

Bu makale aşağıda atfı bilgisi verilen makalenin Türkçe çevirisidir.
Atfı bilgisi: Toka, B. 2022. Mud systems applied to problematic formations in core drilling rigs. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 168, 67-75. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.970177>



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



Karotlu sondaj kulelerinde sorunlu formasyonlar için uygulanan çamur sistemleri

Mud systems applied to problematic formations in core drilling rigs

Bülent TOKA^{a*}

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Sondaj Dairesi, Ankara, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:
Elmaslı Sondaj, Sondaj Çamuru, Sorunlu Formasyonlar, Boru İçi Kekleşme.

ÖZ

Karot alma prensibine dayanan sondaj kulelerinin en önemli iki özelliği yüksek hızlarda dönen takım dizisi ve boru ile kuyu cidarı aralığının çok hassas ölçüde olmasıdır. Sorunlu formasyonların sondajında şişen, kuyu içerisine akan, dökülen veya yıkılan formasyon parçaları çamurun bünyesine karışmakta veya anülüsü daraltarak takım dizinin dönmesini ve sirkülasyonu engelleyerek kuyu problemlerine neden olmaktadır. Dökülen formasyon parçaları çamurun bünyesinde aşırı oranda katı madde artışına neden olmakta ve merkezkaç kuvveti etkisiyle de katı maddeler yüzeye yakın boruların iç çeperine yapışarak kek oluşturmaktadır. Borular içerisinde oluşan aşırı kek kalınlıkları, karotiyer iç tüp yakalayıcının kuyu içerisine inişini engellemektedir. İç tüpün dışarı alınması sırasında da tij içerisinden dışarı boşalan çamur nedeniyle kuyu içerisinde vakum oluşmakta ve sorunlu formasyonlar anülüse dökülerek karotiyer - kuyu cidarı arasını tıkamaktadır. Bu çalışmada Çorum - Amasya yöresinde yapılan karotlu kömür arama sondajlarında pekişmemiş kilit taşı, çamur taşı (şeyl), silt taşı ve kum - çakıl taşlarında karşılaşılan problemlere karşı deneme - yanılma yöntemi ile belirlenen çamur sistemlerinin performansı değerlendirilmiştir. Çamur kompozisyonlarının reolojik değerlerinin takip edilmesi ve düzenli iyileştirilmesi, kuyu şartlarına göre çamur kompozisyonunun değiştirilmesi, jel direncinin yüksek tutulması ve yoğunluğunun tuz ile artırılması pekişmemiş formasyonların fiziksel olarak dengede tutulmasında önemli rol oynamıştır. Tuz çamuru ayrıca boru içinde kek oluşumunu da en aza indirmiştir.

Geliş Tarihi: 02.03.2021
Kabul Tarihi: 10.07.2021

Keywords:
Diamond Drilling,
Drilling Mud,
Problematic Formations,
In-pipe Caking.

ABSTRACT

The two most important features of drilling rigs based on the core drilling principles are the drill set rotating at high speeds and the very precise spacing between the pipe and the well wall. Formation pieces that swell, flow into the well, spill or collapse during the drilling of problematic formations mix into the mud or narrow the annulus and cause well problems by restraining the rotation of the drill string and circulation. The spilled formation pieces cause an excessive solid material increase in the mud structure and due to the effect of centrifugal force, the solids adhere to the inner wall of the pipes near the surface and form a cake. Excessive cake thickness in the pipes obstruct the descent of the core barrel inner tube catcher into the well. During the removal of the inner tube, a vacuum occurs in the well due to the mud discharged from the rod and the problematic formations are poured into the annulus and block the core between the core barrel and the well wall. In this study, the performance of mud systems determined by trial and error method against the problems encountered in unconsolidated claystone, mudstone (shale), siltstone and sand - pebble stones in core coal exploration drillings in Çorum - Amasya region were evaluated. Monitoring and regular

*Başvurulacak yazar: Bülent TOKA, tokabulent@yahoo.com

improvement of the rheological values of the mud compositions, changing the mud composition according to the well conditions, keeping the gel strength high and increasing its density with salt was found to play an important role in keeping the unconsolidated formations physically balanced. Salt mud also minimized the formation of cake in the pipe.

1. Giriş

Elmaslı (karotlu) sondajlar, elmas uçlu matkap (kesici uç) kullanılarak ilerleme boyunca yer yapısını gösteren silindirik şekilde orijinal numune (karot) alma prensibine dayanır. Döner sondaj sistemi ile çalışılan bu yöntemde kesici uç olarak elmas matkaplar kullanıldığından genellikle elmaslı sondaj diye adlandırılır.

Elmaslı sondaj kulelerinin, kırıntılı ilerleme yapma prensibine dayanan sondaj kulelerinden farkı; yüksek hızlarda (500 - 2,500 rpm) dönen takım dizisi ve boru ile kuyu cidarı aralığının çok hassas ölçüde (yaklaşık 2 - 4 mm) olmasıdır. Takım dizisinin yüksek devirlerde dönmesi su başlığından çıkan dolaşımdaki çamur üzerine santrifüj etkisi oluşturur.

