonra, kirletilmiş çamur 16 saat süre ile hem 300 hem de 350 °F sıcaklıkta yaşlandırılmıştır. Ağırlaştırılmış çamur örneğine (SM-5) aktif katı madde OCMA kili girişi ve yüksek sıcaklıkla birlikte, yüksek tuz konsantrasyonunun etkilerini belirlemek için 120 lbm/bbl konsantrasyonda sodyum klorür tuzu eklenmiştir. Çamurun tuzluluk değeri ölçüm sonucunda 200.000 ppm NaCl eşdeğer olarak bulunmuştur. Teorik olarak 120 lbm/bbl tuz eklenerek hazırlanan çamurun tuzluluğu 255.000 ppm (ağırlıkça %25.5) olması gerekir, ancak elde edilen sonucun daha küçük olması tuzun saflığının düşük olmasıyla birlikte nem içeriğinin yüksek olmasından da kaynaklanıyor olabilir.

Sepiolit çamur örneklerinin reolojik özellikleri 120 °F sıcaklıkta Fann 35 model viskometre kullanılarak, altı farklı hızda belirlenmiştir. Çamurların jel kuvveti değişimi ise 1 saniye, 1 dakika ve 10 dakika olmak üzere üç farklı zaman değerlerinde ölçülerek belirlenmiştir. Çamur örneklerinin API statik su kaybı değerleri standart yüksek sıcaklık yüksek basınç (YSYB) filtrasyon presinde 300 °F sıcaklıkta ve 100 psi basınç farkında ölçülmüştür.

Ölçümler sonucunda elde edilen reolojik değerlerin uygunluğu ve farklı çamur türlerinin etkinliğinin karşılaştırılabilmesi için literatürde verilen yöntem takip edilmiştir. Bu yöntemde esas alınan ölçüt, sondaj çamurunun kesintileri taşıma kapasitesidir. Kontrol edilebilen sadece üç sondaj akışkan parametresi çamurun kesintileri kuyudan taşıyabilmesi yeteneğini geliştirebilir. Bunlar, çamurun anülüsteki ortalama hızı, çamur yoğunluğu ve çamur viskozitesidir (power law reoloji modeli ile tanımlanan akışkanın viskozitesi, K). Sahalarda düşey veya düşeye yakın kuyuların sondajlarında on yıllık bir süre içerisinde yapılan gözlemlerden bu üç parametrenin çarpımı 400.000 veya daha yüksek ise taşınan kesintilerin keskin köşeli oldukları, yani parçalanmadan taşındıkları belirlenmiştir. Burada sırasıyla bu üç parametrenin birimi ft/dk, lb/gal ve cp olarak verilmektedir. Eğer bu üç parametrenin çarpım değeri 200.000 civarında ise kesintilerin oldukça yuvarlatılmış bir şekle sahip olduklarını ve kuyudan taşınmaları sırasında öğütülmeye uğradıklarını göstermektedir. Eğer bu çarpım değeri 100.000 veya daha küçükse, kesintiler çok küçük boyutlu veya hemen hemen tanecik yapıda oldukları kabul edilmektedir. Sonuç olarak, taşıma kapasitesi indeksi (carrying capacity index, CCI) bu üç parametrenin çarpımının 400.000 değerine oranı olarak tanımlanmaktadır ve aşağıda Denklem 1 ile ifade edilmektedir [9].

$$CCI = \frac{v_a \rho_m K}{400.000} \quad (1)$$

burada,

- CCI : Taşıma kapasite indeksi, boyutsuz  
 $v_a$  : Anülüs çamur hızı, ft/dk  
 $\rho_m$  : Çamur yoğunluğu, lbm/gal  
K : Power law akışkan kıvamlilik indeksi, cp

