

SU BAZLI SEPIOLİT ÇAMUR ÖZELLİKLERİNİN ZORLU SONDAJ KOŞULLARINDA DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Gürşat ALTUN
Ali Ettehadı OSGOUEI
Umran SERPEN

ÖZET

Sondaj mühendisleri tarafından çok iyi bilinen zorlu sondaj koşulları (1) yüksek sıcaklık, (2) yüksek elektrolit konsantrasyonu ve (3) çoğunlukla yüksek aktif katı içereren şeyllerden kaynaklanmaktadır. Özellikle derin petrol ve gaz kuyularının, jeotermal kuyuların ve şeyl formasyonlarında kazılan alışılmamış gaz ve petrol kuyularının sondajı yüksek performanslı bir sondaj akışkanı formülasyonunu zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma yukarıda bahsedilen zorlu koşulları aşmak için yüksek performanslı yeni bir su bazlı sondaj çamurunun tasarlanması ve özelliklerini karakterize eden deneysel bir çalışma girişimidir. Bu amaçla, Eskişehir yöresinden temin edilen sepiolit kili su bazlı çamur sisteminin formülasyonunda kullanılmıştır. Sepiolit çamur örneklerinin reolojik ve su kaybı özellikleri yüksek sıcaklık ve yüksek tuz konsantrasyonu koşulları uygulanarak ve aynı zamanda yüksek miktarda aktif katı kirlenmesiyle birlikte incelenmiştir. Hem ağırlaştırılmamış hem de ağırlaştırılmış sepiolit çamurları 400 °F sıcaklık ve 260,000 ppm tuz içeriklerine kadar test edilmiştir. Bunlara ek olarak, çamur örneklerinin dinamik ve statik su kayıplarıyla birlikte kuyu temizleme yetenekleri de ayrıca araştırılarak sepiolit çamurlarının etkinlikleri belirlenmiştir.

Sepiolit çamurlarının 400 °F sıcaklıklara kadar floküle olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu çamurlar tuz girişleriyle birlikte aktif katı kirlenmesine karşı da duyarsızdır. Çalışmanın sonucunda sepiolit çamurlarının mükemmel su kaybı ve reolojik davranışlar vererek özellikle yüksek tuzluluk, yüksek sıcaklık ve yüksek aktif katı kirlenmesinin neden olduğu kuyu stabilitesi problemleri beklenen kuyuların sondajı için uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sepiolit kili, Sepiolit çamuru, Kuyu stabilitesi, Yüksek sıcaklık, Yüksek tuzluluk, Dinamik su kaybı, Aktif katı kirlenmesi.

ABSTRACT

It is a well-known fact by drilling engineers that the major hostile drilling conditions result from (1) high temperatures, (2) high electrolyte concentrations, and (3) high active solids mainly originated from shales. These conditions, particularly while drilling deep oil and gas wells, geothermal wells, and unconventional oil and gas wells in shale formations dictate a formulation of high performance drilling fluid.

This study is an experimental attempt to design and characterize the properties of a new high performance water based drilling mud to overcome the aforementioned harsh conditions. For this purpose, sepiolite clay obtained from Eskişehir district of Turkey has been used to formulate this new water based mud system. Rheological and filtration properties of sepiolite mud samples have been

investigated by employing high temperature and high saline content along with high amount of active solid contaminant. Both unweighted and weighted sepiolite muds have been tested at temperatures up to 400°F and salt content up to 260,000 ppm. Moreover, dynamic and static filtration losses as well as hole cleaning ability of samples have been further evaluated to determine the efficiency of sepiolite muds.

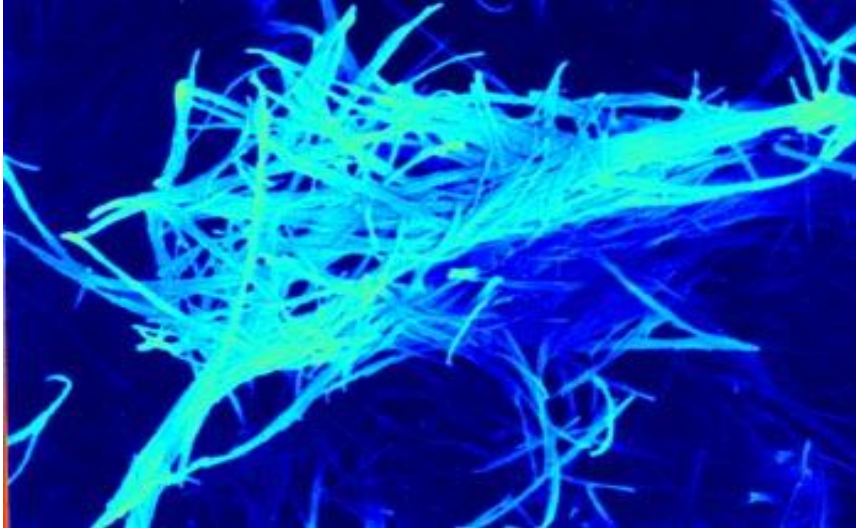
It has been determined that the sepiolite muds have not been flocculated up to 400 °F of temperatures. In addition, these muds are not sensitive to salt intrusion along with active solid contaminants. The results of this study have indicated that sepiolite muds provide excellent rheological and fluid loss properties that are suitable for wells particularly experiencing wellbore stability problems resulted from high salinity, high temperature, and high active solid contaminant.

Key Words: Sepiolite clay, Sepiolite mud, Wellbore stability, High temperature, High salinity, Dynamic filtration loss, Active solid contamination.

1. GİRİŞ

Killer ve kil mineralleri çok önemli endüstriyel minerallerdir. Kil içeren malzemelerin yüzde fazla alanda endüstride kullanımını gösteren dökümanlar mevcuttur. Killer proses endüstrisinde, tarımsal uygulamalarda, mühendislikte ve inşaat uygulamalarında, çevresel iyileştirmede ve daha birçok farklı alanlarda kullanımı olan minerallerdir.

Sepiolit, $\text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ formülü ile ifade edilen, fillosilikat grubuna ait, magnezyum hidrosilikattan ibaret doğal kil mineralidir. Günümüzde sepiolit, yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, gözenekliliği, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli duraylı süspansiyonlar oluşturması vs. gibi teknolojik uygulamalara baz teşkil eden sorptif, katalitik ve reolojik özelliklerinden dolayı çok geniş kullanım alanına sahiptir. Sepiolitin yapısı ısı işlemlere karşı duyarlıdır[1]. Şekil 1'de sepiolitin lifli yapısı görülmektedir. Çizelge 1'de ise sepiolitin önemli kimyasal ve fiziksel özellikleri listelemektedir [2].



Şekil 1. Sepiolitin lifli yapısı[3].

Çizelge 1. Sepiolitin özellikleri [2].

Parçacık şekli	İğne yapılı
Mohs' sertliği	2.0-2.5
Yüzey alanı	150-320 m ² /g
Katyon değiştirme özelliği	30-50 meq/100g
Kafes (lattice) yükü	Orta
API verimi	100-115 bbl/ton
Erime noktası	1550 °C
Bağlama (sorpitivity)	Yüksek
Su bağlama (absorpsiyon)	Kil ağırlığının %100'üne kadar
Petrol bağlama (absorpsiyon)	Kil ağırlığının %80'ine kadar

Dünya sedimanter sepiolit üretiminin büyük bir kısmı İspanya tarafından karşılanmaktadır. Bu durum, rezervlerinin büyüklüğünden çok, son 30 yıllık araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucunda ortaya koydukları 40'ın üzerinde ürün çeşidi ve pek çok sayıda patentten kaynaklanmaktadır. Yine hiç bir rezervi olmamasına rağmen Japonya'nın sepiolit konusunda 4.000'in üzerinde patenti olduğu belirtilmektedir. Maden Tetkik Arama Enstitüsü (M.T.A.)'nin değişik projeler kapsamında yaptığı çalışmalarda, İspanya'dan sonra dünyanın en büyük sepiolit rezervlerinin Türkiye'de olduğu ve üç ayrı kalitede sedimanter kökenli sepiolitin varlığı tespit edilmiştir [1]. Son dönemlerde sepiolit kili ve rezervleri konusunda yapılan yeni çalışmalar, bilinenin aksine Türkiye'nin rezerv açısından daha zengin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, sepiolitin sondaj endüstrisinde kullanılması, dünyanın en büyük sepiolit yataklarına sahip ülkemiz adına oldukça önemli ekonomik fırsatlar yaratabilecek ve oluşturacağı katma değer yükselecektir[4,5].

Sepiolit ilaç sanayiinden seramik sektörüne, tarım sektöründen hayvancılık ve besicilik sektörüne, katalitik uygulamalarda lif takviyeli çimento üretimine, kauçuk sanayiinden bioreaktörlere, endüstriyel atık suların arıtılmasından atık baca gazlarının temizlenmesine vb. gibi çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur.

Petrol, gaz ve jeotermal kuyuların sondajı için en iyi sondaj akışkanının seçimi ve özelliklerinin uygun halde tutulması sondaj mühendislerinin önemli ilgi alanı içerisinde. Sondaj akışkanı doğrudan ya da dolaylı olarak çoğu sondaj problemleri ile ilişkilidir. Eğer sondaj akışkanı görevlerini etkin bir şekilde yerine getiremez ise kuyunun terkedilmesine kadar uzanabilecek sonuçlar ile karşılaşılabilir. Bu nedenle, hem sondaj akışkanının seçiminde hem de çamurun hazırlanması formülasyonunda çok dikkat edilmelidir.

Genellikle, jeotermal sondajlarda kullanılan tatlı su temelli katkılı bentonit çamurları kuyu sıcaklığının çok yüksek olması nedeniyle bentonit tabakaları arasında meydana gelen flokülasyon sonucu kolaylıkla bozulmaktadır. Bu fiziksel olay sondaj operasyonunu olumsuz etkiler ve sondaj maliyetlerini artırır. Ayrıca, çamurun aşırı jelleşmesi nedeniyle oluşan mekanik zorluklar log aletlerinin ölçüm yapmak için kuyuya indirilmesinde problemler de çıkarabilmektedir. Benzer şekilde çamurda flokülasyon meydana getiren ve sondaj operasyonu sırasında diğer bir istenmeyen durum ise tuzlu suyun çamura girmesidir. Yüksek sıcaklıklı ortam ve tuz kirlenmesi tatlı su bentonit çamurlarında kabul edilemez reoloji ve su kaybı özelliklerine yol açar. Böylece, yeni bir çamur sistemine geçilmesi kaçınılmaz olur. Bu nedenle, fiber yapılı magnezyum silikat bir kil olan sepiolit yüksek sıcaklık ve yüksek tuzlu ortamlar için bentonitin yerine kullanılması önerilmektedir. Genel olarak, sepiolit ile hazırlanan sondaj çamurlarının verimlilikleri oldukça yüksektir ve ticari bentonitten daha iyi sonuçlar vermektedir[6]. Diğer taraftan, yüksek sıcaklıklarda iyi reolojik özellikler vermelerine rağmen, sepiolit çamurlarının yüksek su kaybı özelliği nedeniyle sondajlarda kullanımı kabul görmemektedir. Diğer bir deyişle, değişik katkı maddeleri ile API su kayıpları 15 ml/30 dak'nın altına indirilmelidir.

Sirkülasyon geçici olarak durdurulduğu ve çamur hareketsiz halde kaldığı durumlarda, sondaj çamuru içerdiği kırıntıların çökmesini geciktirecek tiksotropik özelliğe ve belirli bir jel direncine sahip olmalıdır. Bunun yanında kolay pompalanabilir özellik taşıması da istenir. Ayrıca, derin sondajlarda ortaya çıkan yüksek basınç ve farklı ortamlardaki değişken elektrolit konsantrasyonlarından mümkün olduğunca az etkilenmesi istenen bir özelliktir.

Çok sayıda araştırmacı yüksek sıcaklık ve yüksek tuz içeren ortamlarda kullanılabilir su bazlı bir sondaj çamuru formülasyonu üzerine çalışmıştır[7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]. Böylesi bir çamur jeotermal ortamlardaki koşullara benzeyen çok derin petrol kuyularında da kullanılabilir. Bu çalışmaların ortak bir noktası minimum maliyetli ve güvenli sondaj operasyonlarını gerçekleştirmek için uygun viskozite ve su kaybı özelliklerine sahip olacak şekilde hazırlanan çamur örneklerinin yaklaşık hepsinde sepiolit kilinin çok farklı katkı maddeleri ile birlikte kullanılmış olmasıdır.