Elmaslı sondaj kulelerinin taşıma kapasitesine ve vinç gücüne bağlı olarak hedeflenen derinliğe ulaşmak için genellikle PQ (114,3 mm), HQ (89,9 mm), NQ (69,9 mm) ve BQ (55,5 mm) çaplarındaki takım dizisine (Özbayoğlu, 1983) ve koruma borularının indirileceği derinliğe göre kuyu tasarımı yapılır. Derin ve sorunlu formasyonlarda kuyunun üst seviyeleri genellikle PQ (veya HQ) takım dizisi ile delinir ve planlanan derinliğe ulaşıldığında PW çaplı borular (dış çap - 139,7 mm) veya HW (dış çap - 114,3 mm) bu aralığa indirilir. PW boruları indirmek için genellikle 6 ¼" (158,7 mm) veya 6 ¾" (171,4 mm) çap aralığında bir matkap ile kuyu genişletilir. Derin açılacak kuyuların üst seviyelerindeki alüvyon, kumtaşı gibi formasyonlarda sondaj sorunu (çamur kaçağı, yıkılma, dökülme) yaşanıyor ise PW borudan önce 6^{5/8}" (168,3 mm) çapında koruma borularının indirilmesi önerilir. PW borulardan sonra kuyuya sırası ile HW, NW (88,9 mm), BW (73,0 mm) ve AW (57,1 mm) koruma boruları; kuyu tasarım planına veya kuyu problemlerine göre kuyuya indirilir. Sondaj problemleri nedeniyle kuyunun planlanan derinlikte BQ tijler ile bitirilememesi durumunda ise AQ (44,5 mm) takım dizisi ile sondaj istenilen derinlikte tamamlanmaya çalışılır.

Sondaj çalışmalarında karot veriminin ve ilerleme hızının yüksek olması istenir. Kesilecek litolojinin doğru bilinmesi karot verimini etkilerken, yüksek ilerleme hızı işin ekonomik yapılmasına olanak sağlar. Litolojiye uygun doğru sondaj çamur kompozisyonunun seçilmesi karot verimini artırırken, ilerleme hızına etki eden formasyon kaynaklı sondaj problemlerini de en aza indirir.

Elmaslı sondajlarda katı madde kontrol ekipmanları genellikle kullanılmadığından, formasyon kırıntıları çamurun bünyesine karışır ve akışkanın kalitesini olumsuz etkiler. Dolayısıyla, çamurun özelliklerini kontrol altında almak zorlaşır ve kuyu problemleri oluşur. Çamur özelliklerindeki olumsuz değişimler ilerleme hızı ve karot veriminde düşümlere, kuyu içi göçmelere, delme boruları ile kuyu cidarı arasında daralmalara ve kuyu içi temizliğinin etkin yapılamamasına neden olur. Ayrıca, katı madde ile kirlenmiş çamurlar su başlığının altında bulunan delme borularının içerisini daraltan kek oluşumuna da (katı madde birikimine) neden olur. Bu durumda iç tüp yakalayıcı (numune alıcı) başlık kuyu içerisine indirilemediğinden veya iç tüp dışarı alınamadığından bazen takım dizisinin tamamının yukarı çekilmesine gereksinim duyulur. Tüm bu nedenlerden dolayı formasyona uygun sondaj çamurunun hazırlanması ve kontrol altında tutulması önemlidir.

Karotlu sondajlarda karşılaşılan ana problemlerden en önemlisi kil ve şeyl gibi aktif (suya duyarlı) formasyonların şişmesi, kuyu içerisine akması ve dökülmesidir. Bununla birlikte kıltaşı, silttaşı, kumtaşı, çakıltaşı gibi pekişmemiş formasyonların kuyu içi fiziksel dengenin bozulması ile kuyu içerisine akma özelliği göstermesidir. Kil ve şeyilli formasyonların içerdiği kil tipleri içinde en fazla sodyum montmorillonit (smektit) suya karşı duyarlı bir davranış göstermektedir. Sodyum montmorillonit killer içerisinde en yüksek katyon değiştirme ve suyu bünyesinde tutma kapasitesine sahiptir (Luckham ve Rossi, 1999). Sondaj çamuru yapımında viskozite yapıcı ve filtrasyon kontrolü sağlayan API katkısız

bentoniti de bir sodyum montmorillonittir. Sorunlu formasyonların kontrol altına alınmasında çamurun kimyasal ve fiziksel özelliklerinden faydalanılır (Toka, 2017). Su ile şişme özelliğine sahip aktif killerin sondajında çamur ile formasyon arasında kimyasal denge kurulurken, dökülme ve akma eğilimi gösteren formasyonlarda da fiziksel denge önemli yer tutar. Kimyasal dengenin sağlanmasında korumalı (inhibitif) veya petrol bazlı çamurlar kullanılır. Formasyon ile çamur arasında mekanik dengeyi sağlamak için de dengeleyici çamur yoğunluğuna ihtiyaç vardır.

Karotlu sondajların çamur tasarımında bentonit çamurları yerine genellikle düşük katı madde içerikli (polimerli) çamur sistemleri seçilir. Bunun nedeni bentonit bazlı çamur sistemlerinde bentonitin içerdiği katı maddelerin boru içi kekleşme oranını artırmasıdır. Dolayısıyla, boru içi kekleşme oranını düşürmek amacıyla sondaj akışkan kompozisyonlarında bentonit miktarı azaltıldığından sondaj akışkanının viskozitesini artırmak için yüksek moleküler ağırlıklı karboksimetil selüloz (HV CMC), yüksek moleküler ağırlıklı poli anyonik selüloz (PAC R), ksantan sakızı (piyasada XCD olarak bilinir) ve kısmi hidrolize poli akrilamit (PHPA) akışkan sistemine eklenir. Kırıntıları kapsülleştirme özelliğine sahip sentetik PHPA ve yarı sentetik poli anyonik selüloz (PAC) aynı zamanda aktif kil formasyonlarının su ile şişmesini önleme amaçlı da kullanılır (Cario ve Bagshaw, 1978; MI Drilling Fluids Engineering Manual, 1998). Akışkanın su kaybını kontrol altına alma amaçlı olarak da düşük moleküler ağırlıklı karboksimetil selüloz (LV CMC), düşük moleküler ağırlıklı poli anyonik selüloz (PAC LV) ve modifiye nişasta sisteme eklenir. Modifiye nişastanın dallı bir polimer olan ksantan sakızı ile uyumlu çalışması çamurun dinamik halde taşıma

kapasitesini (akma direnci) ve statik halde kırıntıları askıda tutma (jel direncini) özelliğini geliştirir (Darley ve Gray, 1988).

