BOR DERGİSİ
JOURNAL OF BORON
https://dergipark.org.tr/boron

Bor içerikli atık killerin sondaj çamurlarında kullanımı

Hüseyin Vapur[1], Onur Eser Kök[2,3*], Yasin Erdoğan[4]

[1]Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, 01330, Türkiye
ORCID orcid.org/0000-0003-4438-3982
[2]Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, 01330, Türkiye
ORCID orcid.org/0000-0002-7061-2921
[3]İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay, 31200, Türkiye, ORCID orcid.org/0000-0002-7061-2921
[4]MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 06530, Türkiye
ORCID orcid.org/0000-0002-2314-5216

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:
İlk gönderi 4 Ocak 2021
Kabul 7 Ekim 2021
Online 31 Aralık 2021

Araştırma Makalesi

DOI: 10.30728/boron.853128

Anahtar kelimeler:
Atık kil
Bor
Reoloji
Sondaj çamuru

ÖZET

Bu çalışmada, Eskişehir-Kırka bölgesinden temin edilen bor işletme tesisi proses katı atıklarının (PKA) sondaj çamurlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Amerikan Petrol Enstitüsü (API) Spec. 13A standardına göre spud tip sondaj çamur numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerde farklı oranlarda (ağırlıkça %4-8) ve farklı tane boyutlarında (75-50 µm) PKA ve sondaj bentoniti katkılanmıştır. Çalışma kapsamında üç farklı uygulama yapılmıştır. İlk aşamada PKA, kil içeriğinden dolayı doğrudan sondaj çamuru katkı malzemesi olarak reolojik ve filtrasyon özelliklerine göre değerlendirilmiştir. İkinci aşamada sondaj uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bentonit ile aynı konsantrasyonda numuneler hazırlanmış ve değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise PKA'nın sondaj bentonitine ilave katkı malzemesi olabileceği değerlendirilmiştir. Çalışma amacında PKA'nın atık değerlendirme amacıyla kullanılabilirliği araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre PKA, çamur ağırlığı üzerinde %2,38 oranında artış meydana getirmiştir. Görünür viskozitede katkı miktarı ile orantılı olarak %112,5 artış sağlamıştır. Plastik viskozitede 75 µm tane boyutunda %66,6 oranında, 50 µm tane boyutunda ise %33,3 oranında artış meydana getirmiştir. Kopma Noktası için %4 katkı miktarı ile %8 arasında 3,5 kat artış göstererek 0,4392 kg/m^2 değerine ulaşmıştır. Jel kuvveti analizlerinde, 10 saniye jel kuvveti için bir etki göstermemiştir. Ancak 10 dakika jel kuvveti değerinde %50 oranında artış meydana gelmiştir. Filtrasyon üzerinde ise 75 µm tane boyutunda %44,44; 50 µm tane boyutunda ise %42,8 düşüş meydana getirmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda PKA'nın belirli miktarlar eklenerek sondajda kullanılabileceği belirlenmiştir.

The usage of waste clays containing boron in drilling muds

ARTICLE INFO

Article history:
Received January 4, 2021
Accepted October 7, 2021
Available online December 31, 2021

Research Article

DOI: 10.30728/boron.853128

Keywords:
Waste clay
Boron
Rheology
Drilling mud

ABSTRACT

In this study, the usability of the process solid wastes (PKA) of the boron processing plant obtained from Kırka-Eskişehir region in drilling mud was investigated. Within the scope of the study, the spud type drilling mud samples were prepared according to the American Petroleum Institute (API) Spec. 13A standard. Different concentrations (4-8% by weight) and different particle sizes (75-50 µm) of PKA and drilling bentonite were added to the prepared samples. Three different applications were made within the scope of the study. In the first stage, PKA was evaluated directly as a drilling mud additive based on its rheological and filtration properties due to its clay content. In the second stage, samples with the same concentration as bentonite, which is widely used in drilling applications, were prepared and evaluated. In the third stage, it was evaluated that PKA could be an additional additive material to the drilling bentonite. In the scope of the study, the usability of PKA for waste recycling investigated. ccording to the analysis results, PKA caused an increase of 2.38% on sludge weight. It provided a 112.5% increase in apparent viscosity in proportion to the concentration. There was an increase in plastic viscosity by 66.6% in 75 µm particle size and 33.3% in 50 µm particle size. With the amount of 4% additive for the Yield Point, it increased 3.5 times between 8% and reached 0.4392 kg/m^2. In gel strength analyzes, there was no effect for 10 seconds gel strength. However, the gel strength value increased by 50% for 10 minutes gel strength analysis. On filtration, 44.44% in 75 µm particle size; it caused a decrease of 42.8% in 50 µm particle size. As a result of the experimental studies, it is determined that PKA can be used in drilling by adding certain amounts.

*Corresponding author: oeser.kok@iste.edu.tr

1. Giriş (Introduction)

Su bazlı sondaj çamuru başlıca sondaj çamurları arasında yer almaktadır. Bu yüzden sondaj operasyonlarında en önemli parametrelerden birisidir. Sondaj çamurlarının birçok görevi bulunmaktadır. Kick akışkanının önlenmesi, sondaj kesintilerinin kuyu tabanından yüzeye taşınması, sirkülasyonun durduğu anlarda kesintilerin askıda tutulması, formasyon cidarında kek oluşturma, kuyu stabilizasyonunu sağlama, sondaj dizisinde sürtünmeyi azaltma, yağlama ve matkabı soğutma sondaj çamuru görevlerinin başında gelmektedir [1-7].

Sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri sirkülasyon sırasında değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla çamur akış özelliklerini kaybeder. Tekrar akış özelliklerinin düzenlenmesi için farklı katkı maddeleri, kimyasallar ve polimerler kullanılmaktadır. Bu durum ise reolojinin düzenlenebilmesi için yeni katkı malzemelerinin araştırılmasına sebep olmaktadır [8-14].

Doğada yaklaşık 230 bor minerali bulunmaktadır. Dünya rezervlerinin önemli bir kısmı (%70-75) yılda 1,3 Milyon Ton üretim kapasitesi ile ülkemizde bulunmaktadır. Ticari değer açısından kolemanit, üleksit ve tinkal en önemli minerallerdendir [15-17].

Bor, kil yatakları içerisinde bulunmakta olup üretim prosesi sonucu bileşiminde bor türevi ihtiva eden atık kil malzeme ortaya çıkmaktadır. Üretim prosesi sonucunda yılda 120 bin ton atık meydana gelmektedir. Bu atıklar, atık biriktirme havuzlarında depolanmaktadır. Bu atıklar toprağa atıldığında, bor bileşikleri yağmur etkisinden dolayı toprak kirliliği başta olmak üzere çevresel sorunlara neden olmaktadır. Dolayısı ile bor üretim tesislerinde kirlilik sorununu azaltabilmek için atıkların farklı şekillerde değerlendirilmesi gerekmektedir [18-21].

Bu çalışmada, Eskişehir ili Kırka ilçesinden temin edilen PKA'nın sondaj çamurlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Amerikan Petrol Enstitüsü (API) Spec. 13A standardına [22] göre spud tip sondaj çamur numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerde farklı oranlarda (ağırlıkça %4-8) ve farklı tane boyutlarında (75-50 μm) PKA ve sondaj bentoniti katkılanmıştır. Çalışma kapsamında üç farklı uygulama yapılmıştır. İlk aşamada proses katı atıkları (PKA), kil içeriğinden dolayı doğrudan sondaj çamuru katkı malzemesi olarak reolojik ve filtrasyon özelliklerine göre değerlendirilmiştir. İkinci aşamada sondaj uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bentonit ile aynı konsantrasyonda numuneler hazırlanmış ve değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise PKA'nın sondaj bentonitine ilave katkı malzemesi olabileceği değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında PKA'nın atık değerlendirme amacıyla kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan sondaj çamur numunelerinin reolojik ve filtrasyon analizleri API RP. 13B-1 standardına [23] göre yapılmıştır.

