

Özge DÜREN

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAYIS 2022



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

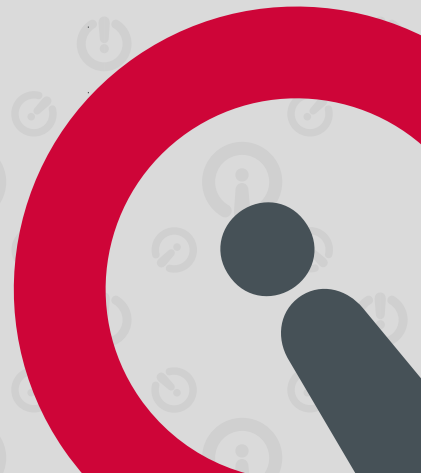
**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**SODYUM POLİAKRİLATIN
SU BAZLI SONDAJ ÇAMURU
ÜZERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Özge DÜREN

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MAYIS 2022





**SODYUM POLİAKRİLATIN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURU ÜZERİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Özge DÜREN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
PETROL VE DOĞAL GAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2022

ÖZGE DÜREN tarafından hazırlanan “SODYUM POLİAKRİLATIN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURU ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Doç.Dr. Yunus ÖNAL

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İnönü Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Üye: Dr. Sarper ÖZTÜRK

Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 09/05/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Özge DÜREN

...../...../.....

SODYUM POLİAKRİLATIN SU BAZLI SONDAJ ÇAMURU ÜZERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Özge DÜREN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2022

ÖZET

Petrol ve Doğal Gaz sektöründe, sondaj uygulamaları sırasında karşılaşılan en önemli problemlerden birisi sondaj akışkanından düşük verim alınmasıdır. Ekonomik olması ve çevreye zararının çok az olması sebebi ile su bazlı sondaj çamurları diğer petrol bazlı ve sentetik bazlı sondaj çamurlara kıyasla daha çok tercih edilmektedirler. Su bazlı sondaj çamurlarının verimini arttırabilmek amacı ile çamur karışımına çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir.

Bu tez çalışmasında sodyum poliakrilatın sondaj çamurunda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, farklı oranlarda bentonit içeren (%4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10) su bazlı sondaj çamuru hazırlanmış ve kullanılan bentonitin %1 oranında sodyum poliakrilat ilave edilmiştir. Ardından, hazırlanan sondaj çamurları 16 saat ve 24 saat yaşlandırma sürelerine tabi tutulmuş ve sodyum poliakrilatın sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon (sıvı kaybı) özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Deneysel çalışmalar API 13A standardına göre gerçekleştirilmiş olup elde edilen deney sonuçları API 13B-1 standardına göre incelenmiş ve de yorumlanmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, aynı yaşlandırma süreleri altında sodyum poliakrilatın ilavesiyle reolojik parametrelerde (görünür viskozite, plastik viskozite, akma noktası, jel dayanımı) bir artış görülmekle birlikte bu artışın yüksek bentonit konsantrasyonu (%6, %7, %8, %9 %10) ve artan sodyum poliakrilat miktarı ile çok daha belirgin olduğunu göstermektedir. Öte yandan, deneysel sonuçlar yaşlandırma süresinin filtrasyon üzerinde bir iyileşme sağladığını göstermiştir. Su kaybında dikkat çeken bir diğer gözlem ise gerek 16 saat yaşlandırma gerekse 24 saat yaşlandırma süresinde sodyum poliakrilatın su kaybında azalma etkinliğinin yüksek bentonit konsantrasyonunda (%7, %8, %9, %10) çok daha iyi olduğudur. Sodyum poliakrilatın, sondaj çamurunda uygun kombinasyonu ile gelecek vaat edici bir katkı maddesi olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Sondaj çamuru, bentonit, sodyum poliakrilat, reoloji

Sayfa Adedi : 86

Danışman : Prof. Dr. Tolga DEPCİ

AN INVESTIGATION OF SODIUM POLYACRYLATE EFFECT ON WATER BASED DRILLING FLUID

(M. Sc. Thesis)

Özge DÜREN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

May 2022

ABSTRACT

In the Oil and Natural Gas sector, one of the most important problems encountered during drilling applications is the low efficiency of the drilling fluid. Water-based drilling muds are preferred more than other petroleum-based and synthetic-based drilling muds because they are economical and have little damage to the environment. Various additives are added to the mud mixture in order to increase the efficiency of water-based drilling mud.