2. Çorum - Amasya Sahalarının Jeolojik Yapısı ve Formasyon Özellikleri

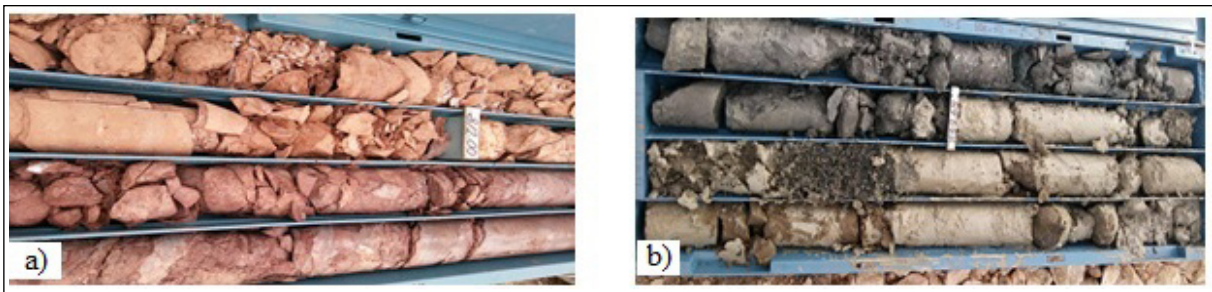
Kömür arama sondajları Çorum ilinin Sungurlu (Terziköy ve Mecitözü) ve Amasya ilinin Suluova yörelerinde gerçekleştirilmiştir. Terziköy ve Mecitözü formasyonları kırılğan çamurtaş (şeyl) (Şekil 1a), kıltaşı, silttaşı ve kumtaşlarından oluşurken Suluova formasyonu pekişmemiş, kıltaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakıltaşından (Şekil 1b) oluşmuştur. Bazı kuyularda sondaj çamuruna asidik gaz girişleri gözlenmiş ve çamur pH tampon (buffer) çözelti özelliği göstermiştir. Ayrıca Suluova sondajlarında farklı derinliklerde çamur kaçığı ve peşinden pompa basıncında artışlar gözlenmiş ve basıncı düşürmek için avara (basıncı tahliye) hattı açıldığında kaçan çamur sondaj boruları içerisinden tekrar çamur havuzlarına geri geliş yapmıştır.

3. Malzeme ve Metot

Sondaj çalışmaları; 2,000 m delme kapasitesine sahip METASON ve 1,000 m kapasiteye sahip SONMAK elmaslı sondaj kuleleri ile gerçekleştirilmiştir.

Çamur katkı maddesi olarak katkısız bentonit, HV CMC, XCD, PAC LV, LV CMC, modifiye nişasta, NaCl (yoğunluk artırıcı suda çözünür tuz) ve kostik soda (pH düzenleyici) kullanılmıştır.

Çamurun fiziksel ölçümleri için 6 hızlı viskometre, marş hunisi, su kaybı ölçüm aleti ve çamur terazisi kullanılmıştır. Çamurun kimyasal özellikleri için



Şekil 1- a) Terzili ve Yörüklü sahasında karşılaşılan kırılğan çamurtaşları, b) Suluova sahasında kesilen pekişmemiş kumtaşları, kıltaşları ve silttaşları.

toplam sertlik, P_f / M_f ve klor içerikleri sürekli takip edilmiştir (P_f : filtrat fenolfitaleyn alkalinitesi ve M_f : filtrat metiloranj alkalinitesi). Akışkanın reolojik değerleri (TS EN ISO 13500, 2010) aşağıda verilen formüllere göre hesaplanmıştır.

$$AV = \frac{\theta_{600}}{2} \quad (1)$$

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (2)$$

$$YP = \theta_{300} - PV \quad (3)$$

Burada; AV (görünür viskozite, cP), θ_{600} (600 rpm'de viskometre de okunan değer), θ_{300} (300 rpm'de viskometre de okunan değer), PV (plastik viskozite, cP), YP (akma direnci, lb/100 ft²) olarak tanımlanmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü Sondaj Dairesi Başkanlığı sondaj çamuru araştırma geliştirme projesi kapsamında sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özelliklerini belirlemeye yönelik laboratuvar test sonuçlarına göre belirlenen çamur kompozisyonlarından (Toka vd., 2016) bazıları bu sahada denenmiştir (Çizelge 1).