Serpen [14] deneysel çalışmasında, oda koşullarında hazırlanan sepiolit çamurlarını bentonit ve attapulgit çamurlarıyla karşılaştırmışlar ve sepiolit çamurlarının farklı tuzluluklarda daha iyi reolojik ve su kaybı özelliği verdiğini göstermişlerdir. Tane boyunun sepiolit çamurlarının reolojik özelliklerine üzerine etkisini oda sıcaklığı koşulunda Carney vd.[7] çalışmış ve önemli farklılıkların olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Bentonit temelli çamurların oda koşullarında karıştırma hızı, karıştırma zamanı ve tane boyutu değişiminin reolojik ve su kaybı özellikleri üzerine olan etkileri önemsizdir ve kolayca ihmal edilebilir olduğu bilinen bir gerçektir. Bunun aksine, Altun ve Serpen[17] yaptıkları deneysel bir çalışmada sepiolit temelli çamurların yukarıda belirtilen koşullarda tamamen farklı bir şekilde davrandıklarını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, karıştırma hızı ve zamanı artırıldığında ve tane boyutu azaltıldığında sepiolit çamurlarının daha iyi viskoziteler ve filtrasyon özellikleri verdikleri belirtilmektedir.

Sepiolit temelli çamurların filtrasyon özelliğinin zayıf olduğu iyi bilinen bir gerçektir ve daha önceden birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir[9,14,17]. Yüksek su kaybı problemi sodyum polyakrilit (cypan) ve sentetik resin (resinex) gibi polimerlerin kullanılmasıyla bir dereceye kadar çözülmüştür, ancak saha kullanımı için istenen değerlerden uzaktır.

Katkı içermeyen sepiolit kili ile hazırlanan sondaj akışkanlarının 300 °F sıcaklıklara kadar yapılarını koruyarak bentonit ve attapulgitte göre aynı koşullarda daha iyi performans gösterdikleri Carney ve Guven (1980) çalışmasında ifade edilmektedir. Saponit kili ile birlikte kullanıldığında sepiolit kili yüksek sıcaklıklarda daha iyi reolojik özellikler vermektedir. Sepiolit 300 °F'ta (149 °C) semektite dönüşmekte ve bu reaksiyon 500 °F'ta (260 °C) tamamlanmaktadır. Akışkandaki yeni semektit ince pulsu morfolojidedir ve filtrasyon kayıplarını geliştirdiği Güven vd. [7] çalışmasında ifade edilmektedir. Sonuç olarak, değişik katkılar kullanılarak reolojik ve su kaybı özellikleri kontrol altına alınabilirse, sepiolit çamurları yüksek tuzlulukta ve yüksek sıcaklıklı ortamlarda uygun bir sondaj akışkanı olabilecektir.

Yukarıda belirtilen kiler arasında sepiolit bu çalışmada temel bir sondaj çamuru malzemesi olarak düşünülmüştür. Çalışma boyunca, katkı maddeleri de içeren sepiolit çamurlarının reoloji ve su kaybı özellikleri deneysel olarak ve gerektiğinde yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında incelenmiştir. Bu çalışmanın temel amacı sepiolit temelli su bazlı çamurların reolojik ve su kaybı özellikleri değişik katkı maddeleri ile kontrol edilebilmesi, yüksek sıcaklık ve yüksek tuzlu ortamlarda iyi bir sondaj akışkanı formülasyonunun geliştirilebilmesidir. Bununla birlikte, sepiolit ile ilgili API standartları bentonit ve attapulgit kilerine göre yeterince tanımlanmış değildir. Bu çalışmanın diğer bir amacı, sepiolit çamurlarının genel özelliklerini belirleyerek, standartların geliştirilmesine katkıda bulunmak ve yeni tanımlar getirebilmektir.

2. YÖNTEM VE MALZEMELER

Genel bir sürekliliği sağlayabilmek amacıyla, bütün deneysel çalışmalarda reolojik ve su kaybı özelliklerini belirlemek için API RP-13B standardı kullanılmıştır. Ayrıca, sepiolit'in sondaj kalitesine sahip olup olmadığını belirlemek için API 13A kullanılmış ve aşağıda Çizelge 2'de bu standartta tanımlanan fiziksel özellikler göz önüne alınmıştır. Standartların oluşmadığı veya yeterli olmadığı durumlarda saha pratikleri takip edilmiştir.

Çizelge 2. Sepiolitin fiziksel özellikleri [18].

Test parametresi	Özellik
Süspansiyon özellikleri	
Viskometre kadran okuması 600 rpm	Minimum 30
75 µm'den büyük parçacık miktarı	Kütle fraksiyonu maksimum 8,0 %
Nem, %	Kütle fraksiyonu maksimum 16,0 %

Çalışmada kullanılan bütün çamur örnekleri 350 ml tatlı su içerisine 20 g sepiolitin farklı konsantrasyonlarda diğer katkı maddeleri ile birlikte en iyi performansı veren formülasyonuna göredir. Kullanılan katkı maddeleri polimerler (su kaybı ve reoloji kontrol ediciler), soda külü, kostik ve glikol olarak sıralanabilir. Ayrıca, çalışmada incelenen sepiolit çamurlarının özellikleri iki farklı tuz (NaCl) derişiminde sırasıyla 200 g/l ve 400 g/l olarak araştırılmıştır. Diğer taraftan, yüksek tuzlu akışkan içeren formasyonlardan veya tuz zonlarından çamura tuz girişini canlandırmak için tatlı su ile hazırlanan çamura daha sonra belirli miktarlarda NaCl eklenmiştir. Hazırlanan çamurlar döner fırında 48 saate ve 200 °C sıcaklıklara kadar yaşlandırma hücrelerinde hidrotermal işleme tabi tutulmuştur. Ek olarak, sondaj kalitesine sahip API/ISO özelliklerine sahip olduğu bilinen OCMA kili kirletici olarak çamura eklenerek sondaj akışkanı ile temas halinde olan stabil olmayan aktif kil/şeyl zonları da canlandırılarak çamur üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Normal sıcaklıklarda sepiolit çamurlarının görünür viskozite, plastik viskozite, akma noktası ve jel kuvveti gibi reolojik özellikleri yaşlandırma öncesi ve sonrasında Fann 35 model viskometre ile ölçülmüştür. Örneklerin statik filtrasyon özellikleri standart API filtrasyon presi ve YSYB filtrasyon presi donanımları ile belirlenmiştir. Çamurların dinamik su kaybı özellikleri de Fann Model 90 donanımı ile incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan deneysel donanımlar aşağıda verilmiştir ve listede belirtilen dinamik YSYB filtrasyon presi ve pH metre hariç diğerleri API tarafından sondaj akışkanlarının test edilmesi için kullanılması gereken standart donanımlardır.

1. YSYB (Yüksek Sıcaklık Yüksek Basınç) filtrasyon presi
2. Model 35 viskometre
3. Yaşlandırma hücreleri
4. Döner fırın
5. Model 9B Çoklu karıştırıcı
6. Dinamik YSYB filtrasyon sistemi
7. pH metre.

Çalışmada çamur katkı maddeleri olarak sahada ticari olarak kullanılan kimyasallar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sepiolit kili örneği Sivrihisar-Eskişehir yöresinden temin edilmiştir. Bu sepiolit kili üzerine yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar takip eden bölümlerde değerlendirilmektedir. Çalışmada kullanılan kilin ticari ismi korunmuş ve TTB (Türk Taciri Bej) olarak verilmektedir.

Çalışmada kullanılan sepiolit kilinin mineral kompozisyonu (Çizelge 3) ve kimyasal kompozisyonunu veren oksit analizleri (Çizelge 4) incelenmiştir. Çizelge 3'te görüleceği gibi TTB örneği sepiolit kil grubuna aittir ve saf olarak kabul edilebilir. Sahadan doğrudan elde edilen kile öğütme işlemi hariç saflaştırma vb. hiçbir işlemin yapılmamış olması önemli bir ayrıntıdır. XRF analiz sonuçlarının verildiği Çizelge 4 incelendiğinde sepiolit kilinin silisyum ve magnezyumca (toplam yaklaşık %90) zengin olduğu görülmektedir.

Sondaj çamurunda kullanılan kilin tane boyutunun ağırlıkça en az %97.5'inin 74 mikrondan küçük boyutta olması API Standardı tarafından istenen bir özelliktir. Çizelge 5'te kullanılan kil için P10, P50 ve P90 boyut değerleri listelenmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla ticari bentonitten elde edilen değerlerde çizelgede verilmektedir. Her kümülatif P değerlerinde ticari bentonit boyutunun en küçük olması dikkat çekici bir durumdur.

Bu çalışmada, sepiolit kiliyle yapılan deneyler üç farklı grup oluşturmaktadır. Birinci grupta tam doymuş (400 g sodyum klorür/ 1 lt saf su) sepiolit çamurlarının reolojik ve su kaybı özellikleri

incelenmiştir. İkinci grup yarı doymuş (200 g sodyum klorür/ 1 lt saf su) sepiolit çamurları ve üçüncü grup tatlı su çamurları ile yapılan deneyleri içermektedir. Çalışmanın ilk aşamasında, sepiolit kilinin oda koşullarında reolojik ve su kaybı özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında YSYB koşullarında sepiolit çamurunun reolojik ve su kaybı özelliklerinin katkı maddeleri ile kontrol altına alınması incelenmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise sepiolit çamurlarının dinamik su kaybı özellikleri ve aktif katı kirlenmesine karşı etkinliği incelenmiştir.

Çizelge 3. TTB sepiolit kil örneğinin mineral kompozisyonu.

Örnek	Mineral kompozisyon (hacimce %3)								
	Ankerit	Hidro magnezyum	Brusit	Dolomit	Magnezyum	Feldspat Grubu	Kuartz	Kil+Mika	
								Diğer	Sepiolit Grubu
TTB	-	-	-	-	-	Eser	Eser	-	100

Çizelge 4. TTB sepiolit kil örneğinin XRF analiz değerleri.

Örnek	CaO ağırlıkça %	MgO ağırlıkça %	SiO2 ağırlıkça %	Fe2O3 ağırlıkça %	K2O ağırlıkça %	Na2O ağırlıkça %	Al2O3 ağırlıkça %
TTB	4.37	23.22	52.31	1.23	0.35	<0.01	2.69

Çizelge 5. Killerin tane boyutu analizi sonuçları.

Olasılık	Tane Boyutu, mikron	
	Bentonit	TTB
10	1.5	5
50	5	18
90	17	22

3. REOLOJİK ÖZELLİKLER

Reoloji maddenin akışı ve deformasyonu çalışmasıdır. Viskozite deformasyona neden olan kuvvete karşı madde tarafından geliştirilen direncin bir ölçüsüdür. Sondaj operasyonlarında viskozite ilişkili konuların çoğunda kayma hızı (shear) hakimdir. Bu nedenle, sondaj akışkanlarının viskozitesi çoğunlukla izlenen ve kontrol edilen bir özelliktir. Sondaj akışkanının kesintileri bünyesinde taşıyabilmesi veya tutabilemesi öncelikle çamurun viskozitesinin ve onun ıslatımlıklık karakteristiğinin bir fonksiyonudur.

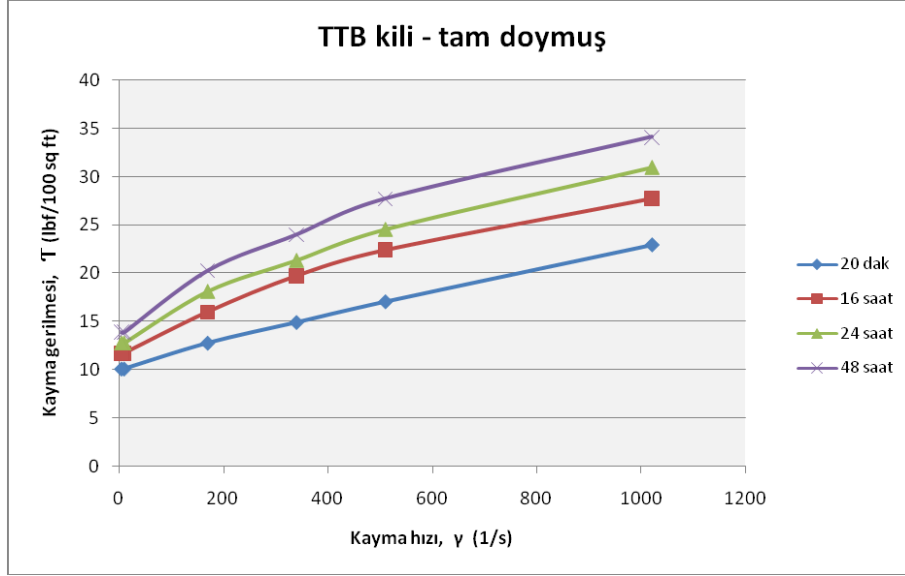
3.1. Tam doymuş reoloji deneyleri

Tam doymuş (400 g sodyum klorür/1 lt saf su) olarak oda koşullarında hazırlanan sepiolit çamurlarından elde edilen reolojik özellikleri bu bölümde grafiksel olarak yer almaktadır. Yapılan pilot testler sonucunda 24 saat ve 48 saat sonucunda elde edilen değerler arasındaki farkların önemsiz olması nedeniyle, deneylerin sadece 20 dak, 16 saat ve 24 saat olarak yapılmasına karar verilmiş ve bu koşullarda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

TTB sepiolit kili ile hazırlanan çamurların altı farklı kayma hızında verdikleri kayma gerilmesi değişimlerine ait grafikler Şekil 2'de verilmektedir. Bentonit kilinin aksine, sepiolit kilinin kayma gerilme değerlerinin yaşlandırma zamanına bağlı olarak büyük değişim gösterdikleri grafikten ortaya çıkan ana bir sonuçtur. Şekil incelendiğinde, kayma hızı ve kayma gerilmesi arasındaki ilişkinin beklendiği gibi doğrusal olmayan (non-Newtonian), artan kayma hızı ile görünür viskozitenin azaldığı yalancı plastik

(pseudo plastic) ve hız ile viskozitenin azaldığı (shear thinning) olarak tanımlanan bir reolojik davranış gösterdiği görülmektedir.