In this thesis, the usability of sodium polyacrylate as an additive in drilling mud was investigated. All experiments were carried out at room temperature. For this purpose, water-based drilling mud containing different amounts of bentonite (4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% and 10%) was prepared and 1% sodium polyacrylate was added to the bentonite used. Then, the prepared drilling muds were aged for 16 hours and 24 hours and how sodium polyacrylate affected the rheological and filtration (liquid loss) properties of the drilling mud was investigated. Experimental studies were carried out according to the API 13A standard, and the test results obtained were analyzed and interpreted according to the API 13B-1 standard.

As a result of the experiments, an increase is observed in rheological parameters (apparent viscosity, plastic viscosity, pour point, gel strength) with the addition of sodium polyacrylate under the same aging times, but this increase is due to high bentonite concentration (6%, 7%, 8%, 9%, 10%). and it shows that it is much more pronounced with increasing sodium polyacrylate amount. On the other hand, the experimental results showed that the aging time provided an improvement on the filtration. Another remarkable observation in water loss is that the water loss reduction efficiency of sodium polyacrylate is much better at high bentonite concentration (7%, 8%, 9%, 10%) in both 16 hours aging and 24 hours aging periods. It has been concluded that sodium polyacrylate can be used as a promising additive in drilling mud with its appropriate combination.

Key Words : Drilling mud, bentonite, sodium polyacrylate, rheology

Page Number : 86

Supervisor : Prof. Dr. Tolga DEPCİ

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca akademik bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana yol gösteren, tez konumun belirlenmesinde, deneylerin uygulanmasında ve de tez yazım sürecinde desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve en önemlisi beni teşvik eden, bana güvenen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tolga DEPCİ'ye sonsuz teşekkürlerimi ve de minnettarlığımı sunuyorum.

Tez savunmama katılarak yorum, önerileri ve geri bildirimleri ile desteğini benden esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Yunus ÖNAL'a ve akademik bilgilerini benimle paylaşan, beni yönlendiren ve desteğini benden esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Fahri ESENLİ'ye, desteği ve de yardımları için değerli büyüğüm Sayın Dr. Mühendis Cengiz KIRMANLI'ya, her zaman ve yüksek lisans öğrenimin boyunca benimle tüm bilgilerini paylaşan ve beni yönlendiren, teşvik eden kıymetli dostum, büyüğüm Dr. Öğr. Üyesi Dilan Canan ÇELİKEL'e ve her türlü desteği için kıymetli dostum Dr. Öğr. Üyesi Berker YURTSEVEN'e teşekkür ediyorum.

Her türlü fikir alış-verişinde sorularımı yanıtsız bırakmayan ve beni yönlendiren Arş. Gör. Mustafa Göktan AYDIN'a teşekkür ediyorum.

Arş. Gör. Emine YALMAN'a ve Arş. Gör. Onur Eser KÖK'e destekleri için teşekkür ediyorum.

Tezim sırasında verdikleri her türlü destekten ötürü tüm aileme ve her zaman yanımda olduğu için kıymetli eşim Egemen DÜREN'e ve ailesine çok teşekkür ediyorum. Hayatımdaki en kıymetlilerim olan biricik yavrularım, canım kızım Melisa DÜREN'e ve canım oğlum Ayaz Berk DÜREN'e, ben ders çalışırken gösterdikleri hassasiyet için, deneyler sırasında ve tez yazım aşamasında onlardan ayrı kaldığım her sürede gösterdikleri sabır için kendilerine sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunuyorum.