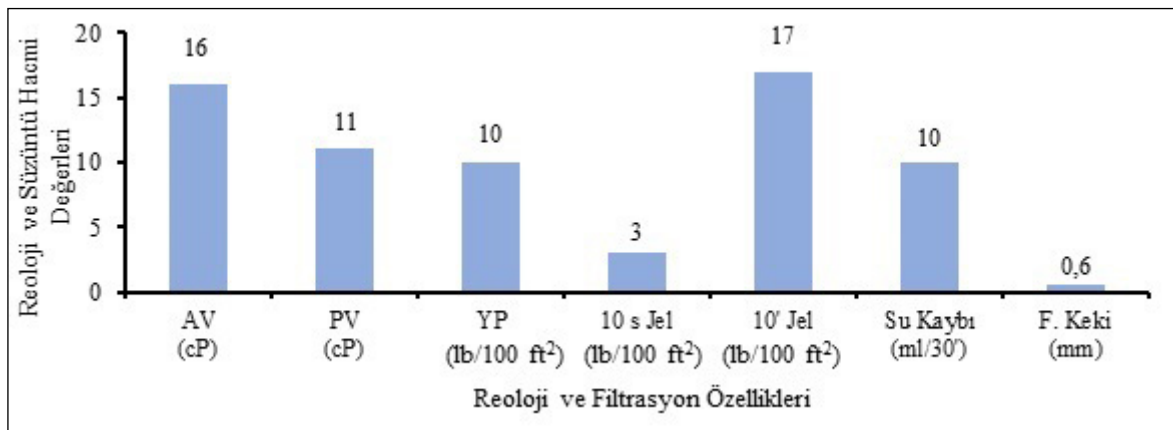
Bentonit + CMC kompozisyonunun bu sondaj için seçilmesinin en önemli nedeni maliyetinin düşük olması ve Şekil 2'de görüldüğü gibi reolojik ve filtrasyon değerlerinin karotlu sondajlar için uygun olmasıdır. Özellikle 10' jel direnç değeri (17 lb/100 ft²) yüksek olan bu çamurun pekişmemiş pekişmemiş kumtaşları ve çakıltaşlarının boşluklarına sızarak pekiştirici özellik göstermesi ve formasyonun kuyu içerisine akmasını engellemesi beklenmektedir.

Bentonit + CMC çamurunun kullanıldığı bazı zonlarda, viskozite azalması yaşandığından dolayı bu çamurun yerine modifiye nişasta, XCD ve katkısız bentonitten oluşan çamur kompozisyonu denenmiştir. Laboratuvarında belirlenen bu kompozisyonun 10 s ve 10' jel değerlerinin (4 - 8,5 lb/100 ft²) birbirine yakın olması ve dinamik halde taşıma kapasitesini veren YP değerinin PV 'ye göre yüksek olması nedeniyle bu çamur tipi de sondajlarda denenmiştir (Şekil 3).

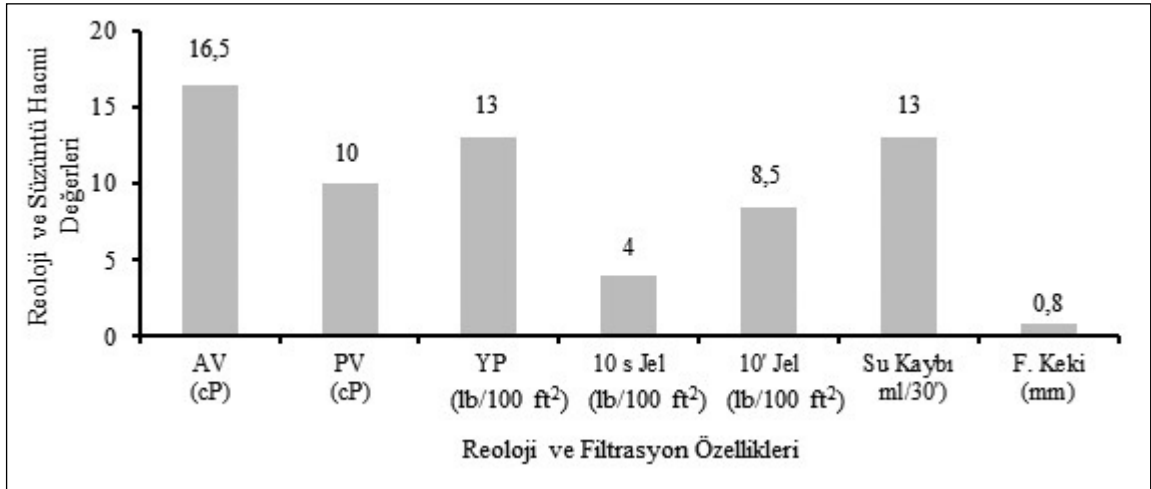
Sondaj akışkanı ile kuyu cidarı arasında mekanik denge bozulduğunda (kuyu içi yıkıntı ve dökülmeler yaşandığında) çamurun kuyu cidarına uygulayacağı fiziksel kuvveti (yoğunluğu) artırmak ve ekstra

Çizelge 1- Sondaj çamuru araştırma geliştirme projesi kapsamında sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özelliklerini belirlemeye yönelik laboratuvar test sonuçlarına göre belirlenen çamur kompozisyonları.

Çamur kompozisyonu	Kompozisyon katkı maddeleri
Bentonit + CMC kompozisyonu	10 ppb (28,5 kg/m ³) Katkısız bentonit + 0,7 ppb (2 kg/m ³) LV CMC + 0,6 ppb (1,7 kg/m ³) HV CMC
Bentonit + Modifiye (M.) Nişasta + XCD kompozisyonu	10 ppb (28,5 kg/m ³) Katkısız bentonit + 0,9 ppb (2,6 kg/m ³) M. Nişasta + 0,7 ppb (2 kg/m ³) XCD
Tuz kompozisyonu	NaCl doymun sondaj akışkanı hazırlama suyu + 2 ppb (5,7 kg/m ³) M. nişasta + 1 ppb (2,85 kg/m ³) PAC L + 1 ppb (2,85 kg/m ³) XCD



Şekil 2- Bentonit + HV CMC + LV CMC bazlı sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özellikleri (F. Keki: filtrat keki).