Sodyum klorür tuzu ile tam doymuş olarak hazırlanan sepiolit kilinin reolojik özellikleri incelendiğinde viskometrenin 600 rpm hızında gösterdikleri kadran okumalarının API standardında belirtilen eşik değeri olan 30 veya daha fazla olduğu görülmektedir. Kısaca, çalışmada kullanılan TTB kili minimum reolojik koşulu sağlamaktadır.



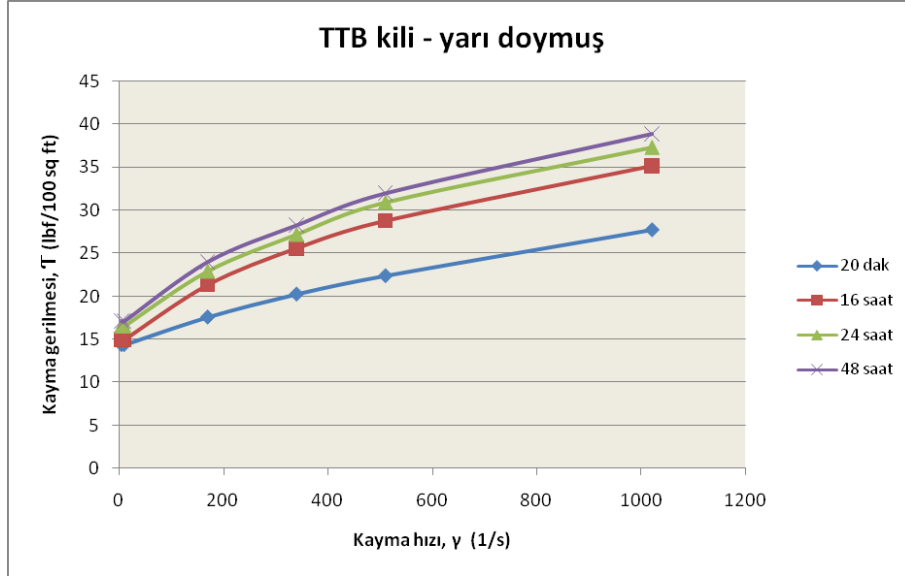
Şekil 2. TTB kili ile hazırlanan tam doymuş çamurun kayma gerilmesi değişimi.

Kilin kayma gerilmesi – kayma hızı grafiği incelendiği zaman, Newtoniyen olmayan bir akışkan davranış özelliği gösterdiği anlaşılmaktadır. İlginç bir gözlem ise artan yaşlandırma zamanına bağlı olarak akışkanın kayma gerilmesinin de artma eğiliminde olduğu ve artma değişiminin özellikle ilk 24 saat içerisinde önemli olduğu görülmektedir. Bu durum sepiolit killerinin özel bir durumudur ve göz önünde bulundurulmalıdır. API standartlarında bentonit çamurları için verilen 16 saatlik yaşlandırma sonrasında ölçülmesi istenen reolojik özellikler, sepiolit çamurları için 20 dakika ile sınırlanmıştır. Killerin su bağlama özellikleri dikkate alındığında, sepiolit kilinin iğnemi yapıda olması nedeniyle su bağlayabilmek için daha fazla zaman gerektirmektedir. Buna rağmen yaşlandırma süresinin kısa olmasının gerekçesi API standartlarında açıklanmamıştır. Bu durum, API standartlarının sepiolit çamurları için uygun olmadığını akla getirmektedir. Bu nedenle, çalışmada bentonit çamurları ile karşılaştırma yapılabilmesi için 16 saat yaşlandırmalar yapılmıştır. Reolojideki değişim göz önüne alınarak, 24 saat değerlerinin de gözlenmesine karar verilerek, çalışmada bu zamandaki reolojik değerler de ölçülmüştür.

3.2. Yarı doymuş reoloji deneyleri

Yarı doymuş (200 g sodyum klorür/1 lt saf su) olarak oda koşullarında hazırlanan sepiolit çamurunun reolojik özellikleri bu bölümde grafiksel olarak yer almaktadır. Aşağıda sadece elde edilen sonuçların grafiksel olarak gösterimi yer almaktadır. Yapılan su kaybı pilot testleri sonucunda 24 saat ve 48 saat sonucunda elde edilen değerler arasındaki farkların önemsiz olması nedeniyle, deneyler sadece 20 dak, 16 saat ve 24 saat olarak gerçekleştirilmiştir. TTB sepiolit kili ile hazırlanan ve tuz ile yarı doymuş çamurların altı farklı kayma hızında verdikleri kayma gerilmesi değişimlerine ait grafikler Şekil 3'te verilmektedir. Tam doymuş çamurdan elde edilen benzer davranışlar ve sonuçlar burada da görülmektedir. Yarı doymuş çamurda tam doymuş çamur örneklerine göre kayma gerilmeleri değerlerinin biraz daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Yarı doymuş sepiolit çamuru için tam doymuş sepiolit çamuru için hazırlanan prosedür takip edilmiştir. Yarı doymuş olarak hazırlanan sepiolit çamurunun reolojik özellikleri karşılaştırıldığında tam doymuş çamura benzer bir davranış ve sonuçlar

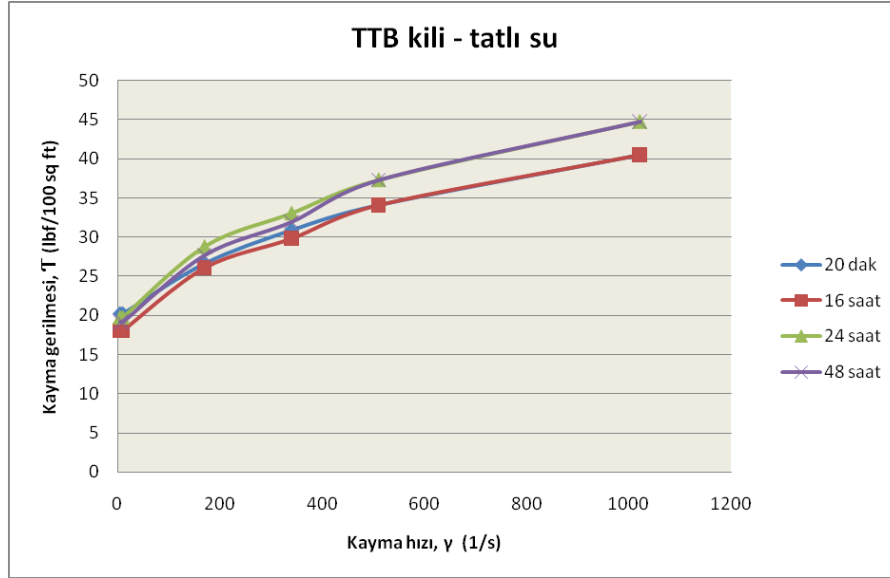
burada da gözlenmektedir. TTB ile hazırlanan çamurlar viskometrenin 600 dev/dak hızında gösterdikleri kadran okumalarının 30 veya daha fazla olduğu görülmektedir. Kısaca, kullanılan TTB kili minimum reolojik koşulu yarı doymuş çamurlarda da sağlamaktadır. TTB çamurunun kayma gerilmesi – kayma hızı grafikleri incelendiği zaman, yarı doymuş çamur da Newtoniyen olmayan bir akışkan davranış özelliği gösterdiği anlaşılmaktadır. Artan yaşlandırma zamanına bağlı olarak akışkanın kayma gerilmelerinin de artma eğiliminde oldukları görülmektedir. Tam doymuş sepiolit çamurunun reolojik değerleriyle karşılaştırıldığında, yarı doymuş sepiolit çamuru reolojik değerlerinde bir artım söz konusudur, ancak bu artıştaki değişim önemli değildir.



Şekil 3. TTB kili ile hazırlanan yarı doymuş çamurun kayma gerilmesi değişimi.

3.3. Tatlı su reoloji deneyleri

Tatlı su (tuz içermeyen saf su) kullanılarak oda koşullarında hazırlanan sepiolit çamurunun reolojik özellikleri bu bölümde grafiksel olarak yer almaktadır. Yapılan su kaybı pilot testleri sonucunda 24 saat ve 48 saat sonucunda elde edilen değerler arasındaki farkların önemsiz olması nedeniyle, deneyler sadece 20 dak, 16 saat ve 24 saat olarak gerçekleştirilmiştir. TTB kili ile hazırlanan çamurun altı farklı kayma hızında verdikleri kayma gerilmesi değişimlerine ait grafik Şekil 4'te gösterilmektedir. Tuzlu su ile hazırlanan çamur ile karşılaştırıldığında, en yüksek kayma gerilmesi değerleri tatlı su ile hazırlanan çamurda gözlenmektedir.



Şekil 4. TTB kili ile hazırlanan tatlı su çamuru kayma gerilmesi değişimi.

Bu bölümde tatlı su sepiolit çamuru için tam doymuş ve yarı doymuş sepiolit çamurları için hazırlanan prosedür takip edilmiştir. Tatlı su sepiolit çamurunun reolojik özellikleri karşılaştırıldığında tam doymuş çamura benzer sonuçlar burada da gözlenmektedir. TTB çamurunun viskometrenin 600 dev/dak hızında gösterdiği kadran okumalarının 30 veya daha fazla olduğu görülmektedir.

Tatlı su ile hazırlanan çamurun kayma gerilmesi – kayma hızı grafiği incelendiğinde, tatlı su çamurunda da Newtoniyen olmayan bir akışkan davranış özelliği gösterdiği anlaşılmaktadır. Artan şartlandırma zamanına bağlı olarak akışkanın kayma gerilmelerinin de artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Tam doymuş sepiolit çamurunun reolojik değerleriyle karşılaştırıldığında, tatlı su sepiolit çamurunun reolojik değerlerinde de bir artış sözkonusudur. Bu durum, sepiolit killerinin kayma gerilmesi değerlerinin artan tuzluluk ile az da olsa ters orantılı olduğunu göstermektedir. Ancak kilin sondaj çamuru olarak seçiminde belirleyici olan sadece reolojik performans değil aynı zamanda su kaybı özelliğidir.

3.4. Tuzluluk ve yaşlandırmanın reoloji üzerine etkisi

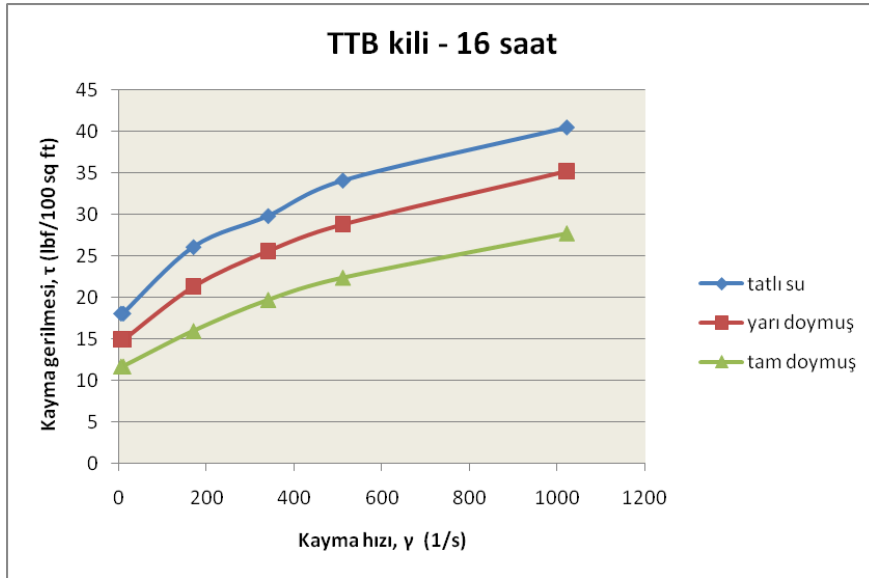
Tam doymuş, yarı doymuş ve tatlı su ile oda koşullarında hazırlanan TTB sepiolit çamurunun 16 saat yaşlandırma sonucunda elde edilen reoloji sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 5'te gösterilmektedir. Ayrıca, oda koşullarında yaşlandırma süresinin ve tuz içeriğinin TTB çamurunun reolojisi üzerine olan etkileri de Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 6. Yaşlandırma ve tuz içeriğinin TTB çamuru reolojik davranışına oda koşullarında etkisi.