Her türlü destekleri için kıymetli dostlarım Dr. Ebru ACUNER TÜRET'e, Demir Kadirhan TÜRET'e ve kıymetli büyüğüm Öğr. Gör. Cuma KARATAŞ'a teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1.GİRİŞ	1
2. SONDAJ VE SONDAJ ÇAMURU	5
2.1. Sondaj.....	5
2.1.1. Sondaj Lisans, Keşif ve Geliştirme	5
2.2. SONDAJ ÇEŞİTLERİ.....	6
2.2.1. Petrol ve Doğal Gaz Kara Sondajı.....	6
2.2.2. Petrol ve doğal gaz deniz sondajı	6
2.3. Sondaj Çamuru.....	6
2.3.1. Sondaj çamuru sirkülasyonu.....	7
2.3.2. Sondaj çamuru kesinti taşıma kapasitesi	8
2.3.3. Sondaj çamuru çeşitleri	8
2.3.4. Sondaj çamuru reolojik özellikleri	10
2.3.5. Sondaj çamuru reolojik özelliklerinin sondaj ilerleme hızı üzerine etkisi	13
2.4. Reolojik Modeller.....	14
2.4.1 Non-newtonian akış modelleri	14
2.5. Sondaj Çamuru Katkı Maddeleri.....	16
2.5.1. Bentonit.....	17
2.5.2. Ağırlaştırıcı katkı maddeleri	19
2.5.3. Tuzlar.....	19
2.5.4. Polimerler	19
2.5.5. Kaçak önleyici malzemeler	20
2.5.6. Diğer katkı malzemeleri	20
2.6. Sondaj Çamuru Testleri.....	20

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	21
4. MATERYAL ve METOT	25
4.1. Materyal	25
4.2. Metot	27
4.2.1. Çamur ağırlığı ölçümü.....	29
4.2.3. Viskozimetre ekran okumaları.....	29
4.2.4. Jel mukavemeti testi	30
4.2.5. Filtrasyon testi	30
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	31
5.1.1. 24 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri reolojik ve filtrasyon ölçümleri.....	37
5.1.2. 16 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri reolojik ve filtrasyon ölçümleri.....	45
5.1.3. 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri reolojik ve filtrasyon ölçümleri	53
5.1.4. 16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri reolojik ve de filtrasyon ölçümleri.....	60
5.2. Çamur Numunelerinin Reolojik ve de Filtrasyon Ölçüm Değerlerinin Kullanılan Katkı Maddesine ve Yaşlandırma Sürelerine göre Karşılaştırılması	67
5.2.1. Çamur ağırlıkları analizi	67
5.2.2. Görünür viskozite, plastik viskozite ve akma noktası analizi	70
5.2.3. Filtrasyon analizi	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR	82