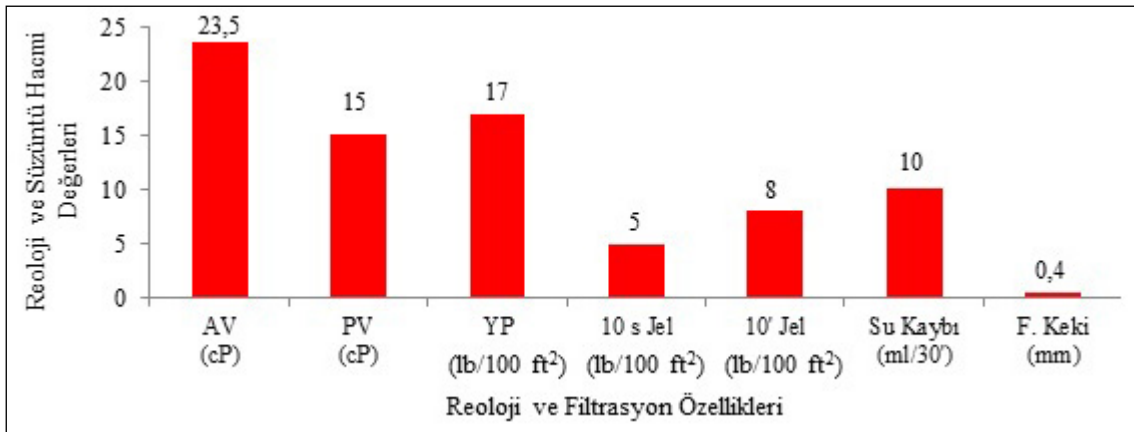


Şekil 3- Bentonit + modifiye nişasta + XCD bazlı sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özellikleri (F. Keki: filtrat keki).

inhibisyon sağlamak için korumalı akışkan tiplerinden biri olan tuz çamuru sistemine geçilmiştir. Sahada yapılan gözlemlere göre kesilen formasyonlar su ile şişmediğinden, tuz çamuru hazırlamak için KCl' ye göre daha ekonomik olan NaCl seçilmiştir. Laboratuvar testlerine göre tuz (NaCl doymun sondaj akışkanı hazırlama suyu) + XCD + PAC L + modifiye nişasta kompozisyonunun reolojik özellikleri Şekil 4'te verilmiştir. Kırıntıları dinamik ve statik halde tutma özelliklerini ifade eden akma direncinin ve jel mukavemetinin uygun değerlerde olması ve akışkanın yoğunluğunu yaklaşık $1,2 \text{ gr/cm}^3$ 'e kadar artırması nedeniyle de bu çamur tipi kullanılmıştır.

4. Saha Çalışmaları ve Değerlendirme

Araştırma sondajlarında sahanın litolojisi, jeolojik ve tektonik yapısı ve formasyon davranışları tam olarak bilinmediğinden çamur kompozisyonu ve kuyu tasarımını belirlemede büyük zorluklar yaşanmaktadır. Çorum - Sungurlu ve Amasya Suluova bölgelerinde yapılan kömür araştırma sondajlarında formasyon davranışları bilinmediğinden delme sırasında kuyu problemleri ile karşılaşmıştır. Kuyu problemleri arttıkça kuyunun davranışlarına göre çamur kompozisyonları değiştirilmiş ve kuyu içi denge sağlanmaya çalışılmıştır. Çamur ile kuyu içi denge sağlanmanın mümkün olmadığı ve sondaj takım dizisini sıkıştırma riskinin arttığı durumlarda, sorunlu



Şekil 4- NaCl doymun sondaj akışkanı hazırlama suyu + XCD + PAC L + modifiye nişasta içerikli sondaj akışkanının reolojik ve filtrasyon özellikleri (F. Keki: filtrat keki).

zonlara koruma boruları indirilerek kuyu kontrol altına alınmıştır. Derin araştırma sondajlarında kuyu derinliğinin değişken olması nedeniyle kuyu tasarımına en geniş çaplı borulardan (PW) başlanmıştır.

Delme çalışmalarına maliyeti en düşük olan Çizelge 1'de verilen bentonit + CMC çamur kompozisyonu ile başlanmıştır. Boru içerisinde oluşan kekleşmeye (Şekil 5) bağlı olarak bentonit miktarı 1 m³ çamur için 8 - 15 kg oranına düşürülerek ve polimer miktarları artırılarak (Çizelge 2) çamurun reolojik ve filtrasyon özellikleri yeniden düzenlenmiştir. Dolaşımda bulunan çamurun görünür viskozitesi 13 - 20 arasında tutulmaya çalışılmıştır (Çizelge 3). HQ takım dizisi için yaklaşık 40 - 45 l/min pompa debisi ile çalışıldığında bu değerler arasında etkili kuyu temizliğinin



Şekil 5- Boru içi oluşan kekleşme ve boru içinin temizlenmesi sırasında ortaya çıkan kekleşme oranı.

Çizelge 2- Bentonit + HV CMC + LV CMC çamur kompozisyonu.

Çamur Katkı Maddesi	Konsantrasyonu (kg/m ³)
Katkısız Bentonit	8 - 15
LV CMC	2 - 3
HV CMC	1,5 - 2
Kostik Soda	0,25 - 0,50

Çizelge 3- Bentonit + HV CMC + LV CMC çamur kompozisyonu; dolaşımdaki ve taze çamurun ortalama değerleri.