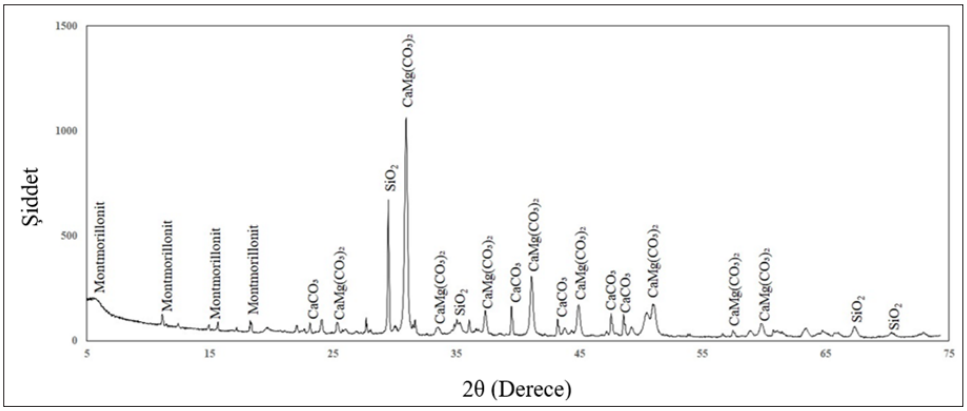
2. Malzemeler ve Yöntemler (Materials and Methods)

Çalışma kapsamında kullanılan PKA, Eti Maden A.Ş. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup mineralojik ve kimyasal bileşenlerin saptanması amacıyla X-ışını kırınım (XRD) ve X-ışını floresans (XRF) spektroskopi analizleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 1 ve Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca, PKA numunesinin temin edildiği bölge Şekil 2'de verilmiştir. PKA'nın XRD analizi 2 θ/s tarama hızı ve 5-75 derece tarama aralığında yapılmış olup; içeriğinde tinkal ($Na_2B_4O_710H_2O$), amorf yapıda silisyum dioksit (SiO_2), montmorillonit ($Na_2O_3(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2XH_2O$) ve dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) belirlenmiştir. XRD ve XRF sonuçları incelendiğinde, PKA bünyesindeki kilin bentonit olduğu belirlenmiştir. Bentonit türünün (Sodyum, Kalsiyum ya da Ara Tip) belirlenmesinde kullanılan $Na_2O+K_2O/CaO+MgO$ oranı ise 0,43 olarak hesaplanmıştır. Bu oran ise Ara Tip (Na-Ca) bentonit olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 1. PKA numunesinin XRF sonuçları (XRF results of the PKA).

	B_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	K.K.
%	10,98	14,87	11,78	10,43	7,61	0,24	0,72	2,13	35,90

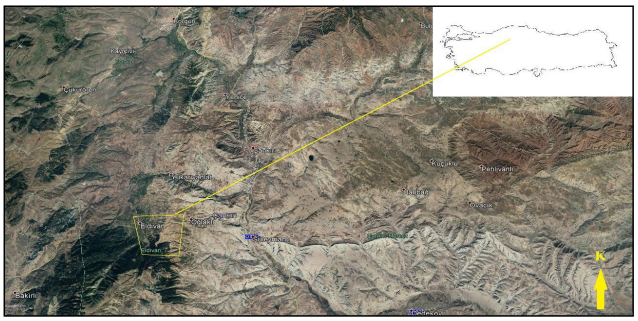
Çalışma kapsamında kullanılan diğer katkı malzemesi olan bentonit ise ÇANBENSAN A.Ş.'den temin edilmiş-



Şekil 1. PKA numunesinin X-ışını kırınım deseni (X-Ray diffraction pattern of the PKA).



Şekil 2. PKA numunesinin temin edildiği bölge (The region that the PKA obtained).



Şekil 4. Bentonit numunesinin temin edildiği bölge (The region that the bentonite obtained).

tir. XRD ve XRF spektroskopi analizleri sırasıyla Şekil 3 ve Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, bentonit numunesinin temin edildiği bölge Şekil 4'te verilmiştir. Bentonitin XRD analizi de PKA ile aynı şartlarda (2 θ/s tarama hızı ve 5-75 derece tarama aralığında yapılmış olup; XRF sonuçları ile birlikte incelendiğinde Na_2O+K_2O/ CaO+MgO oranı 0,49 olarak hesaplanmış ve Ara Tip (Na-Ca) bentonit olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. PKA numunesinin XRF sonuçları (XRF results of the PKA).

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	MgO	CaO	K_2O	TiO_2
%	58,89	12,92	6,63	2,70	3,74	3,82	1,04	0,92

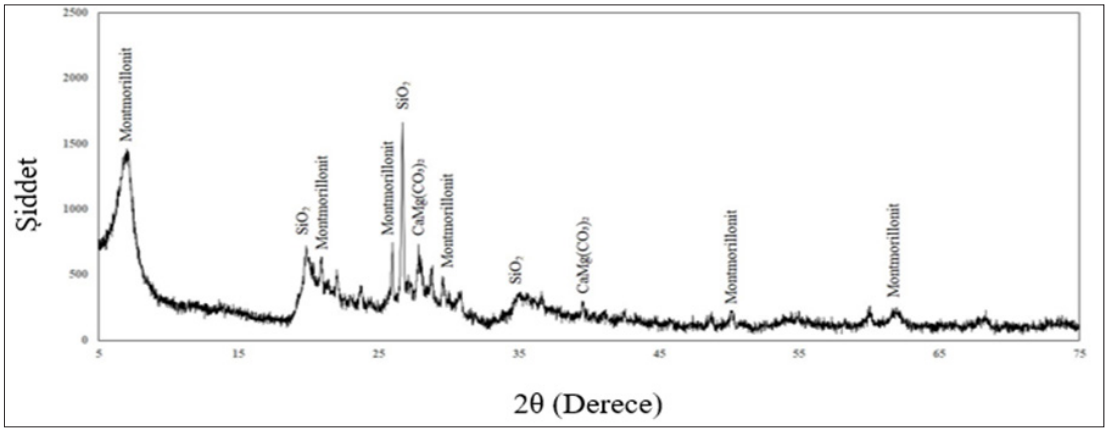
Çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalar üç kısımdan oluşmaktadır (Tablo 3). İlk kısım PKA'nın (A) doğrudan sondaj çamurlarında kullanımını içermektedir. Bu kısımda, temin edilmiş olan numune karıştırmalı bilyalı değirmen ile öğütülerek 75 µm ve 50 µm tane boyutu altında olacak şekilde elenmiştir.

İkinci kısım bentonitin (B) doğrudan sondaj çamurlarında kullanımını içermektedir. Bu kısımda, numune doğrudan 75 µm tane boyutu olacak şekilde elenmiş ve sonrasında karıştırmalı bilyalı değirmen ile öğütülerek 50 µm tane boyutu altında olacak şekilde hazırlanmıştır.

Üçüncü kısım ise hem PKA hem de bentonitin (AB) sondaj çamurlarında kullanımını içermektedir. Bu kısımda kullanılan numuneler karıştırmalı bilyalı değirmen ile öğütülerek 75 µm ve 50 µm tane boyutu altında olacak şekilde elenerek hazırlanmıştır.

Deneysel çalışmaların tamamında farklı katkı oranlarında (%4-8) PKA ve bentonit kullanılarak sondaj çamur numuneleri API 13A standardına göre (22,5 g/350mL deiyonize su) hazırlanmıştır.

Hazırlanan sondaj çamur numunelerinin çamur ağırlığı (MW), görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV), kopma noktası (YP), 10 sn/10 dk jel kuvveti ve filtrasyon analizleri API 13B-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Analizler kapsamında Ofite marka



Şekil 3. Bentonit numunesinin X-ışını kırınım deseni (X-Ray diffraction pattern of the bentonite).

Tablo 3. Deneysel çalışmaların sınıflandırılması (Classification of experimental studies).