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1 Üretici ülkeler ve petrol rezerv miktarları.....	2
Çizelge 1.2 Bölgelerin petrol tüketim miktarları.....	3
Çizelge 2.1 Sondaj çamuru sınıflandırması.....	9
Çizelge 2.2 Sondaj uygulamalarında kullanılan bazı kimyasallar ve özellikleri.....	16
Çizelge 2.3. API 13A standardı bentonit spesifikasyonları.....	19
Çizelge 4.1. Çamur Numune Kompozisyonları.....	25
Çizelge 4.2. Görünür Viskozite, Plastik Viskozite ve Akma noktası bağıntıları.....	30
Çizelge 5.1. Bentonit numunesi XRF oksit değerleri.....	31
Çizelge 5.2. 24 saat bentonitli çamur ölçümleri.....	37
Çizelge 5.3. 24 saat bentonitli çamur ölçümleri.....	38
Çizelge 5.4. 16 saat bentonitli çamur ölçümleri.....	45
Çizelge 5.5. 16 saat bentonitli çamur ölçümleri.....	46
Çizelge 5.6. 24 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri.....	53
Çizelge 5.7. 24 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri.....	54
Çizelge 5.8. 16 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri.....	60
Çizelge 5.9. 16 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri.....	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1 Bentonit örneğinin X-ışınları difraksiyon (XRD) paterni	35
Şekil 5.2. 24 saat bentonitli numunelerin çamur ağırlıkları.....	38
Şekil 5.3. B424 numunesinin reogram grafiği.....	39
Şekil 5.4. B524 numunesinin reogram grafiği.....	39
Şekil 5.5. B624 numunesi reogram grafiği.....	40
Şekil 5.6. B724 numunesinin reogram grafiği.....	40
Şekil 5.7. B824 numunesinin reogram grafiği.....	41
Şekil 5.8. B924 numunesinin reogram grafiği.....	41
Şekil 5.9. B1024 numunesinin reogram grafiği.....	42
Şekil 5.10. 24 saat bentonitli numunelerin viskozimetre ekran okumaları.....	42
Şekil 5.11. 24 saat bentonitli numunelerin reolojik parametreleri.....	43
Şekil 5.12. Bentonitli numunelerinin filtrasyon değerleri.....	44
Şekil 5.13. 16 saat bentonitli numunelerin çamur ağırlıkları.....	46
Şekil 5.14. B416 numunesinin reogram grafiği.....	47
Şekil 5.15. B516 numunesinin reogram grafiği.....	47
Şekil 5.16. B616 numunesinin reogram grafiği.....	48
Şekil 5.17. B716 numunesinin reogram grafiği.....	48
Şekil 5.18. B816 numunesinin reogram grafiği.....	49
Şekil 5.19. B916 numunesinin reogram grafiği.....	49
Şekil 5.20. B1016 numunesinin reogram grafiği.....	50
Şekil 5.21. 16 saat bentonitli numunelerin viskozimetre ekran okumaları.....	50
Şekil 5.22. 16 saat bentonitli numunelerin reolojik parametreleri.....	51

Şekil	Sayfa
Şekil 5.23. Bentonitli numunelerin filtrasyon değerleri.....	52
Şekil 5.24. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları.....	54
Şekil 5.25. BSP424 numunesinin reogram grafiği.....	55
Şekil 5.26. BSP524 numunesinin reogram grafiği.....	55
Şekil 5.27. BSP624 numunesinin reogram grafiği.....	56
Şekil 5.28. BSP724 numunesinin reogram grafiği.....	56
Şekil 5.29. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin viskozimetre ekran okumaları.....	57
Şekil 5.30. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreler.....	58
Şekil 5.31. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri.....	60
Şekil 5.32. 16 saat sodyum poliakrilatlı çamur numunelerin çamur ağırlıkları.....	61
Şekil 5.33. BSP416 numunesinin reogram grafiği.....	62
Şekil 5.34. BSP516 numunesinin reogram grafiği.....	63
Şekil 5.35. BSP616 numunesinin reogram grafiği.....	63
Şekil 5.36. BSP716 numunesinin reogram grafiği.....	64
Şekil 5.37. 16 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin viskozimetre ekran okumaları.....	64
Şekil 5.38. 16 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreler.....	65
Şekil 5.39. 16 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri.....	67
Şekil 5.40. 16 ve 24 saat bentonitli numunelerin çamur ağırlıkları.....	68
Şekil 5.41. 16 ve 24saat sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları.....	69
Şekil 5.42. 16 saat bentonitli sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları.....	69
Şekil 5.43. 24 saat bentonitli ve 24 sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları...	70
Şekil 5.44. 16 ve 24 saat bentonitli numunelerin reolojik parametreleri.....	71
Şekil 5.45. 16 ve 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreleri.....	72
Şekil 5.46. 16saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreleri..	73