İyi bir kuyu temizliğinin sağlanabilmesi için CCI değerinin 1 veya daha yüksek olması gerekmektedir. Eğer hesaplanan CCI değeri 1'den çok küçük ise Denklem 1 ile verilen bağıntı CCI'nın 1 değeri için yeniden düzenlenerek kesintileri etkin bir şekilde yüzeye taşımak için gerekli viskozite parametresi K değeri hesaplanabilir. Endüstride çamur raporlarında reolojik değerler çoğunlukla Bingham plastik modeli parametrelerine göre verildiği için, Denklem 1'in kullanılabilmesi K parametresinin Bingham plastik model parametreleri plastik viskozite (PV) ve akma noktası (YP) değerlerinden hesaplanması gerekmektedir. Eğer Bingham plastik akışkan reoloji parametreleri var ise, bu durumda Şekil 2'de verilen grafik kullanılarak Denklem 1 için gerekli K parametresi grafiksel olarak elde edilebilir. Çamurun PV ve YP değerlerinden elde edilen K değeri, Denklem 1'de CCI'nın 1 olması için gerekli minimum anülüs çamur hızının hesaplanmasında ( $v_a$ ) kullanılır.

Eğer akışkana ait 600 ve 300 dev/dk hızlarda kadran okumaları var ise, bu durumda K parametresi akış davranış indeksi (n) parametresinden hesaplanabilir. Denklem 2, akış davranış indeksi (n) parametresinin hesaplanmasında ve Denklem 3 ise power law reolojik model akışkan kıvamlilik indeksi (K) parametresinin hesaplanmasında kullanılabilir.

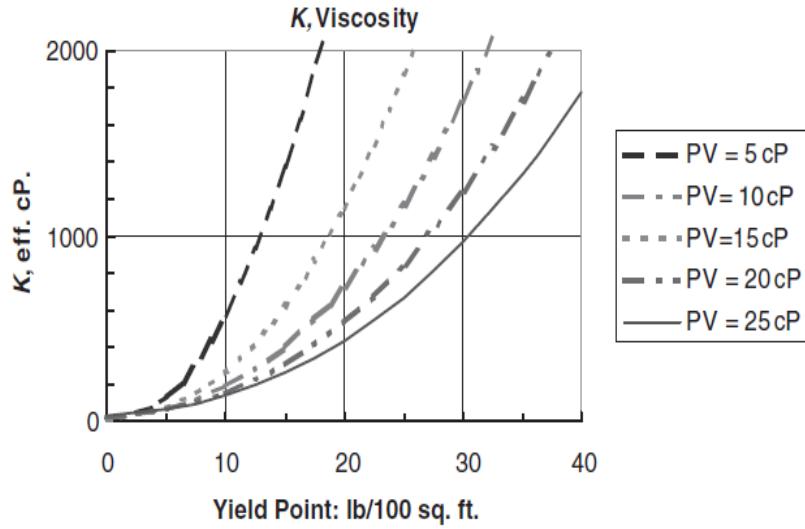
$$n = 3,32 \log \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \quad (2)$$

$$K = \frac{510 \theta_{300}}{511^n} \quad (3)$$

Bu denklemlerde,

- n : power law akışkan davranış indeksi, boyutsuz  
 $\theta_{600}$  : akışkanın viskometrede 600 dev/dk hızdaki kadran okuması, boyutsuz  
 $\theta_{300}$  : akışkanın viskometrede 300 dev/dk hızdaki kadran okuması, boyutsuz  
K : power law akışkan kıvamlilik indeksi, cp.





**Şekil 2.** Power law K Parametresinin Bingham Plastik Parametrelerinden Bulunması Grafiği, [9].

## 5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Tatlı ve tuzlu su fazlı olacak şekilde TTB sepioliti kullanılarak ağırlaştırılmamış ve API barit ile ağırlaştırılmış halde hazırlanan ve aktif katı madde ile kirlenmiş örneklerin farklı sıcaklıklardaki reolojik, su kaybı ve pH değişim değerleri Tablo 4'te listelenmiştir. Tablodan da görüleceği gibi tatlı su ile hazırlanan ağırlaştırılmamış çamur örneklerinin yoğunluğu 8,9 lbm/gal ve API barit ile ağırlaştırılmış çamur örneklerinin yoğunluğu 10,9 lbm/gal ve 120 lbm/bbl konsantrasyonunda sodyum klorür tuzu girişine izin verilen ağırlaştırılmış çamur örneğinin yoğunluğu 12,7 lbm/gal olarak ölçülmüştür. Bütün çamur örneklerinde aktif kil ile kirlenme etkisini belirlemek amacıyla kullanılan OCMA kili 80 lbm/bbl konsantrasyonda kullanılmıştır. Çamur örnekleri 300 ve 350 °F sıcaklık koşullarında test edilmiştir.