		Kayma gerilmesi @ 600 rpm, lbf/100 sq ft				Yaşlandırma etkisi (%)
		20 da	16 sa	24 sa	48 sa	
Çamur türü	TTB kili					
	Tatlı su	38	38	42	42	11
	Yarı doymuş	26	33	35	36,5	40
	Tam doymuş	21,5	26	29	32	49
	Tuz etkisi (%)	43	32	31	24	

Şekil 5'te kayma hızı ve kayma gerilmesi arasında linear ve Newtoniyen olmayan reolojik davranış ilişkisi her üç sistem için birlikte görülmektedir. Aynı zamanda kayma gerilmesinin artan yaşlandırma süresi ile birlikte arttığı bariz bir şekilde farkedilmektedir. Bu davranıştan, kullanılan sepiolit kili için yaklaşık 16 saatlik bir yaşlandırma süresinin gerektiği ve böylece API standartlarında belirtilen hidratlaşma yeteneğini yeterince sağlayarak, gerekli viskozite değerini verebildiği görülmektedir.

Diğer önemli bir gözlem tuz konsantrasyonunun reolojik davranış üzerine olan etkisidir. Kısaca, tuz içeriği arttıkça kayma gerilmesinin azaldığı görülmektedir. Sepiolit çamurlarında tuz miktarının ve yaşlandırma süresinin reolojik davranış üzerine önemli etkileri vardır. Çizelgeden de görüldüğü gibi artan tuz içeriğiyle birlikte görünür viskozite azalmakta ve sepiolit kilinin verimliliğini düşürmektedir. 600 rpm hızda ölçülen kayma gerilmesi tatlı su ile hazırlanan örnekte 48 saat yaşlandırma sonunda 42 değerinden tuzlu su ile hazırlanan örnekte 32'ye düşmektedir ve bu düşme oranı %24'e karşı gelmektedir ve çok önemlidir. Kayma gerilmesinde tuzluluğa bağlı azalım düşük kayma hızlarında daha belirgindir. Sepiolit çamurlarını yaşlandırma süreleri kayma gerilmesini etkileyen diğer önemli bir parametredir. Yaşlandırma etkisi artan tuz miktarıyla daha da yükselmektedir. Sonuçta, bentonit çamurlarının aksine, sepiolit çamurlarının reolojik özellikleri yaşlandırma süresi ve tuz miktarına daha fazla bağlılık göstermektedir. Ek olarak, yarı doymuş ve tam doymuş çamurların reolojik değerleri birbirlerine oldukça yakın olmasından dolayı kayma gerilmesindeki değişim (azalım olarak) belli bir tuzluluk içeriğinden sonra stabilize olmakta ve daha da artan tuzluluk ile birlikte önemsiz hale gelmektedir.



Şekil 5. TTB kili reolojisinin tuzluluk ile değişimi – 16 saat yaşlandırma.

4. SU KAYBI ÖZELLİĞİ

Sondaj akışkanı hidrostatik basıncı formasyon gözenek basıncından yüksek olduğu zaman sondaj akışkanı formasyonu işgal eder. Askıdaki katılar çamurun sıvı fraksiyonu ile birlikte formasyon gözeneklerine hareket eder, ancak gözenek boyutuna uygun büyüklükteki parçacıklar (genellikle kuyu cidarındaki gözenek açıklığının üçte biri ile altıda biri büyüklüğünde) çabuk bir şekilde gözenekleri tıkayarak bir kek oluşturmaya başlar. Daha küçük parçacıklar zamanla gözeneği tıkayan parçacıkların arasını doldurarak sadece sıvının (çamur filtrasyonu) geçebileceği bir şebeke oluşturur. Bu filtrasyon keki oluşumu gerçekleştiğinde, akışkanın akış miktarı kekin geçirgenliği ile kontrol edilir. Çamur sirkülasyonu durdurulduğunda kek oluşumu gelişir ve filtrasyon miktarı kek oluşumundan sonra zamanın karekökü ile doğrusal orantılı bir davranış gösterir. Çamurun sirkülasyonu başladığında, çamurun uyguladığı kayma gerilmesi çamur kekinin kayma gerilmesini dengeleyinceye kadar kek

gelişimi devam eder (dinamik filtrasyon kaybı). Bu koşullar altında, kek sınırlı bir kalınlığa sahiptir ve kek oluşumundan sonraki filtrasyon hızı zamanla doğrusal orantılıdır. Çoğunlukla, ani su kaybı (spurt loss) dinamik koşullarda daha fazladır. Ani su kaybı fazında, formasyonu işgal eden çamurdaki parçacıklar çamurun statik veya dinamik olma koşulundan bağımsız olarak iç filtrasyon kekinin meydana gelmesinde yardımcı olabilir.

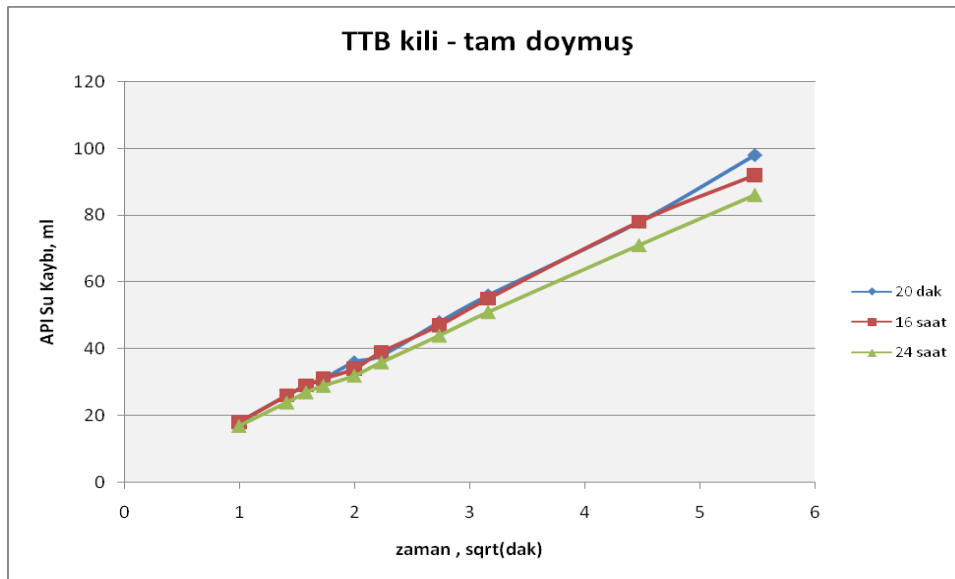
API Su Kaybı Testi (30 dakikada, 100 psi basınç farkında No 50 Whatman filtrasyon kağıdından “2,7 mikron gözenek boyutlu, normal sıcaklıklarda) endüstride kullanılan standart statik su kaybı testidir, ancak filtrasyon ortamı olarak çok küçük açıklıklı kağıt kullanıldığı için tıkaçıcı parçacıklar kağıdın yüzeyine depolandığından gerçek filtrasyon ve ani su kaybı olayları doğru bir şekilde canlandırılmaz. Bu durum ani su kaybının gerçekten daha küçük elde edilmesine neden olmaktadır. Fann Model 90 test donanımında olduğu gibi seramik mazlemelerden yapılan diskleri kullanan dinamik filtrasyon cihazı kuyu anülüsünde akışkanın oluşturduğu kek üzerindeki kayma kuvvetlerini daha iyi canlandırmaktadır. Sepiolit çamurlarının dinamik filtrasyon özellikleri bu çalışmada gerçekleştirilmiş ve daha sonraki bölümlerde verilmektedir.

Flokülasyon (topaklaşma) çamurdaki parçacıkların bir araya gelerek birleşmelerini ve üzüm salkımı şeklinde yapılanmalarına neden olur. Sondaj akışkanı floküle olduğunda (örneğin çamura tuz eklenmesi sonucu), kuyu cidarında oluşan kek bir miktar flokülasyon özelliği gösterir ve filtrasyon miktarı artar. Yüksek sıcaklık kil taneciklerini floküle ederek kabul edilemeyecek yüksek viskoziteler ve su kayıplarına yol açar. Diğer taraftan incelticilerin (defloküle ediciler) çamurda kullanılması floküle olmuş killeri dağıtırak kek geçirgenliğini azaltır.

Bu bölümde, tam doymuş, yarı doymuş ve tatlı su ile oda sıcaklıklarında hazırlanmış sepiolit çamurlarının API su kaybı özellikleri reoloji bölümünde olduğu gibi TTB çamuru için ayrı başlıklar altında verilerek performansları incelenmektedir.

4.1. Tam doymuş su-kaybı deneyleri

Bu bölümde TTB sepiolit kili ile hazırlanan çamurun API su kaybının zamanın karekökü ile olan doğrusal ilişkisine ait grafik Şekil 6’da verilmektedir. Çamurun API su kaybı yaklaşık 90 ml/30 dak değerindedir. Tam doymuş tuzlulukta olmasına karşın, çamur su kaybı değerinde büyük bir değişimin olmadığı gözlenmektedir ve bu çok önemli bir özelliktir. Ancak, artan yaşlandırma ile biraz daha düşük su kayıpları sepiolit killere elde edilmektedir. Kabul edilemez yüksek su kayıpları sepiolit killeri için bilinen ve dikkat çekici bir durumdur. Bu yüksek su kayıpları, saha kullanımı için kontrol altına alınmayı zorunlu kılmaktadır.

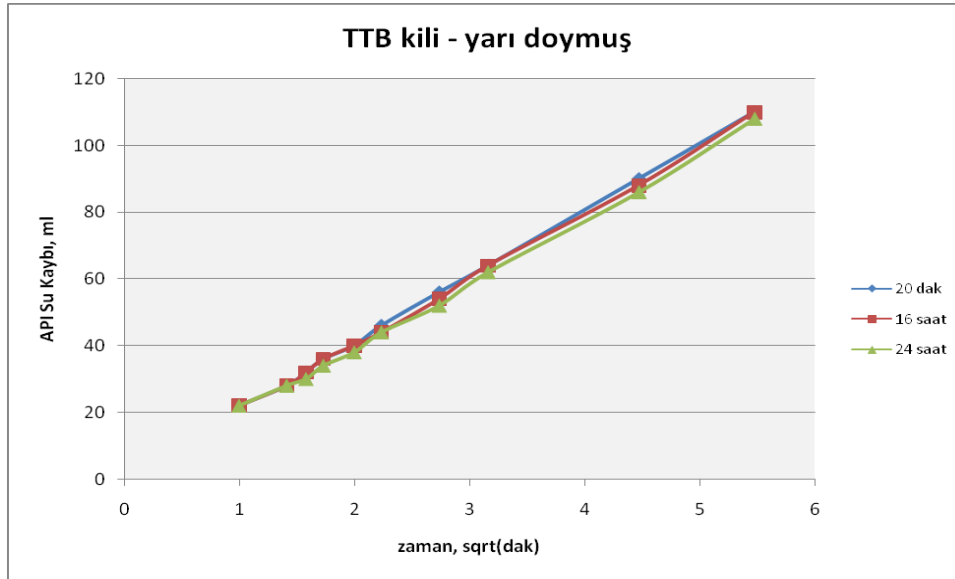


Şekil 6. Tam doymuş TTB sepiolit çamurunda su kaybının zamanla değişimi – oda koşulu.

Özellikle, su kaybının zamanın kareköküyle değişimi grafiği incelenirse, çamurda az da olsa bir ani su kaybının olduğu gözlenmektedir. Yaşlandırma ile ani su kaybında azalma olduğu da görülmektedir. Sepiolit çamurlarının yapılarından dolayı su kayıplarının yüksek oldukları bilinmektedir ve grafikten de bu sonuç açıkça görülmektedir. Bentonit çamurlarına göre çok daha fazla su kayıpları vardır ve bu halleriyle doğrudan sondajda kullanılmaları uygun değildir. Bu nedenle su kayıplarının farklı katkı maddeleri kullanılarak, kontrol altına alınması gerekmektedir. Diğer taraftan, su fazı tuzluluğu düşünüldüğünde, bentonit çamurlarına göre çok daha iyi performans göstermektedirler (gerçekte bu tuzluluklarda bentonit kullanılmaz). Ayrıca, artan yaşlandırma zamanı ile az da olsa su kaybında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.