Çamurun Özellikleri	Dolaşımdaki Çamur	Taze Çamur
Çamur yoğunluğu (g/cm ³)	1,08 - 1,15	1,01 - 1,02
Huni viskozitesi	36 - 42	32 - 35
AV (cP)	15 - 20	12 - 15
PV (cP)	9 - 12	10 - 12
YP (lb/100 ft ²)	10 - 13	5 - 6
10 s -10' jel direnci (lb/100 ft ²)	3 - 17 / 7 - 20	0 - 2
Su kaybı (ml/30')	8 - 12	10 - 12
Filtrat kek kalınlığı (mm)	0,5 - 1,5	0,3 - 0,4
Ca (mg/l)	80 - 100	-
Pf/Mf	0,2 - 0,7	-
pH	9 - 10,5	-

sağlandığı gözlenmiştir. Reolojik değerlerin artması pompa yakıt tüketimini de artıracığından (Toka ve Şahin, 2006) çamurun reolojik değerlerinin daha fazla yükselmesini engellemek için su kaybı değerine bağlı olarak çamura su + LV CMC verilmiş, kanallarda biriken kırıntılı çamur düzenli olarak atılmış, çamur sistemine taze çamur eklenmiş ve desilter çalıştırarak katı madde kontrolü yapılmıştır. Dolaşımda bulunan çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerini düşürmek ve çamuru ıslah etmek için sisteme eklenen taze çamurun reolojik ve filtrasyon özellikleri düşük değerlerde tutulmuştur. Dolaşımdaki çamura eklenen taze çamurun AV değeri 11 - 12 cP ve su kaybı oranı 10 - 15 ml/30' arasında (Çizelge 3) ayarlanmıştır.

Bentonit + HV CMC + LV CMC'yi içeren çamur tipi Terzili ve Yörüklü sahasında kullanıldığında reolojik ve jel dirençlerinde artma gösterirken Suluova sahasındaki formasyonlarda düşme eğilimi göstermiştir. Düşme eğilimi gösterdiğinde çamur tipi değiştirilmiş ve laboratuvarında belirlenen (Çizelge 4) bentonit + modifiye nişasta ve XCD kompozisyonuna geçilmiştir. Bu çamurun kompozisyonu Çizelge 4'te ve fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5'te verilmiştir. Bu çamur tipi bu tür formasyonlarda kırıntıları dinamik halde taşımak ve statik halde askıda tutmak için çok iyi reolojik özellikler sağlamıştır.

Çizelge 4- Bentonit + modifiye nişasta + XCD çamur kompozisyonu.

Çamur Katkı Maddeleri	Konsantrasyonu (kg/m ³)
Katkısız Bentonit	8 - 15
Modifiye Nişasta	2 - 4
XCD	2 - 3
Kostik Soda	0,25 - 0,50

Çizelge 5- Bentonit + modifiye nişasta + XCD çamur kompozisyonu; dolaşımdaki ve taze çamurun ortalama değerleri.

Çamurun Özellikleri	Dolaşımdaki Çamur	Taze Çamur
Çamur yoğunluğu (g/cm ³)	1,07 - 1,10	1,01 - 1,02
Huni viskozitesi	40 - 48	34 - 40
AV (cP)	15 - 20	12 - 17
PV (cP)	14 - 16	8 - 10
YP (lb/100 ft ²)	11 - 14	8 - 14
10 s -10' jel direnci (lb/100 ft ²)	6 - 14 / 10 - 20	3 - 6
Su kaybı (ml/30')	8 - 12	10 - 12
Filtrat kek kalınlığı (mm)	0,5 - 1	0,3 - 0,4
Ca (mg/l)	80 - 100	-
Pf/Mf	0,2 - 0,7	-
pH	9 - 10,5	-

Seçilen bu iki çamur kompozisyonunda sisteme karışan formasyon kırıntıları boru içi kekleşmeyi artırmadığı müddetçe çamurun yoğunluğunun artırılmasına izin verilmiş ve çamurun yüksek yoğunluk değeri korunmaya çalışılmıştır. Bunun nedeni çamurun yoğunluğu ile kuyu içi fiziksel dengeyi sağlamaktır. Dolayısıyla kuyu içi fiziksel dengenin korunması için dolaşım sistemindeki çamurun tamamen atılarak yeni çamur ile değiştirilmesinden kaçınılmış ve çamurun özelliklerinin korunması için kanallar sürekli temizlenmiş ve sisteme sürekli taze çamur eklenmiştir. Bu yöntem ile çamurun yoğunluğu 1,10 - 1,12 g/cm³ arasında tutulmuştur.

Kuyu içi fiziksel dengenin bozulup formasyonun kuyu içerisine akması ve dökülmesi durumunda çamurun yoğunluğunu artırmak için Terzili, Suluova ve Mecitözü'nde Çizelge 6'da kompozisyonu verilen tuz çamuruna geçilmiştir. Korumalı (inhibitif) sistem olan tuz çamuruna geçilmesinin diğer nedenleri; suda çözünmeyen yoğunluk artırıcı katkı maddelerinin (barit, kalsit) boru içinde kekleşmeyi artıracığı ve formasyonun içerdiği evaporitlerin (jips, anhidrit) ve asidik gazların (H₂S) bentonit ve negatif yüke sahip polimerlerin performansını olumsuz etkileyeceği düşüncesidir. Çizelge 7'de görüleceği üzere Mecitözü sondajında taze çamurun yoğunluğu 1,08 - 1,11 g/cm³ arasında hazırlanmış ve çamura karışan killer ve kırıntılar ile de yoğunluk 1,16 - 1,18 g/cm³ aralığına kadar artmıştır. Seçilen bu yoğunlukta çalışmada problem yaşanması durumunda sisteme daha fazla tuz eklenerek çamur yoğunluğunun artırılması ve kuyu içi fiziksel dengenin sağlanması planlanmıştır. Sisteme eklenen taze çamurun özelliklerinin düşük tutulmasının nedeni dolaşımında bulunan reolojik değerleri artmış çamurun reolojik özelliklerini düşürerek çamurun iyileştirilmesine olanak sağlamaktır.

Bu sahalarda kullanılan tüm çamur tiplerinin en önemli özelliği yüksek jel dirençlerine sahip olmasıdır.