Sepiolit temelli çamurlar reoloji ve su kaybı olarak en iyi performanslarını 7-9 pH değerleri aralığında verdikleri tabloda görülmektedir. Çamura lbm/bbl olarak giren aktif katı madde miktarı API standartlarında belirtilen Metilen Mavisi Testi (MMT) yöntemi ile belirlenmektedir. MMT değeri çamura giren katıların aktiflik değerine göre değişebilir. Katıların aktiflik değeri arttıkça, testten elde edilen MMT değeri de artacaktır. Daha önce belirtildiği gibi, çamurun floküle olmasının ana nedenlerinden bir tanesi yüksek miktardaki aktif katı madde girişidir ve kontrol altına alınmalıdır. Üzerinde genel bir düşünce birliği olmamakla birlikte, çamurdaki toplam aktif katı madde miktarını veren MMT değerinin 17,5 lbm/bbl olması önerilmektedir, [12]. Eğer diğer çamur özellikleri uygun ise normal ve orta sıcaklıklarda MMT değerinin 22-23 lbm/bbl olması kabul edilebilir olarak bildirilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda MMT'nin bu sınır değerinin daha da artacağı göz önüne alınmalıdır. Tatlı su ile ağırlaştırılmamış (SM-1 ve SM-2) ve API barit ile ağırlaştırılarak hazırlanan çamur örneklerinde (SM-3 ve SM-4) MMT değeri yüksek sıcaklığa rağmen 12-13 lbm/bbl değerinde ölçülmüştür ve sepiolit temelli hazırlanan çamurların bu ölçütü çok büyük bir başarı ile sağladığı gözlenmektedir. Sistem yüksek oranda tuz ile kirlendiğinde (SM-5) MMT değerinin 11 lbm/bbl olduğu gözlenmiştir. Sistemdeki tuzun varlığının killerin aktifliklerini düşürdüğü bilinmektedir ve elde edilen sonuçta bu durumu doğrulamaktadır. Ancak tuzluluk nedeniyle sepiolit çamur örneklerinin MMT değerindeki azalım önemsizdir ve sepiolit çamurlarının tuzlu ortamlarda kullanılabileceği görüşüyle paraleldir.

**Tablo 4.** Aktif Katı ile Kirletilmiş TTB Sepiolit Çamurlarının Kontrol Altına Alınan Reoloji ve Su Kaybı Özellikleri.

Kompozisyon ve Özellikler		Ağırlaştırılmamış çamur (Tatlı su)		Ağırlaştırılmış çamur (Tatlı su)		Ağırlaştırılmış çamur (Tuzlu su)
TTB sepiolit miktarı, lbm/bbl		20		10		10
NaCl, ppb		-		-		120
OCMA, ppb		80		80		80
Çamur kodu		SM-1	SM-2	SM-3	SM-4	SM-5
Yaşlandırma sıcaklığı, °F		<b>300</b>	<b>350</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>350</b>
Yaşlandırma süresi, saat		<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
MBT, lb/bbl		12,00	12,00	12,50	13,00	11,00
Çamur yoğunluğu, lb/gal		8,90	8,90	10,90	10,90	12,70
Çamur pH (pH metre ile)		8,00	8,00	8,00	8,00	7,20
Filtrasyon pH (pH metre ile)		8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
pH ölçme sıcaklığı, °F		75	80	80	80	80
Kadran okuması	600 dev/dk	61	77	68	73	62
	300 dev/dk	42	53	44	49	41
	200 dev/dk	34	43	37	39	33
	100 dev/dk	25	30	27	27	24
	6 dev/dk	9	9	8	7	10
	3 dev/dk	7	7	6	6	9
Reoloji ölçüm sıcaklığı, °F		<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
Plastik viskozite (PV), cp		19	24	24	24	21
Akma noktası (YP), lbf/100 ft <sup>2</sup>		23	29	20	25	20
Jel kuvveti, 10s./ 1dk./ 10dk.		8/10/13	8/11/20	8/9/20	8/10/25	5/7/15
Su kaybı ölçüm sıcaklığı, °F		<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
Su kaybı, cc (7.5/30dk)@100 psi		4,4/10	6/13	5/12	6,2/15	8/17
Kek kalınlığı, mm		2,5	2,5	6	6	5
Klor içeriği (Cl), ppm		-	-	-	-	200,000
Kıvamlilik indeksi (n)		0,5381	0,5386	0,6277	0,5748	0,5963
Akış davranış indeksi (K), cp		<b>747</b>	<b>940</b>	<b>448</b>	<b>694</b>	<b>507</b>
Minimum anülüs hızı (v <sub>a</sub> ), ft/dk		<b>62</b>	<b>49</b>	<b>82</b>	<b>53</b>	<b>62</b>