4.2. Yarı doymuş su-kaybı deneyleri

TTB sepiolit kili ile oda koşullarında tuz ile yarı doymuş olarak hazırlanan çamurun API su kaybı değerlerine ait grafik bu bölümde Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi yaşlandırma süresi arttıkça su kaybında az da olsa bir azalmanın olduğu gözlenmektedir. Yarı doymuş olarak hazırlanan sepiolit çamurundan elde edilen su kaybının tam doymuş olarak hazırlanan çamurun verdiği su kaybindan biraz daha fazla olduğu gözlenmektedir. Tam doymuş çamurlarda olduğu gibi, yarı doymuş çamurlar içinde su kaybı özellikleri aynı yöntemle hazırlanmıştır. Özellikle su kaybının zamanın kareköküyle değişimi grafikleri incelenirse, çamurlarda az da olsa bir ani su kaybının olduğu, artan yaşlandırma ile ani su kayıplarında bir azalmanın olduğu burada da görülmektedir. Yarı doymuş sepiolit çamurları, tam doymuş sepiolit çamurlarına göre biraz daha fazla su kaybı değerleri vermiştir, ancak değerler hala saha kullanımı açısından çok yüksektir ve kontrol altına alınmalıdır.

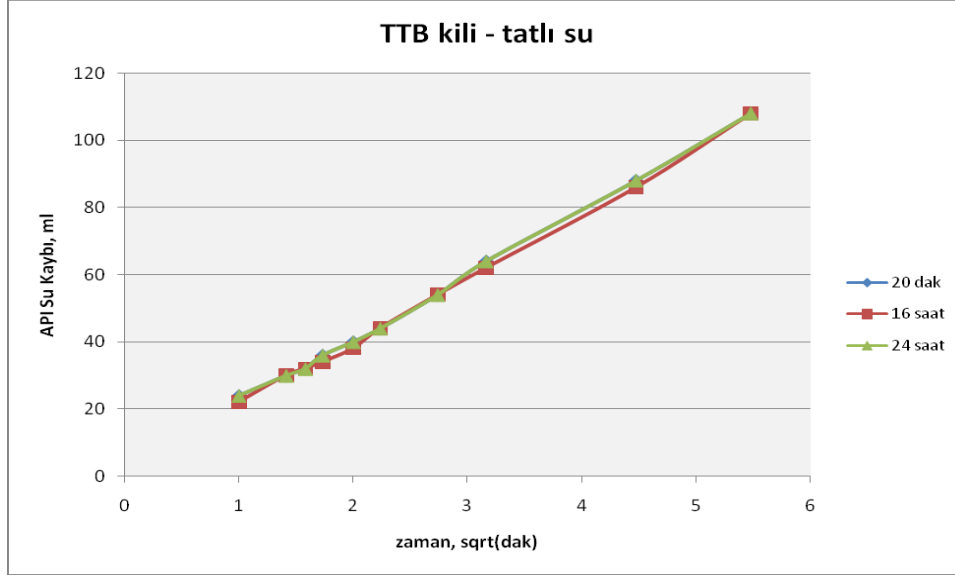


Şekil 7. Yarı doymuş TTB sepiolit çamurunda su kaybının zamanla değişimi – oda koşulu.

4.3. Tatlı su su-kaybı deneyleri

Bu bölümde TTB sepiolit kili kullanılarak tatlı su ile hazırlanan çamurun API su kaybı değerlerine ait grafik Şekil 8'de verilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi tatlı su ile hazırlanan çamurun su kaybı değerleri çok yüksektir ve saha kullanımı için kesinlikle uygun değildir.

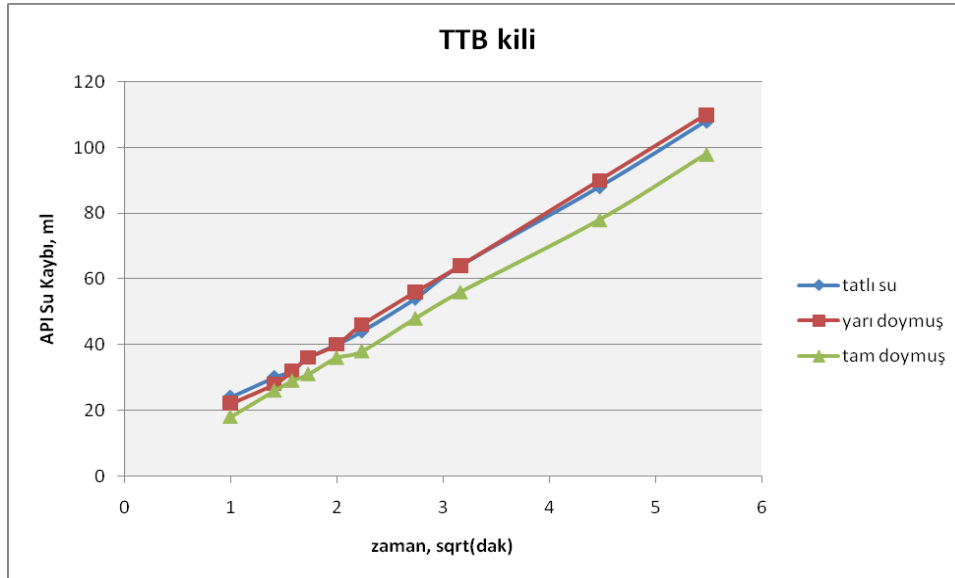
Tam ve yarı doymuş çamurlarda olduğu gibi, tatlı su çamuru içinde aynı yöntem izlenmiştir. Özellikle su kaybının değişimi incelenirse, bu çamurda az da olsa bir ani su kaybının olduğu gözlenmektedir. Yaşlandırma ile su kaybında bir azalmanın olduğu burada da belirgindir. Reolojik davranışın aksine, tatlı su sepiolit çamuru, tam ve yarı doymuş sepiolit çamuruna göre daha fazla su kaybı değeri vermiştir ve kabul edilemez düzeydedir.



Şekil 8. Tatlı su TTB sepiolit çamurunda su kaybının zamanla değişimi – oda koşulu.

4.4. Tuzluluk ve yaşlandırmanın su-kaybı üzerine etkisi

Tam doymuş, yarı doymuş ve tatlı su ile hazırlanan sepiolit çamurlarının oda koşullarında gösterdikleri API su kaybı davranış deney sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. TTB kili kullanılarak API su kayıpları sadece 20 dakika yaşlandırma sonucunda elde edilen deney sonuçları Şekil 9'da gösterilmektedir. Ek olarak, tuz içeriğinin ve yaşlandırma süresinin TTB kili ile hazırlanan çamurun su kaybı üzerine olan etkileri Çizelge 6'da verilmektedir.



Şekil 9. TTB çamuru su kaybının zamanla değişimi – 20 dak.

Çizelge 6. Yaşlandırma ve tuz içeriğinin TTB çamuru su kaybına etkisi.

	TTB kili	API su kaybı, ml			Yaşlandırma etkisi (%)
		20 dak	16 sa	24 sa	
Çamur türü	Tatlı su	108	108	108	0
	Yarı doymuş	110	110	108	2
	Doymuş	98	92	86	14
	Tuz etkisi (%)	9	15	20	

Kuyuların sondajında kullanılan herhangi bir çamurdan özellikle yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda kullanılanlardan iyi bir filtrasyon karakteristiği beklenir. Yüksek sıcaklıklar kil parçacıklarının flokülasyonuna sebep olarak kabul edilemeyecek viskozitelere ve su kayıplarına yol açar. Problem artan tuz girişine bağlı olarak daha da kötüleşir. Sonuç olarak, hem yüksek tuz içeriği hem de yüksek sıcaklık sepiolite çamurlarını reolojik ve su kaybı özellikleri açısından özgün yapmaktadır. Sepiolit çamurları zorlu sondaj koşullarında daha iyi performans vermelerine rağmen doğal su kayıpları çoğu kuyunun sondajı için uygun değildir ve güvenli bir sondaj koşulunu sağlamak için kontrol altına alınmalıdır. Diğer taraftan, sepiolit çamurlarından elde edilen çamur keki yüksek filtrasyon nedeniyle kabul edilemeyecek kadar kalındır; 6 ile 10 mm arasında değişmektedir. Bu gerçeklere rağmen, API standartlarında sepiolit çamurları için su kaybı değeri sınırı belirlenmemiştir, ancak şekillerden de görüleceği gibi bu çamurların su kaybı değerleri oda koşullarında tatlı su ile hazırlanan bentonit çamurları için kabul edilen endüstri uygulamalarında ve API standardında belirtilen 15 ml/30 dakika değerinden çok daha yüksektir.

Şekil 9 ve Çizelge 6'den de görüleceği gibi TTB sepiolit killerinin filtrasyon karakteristikleri artan tuz içeriğiyle daha da iyileşmektedir. Aslında tatlı su ve yarı doymuş olarak hazırlanan çamurların su kayıpları arasındaki fark önemsizdir. 24 saat yaşlandırma su kaybı değerini tatlı su ile hazırlandığında 108 ml'den tam doymuş olarak hazırlanmış örnekte 86 ml'ye düşürmüştür. Tatlı su ile hazırlananın değeri referans olarak alınır su kaybındaki azalım toplam %20'dir ve bu sonuç çok önemlidir. Su fazının tuzluluğu dikkate alındığında, sepiolit çamurlarının bentonit çamurlarından çok daha iyi performans gösterdikleri söylenebilir (gerçekte, bentonit yüksek tuzluluklarda kullanılmaz).

Çizelge 6 incelenirse TTB sepiolit çamurları tatlı su ile hazırlandığında yaşlandırma süresinin sepiolit çamurlarında ihmal edilebilir etkisinin olduğunu göstermektedir. Diğer yaşlandırma zamanlarında daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi, su kaybındaki azalım artan yaşlandırma zamanıyla ters orantılı bir değişim göstermektedir. Ancak, su kaybındaki bu azalım 24 saat sonra bir dengeye ulaşmakta ve daha da artan zamanla su kaybındaki değişim önemsiz veya ihmal edilebilir olmaktadır.

5. KATKILI SEPIOLİT ÇAMURLARININ REOLOJİ VE SU KAYBI ÖZELLİKLERİ

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi bu çalışmada kullanılan TTB sepiolit kilinin verdiği reolojik değerler API standartlarında verilen reoloji ölçütünü karşılamıştır. Diğer taraftan, iğnemesi yapıda olan sepiolit killeri filtrasyon kontrolünü sağlayamamış ve kabul edilemez yüksek su kaybı değerleri vermiştir. Bu nedenle, çamur filtrasyonunun kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu amaçla, farklı katkıları kullanarak test edilen sepiolit çamurlarının reoloji ve su kaybı özelliklerindeki değişim bu bölümde incelenmektedir.

5.1. Kullanılan Katkı Madeleri

Birtakım katkı maddeleri de sondaj sırasında problemlere yol açabilecek (özellikle sepiolit kilinin) su kaybı değerlerini kontrol altına alabilmek için kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan Polimer A su bazlı çamurlarda filtrasyon kontrol katkısıdır ve ikincil işlev olarak 400 °F (204 °C) sıcaklıklara kadar

viskozite sağlamaktadır. Tuza karşı stabilitesini iyi bir şekilde koruyabilir ve orta seviyelere kadar kalsiyum kirlenmelerine tolere edebilmektedir. Polimer B sıvı fazda olup çamurun viskozitesini düşürmek (inceltici) için kullanılmakta ve yüksek sıcaklık jelleşmesini çok iyi bir şekilde düşürme görevini yerine getirmektedir. Polimer B ortamda klorür bulunması durumunda da etkindir ve filtrasyon kontrolüne de yardım eder. Çimento sondajından önce çamurda gerekli olan ön işlem iyileştirmesi için kullanılmaktadır ve 400 °F (204 °C) sıcaklıklara kadar işlevseldir; bu nedenle yüksek sıcaklıklı kuyularda düşük reolojik özellik değerleri sağlamak için inceltici (deflokulan) olarak kullanılabilir. Kostik ve soda külü (soda ash) çamur örneklerinde pH ve su sertliğini kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Deneyler tatlı su, yarı doymuş ve tam doymuş olarak hazırlanan çamur sistemleri için yapılmış ve izleyen alt bölümlerde elde edilen sonuçlar irdelenmektedir.