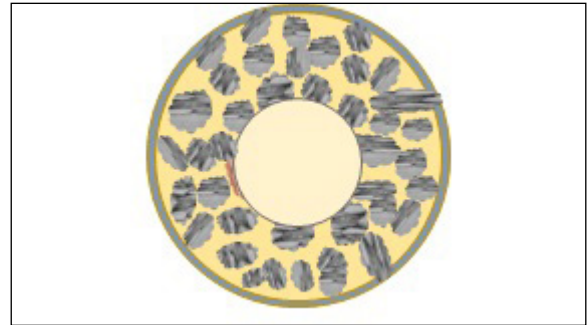
Çizelge 6- NaCl + modifiye nişasta + PAC L+ XCD çamur kompozisyonu.

Çamur Katkı Maddeleri	Konsantrasyonu (kg/m ³)
NaCl	140 - 160
PAC L	3 - 4
Modifiye Nişasta	6 - 8
XCD	2 - 3
Kostik Soda	0,50 - 1
Korozyon Önleyiciler	Gerektiği kadar

Çizelge 7-NaCl + modifiye nişasta + PAC L+ XCD çamur kompozisyonu; dolaşımdaki ve taze çamurun ortalama değerleri.

Çamurun Özellikleri	Dolaşımdaki Çamur	Taze Çamur
Çamur yoğunluğu (g/cm ³)	1,16 - 1,18	1,08 - 1,11
Huni viskozitesi	37 - 42	32 - 35
AV (cP)	15 - 20	10 - 15
PV (cP)	10 - 15	10 - 14
YP (lb/100 ft ²)	10 - 16	8 - 16
10 s -10' jel direnci (lb/100 ft ²)	4 - 7 / 8 - 15	3 - 5
Su kaybı (ml/30')	10 - 16	10 - 14
Filtrat kek kalınlığı (mm)	0,75 - 1	0,5 - 0,8
Ca (mg/l)	800 - 1,200	-
Cl (mg/l)	55,000 - 60,000	-
Pf/Mf	0 / 0,6	-
pH	7	10 - 11

Yüksek jel direncine sahip çamur sistemi seçilmesinin nedeni kuyu cidarındaki formasyonların (kumtaşı, çakıltaşı gibi) içerisine nüfuz eden jelli çamurun kırık, çatlak ve boşlukları doldurarak pekiştirme görevi görmesi düşüncesidir. Şekil 6'da görüleceği üzere boşluklara dolan jelli çamur formasyonu pekiştirerek, çamur sütunun formasyona uygulayacağı basınçla birlikte kuyu içerisine akmasını engellemiştir.



Şekil 6- Yüksek jelle sahip çamurun pekişmemiş formasyonu istilası.

Bazı kuyularda pH değerlerinde düşmeler yaşanmıştır. Sisteme eklenen kostik soda ile pH değerinin yükseltilmesi mümkün olmamış ve pH değeri tampon bir çözelti gibi davranış gösterdiğinden yaklaşık pH 7 değeri civarında çalışılmıştır. Çamur sisteminde bulunan bentonit oranı çok düşük olduğundan düşük pH değerinde çalışılmasının çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerine önemli derecede etki yaratmadığı gözlenmiştir.

Çamurun pH değerinin düşmesinin ve yükseltilememesinin nedeni formasyondan veya formasyonun içerdiği asidik gazlardan kaynaklanmıştır.

Çalışmalar sırasında formasyonu temsil eden karot numuneleri dolaşımdaki çamur, taze çamur ve su içerisinde bekletilerek (Şekil 7) davranışları incelenmiş ve gözlenen değişimlere göre çamura müdahaleler yapılmıştır. Karot örnekleri kullanılan çamur örnekleri içerisinde bir değişim göstermez iken bazı örnekler su içerisinde dağılma, parçalanma özelliği göstermişlerdir. Su içerisinde dağılan numunelerin bulunduğu zonlarda çamurun su kaybı sıkı takip edilerek formasyon ve kırıntı bütünlüğünün korunmasına çalışılmıştır.



Şekil 7- Karot örneklerinin çamur ve su içerisinde bekletilmesi ve dağılma, şişme gibi özelliklerinin gözlenmesi.

Karotlu sondajlarda genellikle katı madde kontrolünde elekler kullanılmamaktadır. Bu nedenle çamurun bünyesinden sondaj kırıntılarını uzaklaştırmak ve çamur özelliklerini kontrol altına almak için çamurun PV ve kum miktarına göre Şekil 8'de görülen silt ayırıcı (desilter) düzenli çalıştırılmış, kanallarda biriken kırıntılar düzenli olarak dışarı atılmış ve sisteme günde yaklaşık 2 - 3 m³ oranında taze çamur eklenmiştir. Çamurun bünyesinde bulunan kum



Şekil 8- Desilter.

miktarı %1 - 1,5 oranına ulaştığında alınan bu önlemler ile çamur sistemindeki kum yüzdesi maksimum %0,8 - 1,0 arasında olacak şekilde tutulmuştur. Dolayısıyla yüzeye yakın tijler içinde oluşan kekleşme minimum düzeye indirilmiştir.