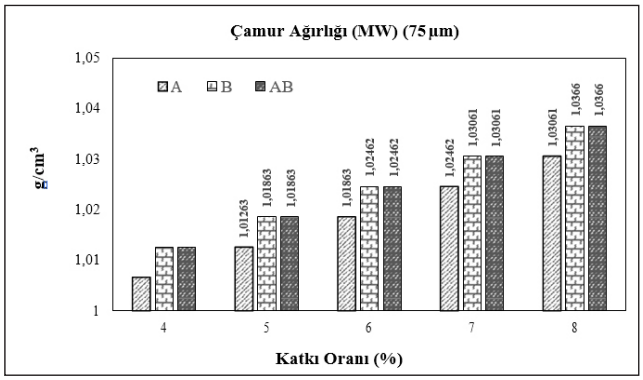
Aşama	Deneysel Çalışma
1	PKA'nın doğrudan sondaj çamurlarında kullanımı (% Katkı miktarına göre numune kodları: A-4, A-5, A-6, A-7, A-8)
2	Bentonitin doğrudan sondaj çamurlarında kullanımı (% Katkı miktarına göre numune kodları: B-4, B-5, B-6, B-7, B-8)
3	PKA ve bentonitin sondaj çamurlarında kullanımı (% Katkı miktarına göre numune kodları: AB-4, AB-5, AB-6, AB-7, AB-8)

model:115-00 çamur terazisi, model:800 viskozimetre ve LTLP filtrasyon kiti kullanılmıştır. Her analiz için ölçümler üç kez tekrarlanmış ve ortalama değerler hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma (Results and Discussion)

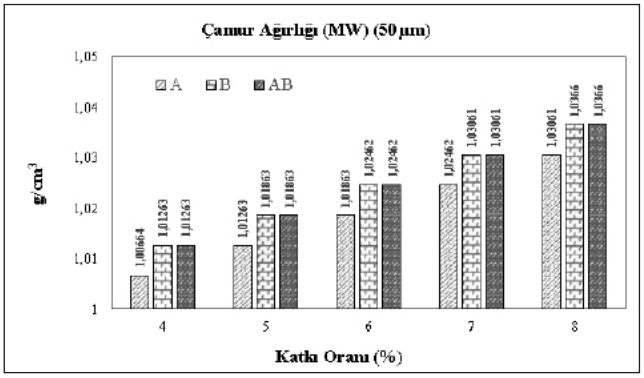
Çamur ağırlığı (MW), başlıca olarak sondaj çamurunun kuyu içerisindeki hidrostatik basıncının kontrolünü sağlamak ve formasyon ile kuyu arasında meydana gelebilecek ani basınç değişikliklerini dengelemek amacıyla kontrol edilmektedir. MW değerinin yüksek olması kuyu tabanında yüksek hidrostatik basınca sebep olmaktadır. Bu durum ise formasyonun çatlama basıncının çamur hidrostatik basıncından düşük olduğu durumlarda ani çamur kaçaklarına ve formasyon yüzeyinde deformasyonlara sebep olarak kuyu stabilitesini bozmaktadır. MW değerinde meydana gelen düşüşler ise formasyon yüzeyinden kuyu içerisine akışkan girişi olduğu durumlarda tehlike oluşturmaktadır. Kuyu içerisine ani akışkan girişi kaynaklı patlamaları engellemek amacıyla da düzenli olarak kontrol edilmesi gereken parametreler arasındadır. Farklı tane boyutu ve katkı oranlarına göre hazırlanan numunelere MW analizi sonuçları tane boyut sınıflamasına göre Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, katkı malzemelerinin MW değerinde katkı oranı ile bağlantılı olarak bir artış meydana getirdiği görülmektedir. Tüm katkı malzemeleri için en yüksek değere %8 katkı oranında, en düşük değere ise %4 katkı oranında ulaşıldığı görülmektedir. Tüm katkı oranlarında (%4-8) bentonit (B) ve bentonit/PKA katkılı nununeler (AB) aynı MW değerine sahip iken; PKA katkılı numunelere (A) kıyasla %0,59 oranında yüksek verim sağlamıştır. Bu değerler, sığ sondaj operasyonlarında yani düşük metraj ve düşük çamur hacmi koşullarında ihmal edilebilir düzeydedir. Fakat derin sondajlarda ise kuyu tabanında meydana gelecek hidrostatik basıncı önemli düzeyde etkileyebilecek niteliktedir. Numunelerin katkı oranı bazında değerlendirmesi yapıldığında PKA'nın %2,38 oranında bir artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Bu artışın, bentonit ve bentonit/PKA katkılı numuneler için %2,36 olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, düşük katkı oranlarında PKA'nın diğer katkı türlerine kıyasla daha düşük verim değerine sahip olduğu görülmekte; ancak katkı oranının artması ile birlikte çamur ağırlığında ve dolaylı olarak kuyu tabanında meydana gelen hidrostatik basınçta daha fazla artış meydana getirebileceği öngörülmektedir.



Şekil 5. Çamur ağırlığı analiz sonuçları (75 µm) (Mud Weight analysis results (75 µm)).

Şekil 6'da ise, 50 µm tane boyutuna sahip numunelerin Şekil 5'te verilen 75 µm boyuta sahip numuneler ile aynı etkileri gösterdiği belirlenmiştir. MW değerinin tanecikler arası çekim kuvvetlerinden ziyade, kütle miktarı ve yoğunluk olarak etkilendiği için dolaylı olarak taneciklerin temas yüzey alanı ya da tane boyutu ile değişim göstermediği belirlenmiştir.



Şekil 6. Çamur ağırlığı analiz sonuçları (50 µm) (Mud Weight analysis results (50 µm)).

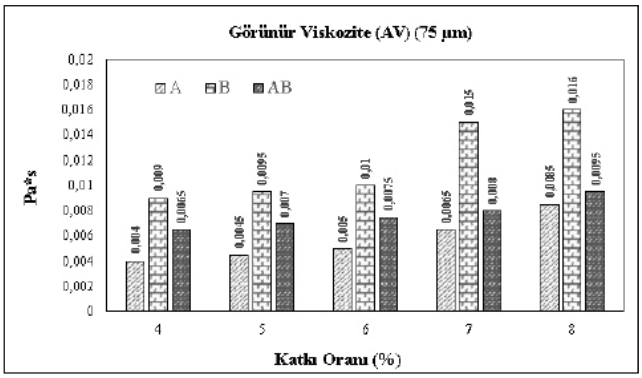
Analiz sonuçları, MW için PKA'nın yalnızca bentonit (B) ya da bentonite ek katkı malzemesi amacıyla eşit oranda karıştırılarak (AB) kullanılabileceğini göstermektedir. PKA'nın ağırlaştırıcı katkı malzemesi olarak doğrudan kullanılamamasının sebebi bor mineralinin özgül ağırlığının (~2,3 g/cm^3) bentonitten (~2,7-2,8 g/cm^3) düşük olmasıdır. Dolayısıyla meydana getirdiği hidrostatik basınç katkı numunesindeki bor minerali konsantrasyonuna bağlı olarak diğer numunelere kıyasla daha düşük olmaktadır.

Görünür viskozite (AV) sondaj çamurunun dinamik kuyu şartlarındaki kayma gerilmesinin kayma hızına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bir başka ifade ile atmosfer basıncı ve sıcaklığa bağlı olarak anlık viskozite değerini ifade etmektedir. Dolayısı ile sondaj koşullarının değişkenliği düşünüldüğünde, düzenli takip edilmesi gereken önemli parametreler arasında yer almaktadır. Sondajın ilerlemesi ve yeraltında meydana gelen sıcaklığın artışı ve yüzeye yaklaştıkça düşüşü arasında değişkenlik gösteren AV, kuyu şartlarında çamurun gerçek viskozite değerine en yakın hesaplama olarak Newton olmayan akışkanlar kapsamında Bingham Plastik akış modelinde tanımlanmaktadır. Farklı tane boyutu ve katkı oranlarına göre hazırlanan numunelere ait AV analiz sonuçları Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.