5.2. Problemler ve Deneysel Yöntemler

Sondaj akışkanı açısından bakılırsa, yüksek sıcaklıkların sondaj akışkanı katkılarının büyük oranda termal bozunuma (termal degradation) uğramalarına yol açan bir etken olarak bilinir. Bozunum ise materyalin işlevini kaybetmesine neden olarak sistemin özelliklerinin kontrol altında tutulması için gerekli olan bakımı zorlaştırır ve pahalı bir hale getirir. Doğal malzemelerden yapılan sondaj akışkanı katkı maddelerinin büyük bir bölümünü oluşturan kimyasallar (treatment chemicals) sıcaklığın 250-275 °F aralıklarında bozulur ve görevlerini yerine getiremezler. Ancak, sıcak kuyular için tasarlanan çoğu sistem yaklaşık 350 °F sıcaklıklara kadar ısıl stabilize sağlayabilen lignosülfonatlar veya linyitler temelli katkılar kullanılmaktadır. Diğer taraftan, bu sistemlerin etkinliklerinin sağlanması 300 °F sıcaklığın üzerinde zor ve pahalıdır.

Isıl bozunum en basit haliyle kimyasal bir maddeye çok fazla enerji verilerek maddenin bir kısmının yapısının kırılması veya şeklinin değişmesi olarak düşünülebilir. Benzer sonuçlar düşük sıcaklıklarda ortamda belli kimyasalların bulunmasıyla da ortaya çıkabilir. Oksijen (kaynağı hava) oksidasyonu geliştirebilir, su (kaynağı sondaj çamuru) ise hidrolizi teşvik edebilir. Sebep ne olursa olsun veya özel bir kimyasal reaksiyona giriyorsa, sonuçta önceden stabil olan sondaj akışkanı yüksek sıcaklıklarda özelliklerinin kontrolü zor olan bir duruma dönüşür. Ne yazık ki, sondaj akışkanları yüksek kuyu dibi sıcaklıklı kuyularda sadece sıcaklık nedeniyle sorunlar yaşamazlar. Bu bölümde, özellikle YSYB koşullarında su kaybı özellikleri kabul edilebilir olan ve katkılar kullanılarak hazırlanan tipik sepiolit temelli çamurlar ile yapılan deneylerin sonuçları verilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda reolojik özelliklerin belirlendiği deneyler yaşlandırma hücresi (aging cell) kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar bir sonraki bölümde şeyl (aktif kil) kirlenmesi etkisiyle birlikte verilmektedir.

Tatlı su ve tuzlu su sepiolit çamur örneklerinin deneyleri farklı basınç ve sıcaklıklarda yapılmıştır. Bu deneylere 100 ve 500 psi basınç farkı ve 350 °F sıcaklık uygulanmıştır. Ayrıca, deneyler oda sıcaklıklarında da tekrarlanmıştır. Tatlı su ve tuzlu su sistemlerinde farklı miktarlarda katkı maddeleri kullanılmıştır. Oda sıcaklığı ve 350 °F sıcaklıkta 100 psi ve 500 psi basınç farkı altında tatlı ve tuzlu su sepiolit çamurlarının su kaybı deney sonuçları Çizelge 7-9 arasında verilmektedir.

Sonuçlardan görülebileceği gibi, katkılı sepiolit çamurlarının su kayıplarının çok önemli oranda düşürüldüğü ve katkısız örneklerin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında çok önemli azalmaların olduğu gözlenmektedir. Uygulanan çamur formülasyonu sonuçları su kaybı açısından hedefe ulaşıldığının bir göstergesidir. Özellikle 500 psi basınç farkında ve 350 °F sıcaklıkta elde edilen düşük değerlerdeki API YSYB su kayıpları çok dikkat çekicidir.

Çizelge 7 ile verilen tipik TTB sepiolit çamurundan elde edilen sonuçlara göre, sadece 3 lb/bbl konsantrasyonunda çamurda kullanılan özel yardımcı polimer (Polimer A) TTB kili ile hazırlanan çamurun su kaybını oda sıcaklıklarında önemli oranda azalttığı dikkate değerdir. Artan yaşlandırma süresinin önemi ve yaşlandırma süresinin artmasıyla su kayıplarında bir miktar daha iyileşmenin olduğu bu çizelgede gözlenmektedir.

Çizelge 7. Oda koşullarında katkılı tatlı su sepiolit çamuru API su kayıpları (80 °F).

Su kaybı testi	API Su kaybı, ml		
	TTB		
Zaman, dak	20 dak	16 sa	24 sa
1	1	0,4	0,2
2	2,4	1,4	1
2,5	2,8	2	1,4
3	3,4	2,4	1,8
4	4,2	3,2	2,4
5	5	4	3
7,5	6,6	5,4	4,5
10	7,8	6,6	5,6
20	12	10,6	9,4
30	14,8	13,4	12,2

YSYB koşullarında tatlı su kullanılarak TTB sepiolit kili ile hazırlanan temel çamurlar incelenmiş ve saha kullanımı için uygun olabilecek değerlerde su kayıpları elde edilmiştir, sonuçlar Çizelge 8'de verilmektedir. Çizelgede verilen değerler yaşlandırma yapılmamış (sadece 20 dak karıştırma) çamur sonuçlarıdır. Beklendiği gibi sadece artan sıcaklığın etkisiyle (350 °F) su kayıplarında bir artış söz konusudur. Bu artış 20 dak sonuçlarında TTB kili çamurunda 30 dak su kaybı 14.8 ml'den 17.6 ml'ye yükselmektedir ve böylesi yüksek sıcaklıklı ortamlar için hala uygun değerlerdedir. Esas dikkat çekici sonuçlar ise sadece sıcaklığın değil aynı zamanda basınç farkının da 500 psi olarak uygulandığı deneylerden elde edilmiştir ve Çizelge 8'de görülmektedir. Hem sıcaklığın yükseltildiği (350 °F) ve hem de basınç farkının 500 psi olarak uygulandığı durumda, 20 dak sonuçları karşılaştırılırsa, tatlı su ile hazırlanan TTB kili çamuru su kaybı değeri 21.6 ml'ye yükselmektedir. Böylesi YSYB koşullarında tatlı su ile hazırlanan çamurların verdikleri su kayıpları saha kullanımı için uygun değerlerdedir.

Çizelge 8. YSYB koşullarında (350 °F) katkılı tatlı su sepiolit çamuru API YSYB su kaybı – 20 dak.

Su kaybı testi	API YSYB su kaybı, ml	
	100 psi @ 350 °F	500 psi @ 350 °F
Zaman, dak	TTB	TTB
4	5,2	6,8
7,5	7,4	10,2
20	13,4	17,4
30	17,6	21,6

Tuzlu su ile hazırlanan çamurların su kayıpları incelendiğinde (Çizelge 9) sepioit temelli çamurların üstünlükleri daha açık ortaya çıkmaktadır ve daha başarılı bir şekilde su kaybını önledikleri görülmektedir. Artan tuz içeriğiyle daha da düşük su kayıpları elde edilmektedir. Örneğin, YSYB koşullarında çamurun su kaybı 350 °F sıcaklıkta ve 100 psi basınç farkında tatlı su çamurunda 17.6 ml, yarı doymuş çamurda 13.6 ml ve tam doymuş çamurda 9.6 ml değerlerini vermektedir ve artan tuzluluk ile önemli oranda düşmektedir. Sıcaklığın 350 °F ve basınç farkının 500 psi olduğu durumda çamurun su kayıpları sırasıyla tatlı su için 21.6 ml, yarı doymuş için 17 ml ve tuzlu su için 13 ml olarak elde edilmiştir. Böylesi YSYB koşullarında (350 °F ve 500 psi) sepiolit çamurlarının su kaybı değerleri çok düşük ve saha kullanımı için uygundur. Zorlu sondaj koşullarında kullanılan diğer çamurlara göre

sepiolit çamurları oldukça önemli avantajlara sahiptir. Bu avantajlar hem reolojik ve su kaybı hem de ekonomiklik olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 9. YSYB koşullarında (350 °F) katkılı tuzlu su sepiolit çamuru API YSYB su kaybı – 20 dak.

Su kaybı testi	API YSYB su kaybı, ml			
	100 psi @350 °F		500psi @350 °F	
	Yarı doymuş	Tam doymuş	Yarı doymuş	Tam doymuş
Zaman, dak	TTB	TTB	TTB	TTB
4	3,6	2,8	4,6	4
7,5	5,6	4,4	7	6
20	10,4	7,8	13	10,2
30	13,8	9,6	17	13

6. SEPIOLİT ÇAMURLARININ DİNAMİK FİLTASYON ÖZELLİKLERİ

Sondaj ve tamamlama operasyonları sırasında iki tür filtrasyon meydana gelmektedir. Bunlardan birisi çamur sirkülasyonu durdurulduktan sonra oluşan statik filtrasyondur. Çamur keki kalınlığı bu süreçte yavaşça artarken, filtrasyon hızı zamanla azalır. Diğeri ise sondaj çamurunun sirkülasyonu sırasında çamur kekinin erozyonu sonrasında oluşan dinamik filtrasyondur. Erozyon hızı kek yüzeyindeki akışkanın kayma hızına (shear rate) bağlıdır. Eğer kayma hızı sabit kalırsa, kek kalınlığı ve filtrasyon hızı kararlı duruma (steady state) genellikle birkaç saat içerisinde ulaşır. Koşullar değiştiğinde, yeni bir kararlı durum oluşturulacaktır. Sondaj akışkanlarının statik ve dinamik filtrasyonları arasında bir ilişki yoktur, bu nedenle dinamik filtrasyon kaybının ölçülmesi özellikle önemlidir. Ayrıca, statik koşullarda iyi bir su kaybı sağlayan çamurların dinamik koşullarda bunu sağlayamayabildikleri bir gerçektir. Bu durumlarda çamur formülasyonunun geliştirilmesi önemli olmakta ve bu durum sadece dinamik filtrasyon ölçümleriyle belirlenebilmektedir.

6.1. Deneysel donanım

Fann Model 90 cihazı dinamik radyal filtrasyon donanımdır. Alet seramik bir diskten akışkanı sirküle ederek filtrasyon özellikleri ölçmektedir. Dinamik filtrasyon gerçek bir kuyudaki akışkan hareketi (shear rate) etkisiyle filtrasyon hızını ve filtrasyon keki depolanmasını canlandırmaktadır. Bu donanım endüstri tarafından kek oluşumunu ve geçirgenliği analiz etmek için sondaj akışkanlarının optimizasyonlarında kullanılmaktadır. Cihaz kuyu dibi koşullarına en yakın değerleri verebilmek için ısıtılabilir ve basınçlandırılabilir. Filtrasyon ortamı formasyonu canlandırabilmek için kayaç gibi karakteristikte kalın duvarlı bir seramik silindir disklerdir. Filtrasyon ortamı farklı gözeneklilik ve geçirgenlikte olabilmektedir. Filtrasyon radyal olarak filtrasyon karotunda içeriden dışarıya doğru oluşmaktadır. Aynı zamanda, kuyu duvarlarında filtrasyon kekini canlandırabilmek için filtrasyon keki karotun içerisinde oluşmaktadır.

6.2. Dinamik filtrasyon testinin yorumlanması

Test geçirgen formasyonların sondajında bir akışkanın uygun olup olmadığı koşullarını belirler. Günümüzde dinamik filtrasyon verilerinin yorumlanması için standart bir yöntem yoktur. Model 90 kullanılarak elde edilebilecek bir takım parametreler aşağıda listelenmektedir.

1. **Ani su kaybı hacmi** (spurt loss volume): Genellikle filtrasyon başladığında elde edilen filtrasyon hacmi olduğu düşünülür. Bu hacim filtrasyonun başladığı an ile 10 saniye sonunda elde edilen hacimler arasındaki fark olarak düşünülür. Düşük ani su kaybı hacimleri tercih edilen özelliktir.
2. **Parçacık gözenek tıkaması** (particle plugging pores): Ani su kaybı hacmini kontrol eden öncelikli faktördür. Eğer örneğin parçacık boyutu dağılımı belirlenen bir gözenek boyutuna uygun optimize edilirse, tıkama gerçekleşecek ve ani su kaybı minimize edilecektir.
3. **Dinamik filtrasyon hızı** (dynamic filtration rate - DFR): Filtrasyon prosesi sırasında herhangi bir zaman aralığı için elde edilebilir. Filtrasyon hacmi hızının zamana göre değişiminin (ml/dak) hesaplanmasıyla belirlenmektedir. Düşük filtrasyon oranlarının olması istenmektedir. Bu oran çoğu petrol ve su bazlı çamurlar için 0.2 ml/dak değerinden daha düşük olmalıdır.
4. **Kek depolanma indeksi** (cake deposition index – CDI): Filtrasyon hızı oranının zaman göre [(ml/sa)/sa] değişiminden hesaplanabilmektedir. Düşük bir CDI filtrasyon kekinin oluşumu neredeyse kekin kararlı duruma (steady state) geldiğini göstermektedir. Kek erozyona uğradığında yaklaşık aynı miktarda yeni kek oluşarak depolanacaktır veya filtrasyon kontrolü üzerinde ek kekin bir etkisi yoktur. Çoğu sondaj akışkanı sistemlerinde 10 ml/sa/sa'tan daha düşük bir CDI değeri istenmektedir.