Sadece 20 lbm/bbl konsantrasyon sepiolit katılarak hazırlanan çamurun MMT değerinin 5 lbm/bbl olduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir, [9]. 5 lbm/bbl MMT değerine karşı gelen katyon değiştirme kapasitesi (KDK) 18 meq/100 g değerine eşittir ve literatürde attapulgit ve sepiolit kili için verilen 10-25 meq/100 g değeriyle uyusmaktadır, [1]. KDK değeri killerin hidratlaşma yeteneğini göstermektedir ve killerin KDK değerleri yükseldikçe su kayıplarının azalacağını göstergesidir. Montmorillonit kil türü olan ticari bentonitin KDK değeri 70-150 meq/100 g olarak rapor edilmektedir. Bu değerler sepiolit temelli çamurların su kaybı değerlerinin bentonit çamurlarına göre oda sıcaklığında çok daha fazla olmasının bir göstergesidir. Ancak, bentonit temelli çamurlar orta sıcaklıklar ve düşük tuzluluklarda sadece su kaybı açısından değil, aynı zamanda reolojik değerler açısından da bütün yararlı özelliklerini kaybetmekte, KDK değerleri pratik olarak sıfır veya önemsiz hale gelmektedir. Diğer taraftan, sepiolit temelli çamurlar yüksek sıcaklık ve yüksek tuzluluk koşullarında dahi hem reolojik, hem de su kaybı özelliklerini büyük oranda koruyabilmekte, KDK



değerlerinde az veya önemsiz düşüşler göstererek, zorlu sondaj koşullarında avantajlı bir çamur seçeneği olmaktadır.