75 µm tane boyutuna sahip PKA (A), bentonit (B) ve bentonit/PKA (AB) karışımlarının AV analiz sonuçları incelendiğinde, katkı oranının artmasına bağlı olarak AV değerinin de yükseldiği görülmektedir. %4 katkı

oranında PKA katkılı numuneler (A) 0,004 Pa*s AV değerine sahipken bentonit katkılı numunelerin (B) %125 oranında verimle viskozite artışı gösterdiği belirlenmiştir. bentonit/PKA katkılı numunelerde (AB) ise %62,5 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış miktarları %5 katkı miktarında sırasıyla %111 ve %55,5 oranlarında; %6 katkı miktarında %100 ve %50 oranlarında; %7 katkı miktarında %130 ve %23,07 oranlarında ve %8 katkı miktarında ise %88,24 ve %11,76 oranlarında daha iyi sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. Numunelerin katkı miktarlarına göre incelendiğinde ise, PKA'nın %4 ve %8 katkı oranları aralığında %112,5; bentonitin %77 ve bentonit/PKA karışımının ise %46,15 oranında viskozite artışı sağladığı saptanmıştır.

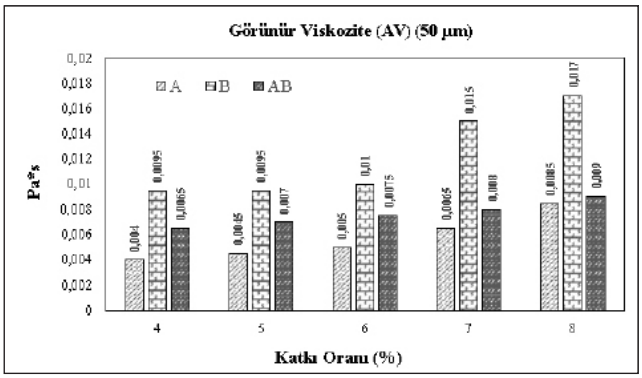
Şekil 7'de verilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde PKA ve bentonit/PKA katkılı numunelerin %4-8 katkı oranlarında API Spec. 13A standart değerine ulaşamadığı görülmektedir. Bentonit katkılı numunelerde ise %7 ve %8 katkı miktarlarında standart değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Bu durum bentonitin %7 ve üzeri miktarlarda kullanılabileceğini; PKA'nın ise %4-8 katkı miktarlarında kullanılamayacağını göstermektedir.



Şekil 7. Görünür viskozite analiz sonuçları (75 µm) (Apparent Viscosity analysis results (75 µm)).

Şekil 8'e göre 50 µm tane boyutuna sahip numunelerin 75 µm boyuta sahip numuneler ile yüksek oranda benzer etki gösterdiği anlaşılmaktadır. Bentonit katkılı numuneler (B) %4 katkı miktarında %5,55 oranında; %8 katkı miktarında ise %6,25 oranında artışlar göstermiştir. bentonit/PKA katkılı numunelerde (AB) ise %8 katkı miktarında %5,55 oranında bir viskozite düşüşü belirlenmiştir. Bu değişiklikler tane boyutu ve dolaylı olarak tanecik temas yüzeyleri arasındaki elektriksel yüklenmeye bağlı çekim kuvvetleri ile bağdaştırılamayarak ihmal edilebilecek düzeydedir.

Analiz sonuçları, AV için %8 ve daha düşük katkı oranlarında PKA'nın doğrudan veya bentonit ile karıştırılarak kullanılamayacağını ve standart değerleri sağlamadığını göstermektedir. PKA, AV bakımından olumlu bir etki göstermemektedir. Bu durum bor minerallerinin su tutma özelliğinin çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bentonite kıyasla daha düşük şişme özelliği gösterdiği için görünür viskozite değeri de düşük değerde bulunmaktadır. PKA'nın bentonit ile birlikte kullanıldığı durumlarda ise katkı karışımının bentonit içeriğinden dolayı yalnızca PKA katkılı numunelere kıyasla daha yüksek AV değerlerine ulaşılmıştır.

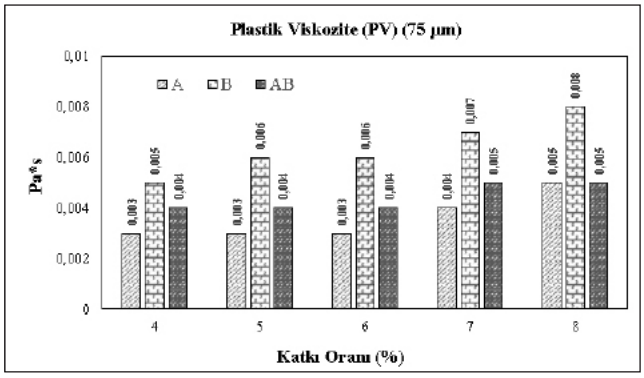


Şekil 8. Görünür viskozite analiz sonuçları (50 µm) (Apparent Viscosity analysis results (50 µm)).

Plastik viskozite (PV), sondaj çamuru içerisindeki kolloid yapıda olan ya da olmayan inert maddelerin miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Sondaj operasyonlarında PV, yüksek oranda matkap tarafından kesilen formasyon kırıntılarının konsantrasyonuna bağlıdır. Yükselmesi veya azalmasının takibi katı madde kontrol ekipmanları ile sağlanmaktadır. Kuyu içerisine pompalanmak üzere hazırlanan spud ve lignosülfonat tip çamurlarda bentonit kullanıldığından dolayı PV değerinin çamur sirkülasyonu esnasında hidrosiklonlar vasıtasıyla fazla düşürülmesi, planlanan çamur konsantrasyonunu da bozulmasına sebep olacaktır. Çamur içerisinden inert yapıdaki katı malzemeler ile birlikte bentonitin de uzaklaştırılmasına sebep olunarak dolaylı yönden AV ve MW değerlerinin de düşmesine yol açabilmektedir. Bu durum ise matkap kesintilerinin viskozite düşüşünden dolayı kuyu içerisinden yüzeye taşınamasına ve yığıntı oluşturarak sondaj dizisinin sıkışmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca kuyu içerisine formasyondan akışkan girişinin olabileceği durumlarda PV değerinin kontrollü bir şekilde azaltılmaması ani MW düşüşüne sebep olarak blow-out olma ihtimaline de olasılık sağlayacaktır. PV'nin yükselmesi ise sondaj çamuru içerisindeki katı maddelerin artışından dolayı sondaj dizi içinde istenilen laminer akış formunun bozulmasına ve geçiş ya da türbülanslı akış formu oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı PV, sondaj çamuru açısından önemli bir parametre olup düzenli takip edilmesi gerekmektedir. Farklı tane boyutu ve katkı oranlarına göre hazırlanan numunelerin PV analiz sonuçları Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.

75 µm tane boyutuna sahip PKA katkılı numuneler (A), düşük katkı oranlarında (%4-6) PV değeri bakımından değişiklik meydana getirmemiştir. %7 katkı miktarında %33,3 oranında, %8 katkı miktarında ise %66,6 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Bu durum, PKA'nın katkı miktarının artması ile birlikte PV değerinde artış meydana getirdiği fakat %6 ve daha düşük konsantrasyonlarda ise PV değeri üzerinde etki göstermediğini ifade etmektedir. PKA bünyesindeki inert yapıda katı maddelerin konsantrasyonu PV değerinin değişmesinde etkin özellik göstermektedir. Bentonit katkılı

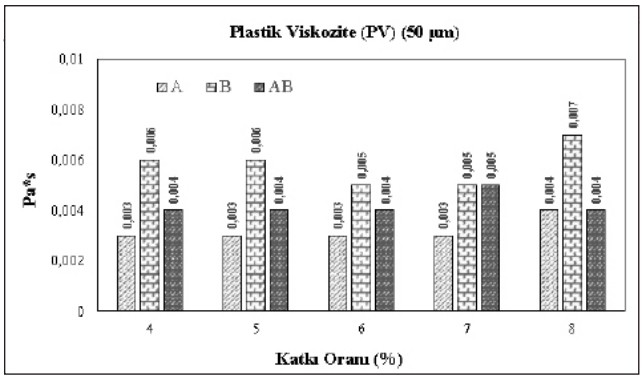
numunelerde (B) ise, PKA'ya kıyasla katkı miktarına bağlı olarak genel bir artış görülmektedir. Katkı miktarı çamur içerisinde bulunan kolloidlerin artışına sebep olduğu için PV değerinde yükselme meydana gelmiştir. Bu yükselme %60 seviyelerine kadar çıkmaktadır. Bu durum ise bentonitin PKA'ya göre daha düşük hassasiyette PV değerini etkilediğini ifade etmektedir. Bentonit/PKA katkılı numuneler (AB) ise PKA katkılı numuneler (A) ile benzer özellik göstermektedir. %4-6 katkı miktarlarında değişiklik meydana getirmemiştir. Ancak katkı miktarının artması ile birlikte PV değerini yükselttiği görülmektedir. %7-8 katkı miktarlarında %25 oranında artış göstermiştir. Bentonit katkılı numunelerin diğerlerine kıyasla daha fazla artış göstermesinin nedeni, bünyesindeki kolloidlerin oranı ile ilişkilendirilmektedir. Tüm katkı malzemeleri kolloid yapıda malzeme içermesine rağmen bentonit dışındaki diğer katkı malzemelerinin safsızlıklarının farklıdır. olması ile açıklanabilmektedir. Birim miktardaki içerik bentonit ve PKA'da farklı olması sebebiyle PV üzerinde aynı etkiyi göstermemektedir.