Ayrıca, yukarıda belirtilen DFR ve CDI değerleri sahada kullanılan çamur sistemleri için revize edilmiştir ve çoğu kuyunun sondajında kullanılacak çamurlar için istenen maksimum değerler çamur yoğunluğuna bağlı olarak Çizelge 10'da verilmektedir. Unutulmamalıdır ki, bu değerler belli bir çamur sistemi içindir, farklı çamur sistemleri için verilmiş bir standart değer yoktur.

Dinamik su kayıplarının karakterize edilebilmesi ve ayrıntılı inceleme için yedi farklı sepiolit çamuru hazırlanmıştır. Bütün çamurlar tatlı su ile formüle edilmiştir ve yüksek sıcaklıklarda test edilmiştir. Deneylerde kullanılan sepiolit çamur sistemleri hem ağırlaştırılmamış hem de barit ile ağırlaştırılarak hazırlanmıştır. Sonuçları karşılaştırabilmek için ağırlaştırılmamış (8,7 lb/gal) sepiolit çamurlarının da dinamik filtrasyon özellikleri ölçülmüştür. Çamurlar API standardına göre hazırlanmış ve çamurlara ait yoğunluk, reoloji ve pH özellikleri Çizelge 11'de listelenmiştir.

Reolojik özellikler açısından çamurların önemli oranda aktif olmayan katı (barit) içermeleri nedeniyle plastik viskozitelerinin yüksek ve akma noktalarının ise orta değerlerde olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklıkta filtrasyon kontrolü ve ikincil işlev olarak viskozite yapıcı Polimer A'nın viskoziteyi arttırıcı etkisi unutulmamalıdır. Reolojik özellikler farklı deney sıcaklık koşullarından (300 – 350 – 400 °F) etkilenmektedirler. Çamurların jel kuvvetlerinin az da olsa ilerleyen yapıda oldukları görülmektedir. Jelleşmiş çamur karıştırılmaya başlandığında hemen ve kolayca jel kuvvetlerinin kırıldığı gözlenmiştir.

Çizelge 10. Fann 90 maksimum önerilen değerler [19].

FANN 90 maximum recommended values		
Mud weight, lb/gal (sg)	Rate, mL/min	CDI
9–12 (1.08-1.44)	0.22	25
12–15 (1.44-1.80)	0.18	20
15 or greater (1.80 or greater)	0.14	16

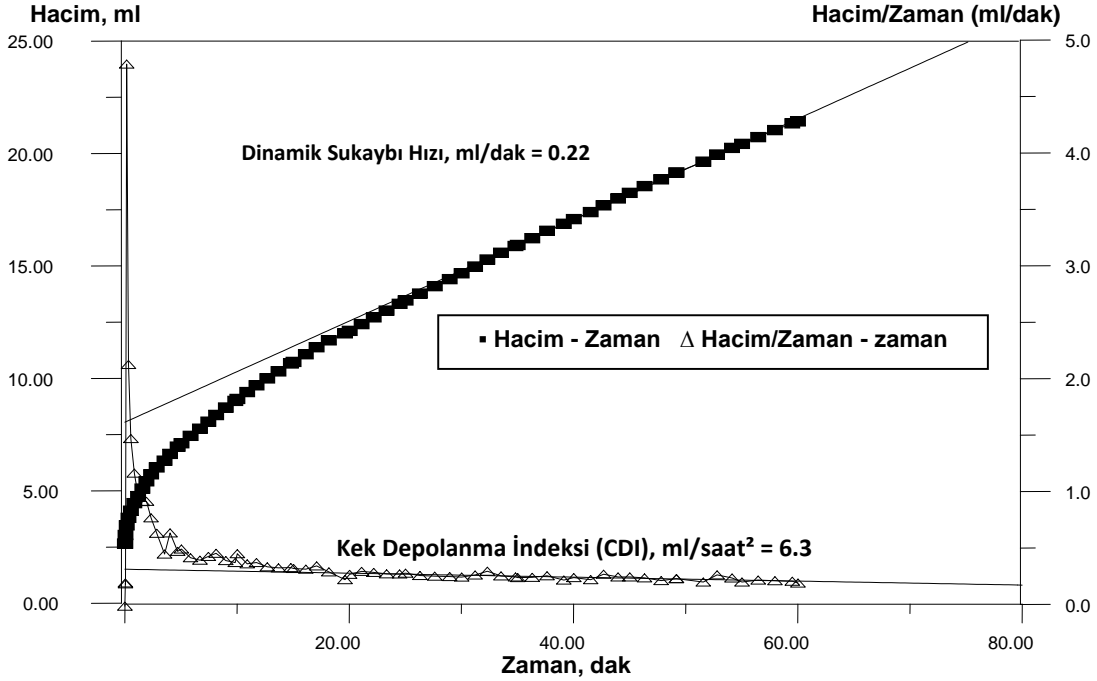
Çizelge 11. Ağırlaştırılmış TTB çamurunun özellikleri.

Özellik		Yüksek sıcaklık çamuru
Yoğunluk, ppg		11,5
Kadran okuması	600	120
	300	80
	200	65
	100	44
	6	12
	3	9
Görünür viskozite (AV), cp		60
Plastik viskozite (PV), cp		40
Akma noktası (YP), lb/100 ft ²		40
10 san jel kuvveti, lb/100 ft ²		13
1 dak jel kuvveti, lb/100 ft ²		18
10 dak jel kuvveti, lb/100 ft ²		35
pH (çamur)		9

6.3. Değerlendirme

Bu bölümdeki deneyler tatlı suda TTB sepiolit çamur sistemleri için yapılmıştır. Hazırlanan tatlı su sepiolit çamur örneklerinin dinamik su kaybı özellikleri 100 psi basınç farkı altında ve 35 mikron (5,5 darcy) gözeneklilikteki diskler kullanılarak belirlenmiştir. Üç farklı boyutta TTB killeri kullanılarak tane boyutunun gözenekleri tıkama ve kek oluşturma etkinlikleri test edilmiş ve en iyi performansı gösteren durum belirlenmiştir. Tane boyutları (1) 20 mikrondan küçük, (2) 75 mikrondan büyük ve (3) 20-75 mikron arasındadır. Bir formasyonun etkin bir şekilde gözeneklerinin tıkanması çamur içerisinde bulunan katıların tane boyutu dağılımı ile yakından ilişkilidir. Genellikle, formasyon gözenek açıklığına uygun olan bir tıkama (bridging) malzemesi seçilmektedir. Endüstrinin bu konuda kabul ettiği boyut seçimi ve konsantrasyonu yaklaşımı A. Abrams'ın (1977) [20] yaptığı çalışmaya dayanmaktadır. Bu çalışmaya göre, tıkama malzemesinin ortalama tane boyutu formasyonun gözenek boyutunun yaklaşık üçte birine eşit veya bu değerden biraz daha fazla olmalıdır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 35 mikron (5,5 darcy) gözenek çapına sahip seramik disklerin kullanılması durumunda 20-75 mikron boyut aralığında sepiolitlerin kullanılmasıyla hazırlanan çamurların daha iyi tıkama özelliği gösterdiği ve uygun DFR ve CDI değerleri verdiği elde edilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 12'de özetlenmiştir ve bu çizelgede 1 numara ile gösterilen çamur örneğinin dinamik filtrasyon donanımından alınan verilere ait grafiksel davranışı Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi iç filtrasyon keki ilk 5 saniyede oluşmaktadır. Bu iç kek oluştuktan sonra filtrasyon hacmindeki artış oranı minimumdur. Bu sonuçlar aynı zamanda ani su kaybında önemli artış olmadığını da göstermektedir ve Çizelge 12'de verilmektedir. Sepiolit çamurlarından elde edilen DFR değerlerinin (0.22 – 0.27 ml/dak) yüksek sıcaklık ve 100 psi basınç farkında uygun değerlerde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, YSYB koşullarında (300 °F ve 500 psi) elde edilen 0.33 ml/dak filtrasyon hızının uygun bir değer olduğu ve sepiolit çamurlarının böylesi yüksek basınç koşulunda çok iyi bir performans gösterdiğini belirtmektedir. Diğer taraftan, bütün testlerde düşük CDI değerleri (<10 ml/sa/sa) elde edilmiştir (istenilen bir sonuç). Grafiklerden görülebileceği gibi, CDI değerinin artan basınç farkı ile azaldığı göstermekte ve sıkıştırılabilir bir filtrasyon kekinin oluştuğunun göstergesidir.



Şekil 10. Ağırlaştırılmış TTB kili (No:1) dinamik filtrasyon sonuçları - 300°F ve 100 psi.

Çizelge 12. Deney koşulları ve sonuçlar.

Örnek no	Örnek kodu	Sıcaklık, °F	Δp , psia	DFR, ml/min	CDI, ml/hr/hr	Ani sukaybı, ml	Parçacık boyutu (d) micron
1	TTB	300	100	0,22	6,3	3,50	20< d <75
2	TTB*	300	100	0,32	0,75	13,60	20< d <75
3	TTB	300	100	0,25	12,6	2,60	75<d
4	TTB	300	100	0,26	6,95	3,00	20>d
5	TTB	350	100	0,27	6,98	3,70	20< d <75
6	TTB	400	100	0,34	6,75	3,25	20< d <75
7	TTB	300	500	0,33	3	4,40	20< d <75

TTB*: Ağırlaştırılmamış TTB kil temelli çamur sistemi

Diğer taraftan, tipik kompozisyonlu çamur için sıcaklığın 400 °F ve basıncı 100 psi olduğu durumda DFR değerinde az miktarda artış olduğu görülmektedir. Bu durum çamurun ıslah edilmesiyle ve farklı konsantrasyonlarda katkı maddesi kullanılmasıyla önlenebilir. Aynı zamanda, ağırlaştırılmamış sepiolit çamuru çok düşük CDI değeri (0.75 ml/sa/sa) vererek dış filtrasyon kekinin oluşmadığını göstermektedir. Ağırlaştırılmamış çamur sisteminin ani su kaybının (13,60 ml) çok yüksek olduğu da gözlenmektedir. Ağırlaştırılmış sistemde ise daha küçük boyutlu barit parçacıklarının daha çabuk bir iç kek oluşturarak, çamurda daha düşük ani su kayıpları oluşmasına yardımcı olduğu düşünülmektedir.

7. AKTİF KATI İLE KİRLLETİLMİŞ SEPIOLİT ÇAMURLARININ ÖZELLİKLERİ

Sondaj sıvılarının kompozisyonu ve bakımı sondaj yapılacak olan formasyona ya da sondaj işlemleri sırasında eklenen malzemeye bağlıdır. Formasyon kırıntıları ile birlikte belli durumlarda bu

malzemelerin bazıları kirletici olarak nitelendirilmektedirler. Sondaj veya tamamlama sırasında, reaktif şeyllerden oluşan tabakaların karşılaşması olası ve yaygın bir durumdur. Sondajı yapılan kayaçların büyük bir bölümü seyl bakımından zengin kayaçlardır. Şeyl olarak belirlenen terim, suya maruz kaldığında su bağlayarak şişme özelliğini (hacim artışı) gösteren belirli yeraltı kil türleri (örneğin, bentonit) gibi malzemeler anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle, bir sondaj sıvısı ile temas ettiğinde, kil ve/veya reaktif killer oluşturan bölgeler, kararlı (unstable) olmayan hale gelebilir. Bu formasyonlar jeolojik zaman içinde, tabaka basıncı (overburden) etkisi altında gözeneklerindeki sıvılarını kaybeden killer içermektedirler. Su içeren malzemelere maruz kaldıkları zaman ise killer ozmotik etki ile sondaj akışkanında bulunan suyu emerek şişeceklerdir. Reaktif şeyller örneğin su bazlı sondaj akışkanı gibi sulu ortama maruz kaldığında bozulur (degradation) şişer ve sondaj sırasında istenmeyen sorunlar oluşturmaktadır. Örneğin, şeyl bozulması nedeniyle kuyu içinde yüzeye taşınması gereken sondaj kesintileri etkileşime girerek kesintilerin yüzeydeki katı kontrol sisteminde uzaklaştırılmalarından önce bütünlüğünün korunmasını engelleyebilir. Bozulmuş sondaj kesintileri yüzeyde çamur sisteminden arındırılmadığında, seyl taneciklerinin kuyu da yukarı doğru hareketi sırasında daha küçük taneciklere bölünerek yüzey alanlarının artmasına, giderek daha fazla sıvı emmesine, daha da bozulmasına ve böylece sondaj zamanının uzamasına sebep olacaktır. Şeyl şişmesi gerilmelere, mekanik mukavemetin kaybına ve sonuç olarak şeyllerin bozulmasına yol açmaktadır. Şeyllerin kuyu içine çökmesi ("dökülmesi") sonucunda matkap üzerinde büyük bir yük oluşmasını sağlayarak matkapın kuyudan çıkarılamamasına yol açabilir. Bu nedenle, sondaj çamurunun reolojik ve su kaybı özelliklerinin katı kirlenmesi ve aktif kil girişi durumlarında incelenmesi hayati bir önem taşımaktadır.