Suluova sahasında karşılaşılan önemli problemlerden biri de kısa bir aralıkta gerçekleşen tam sirkülasyon kaybından sonra pompa basıncı yükselmiş ve basınç tahliye hattı açılarak basınç düşürülmek istendiğinde formasyona kaçan çamur tijlerin içerisinden tekrar kuyu dışına akarak tanklara geri dönüş yapmıştır. İki farklı derinlikte oluşan bu problemin iki nedeni olabileceği düşünülmüştür. Birincisi iç tüpü kuyu dışına alma sırasında kuyu içi fiziksel dengenin bozulmasından dolayı pekişmemiş formasyonların yıkıntısıyla anülüsün tıkanması ve sonrasında kuyu içerisine basılan sondaj çamurunun zayıf formasyonları çatlatmasıdır. İkincisi ise problemin oluştuğu seviyelerde sıkışmış formasyon akışkanı (gaz) kapanlarının bulunması ve gazın ayrılmasıyla çamurun formasyonun boşluğuna yerleşmesidir. Kaçan çamurun kuyu cidarından geri geliş yapmayarak boru içerisinden gelmesi formasyonun oturmakta olduğunu ve bu oturma sırasında formasyonun matkap (veya karotiyer) ile kuyu cidarı arasındaki hassas boyuttaki açıklığı kapattığını göstermektedir. Bu olayın oluşmasını takiben yaklaşık iki saatlik bir gözlem yapılmış, bu süreçte çamur tekrar kuyuya basılmış ve çamurun geri geliş yapmasında bir değişim olmadığından matkap ve takım dizisinin kontrolü için çıkış manevrası yapılmıştır. Takım dizisi tekrar kuyu içerisinden indirildiğinde kuyu içi yıkılma ile karşılaşmış fakat bu olay bir daha tekrarlanmamıştır. Yapılan gözlemler; pekişmemiş formasyonun yıkılarak anülüsü tıkamasından dolayı bu seviyelerde formasyonu çatlatma ya da sıkışmış formasyon akışkanı kapanı bulunma olasılığının yüksek olduğu varsayımını artırmıştır.

5. Sonuçlar

- Sorunsuz formasyonlarda ve kuyunun ilk aşamasında yüksek 10' jel direncine sahip ve düşük maliyetli bentonit + HV CMC + LV CMC kompozisyonu karotlu sondajlarda iyi bir performans sergilemiştir.

- Statik halde iyi jel yapma ve dinamik halde kırıntıları taşıma özelliğine sahip bentonit + modifiye nişasta + XCD kompozisyonu pekişmemiş formasyonlarda kuyu dengesini sağlamaktadır.

- Kuyu içerisine dökülme problemleri yaşanan zonlarda kuyu içi fiziksel dengeyi sağlamak ve boru içerisinde kek oluşumunu en aza indirmek için kullanılan tuz bazlı sondaj çamuru olumlu performans sergilemiştir.

- Karotlu sondajlarda desilter kullanılarak çamur içerisindeki kum yüzdesinin maksimum %0,8 - 1 arasında tutulması, çamur kanalların düzenli temizlenmesi ve sisteme günlük taze çamur eklenmesi kuyu içi fiziksel dengenin korunmasını ve çamur özelliklerinin kontrolünü sağlamıştır.

- Kuyu içi kırıntı temizliği için 10 - 20 lb/100 ft² arasında akma direncine sahip çamur kompozisyonu önerilen sirkülasyon oranlarında karotlu sondajlar için yeterli gözükmektedir.

- Sirkülasyon kaybını takiben pompa basıncının artması ve akışkanın takım dizisi içinden geri geliş yapması olayı ile karşılaşıldığında kuyu içi dengenin sağlanması için sirkülasyon sağlanıncaya kadar takım dizisinin yukarı doğru (veya muhafaza borusu içine) çekilmesi ve tekrar kuyu içinde indirilmesi, oluşan denge bozukluğunun kontrol altına alınmasına yardımcı olacaktır. Bu manevra sondaj takım dizisi sıkışma riskini azaltacaktır.

Katkı Belirtme

Karotlu sondajlar için uygulanabilecek çamur kompozisyonları sondaj çamuru araştırma - geliştirme projesi kapsamında MTA Genel Müdürlüğü Sondaj Dairesi Başkanlığı Çamur Laboratuvarı'nda, Petrol ve Doğalgaz Yüksek Mühendisi Nuray TOKA tarafından belirlenmiş ve uygulanan yeni çamur kompozisyonları hakkında bilgisine başvurulmuştur.

Arazide çalışmaları, Maden Mühendisi Bülent TOSUN, Maden Mühendisi Hayati ÖZKAYA, çamur ölçüm ve takibi için yetiştirilen mahalli personel ve kadrolu sondaj teknik personeli ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

Değinilen Belgeler

Cario R. D., Bagshaw, F. R. 1978. Description and use of polymers used in drilling, workovers, and completion. The Society of Petroleum Engineers Production Technology Symposium, 30 October 1978, Hobbs, Mexico.

Darley, H. C. H., Gray, G. R. 1988. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids 5th Edition, Elsevier Inc., 643.

Luckham, P. F., Rossi, S. 1999. The Colloidal and rheological properties of bentonite suspensions, Advances in Colloid and Interface Science, 82, 43-92.

M-I Drilling Fluids, L. C. 1998. Drilling Fluids Engineering Manual.

Özbayoğlu, Y. 1983. Elmaslı Sondaj Tekniği El Kitabı. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.

Toka, B. 2017. Sondaj Mühendisliği. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

Toka, B., Sahin, M. 2006. Havza jeotermal sahasında yapılan SH - 5 ve diğer sondajların genel değerlendirmesi. Maden Mühendisleri Odası Madencilik Dergisi, 45(1), 3-14.

Toka, N., Tan, S., Çalışkan, O., Güngör, Y., Toka, B. 2016. Sondaj çamuru araştırma - geliştirme projesi laboratuvar çalışmaları. MTA Sondaj Dairesi, Ankara (yayınlanmamış).

TS EN ISO 13500. 2010. Petrol ve doğal gaz sanayi - sondaj akışkanı maddeleri - özellikler ve deneyler. Türkiye Standartları Enstitüsü, Ankara.