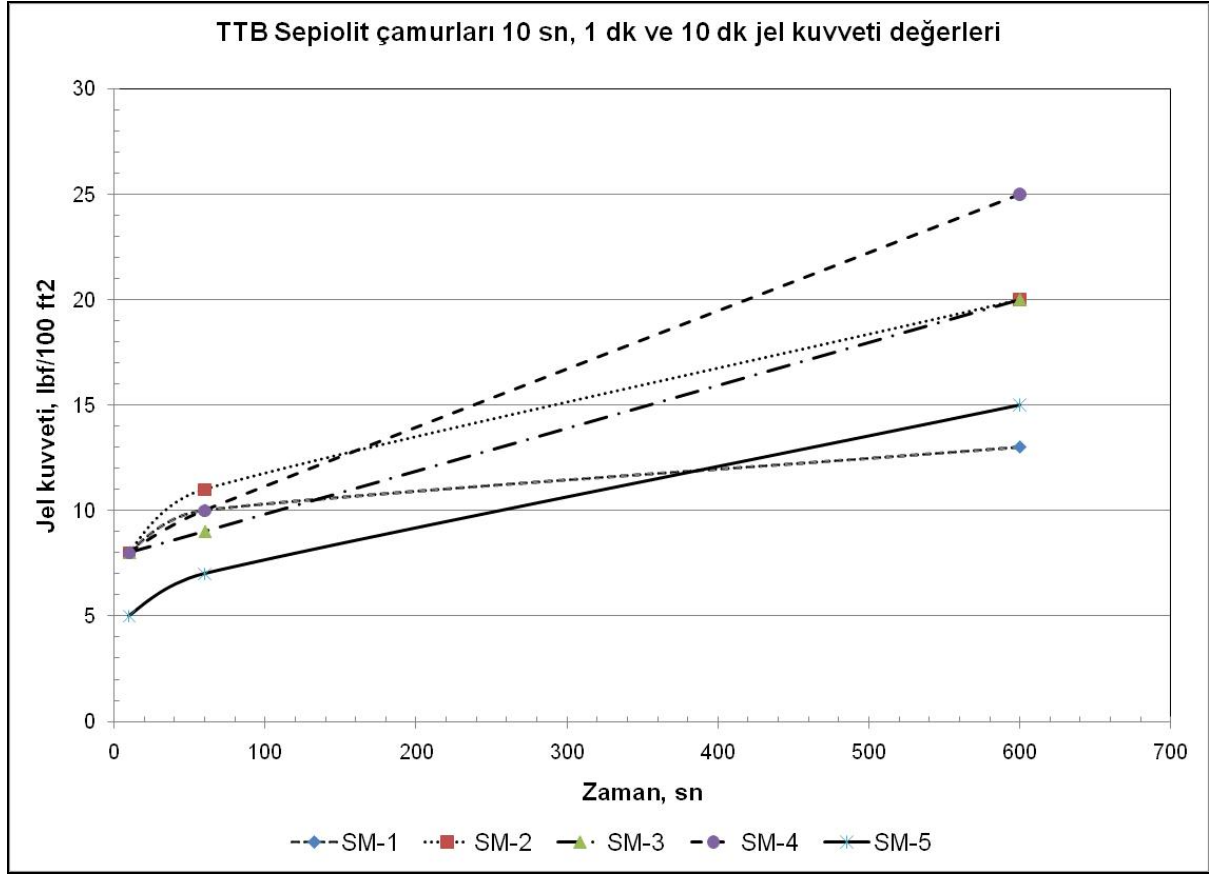
Sepiolit çamurlarının reolojik değerleri altı farklı hızda vizkometre ile yapılan ölçümlerden belirlenmiştir. Bütün çamurların PV ve YP viskozite değerleri viskometrenin 600 ve 300 dev/dk hız ölçümlerinden elde edilmiştir ve tabloda listelenmiştir. Farklı hızlardaki viskometre okumaları da Tablo 4'te verilmektedir. Bütün çamur örneklerinin PV değerleri 19-24 cp arasında ve YP değerleri 20-29 lbf/100 ft<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Ağırlaştırılmamış kil temelli çamurlarda PV değerinin 120 °F sıcaklıkta 5-12 cp arasında olması önerilmektedir [1] ve artan yoğunluk ile PV değerlerinin de arttığı belirtilmektedir, örneğin 11 lbm/gal yoğunluklu çamur için 120 °F'ta önerilen PV değer aralığı 8-19 cp'dir. Diğer taraftan bu PV değerlerinin aynı zamanda artan sıcaklık ile de arttığı bilinmektedir. Sepiolit çamurlarının tuzlu ortamlarda daha iyi performans gösterdiği bilindiği için, burada tatlı su ile elde edilen sonuçlar çok yüksek sıcaklıklar için de kabul edilebilir değerlerdedir. Diğer taraftan, deneyde kullanılan sepiolit çamurlarının yüksek miktarda (80 lbm/bbl) aktif katı ile kirlenmesi nedeniyle PV değerlerinde bir yükselmenin olacağı açıktır. Unutulmamalıdır ki, bu sıcaklıklarda diğer kil temelli (bentonit, attapulgit, saponit gibi) çamurlar etkin değildirlir.

Ağırlaştırılmamış kil temelli çamurlarda YP değerinin 120 °F sıcaklıkta 3-30 lbf/100 ft<sup>2</sup> arasında olması önerilmektedir [1] ve artan yoğunluk ile YP değerlerinin aktif olmayan API barit eklenmesi nedeniyle azaldığı belirtilmektedir, örneğin 11 lbm/gal yoğunluklu çamur için 120 °F'ta önerilen YP değer aralığı 4-23 lbf/100 ft<sup>2</sup> iken 12,7 lbm/gal yoğunluklu çamur için YP değer aralığı 6-19 lbf/100 ft<sup>2</sup> olarak önerilmektedir. Genel olarak çamurların YP değerleri artan sıcaklık ile PV'ye göre daha fazla artacaktır, bu durum Tablo 4'te verilen farklı sıcaklıklardaki ölçümler ile paralellik göstermektedir. Örnek sepiolit çamurlarındaki aktif katı madde miktarı ve yüksek sıcaklık koşulu göz önüne alındığında, elde edilen YP değerlerinin çok uygun olduğu söylenebilir. Benzer şekilde, bu sıcaklıklarda diğer kil temelli (bentonit, attapulgit, saponit gibi) çamurlar etkin değildirlir.