Şekil 9. Plastik viskozite analiz sonuçları (75µm) (Plastic Viscosity analysis results (75µm)).

50 µm tane boyutuna sahip numunelerin ise 75 µm boyuta sahip numunelere kıyasla çoğunlukla benzer etki gösterdiği anlaşılmaktadır. Düşük oranlarda PV değerinde artış ya da düşüş olsa da hem sığ sondajlar hem de derin sondajlar için ihmal edilebilecek düzeydedir. Çamur akış rejimi üzerinde önemli farklar oluşturmayacak niteliktedir. Görünür viskozite analizinde de olduğu üzere PKA katkılı numunelerin (A) düşük plastik viskozite değeri göstermelerinin sebebi bor minerallerinin şişme özelliklerinin bentonite kıyasla düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Numune konsantrasyonundaki bor/kil miktarına bağlı olarak bor mineralinin viskozite değerleri üzerinde olumlu etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

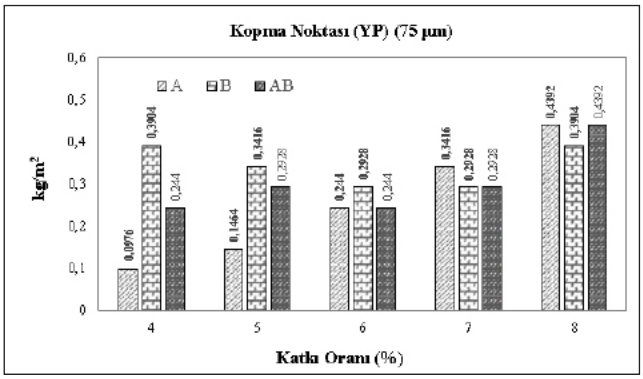
Kopma noktası (YP), sirkülasyon haricinde statik haldeki çamurun ilk akış direnci olarak tanımlanmaktadır. Çamur içerisindeki kolloidler arasındaki çekim kuvveti olarak da ifade edilmektedir. Bingham plastik modelinde ise kayma hızının olmadığı statik durumlardaki kesme gerilmesi olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca pratikte matkabın kestiği kırıntıların kuyu içerisinden yüzeye taşınması ile de ilişkilendirilmektedir. Yüksek YP değerleri çamur içerisindeki kolloidler arası çekim



kuvvetinin yüksek olduğunu ifade etmektedir. Dolayısı ile bu durum sondaj çamuru içerisinde yer alan kesintilerin pompa basıncı etkisiyle yüzeye taşınmasını sağlamaktadır. Ancak yüksek YP değerlerinin yüksek pompa basıncı ve enerji ihtiyacı gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Hem kuyu stabilitesinin kontrolü ve yığıntı oluşmasını engellemek hem de maliyet bakımından kontrol edilmesi gereken önemli parametreler arasında yer almaktadır. Farklı tane boyutu ve katkı oranlarına göre hazırlanan numunelerin YP analiz sonuçları Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.

75 µm tane boyutuna sahip numunelerin YP değerleri incelendiğinde PKA katkılı numunelerde (A) katkı miktarına bağlı olarak artış meydana geldiği; bentonit katkılı numunelerde (B) %5 ve %6 katkı miktarındaki numunelerin daha düşük değerlere sahip olduğu; bentonit/PKA katkılı numunelerde (AB) ise %5 ile %7 katkı miktarlarında aynı YP değerine sahip olduğu ve %6 katkı miktarında en düşük değerde olduğu görülmektedir. MW, AV ve PV analizlerine kıyasla katkı malzemeleri arasında yüksek sonuç farklılıkları meydana gelmiştir.

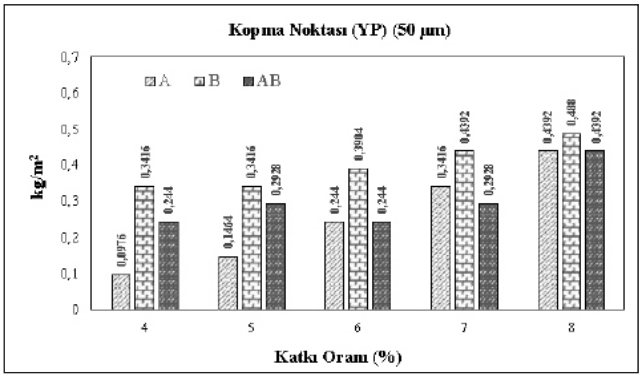
Katkı miktarının artması ile birlikte bu fark azalarak değerler birbirlerine yaklaşmıştır. PKA katkılı numunelerde (A) katkı miktarına bağlı olarak %350 oranına kadar farklılık gerçekleşmiştir. Bu durum ise PKA'nın YP üzerindeki etkisinin katkı miktarına bağlı olarak büyük değişiklikler gösterdiğini ifade etmektedir. Bentonit katkılı numunelerin (B) YP analizinde ise katkı miktarına bağlı bir artış belirlenmemiştir. AV değerine göre API



Şekil 11. Kopma noktası analiz sonuçları (75 µm) (Yield Point analysis results (75µm)).

standart değerini sağladığı %7 katkı miktarında ise en düşük YP değerine ulaşarak %25'e kadar azalma meydana getirmiştir. Bentonit/PKA katkılı numuneler (AB) ise daha düşük değerlere sahip olmasına karşın bentonit katkılı numunelere benzer eğilim göstermiştir. Katkı miktarına bağlı olarak YP değerinde %80 oranına kadar artış meydana getirmiştir.

50 µm tane boyutuna sahip numuneler incelendiğinde, PKA katkılı numuneler (A) ile bentonit/PKA katkılı numunelerin (AB) YP bakımından değişiklik meydana getirmediği belirlenmiştir. Başka bir ifade ile çamur içerisinde yer alan kolloidlerin çekim kuvveti tanecik boyutu veya temas yüzey alanı ile ilişkilendirilememiştir. Ancak bentonit katkılı numunelerde (B) tane boyutundaki azalmanın YP değeri üzerinde bir artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Bu artışların %6, %7 ve %8 katkı miktarlarında sırasıyla %33,3, %50 ve %25 oranlarında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca %4 katkı miktarında %12,5 oranında azalma meydana gelirken %5 katkı miktarında bir değişim gözlenmemiştir. Tane boyutuna bağlı çekim kuvveti ve dolaylı olarak YP değeri %6 ve üzeri katkı oranlarında bentonit için daha iyi verim elde edilmesini sağlamaktadır. Konsantrasyonun artması ile birlikte tanecikler arası mesafe azalmış olup; temas yüzey alanının artması ile tane yüzey yükleri ve çekim kuvvetlerinin artışı gerçekleşmiştir.