Şekil**Sayfa**

Şekil 5.47. 24 saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreleri.	74
Şekil 5.48. 16 ve 24 saat bentonitli numunelerin filtrasyon değerleri.....	75
Şekil 5.49. 16 ve 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri.....	77
Şekil 5.50. 16 saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri....	78
Şekil 5.51. 24 saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri....	79



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Sondaj çamuru sirkülasyon sistemi.....	7
Resim 4.1. İSTE Petrol ve Doğal Gaz Müh. Sondaj ve Kaya Laboratuvarı-.....	26
Resim 4.2. İSTE Petrol ve Doğal Gaz Müh. Sondaj ve Kaya Laboratuvarı-2.....	26
Resim 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan bentonit kili.....	28
Resim 4.4. 16 saat bentonitli çamur numuneleri.....	28
Resim 4.5. 24 saat sodyum poliakrilatlı çamur numuneleri.....	29
Resim 5.1. Bentonit SEM analizi görüntüsü.....	32
Resim 5.2 Bentonit SEM analizi görüntüsü.....	32
Resim 5.3 Bentonit SEM analizi görüntüsü.....	33
Resim 5.4 Bentonit SEM analizi görüntüsü.....	33
Resim 5.5 Bentonit SEM analizi görüntüsü.....	34
Resim 5.6 Bentonit SEM analizi görüntüsü.....	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
tep	Ton Eşdeğer Petrol
ppg	Pounds per Galon
°F	Derece Fahrenheit
°C	Derece Santigrat
rpm	Revolutions per Minute (dakikadaki dönüş sayısı)
lbs	Pound
cP	Santipoiz
N	Newton
M	Metre
Pa	Pascal
PV	Plastik Viskozite
AV	Görünür Viskozite
YP	Akma noktası
μ	Mikro
μm	Mikrometre
g	Gram
cm³	Santimetreküp
ml	Mililitre
ft	Feet
Θ	Plastik Viskozite
τ	Kayma Gerilimi
γ	Kayma Hızı
Å	Angström

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
API	American Petroleum Institute
Ca	Kalsiyum
CaCO₃	Kalsiyum Karbonat
CMC	Karboksimetil Selülöz
Cl	Klor
CO₂	Karbondioksit
CO₃	Karbontrioksit
HCl	Hidroklorik Asit
İSTE	İskenderun Teknik Üniversitesi
KCl	Potasyum Klorür
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum Klorür
OCMA	Polimer katkılı bentonit kili
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
SEM	Scanning Electron Microscope
SPE	Societies of Petroleum Engineers
XRD	X ışını kırınım yöntemi
XRF	X ışını Floresans Spektrometrisi

1.GİRİŞ

Enerji gereksinimlerinin hızla artması sebebi ile günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının ihtiyacı karşılayabilecek düzeyde olup olmadığı araştırılmakta olup hali hazırda kullanılan enerji kaynaklarının tüketimi karşılayabilecek düzeyde olmadığı ve bu enerji kaynaklarının çeşitliliğinin artırılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Enerji kaynaklarının çeşitliliğinin artırılması çalışmalarının yanında mevcut enerji potansiyeline sahip kaynaklardan elde edilen verimin artırılması ve de küresel ısınmanın artması sebebi ile çevresel etkilerinin incelenmesi çalışmaları yapılmaktadır. Enerji kaynakları potansiyel durumlarına göre yenilenebilir ve geleneksel (yenilenemez) enerjiler olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Geleneksel enerji kaynakları fosil kökenli kaynaklar olup bunlar kömür, petrol ve doğal gazdır. Fosil kökenli oldukları ve de hızla tüketildikleri için tükenir olarak literatürde yer almaktadır. Bu tükenir enerji grubundaki kömür petrol ve doğal gazın verimli olarak kullanılması ve de ihtiyaçları karşılayabilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Diğer ikinci grup ise yenilenebilir enerji kaynakları olup rüzgar, güneş, jeotermal ve hidrolik enerjilerdir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları tükenmez kaynaklar olarak da adlandırılırlar [1]. Küresel ısınmanın artması ile paralel olarak tükenmez enerji kaynaklarına olan talebin artmasına rağmen hali hazırda var olan kömür, petrol ve doğal gazın ısınma ve ulaşım gibi ihtiyaçlara talep miktarı oldukça fazladır. Yapılan araştırmalar sonucunda geleneksel enerji kaynakları bu talebin %80'ini karşılamaktadır [1]. Bu talep nedeni ile yenilenemez enerji kaynaklarında arama, sondaj ve üretim faaliyetleri yoğun bir şekilde enerji sektöründe hizmet veren kurum ve kuruluşlar tarafından desteklenmekte ve ülkeler bu alanda çalışmalarını yoğun bir şekilde sürdürmektedirler. Geleneksel enerji kaynaklarındaki arama, sondaj ve üretim faaliyetleri sırasında çevreye verilecek zararın oluşmasını önlemek amacı ile ve daha temiz daha verimli ve daha ekonomik çalışmalar gerçekleştirilmektedir [1].