Sepiolit temelli çamurların aktif katı madde kirlenmesine karşı etkinlikleri "Aktif katı ile kirlenmiş sepiolit çamurlarında reoloji ve su kaybı özelliklerinin kontrolü" başlıklı çalışma ile[21] 10. Ulusal Tesisat Kongresinde (Teskon 2011) yayınlanmıştır. Bu çalışmaya göre sepiolit çamurlarının aktif katı içeren şeyl zonları veya şeyl içeriğince zengin formasyonların sondajında karşılaşılan kuyu stabilitesi problemini önleyebileceği ve/veya minimum yapabileceği açık bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Bu özelliği ile zorlu koşullarda (tuzlu ve yüksek sıcaklıklı) 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.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada TTB sepiolit kili ile tatlı su ve farklı tuzluluklarda hazırlanan sondaj akışkanlarının reoloji ve su kaybı özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Hem katkısız hem de birtakım özel katkılar içeren çamur örneklerinin özellikleri farklı sıcaklık ve basınç koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada formülasyonu geliştirilen sepiolit çamurlarının dinamik su kaybı özellikleri ve aktif katı kirlenmesine karşı etkinlikleri de incelenmiştir. Çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- İncelenen bütün çamur örneklerinin kayma hızı – kayma gerilmesi ilişkisi doğrusal olmadığı için, çamurların Newtoniyen olmayan bir reolojik davranışta olduğu gözlenmektedir. Çamurların görünür viskozitelerinin artan kayma hızıyla sabit olmaması da akışkanların Newtoniyen olmadıklarını gösteren diğer bir özelliktir. Bütün akışkanlar için, görünür viskozite artan kayma hızı değerleriyle bir azalım göstermesi nedeniyle, akışkan yalancıplastik (pseudoplastik) bir yapıdadır.
- Reolojik olarak TTB kili API standartlarında belirtilen kriteri sağlamaktadır. Bütün çamurlarda artan yaşlandırma zamanıyla kayma gerilmeleri değerlerinde de artışın olduğu belirlenmiştir. Bu artış, artan zaman ile azalım göstermekte ve 24 saat ve 48 saat arasındaki fark önemsiz hale gelmektedir.
- Reolojik olarak en yüksek kayma gerilmesi değerleri tatlı su ile hazırlanan çamurlardan elde edilmiştir. Yarı doymuş ve doymuş çamurlardan elde edilen kayma gerilmeleri değerleri bariz bir şekilde daha düşüktür, ancak bu ikisi arasındaki fark önemsizdir.
- İncelenen sepiolit çamurları görel olarak yüksek jel kuvveti değerleri göstermektedir. Çamurların akma noktalarının plastik viskozitelerine oranı (YP/PV) genel olarak 3'ün altındadır.

- Sepiolit çamurları sıcaklığın 400 °F (205 °C) olduğu durumlarda stabilitesini koruyarak uygun reolojik değerler vermektedir. Bu sıcaklıkta sepiolit çamurlarının flokülasyon nedeniyle bozunuma uğramadıkları gözlenmektedir ve çok önemlidir. Bu yönüyle, derin ve sıcak petrol kuyularının, özellikle jeotermal kuyuların sondajlarında iyi bir alternatif çamur olma özelliği göstermektedir.
- Çamurların API su kayıpları değerleri her tuzlulukta çok yüksektir ve sondaj saha uygulamaları için uygun değildir. Yüksek su kaybı nedeniyle çamur keklerinin 4-9 mm aralığında, çok kalın ve genel olarak sert ve kırılğan yapıda gözlenmektedir.
- Su kaybı değerleri artan yaşlandırma zamanı ile bir azalım göstermektedir, ancak bu azalım reolojik değişimlerde olduğu kadar önemli değildir. En küçük su kaybı değerleri tam doymuş çamurlarda elde edilmektedir. Yarı doymuş ve tatlı su ile hazırlanan çamurların su kaybı değerleri birbirlerine yakındır ve aralarındaki fark önemsizdir. İncelenen bütün sepiolit çamur örnekleri yüksek su kaybı değerleri nedeniyle bir miktar ani su kaybı değerleri vermektedir.
- Çamurlarının yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında farklı konsantrasyonlarda katkı maddeleri kullanılarak su kayıplarının önenebileceği gösterilmiştir. Çalışmada geliştirilen çamur formülasyonu ile 350 °F sıcaklık ve 500 psi basınç farkında kabul edilebilir su kayıpları elde edilmiştir.
- 25<d<75 mikron tane boyutu dağılımına sahip sepiolit kili ile hazırlanan çamurlar seramik disk gözeneklerini daha iyi tıkayarak (bridging) dinamik filtrasyon hızı (DFR) ve kek depolanma indeksi (CDI) açısından daha uygun değerler vermektedir. En iyi gözenek tıkama boyutunun literatürde de belirtildiği gibi, geçirgen ortamı (formasyonu) canlandıran seramik disklerin gözenek çapının üçte biri veya biraz daha büyük tane yapısına sahip katı içeren çamur sisteminden elde edilebileceği bu çalışmada da belirlenmiştir. DFR ve CFR değerleri sıcaklıktan olumsuz etkilenmekte ve artmaktadır, ancak bu etkilenme CDI değerlerinde daha azdır. Basınç farkı arttırıldığında DFR orantılı olarak artarken, CDI azalmaktadır (çamur kekini sıkıştırılabilir olduğunun bir göstergesi).
- Zorlu sondaj koşullarında ve reaktif katı girişinin (OCMA kili) izin verildiği canlandırmalarda, sepiolit çamurlarının hem reolojik hem de su kaybı açısından uygun değerler vermektedir. Bu yönüyle, büyük sorunlara yol açabilen seyl veya şeyl açısından zengin zonların sondajı için sepiolit çamurları iyi bir alternatif olarak görünmektedir.
- Çamur sistemlerinde flokülasyona neden olan üç temel unsura karşı (yüksek tuzluluk, yüksek sıcaklık ve yüksek aktif katı madde) sepiolit çamurları neredeyse duyarsızdır ve etkin bir şekilde stabilitesini koruyarak, görevlerini başarıyla yerine getirebileceği görülmektedir.
- Bu çalışmada kullanılan sepiolit killeri API reoloji kriterlerini sağlamaktadır ve bu yönüyle sepiolit rezerveleri açısından çok zengin olan Türkiye için (son zamanlarda yapılan çalışmalara göre en büyük rezervlere sahip) sepiolit killerinin sondaj endüstrisinde kullanılması önemli bir katma değer yaratabilecektir.
- Bilindiği kadarıyla, sepiolit temelli hazırlanmış çamurların petrol, gaz ve jeotermal kuyuların açılmasında kullanımı günümüze kadar petrol endüstrisi tarafından özellikle yüksek su kayıpları nedeniyle gerçekleştirilmemiştir. Bu çalışmada uygulanan formülasyon ile hazırlanan sepiolit çamurları su kaybı değerleri açısından da kontrol altına alınabileceği gösterilmiştir.
- Sepiolit temelli çamurlar gerçek saha koşullarında kullanılmaya hazırdır.

KAYNAKLAR

- [1] SABAH, E. ve ÇELİK, M.S., 1998 : “Sepiyolit”, Afyon.
- [2] MURRAY, H.H., 2007: Applied clay mineralogy.
- [3] URL-1: www.ima-eu.org/fileadmin/downloads/Sepiolite_fact_sheet.pdf, 2009.
- [4] BALCI, S., 1999: “Thermal decomposition of sepiolite and variations in pore structure with and without acid pre-treatment”, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Volume 66 Issue 1, pages72–78, Published Online: 26 March.
- [5] ÖZTÜRK, N.ve KAVAK, D., 2004: “Adsorption of Boron from Aqueous Solutions by Sepiolite: II. Column Studies”, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir, Türkiye.
- [6] DTP Projesi, 1991: “Türkiye’deki Sepiolitlerin Jeotermal Sondaj Çamurlarında Kullanımı Projesi”, İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

- [7] CARNEY, L.L., and GUVEN, N., 1980: Investigation of Changes in the Structure of Clays During Hydrothermal Study of Drilling Fluids, Article, Journal of Petroleum Technology, pp. 385-390, October.
- [8] CARNEY, L.L., GUVEN, N., and MCGREW, G.T., 1982: Investigation of High-Temperature Fluid Loss Control Agents in Geothermal Drilling Fluids, Proceedings, SPE Paper No: 10736, California Regional Meeting, San Francisco, CA, USA, March 24-26.
- [9] CARNEY, L.L., and MEYER, R.L., 1976: A New Approach to High Temperature Drilling Fluids, Proceedings, SPE Paper No: 6025, 51st Annual Fall Meeting of Society of Petroleum Engineers, New Orleans, LA.
- [10] HILLSCHER, L.W. and CLEMENTS, W.R., 1982: High-Temperature Drilling Fluid for Geothermal and Deep Sensitive Formations, Proceedings, SPE Paper No: 10737, California Regional Meeting, San Francisco, CA, USA, March 24-26.
- [11] MOUSSA, M.M., 1985: Dynamic Measurement of Drilling Fluid Rheology at Elevated Temperature and Pressure, Proceedings, SPE Paper No: 13691, Middle East Oil Technical Conference and Exhibition, Bahrain, March 11-14.
- [12] GUVEN, N., PANFILL, D.J. and CARNEY, L.L., 1988: Comparative Rheology of Water Based Drilling Fluids With Various Clays, Proceedings, SPE Paper No: 17571, International Meeting on Petroleum Engineering, Tianjin, China, November 1-4.
- [13] ZILCH, H.E., OTTO, M.J. and PYE, D.S., 1991: The Evolution of Geothermal Drilling Fluid in the Imperial Valley, Proceedings, SPE Paper No: 21786, Western Regional Meeting, Long Beach, CA, USA, March 20-22.
- [14] SERPEN, U., HACIİSLAMOĞLU, M. and TUNA, O., 1992: Use of Sepiolite Resources of Turkey in geothermal Muds, Proceedings, 9th International Petroleum Congress of Turkey, Ankara, 17-21 February.
- [15] SERPEN, U., 1999: Use of Sepiolite Clay and Other Minerals for Developing Geothermal Drilling Fluids, Article, Journal of Applied Mechanics and Engineering, vol 4, special issue.
- [16] SERPEN, U., 2000: Investigation on Geothermal Drilling Muds with High Temperature Stability, Proceedings, World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10.
- [17] ALTUN, G. and SERPEN, U., 2005: Investigating Improved Rheological and Fluid Loss Performance of Sepiolite Muds under Elevated Temperatures, Proceedings, World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, April 24-29.
- [18] API SPEC 13-A., (2007): Specification for drilling-fluid materials, 17th edition, May 2007.
- [19] URL-2: <http://www.fann.com/>, 2009.
- [20] ABRAMS, A.: "Mud Design to Minimize Rock Impairment due to Particle Invasion," Journal Petroleum Technology, May 1977, 586-592.
- [21] ALTUN, G., OSGOUEI, A. E., SERPEN, U., ve ÇELİK, M., 2011: "Katkılı sepiolit temelli sondaj çamurlarının kil kirlenmesine karşı reolojik ve su kaybı özelliklerinin incelenmesi ", sunuldu ve bildiriler kitabında yayınlandı, 10. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi (TESKON 2011), İzmir, Türkiye, 13-14 Nisan 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Gürşat ALTUN

1988 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Mühendis ve Louisiana Eyalet Üniversitesinden (ABD) 1999 yılında Doktor unvanını 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 unvanını 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 unvanı aldıktan kısa bir süre sonra emekli olmuştur. Halen aynı Bölümde Okutman olarak ders vermekle birlikte serbest danışman olarak mesleğini icra etmektedir.