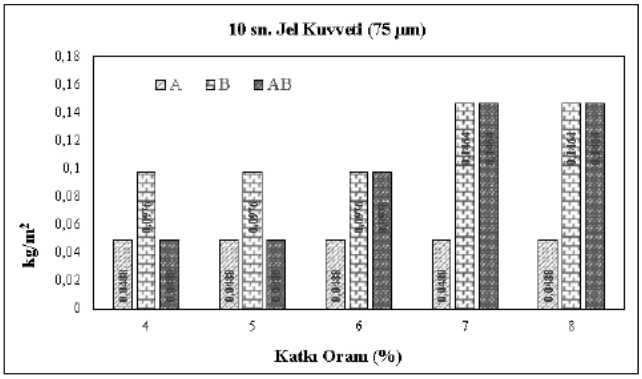


Şekil 12. Kopma noktası analiz sonuçları (50 µm) (Yield Point analysis results (50 µm)).

Analiz sonuçlarına göre PKA katkılı numunelerin (A) düşük kopma noktası değeri göstermelerinin sebebi bor minerallerinin jelleşme özelliği ve süspansiyonlarında tanecikler arası çekim kuvvetlerinin bentonite kıyasla düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Numune konsantrasyonundaki bor/kil miktarına bağlı olarak bor mineralinin kopma noktası değerleri üzerinde olumlu etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Jel kuvveti, sondaj operasyonlarında sirkülasyonun olmadığı zaman statik halde kalan çamurun dinamik hale geçerken meydana getirdiği kayma gerilmesi olarak tanımlanabilir. Sondaj çamurlarında bulunan matkap kesintilerinin ya da barit, kalsiyum karbonat, kaçak önleyici katı maddelerin (LCM) statik durumlarda çamur içerisinde askıda tutulmasını sağlayıp kuyu tabanına yığılmasını engellemektedir. Psedoplastik özellik gösteren akışkanların tiksotropi özelliği ile de ilişkilendirilebilir. Düşük jel kuvvetine sahip çamurların statik halde iken bünyesinde bulundurduğu malzemelerin kuyu tabanına birikmesi sonucu sondaj dizisinin sıkışma ihtimali bulunmaktadır. Yüksek jel kuvveti değerine sahip çamurların ise statik halden dinamik hale geçmesi esnasında yüksek pompa basıncı ve enerji ihtiyacı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı sondaj çamurlarında takip edilmesi gereken önemli parametreler arasında yer almaktadır. API RP. 13B-1 standardında jel kuvveti analizi statik kalma sürelerine göre (10 sn. ve 10 dk.) uygulanmaktadır. Farklı tane boyutlarına göre 10 saniye jel kuvveti sonuçları Şekil 13 ve Şekil 14'te; 10 dakika jel kuvveti sonuçları ise Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir.

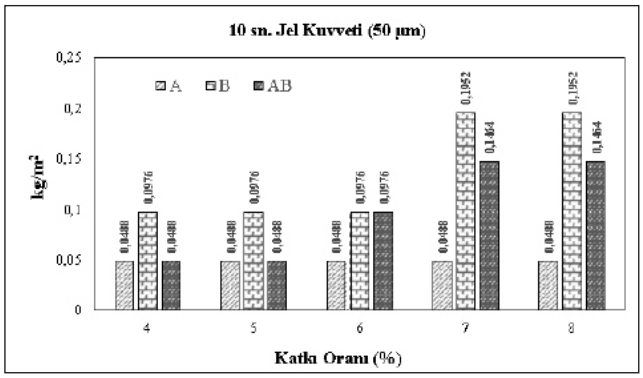
Şekil 13'te verilen sonuçlara göre, PKA katkılı numunelerin (A) katkı miktarlarından bağımsız olarak 0,0488 kg/m^2 jel kuvveti değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum statik halde 10 saniye bekleyen çamurda tanecikler arası geçici bağların oluşmadığını, tiksotropik özellik göstermediğini ve tanecik temas yüzeyleri arasında elektriksel bir çekim kuvveti meydana gelmediğini göstermektedir. Bentonit katkılı numunelerde (B) ise %4-6 katkı miktarlarında da aynı durum meydana gelmesine rağmen PKA'ya göre iki kat daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bentonit katkılı çamurlarda API standardını sağlayan %7 ve üzeri katkı miktarlarında ise %50 oranında artış meydana gelmiştir. Bu durum ise konsantrasyonun artması ile ilişkilidir. Belirli bir hacimdeki bentonit yoğunluğunun artması ile tanecikler arası mesafe azalarak geçici bağ oluşumunun kolaylaşması ile dinamik hale geçerken kayma gerilmesinin yükselmesi sağlanmıştır. Bu durum da katkı miktarına bağlı olarak jel kuvveti değerinin artışına sebep olmuştur. Bentonit/PKA katkılı numunelerde (AB) ise benzer eğilim görülmüştür. %6-8 katkı miktarlarında konsantrasyona bağlı olarak artış gözlenmiştir. PKA katkılı numunelerde (A) artış meydana gelmezken bentonit ihtiva eden numunelerde artış olması, statik halde bekleyen çamurda meydana gelen geçici bağ oluşumunun bentonit tanecikleri arasında olduğunu ifade etmektedir. Bu bağ yüzey elektriksel yüklerinin itme çekme kuvveti olarak oluşturulabileceği gibi iyon değişimi ile de meydana gelebilmektedir.



Şekil 13. 10 sn. jel kuvveti analiz sonuçları (75 µm) (10 sec. Gel Strength analysis results (75 µm)).

Şekil 14 incelendiğinde, PKA (A) ve bentonit/PKA (AB) katkılı numunelerde tane boyutuna bağlı bir etki gözlemlenmemiştir. Şekil 13'te verilen değerler değiş-

memiş olup; temas yüzey alanının artması veya tane çapının azalması herhangi bir değişim meydana getirmemiştir. Bentonit katkılı numunelerde (B) ise %6 katkı miktarına kadar değişiklik meydana gelmemiştir. Ancak %7 ve %8 katkı miktarlarında %33,3 oranında bir artış belirlenmiştir. Bu durum temas yüzey alanının artması ile açıklanmaktadır.



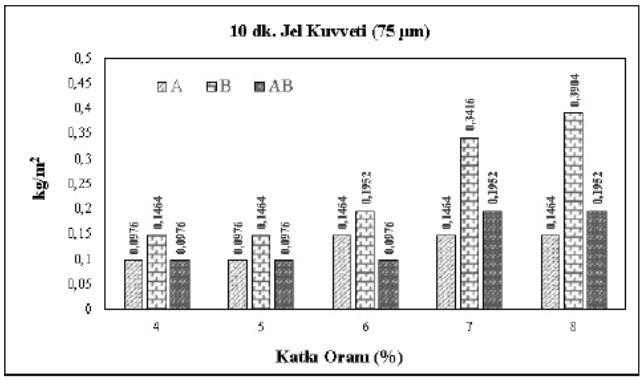
Şekil 14. 10 sn. jel kuvveti analiz sonuçları (50 µm) (10 sec. Gel Strength analysis results (50 µm)).

10 dk. jel kuvveti, 10 sn. jel kuvveti ile büyük oranda benzerlik gösterip; yalnızca çamur bekleme süresine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Statik bekleme süresinin 10 dakika olduğu durumlarda dinamik hale geçerken meydana gelen kayma gerilmesinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Statik bekleme süresinin daha fazla olmasından dolayı geçici bağ oluşumları daha fazla olmaktadır. Dolayısı ile 10 saniye jel kuvveti değerine kıyasla daha yüksek kayma gerilmesi değerleri elde edilmektedir.