Geleneksel enerji kaynaklarının en başında bulunan petrol, dünyada bütün ülkelerin ihtiyaç duyduğu fosil kaynaklı hidrokarbon yapılı bir yakıttır. Petrol, ulaşım sektöründen ilaç sektörüne, gübre ve plastik sektöründen kozmetik sektörüne kadar her yerde hammadde kaynağı olarak ihtiyaç duyulan ve kullanılan bir üründür [2]. Ancak petrol hammaddesinin bu kadar tercih edilmesine rağmen ne yazık ki birçok ülke bu kaynak rezervlerine ya sahip değildir ya da petrol üretimleri tüketimlerini karşılayamamaktadır [2].

Dünya’da bulunan petrol rezervleri, sektörün önünde gelen SPE tarafından rezervden çıkarma olasılıklarına göre üç ana başlık altında toplamıştır. Bu rezervler; çıkarılması ispatlanmış olan rezervler, çıkarılması mümkün olan rezervler ve çıkarılma ihtimali düşük olan rezervlerdir [3]. Dünyadaki mevcut kanıtlanmış petrol rezervlerinin büyük bir kısmı OPEC ülkelerinin elinde bulunmaktadır. OPEC 1960 yılında Venezuela, İran, Irak, Kuveyt ve Suudi Arabistan tarafından Bağdat’ta kuruluşu ait üye ülkelerin petrol menfaatlerinin korunması ve ortak hareket edilmesi amacı ile kurulmuştur [2]. OPEC ülkeleri yaklaşık %82 kanıtlanmış petrol rezervlerine sahip olup bu rezervlerin yaklaşık olarak %25’i Venezuela’ya aittir. İkinci sırada ise yaklaşık %22 mevcut ispatlanmış rezerve sahip olan Suudi Arabistan gelmektedir. Yapılan araştırmalara göre ispatlanmış petrol rezervleri yaklaşık olarak 1,2 milyar varildir. Bundan da anlaşılıyor ki dünyada OPEC ülkeleri petrol hammadde kaynağına sahiplik olarak önemli bir yerde bulunmaktadır [3]. OPEC ülkeleri arasında Venezuela ve Suudi Arabistan dışında İran, Irak, Kuveyt, Birleşik Arap Emirlikleri, Rusya ve Libya’da yer almaktadır. OPEC ülkeleri dünya petrol faaliyetlerini yönlendiren ülkelerin bir araya gelerek oluşturduğu bir otorite olup bu ülkelere 2012 yılından itibaren, OPEC dışı petrol üretici ülkeler eklenmiştir. Bu yıldan itibaren OPEC, OPEC+ adını almıştır. OPEC dışı üretici olan bu ülkeler ise Azerbaycan, Malezya, Rusya, Bahreyn, Meksika ve Kazakistan’dır. Bu ülkelere ait mevcut rezervlerin dağılımı aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir [4].