Reolojik olarak çamurların etkinlikleri sahip oldukları PV, YP değerlerine göre değil, CCI performanslarına göre belirlenmelidir. Etkin bir kuyu temizliği koşulu kabulünde (CCI değerinin 1 olması) gerekli minimum anülüs ortalama çamur hızları Denklem 1'den hesaplanmaktadır. Sondaj endüstrisinde düşey ve düşeye yakın açılı kuyularda etkin bir kuyu temizliği için kabul görmüş gerekli ortalama anülüs çamur hızı ( $v_a$ ) 100 ft/dk olarak belirtilmektedir. Ancak, yeni nesil çamurların geliştirilmiş özellikleri nedeniyle aynı kuyu temizliğini sağlamak için gerekli anülüs çamur hızlarının daha da düşük olabileceği rapor edilmektedir, [1]. Diğer bir deyişle, anülüste yüksek çamur hızlarının sağlanabilmesi için daha yüksek debilerde çamur pompası çalıştırılmalıdır, dolayısıyla yüksek pompa hızlarına ulaşmak için daha fazla enerji harcanacağı için sondaj maliyeti artacaktır. Bu çalışmada Tablo 4'te verilen sepiolit çamurları özellikleri kullanılarak hesaplanan etkin bir kuyu temizliği için gerekli minimum çamur hızları bütün örnekler için yukarıda verilen değerden daha düşüktür. Tabloda listelendiği gibi anülüs çamur hızları 49-82 ft/dk aralığındadır. Bu değerler, sepiolit çamurlarının zorlu koşullarda (yüksek aktif katı kirlenmesi, ağırlaştırıcı olarak inert katı girişi, yüksek sıcaklık ve yüksek tuzluluk) etkin bir kuyu temizliğini düşük enerji maliyetleriyle yerine getirebildiğini göstermektedir.

Beş farklı sepiolit çamuruna ait jel kuvveti ölçüm değerleri Tablo 4'te üç farklı zaman için (10 sn, 1 dk ve 10 dk) verilmektedir. Bu çamurlardan SM-2, SM-4 ve SM-5'e ait zamana bağlı jel kuvvetlerindeki değişim Şekil 3'te görülmektedir. Jel kuvvetleri yoğun aktif katı girişi ve yüksek sıcaklık nedeniyle azda olsa yüksek olmasına rağmen, şekilden de görüleceği gibi zamanla ilerleyen (progressive) veya kırılğan (fragile) yapıda değildir. Genel olarak, sondaj akışkanının durağan koşullarda oluşturacağı jel kuvvetinin ilk başlarda zaman ile bir miktar artan ancak kısa bir süre sonra zamanla değişiminin az arttığı veya sabit hale gelecek şekilde bir özellik göstermesi istenmektedir. Eğer jel kuvveti davranışı ilerleyen yapıdaysa, sondaj çamuru yarı katı gibi davranarak kuyu içi log ölçümler yapılmasına engel olmaktadır. Bu durum bentonit çamurlarının kullanıldığı jeotermal kuyularda karşılaşılabilen bir durumdur. Aksi durumda, eğer jel kuvveti davranışı kırılğan yapıdaysa, sirkülasyon durdurulduğunda anülüsteki kesintiler kuyu dibine çökerek dizi sıkışmalarına veya kuyu dibinin tekrar sondajının yapılmasına neden olabilmektedirler. Sepiolit çamur örneklerinin Şekil 3'te verilen davranışlarından, jel kuvveti değişiminin ne ilerleyen ne de kırılğan bir yapıda olduğu, dolayısıyla sirkülasyon herhangi bir nedenle durdurulduğunda kesintilerin kuyu dibine çökmelerine engel olurken, yarı katı gibi davranmadıkları için kuyu içi diğer operasyonlara izin verebildiği görülmektedir. Polimer eklenmiş sistemlerde 10 dk jel kuvvetinin 40 lbf/100 ft<sup>2</sup>'den daha küçük olması ve başlangıç jel kuvvetinin ise

statik halde çamurdaki kesintilerin taşıyabilmesi için en az 8 lbf/100 ft<sup>2</sup> olması gerektiği belirtilmektedir, [12]. Sepiolit çamur örneklerinin bu referans değerlerini başarılı bir şekilde sağladığı Tablo 4'te listelenen değerlerden görülmektedir.