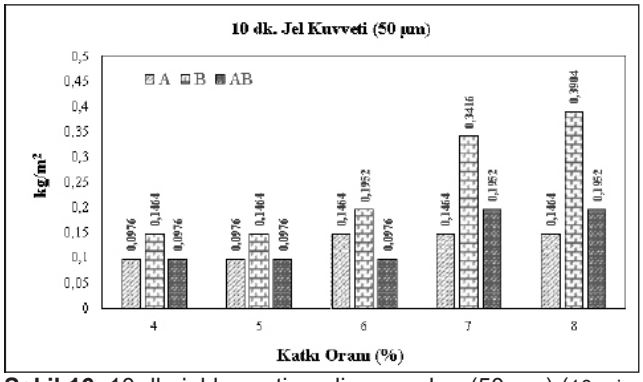
75 µm tane boyutuna sahip numunelerin 10 dakika jel kuvveti sonuçları incelendiğinde, en yüksek değerlerin bentonit katkılı numuneler (B) ile sağlandığı görülmektedir. Katkı miktarına bağlı olarak artış göstermektedir. Bu artışlar %4-8 katkı miktarları aralığında %166,66 seviyesine kadar çıkmaktadır. Bu durum konsantrasyonun artması, taneler arası mesafenin azalması ve geçici bağ kurulmasının daha kolay olması ile açıklanmaktadır. PKA katkılı numunelerde ise %6 katkı miktarından sonra %50 oranında artış meydana gelmiştir. Fakat düzenli bir artış görülmemektedir. Bu sebeple konsantrasyona bağlı bir artıştan bahsedilememektedir. Bentonit/PKA katkılı numunelerde (AB) de benzer şekilde %7 katkı miktarından sonra %100 oranında bir artış meydana gelmiştir. Ancak düzenli bir artış olmadığı için katkı miktarına bağlı bir ilişkiden bahsedilememektedir.

50 µm tane boyutuna sahip numuneler ise Şekil 15'te verilenler ile aynı değerleri göstermiştir. Bu durum tanecik yüzey alanının ya da çapının tüm katkı malzemeleri ve miktarlarında başlangıç kayma gerilmesini değiştirmediğini ifade etmektedir.

Analiz sonuçlarına göre kopma noktası analizinde de ifade edildiği gibi PKA katkılı numunelerin (A) jel kuvveti değeri göstermelerinin sebebi bor minerallerinin süspansiyonlarında tanecikler arası çekim kuvvetlerinin bentonite kıyasla düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Numune konsantrasyonundaki bor/kil miktarına bağlı olarak bor mineralinin jel kuvveti değerleri üzerinde olumlu etkisinin olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 15. 10 sn. jel kuvveti analiz sonuçları (75 µm) (10 sec. Gel Strength analysis results (75 µm)).



Şekil 16. 10 dk. jel kuvveti analiz sonuçları (50 µm) (10 min. Gel Strength analysis results (50 µm)).

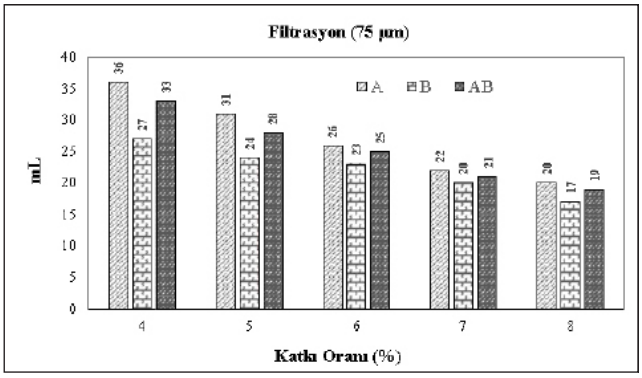
Filtrasyon, sondaj çamurunun hidrostatik basıncının formasyonun gözenek basıncından yüksek olduğu durumlarda bünyesindeki suyun formasyona geçmesi olarak tanımlanmaktadır. Filtrasyon, dinamik ve statik filtrasyon olarak sınıflandırılmaktadır. Dinamik filtrasyonu etkileyen birçok parametre (hidrostatik basınç, formasyon çatlama basıncı, porozite, geçirgenlik, sondaj çamur türü ve katkı malzemeleri vb) olduğu için kuyu şartları gerçekleşmeden dinamik filtrasyon öngörüsünde bulunmak zorlaşmaktadır. API RP 13B-1 standardına göre ise düşük basınç ve sıcaklık (LPLT) koşullarında statik filtrasyon analizi yapılmaktadır. Statik filtrasyon, sondaj çamurunun sirkülasyonu olmadığı anlarda yükselip; sirkülasyon esnasında düşüş göstermektedir. Ayrıca zamanın karekökü ile orantılı olarak değişmektedir.

Yüksek filtrasyon, planlanan sondaj çamuru bünyesindeki suyun uzaklaşmasına sebep olacağı için MW artışına ve dolaylı olarak hidrostatik basınç yükselmesine bağlı olarak formasyon çatlatılmasına, kayma gerilmelerinde artış meydana getireceği için AV artışına, katı madde oranının artacağı için PV artışına ve çamur içerisinde yer alan kolloidlerin yoğunluğunun artmasına bağlı YP artışına sebep olabilmektedir. Bu reolojik değişimler ise akış rejiminin bozulmasına ve sondaj

çamurunun istenilen özellikleri gösterememesine sebep olabilmektedir. Filtrasyon olayının gerçekleşmesi esnasında çamur içerisinde çözünmeyen katı maddeler formasyona geçemeyeceği için kuyu cidarında düşük geçirimli bir tabaka oluşturacaktır. Bu tabaka, formasyon ile kuyu içi arasında bir katman oluşturup formasyon akışkanlarının kuyu stabilitesini ve çamur değerlerini bozmasını engelleyecektir. Bu sebeplerden ötürü filtrasyon değerinin dengeli düzeyde tutulması ve düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

Farklı tane boyutu ve katkı oranlarına göre hazırlanan numunelerin filtrasyon analiz sonuçları Şekil 17 ve Şekil 18'de verilmiştir. API Spec. 13A standardına göre en fazla 15 mL filtrasyon değeri olması gerekmektedir. 75 µm ve 50 µm tane boyutundaki numunelerin %4-8 katkı miktarlarında standart değerleri karşılayamadığı tespit edilmiştir. Ancak katkı miktarının artışına bağlı olarak tüm numunelerde düşüş gözlemlenmiştir. Dolayısıyla yüksek katkı miktarlarında standart değerlerin sağlanabileceğini öngörülmektedir.

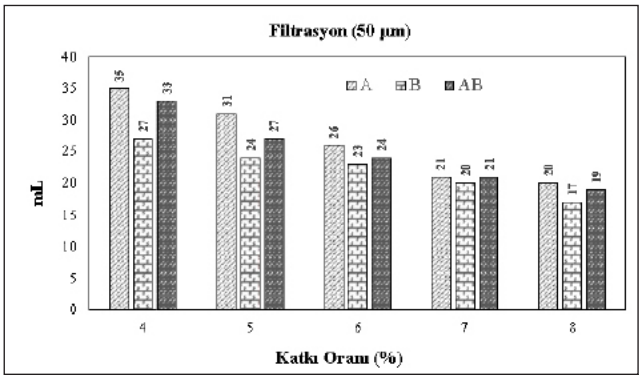
75 µm tane boyutuna sahip numuneler incelendiğinde, en düşük filtrasyon değerlerini bentonit katkılı numuneler (B) göstermektedir. Ayrıca bentonit/PKA katkılı numunelerin (AB) PKA katkılı numunelere (A) kıyasla ortalama %4,51 oranında daha düşük filtrasyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Dolayısı ile PKA'nın doğrudan filtrasyon düşürücü bir katkı olarak kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Ancak bentonite ek katkı malzemesi olarak kullanıldığı durumlarda nispeten filtrasyon düşürücü özellik gösterdiği ve atık değerlendirme amacıyla kullanılabileceği saptanmıştır.



Şekil 17. 1. Filtrasyon analiz sonuçları (75 µm) (Filtration analysis results (75 µm)).

50 µm tane boyutuna sahip numuneler değerlendirildiğinde, 75 µm boyutlu numuneler ile yüksek oranda benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Aynı katkı miktarlarında tane boyutuna bağlı filtrasyon farkları %2,77-4,54 oranlarında değişmektedir. Bu durum ise hem sığ sondajlar hem de derin sondajlar için ihmal edilebilecek düzeydedir. Bu düşüşlerin tane boyutunun azalmasından kaynaklı formasyon gözeneklerinin tıkanmasından ve sıvı geçişine engel olmasından kaynaklı olabileceği öngörülmektedir.