**Şekil 3.** TTB Sepiolit Çamurlarının Jel Kuvveti Davranışları.

Çalışmada kullanılan ve 350 °F sıcaklıkta 16 saat süreyle yaşlandırılan sepiolit çamurlarının API su kaybı ölçümleri 300 °F gibi yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu koşullarda ölçülen API su kaybı değerleri hem tatlı su (SM-1) hem de tuz girişi olması (SM-5) durumunda 10-17 ml/30 dk aralığındadır. Zorlu koşullar göz önüne alındığında, elde edilen sonuçlar endüstri tarafından kabul edilen değerlerin oldukça altındadır ve sepiolit çamurlarının bu yönüyle zorlu koşullar için iyi bir alternatif olduğunun göstergesidir. Bu çamurların kek kalınlıkları değerleri ise ağırlaştırılmamış çamurlarda (SM-1 ve SM-2) 2,5 mm iken barit ile ağırlaştırılmış çamurlarda (SM-3, SM-4 ve SM-5) 5-6 mm olarak gözlenmiştir. Kek kalınlığının yüksek olmasının nedeni sistemde ağırlaştırıcı olarak kullanılan aktif olmayan API bariti nedeniyle ve beklenen sonuçtur. Yüksek kek kalınlığı değerlerinin dizi sıkışmasına neden olabileceği unutulmamalıdır.

## SONUÇ

Yüksek sıcaklık (350 °F) ve yüksek tuzluluk değerlerinde (120 lbf/bbl) TTB sepiolit kili kullanılarak hazırlanan sepiolit çamurlarının yüksek aktif katı madde ile (80 lbf/bbl) kirletilmesi sonucunda reoloji ve su kaybı özellikleri değişiminin ve nasıl kontrol altına alınabileceğinin incelendiği bu deneysel çalışmada aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