Analiz sonuçlarına göre katkı malzemelerinin hepsi filtrasyonda azalma meydana getirmiştir. Ancak bentonit (B) ve bentonit/PKA (AB) katkılı numunelerde bu azalmanın daha etkin olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi de bentonitin jelleşme ve çamur keki oluşturma özelliğinin bor mineralinden daha iyi olması ile açıklanmaktadır. Bu sebeple basınç altında meydana gelen sıvı kaybı olarak tanımlanan filtrasyon, bor minerallerinin düşük geçirimli bir kek oluşturamaması sebebiyle konsantrasyonunda bentonit bulunduran numunelerde daha düşük seviyede ölçülmüştür.



Şekil 18. Filtrasyon analiz sonuçları (50 µm) (Filtration analysis results (50 µm)).

4. Sonuçlar (Conclusions)

Çalışma kapsamında Eskişehir ili Kırka ilçesinden temin edilen bor işletme tesisi proses katı atıklarının sondaj çamurlarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Hazırlanan sondaj çamur numuneleri API 13A standardına göre hazırlanmıştır. Ayrıca Numunelerin reolojik ve filtrasyon analizleri API 13B-1 standardına göre yapılmıştır. Hazırlanan numunelerde farklı oranlarda (ağırlıkça %4-8) ve farklı tane boyutlarında (75-50µm) katkı malzemeleri kullanılmıştır. Böylece hem katkı oranı hem de tane boyutunun reolojik ve filtrasyon özelliklere etkisi incelenmiştir. Analizler kapsamında çamur ağırlığı (MW), görünür viskozite (AV), plastik viskozite (PV), kopma noktası (YP), 10 sn. jel kuvveti, 10 dk. jel kuvveti ve filtrasyon ölçümleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre PKA katkılı numunelerin bentonit katkılı numunelerden daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum da PKA'nın doğrudan sondaj çamurlarında reoloji kontrolü amacıyla kullanılamayacağını göstermektedir. Fakat bentonit ile birlikte kullanıldığında, standarda yaklaşan analiz değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum da sondaj operasyonlarında çamurun reolojik özelliklerini kontrol etmek amacıyla destekleyici katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca atık bertarafı ve maliyet açısından da sondaj operasyonlarında kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır.

Kaynaklar (References)

[1] Abdou, M. I., & Ahmed, H. S. (2011). Effect of particle size of bentonite on rheological behavior of the drilling mud. *Journal of Petroleum Science and Technology, 29*, 2220-2233.

[2] Erdoğan Y., Kök O. E., & Tanrıverdi İ. (2017). Atık

İskenderun Siyah Mermer (Alexandrette Black) Tozunun Sondaj Çamurlarında CaCO3 Olarak Kullanımı [Use of Waste Iskenderun Black Marble (Alexandrette Black) Powder as CaCO3 in Drilling Mud], 2*nd International Mediterranean Science and Engineering Congress*, Adana, Turkey, 172-178. ISBN: 978-605-67067-1-4.

[3] Erdoğan, Y., & Kök, O. E. (2020). Current Researches in Engineering and Architecture Sciences. Flow Characteristics of Eldivan–Çankırı (Turkey) Bentonites Compared to Wyoming (USA) in Drilling Muds: An Experimental Approach (pp. 91-101). IVPE Publishing Group. ISBN: 978-9949-46-027-3.

[4] Chilingar, G.V., & Vorabutr, P. (1983). Drilling and drilling fluids (2nd Ed.). Elsevier. ISBN: 978-044-4421-77-7.

[5] Erdoğan, Y., Kök, O. E. (2019). Production and characterization of nanobentonite from sodium bentonite with mechanical grinding. *Fresenius Environmental Bulletin*, *28*(11), 8141- 8150.

[6] Kök, O.E., Erdoğan, Y., & Vapur, H. (2019). Bor Atığı İçeren Killerin Sondaj Çamuru Katkı Malzemesi Olarak Kullanımı [Use of Clays Containing Boron Waste as Additive Material in Drilling Muds]. *18. Ulusal Kil Sempozyumu* [*18th National Clay Symposium*], 70-73. ISBN: 978-605-4397-62-4.

[7] Erdoğan, Y., Kök, O. E. (2019). Usage of olivine as additive material in water-based drilling muds. *Fresenius Environmental Bulletin*, *28*(7), 5559-5568.

[8] Caenn, R., Chillingar, G. V. (1996). Drilling fluids: State of the art. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *14*, 221-230.

[9] Erdoğan, Y., Yıldız, M. İ., & Kök, O. E. (2018). Correlating rate of penetration with the weigth on bit, rotation per minute, flow rate and mud weight of rotary drilling. *Natural and Engineering Sciences*, *3*(3), 378-385.

[10] Kök, O. E. (2017). *Nanobentonit eldesi ve karakterizasyonu* [*Nanobentonite production and characterization*] [M.Sc. Thesis, Iskenderun Technical University]. Council of Higher Education Thesis Center (Thesis Number 501872).

[11] Mahto, V., & Sharma, V. P. (2008). Characterization of indian bentonite clay samples for water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Technology*, *26*, 1859-1868.

[12] Kök, O. E., Tanrıverdi, İ., & Erdoğan, Y. (2018). Usage of vermiculite as additive material in water-based drilling muds. *Natural and Engineering Sciences*, *3*(2), 179-186.

[13] Lyons, W. C., & Plisga, G. J. (Eds.). (2004). Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering. Elsevier. ISBN: 978-012-3838-46-9.

[14] Meng, X., Zhang, Y., Zhou, F., & Chu, P. K. (2012). Effects of carbon ash on rheological properties of water-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *100*, 1-8. DOI: 10.1016/j.petrol.2012.11.011.

[15] Karasu, B., Kaya, G., & Yurdakul, H. (2002). Etibor Kırka Boraks İşletmesi Konsantre ve Türev Atıklarının Duvar Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi [The Effect of Etibor Kırka Borax Company's Concentration and Derivation Wastes on the Properties of Wall Tile Bodies]. *1. Uluslararası Bor Sempozyumu*, *[1st International Boron Symposium*], *Kütahya*, 224-228. ISBN: 975-395-55-45.

[16] Özkul, C., Çiftçi, E., Tokel, S., & Savaş, M. (2017). Boron as an exploration tool for terrestrial borate deposits: A soil geochemical study in neogene Emet-Hisarcık basin where the world largest borate deposits occur (Kütahya-western Turkey). *Journal of Geochemical Exploration, 173*, 31-51.

[17] Özkan, T., Tombal, İ., Ünver, K., & Osmanlıoğlu, A. (2016). Bor bileşiklerinin özellikleri, üretimi, kullanımı ve nükleer reaktör teknolojisinde önemi [Properties, production and use of boron compounds and importance in nuclear reactor technology]. *Journal of Boron*, *1*(2), 86-95.

[18] Kavas, T., & Önce, G. (2002). Etibor Kırka Boraks İşletmesi Konsantratör Atıklarının Pres Tuğla Üretiminde Ergitici Eleman Olarak Kullanılabilirliği [The Usage Capacity of Etibor Kırka Borax Company's Wastes in the Production of Structural Bricks as a Flax Material]. *1. Uluslararası Bor Sempozyumu*, *Kütahya*, 219-223. ISBN: 975-395-55-45.

[19] Uslu, T., & Arol, A. I. (2004). Use of boron waste as an additive in red bricks. *Waste Management*, *24*, 217-220.

[20] Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y., & Angelopoulos, G. N. (2009). Use of boron wastes in the production of heavy clay ceramics. *Ceramics International*, *35*, 447-452. DOI: 10.1016/j.ceramint.2007.12.001. DOI: 10.1016/j.ceramint.2007.12.001.

[21] Ercenk, E., Şen, U., Bayrak, G., & Yılmaz, S. (2014). Glass and glass-ceramics produced fromfly ash and boron waste. *Acta Physica Polonica*, *125*, 626-628.

[22] American Petroleum Intitute. (2010). *Specification for Drilling Fluids-Specifications and Testing* (Specification No. 13A), USA.

[23] American Petroleum Institute. (2003). Recommended Practice Standard for Field Testing Water-Based Drilling Fluids (Standard No. RP-13B-1).