- Plastik viskozite (PV), Akma noktası (YP) ve Jel kuvveti değerleri açısından, etkin bir şekilde kuyuların sondajı için kullanılabilirliğini göstermektedir. Reolojik değerler hem ağırlaştırılmamış hem de aktif olmayan API barit ile ağırlaştırıldığında kabul edilebilir seviyelerdedir.
- Dinamik koşulda etkin bir kuyu temizleme görevini başarıyla yerine getirebilme özelliği gösterirken, statik koşullarda da kesintilerin çökmesini engelleyebilmektedir. Bu zorlu koşullar altında endüstrinin kabul ettiği sınırlar içerisinde jel kuvvetleri vermektedir. Sepiolit çamur örneklerinin zamanla jel kuvveti değişim davranışı durağan haldeyken hem kesintilerin kuyu dibine çökmelerine engelledikleri hem de yarı katı gibi davranmadıkları için özellikle jeotermal kuyularda bir sorun olan kuyu içi log alımının yapılmasına olanak verdikleri gözlenmektedir.
- Bu çamurların kullanılmasıyla sağlanabilecek etkin kuyu temizleme için gerekli minimum anülüs çamur hızları literatürde önerilen ortalama değerinin altında olduğu için, daha düşük enerji maliyetleri ile sondajın yapılabilirliğini belirtmektedir.
- Yüksek sıcaklıkta belirlenmelerine rağmen, API su kaybı değerleri saha kullanımında istenilen sınırların altında kalarak oldukça iyi performans göstermektedirler.
- Tuzlu ortamlarda olan etkinlikleri göz önüne alındığında, sepiolit çamurlarının aktif katı içeren şeyl zonları veya şeyl içeriğince zengin formasyonların sondajında karşılaşılan kuyu stabilitesi problemini önleyebileceği ve/veya minimum değerlerde tutabileceği bu çalışma ile açık bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Bu özelliği ile, zorlu koşullarda kuyuların hem teknik hem de ekonomik bir şekilde sondajlarının yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.
- Sepioit çamurlarının aktif katı madde kirlenmesine karşı duyarsız veya ihmal edilebilecek kadar etkilendikleri gösterilmiştir. Bu yönüyle, çamurlarda flokülasyona neden olan üç temel koşulun (aktif katı girişi, yüksek sıcaklık ve yüksek elektrolit konsantrasyonu) bulunduğu ortamlar için çok iyi bir alternatif çamur olabileceği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] BOURGOYNE Jr. A.T. et al., Applied Drilling Engineering, SPE Textbook Series, Vol. 2, Richardson, TX, USA, 1991.
- [2] GUVEN, N., PANFILL, D.J. and CARNEY, L.L., Comparative Rheology of Water-Based Drilling Fluids With Various Clays, Bildiri, SPE Paper No: 17571, International Meeting on Petroleum Engineering, Tianjin, China, November 1-4, 1988.
- [3] CARNEY, L.L., GUVEN, N., and MCGREW, G.T., Investigation of High-Temperature Fluid Loss Control Agents in Geothermal Drilling Fluids, Bildiri, SPE Paper No: 10736, California Regional Meeting, San Francisco, CA, USA, March 24-26, 1982.
- [4] CARNEY, L.L., GUVEN, N., Investigation of Changes in the Structure of Clays During Hydrothermal Study of Drilling Fluids, Makale, Journal of Petroleum Technology, pp. 385-390, October, 1980.
- [5] ALTUN, G., SERPEN, U., Investigating Improved Rheological and Fluid Loss Performance of Sepiolite Muds under Elevated Temperatures, Bildiri, Dünya Jeotermal Kongresi, Antalya, Türkiye, 24-29 Nisan 2005.
- [6] SERPEN, U., HACIISLAMOĞLU, M., TUNA, O., Use of Sepiolite Resources of Turkey in geothermal Muds, Bildiri, 9<sup>th</sup> International Petroleum Congress of Turkey, Ankara, 17-21 February 1992.
- [7] SERPEN, U., Use of Sepiolite Clay and Other Minerals for Developing Geothermal Drilling Fluids, Makale, Journal of Applied Mechanics and Engineering, vol 4, özel sayı, 1999.
- [8] SERPEN, U., Investigation on Geothermal Drilling Muds with High Temperature Stability, Bildiri, Dünya Jeotermal Kongresi, Kyushu-Tohoku, Japonya, 28 Mayıs - 10 Haziran 2000.
- [9] OSGOUEI, A. E., Controlling Rheological and Filtration Properties of Sepiolite Based Drilling Fluids under Elevated Temperatures and Pressures, Master tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Haziran 2010.
- [10] ALTUN, G., OSGOUEI, A. E., SERPEN, U., Controlling Rheological and Fluid Loss Properties of Sepiolite Based Muds under Elevated Temperatures, Bildiri, World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, April 25-29, 2010.

- [11]OSGOEI, A.E., DILSIZ, E.A., ALTUN, G., SERPEN, U., ÇELİK, M., Sivrihisar-Eskişehir Yöresi Sepiolit Killerinin Sondaj Çamuru Olarak Reoloji Ve Su Kaybı Özellikleri, Bildiri, TMMOB Jeotermal Kongresi, Ankara 2010.
- [12]Kingdom Drilling Ltd.: Deepwater Drilling Fluid Design Example, Teknik rapor, 09 Mart 2001.

## ÖZGEÇMİŞ

### Gürşat ALTUN

1988 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Mühendis ve Louisiana Eyalet Üniversitesinden (ABD) 1999 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2000 yılından itibaren İTÜ Maden Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Sondaj mühendisliği, Kuyu logları konularında çalışmaktadır.

### Ali Ettehadı OSGOUEI

1979 yılı Tabriz-İran doğumludur. Eğitim hayatına İran'da başlamış ve 2004 yılında Tebriz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2007 yılında Türkiye'de İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamış ve 2010 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2010 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde sondaj mühendisliği konularında doktora eğitimine devam etmektedir.

### Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra, 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarında çalışmıştır. 1987 yılına kadar İtalyan ELECTROCONSULT mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerde çeşitli jeotermal projelerde danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından beri öğretim görevlisi olarak hizmet verdiği İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'nde 2010 yılında Doçent ünvanı aldıktan kısa bir süre sonra emekli olmuştur. Halen aynı Bölümde Okutman olarak ders vermekle birlikte serbest danışman olarak mesleğini icra etmektedir.