Çizelge 1.1. Üretici ülkeler ve petrol rezerv miktarları [4]

Üretici Ülke	Rezerv Miktarı (Milyar varil)
Venezuela	302.2
Suudi Arabistan	266.2
İran	157.2
Irak	148.8
Kuweyt	101.5
Birleşik Arap Emirlikleri	97.8
Rusya	80.0
Libya	48.4

Petrol üretim maliyetlerini, arama, sondaj, üretim ve hizmet maliyetleri belirlemektedir. Arama, sondaj ve üretim yapılan sahanın konumu, sahanın jeolojik yapısı, teknolojik altyapı ve elde edilen üretimin miktarı oluşturmaktadır. Yeni petrol rezervlerinin arama sondaj ve

üretimlerinin daha da güç haline gelmesi, rezerv alanlarının daha da azalması gibi nedenler ile petrol üretim maliyetleri daha da artış göstermektedir. Dünyada petrol tüketimi, artan ihtiyaçlarla doğru orantılı olarak artmakta ve bu artışın ileriki zamanlarda tüketimi karşılayamayacak seviyeye geleceği öngörülmektedir [3]. Aşağıdaki çizelgede bölgelerin petrol tüketim miktarları milyon tep olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. Bölgelerin petrol tüketim miktarları [5]

Dünya Birincil Enerji Tüketimi (Petrol) (2013-milyon tep)		
	Petrol tüketimi	%
Kuzey Amerika	1024,2	24,5
Güney ve Orta Amerika	311,6	7,4
Avrupa ve Avrasya	878,6	21,0
Orta Doğu	384,8	9,2
Afrika	170,9	4,1
Asya Pasifik	1415,0	33,8
Dünya Toplam	4185,1	100,0

Petrol ve doğal gaz sektöründeki yatırımların amacı yeni teknolojiler kullanarak üretimin artırılması amacı ile yeni rezervuarlar keşfetmektir [3]. Bu keşifler sırasında, kullanılan teknolojinin ve de kullanılan ürünlerin geri dönüşümlerinin ve de çevreye olan zararlarının azaltılması amacı ile yeni metotlar geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Daha verimli daha temiz ve daha az maliyetli yeni sahaların Türkiye’de ve de dünyada keşfi için ülkeler hızla sondaj kuyu delme faaliyetlerine devam etmektedir [6].

Başarılı petrol keşiflerinde sondaj kuyusu açma uygulanan ilk adımdır. Kuyu sondajlarındaki başarı kuyu formasyon özelliklerinin yanı sıra rezervuar şartlarına da bağlıdır. Bununla birlikte kuyu sondajlarının en önemli amaçları arasında kısa süre içerisinde ve minimum maliyet ile güvenli bir araştırma yapabilmelidir [6].

Petrol kuyu sondajlarında sondaj işlemleri sırasında formasyon kesintilerinin yüzeye taşınması amacı ile sondaj akışkanları kullanılmaktadır. Sondaj akışkanları ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri’nde uygulanan büyük bir teknolojik yenilik olup sadece su ve kil karışımından hazırlanmış bir yapı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise bu karışıma çeşitli organik ve inorganik katkı maddeleri ilave edilmeye başlanmış olup bu

formlar sınıfının reolojik ve de filtrasyon özelliklerini iyileştirerek heterojen jeolojik formasyonların içerisine girebilmektedir [7].

Hazırlanan sondaj akışkanları hazırlanma yöntemlerine göre isimlendirilirler. Su bazlı, petrol bazlı ve de hava bazlı sondaj akışkanları olarak gruplandırılırlar. Su bazlı sondaj akışkanları daha az toksik (zehirli) olması sebebi ile petrol bazlı sondaj çamurlarına oranla daha çok tercih edilmelerine rağmen çoğunlukla petrol bazlı çamurların gösterdiği performansı gösterememektedirler [7].

Sodyum poliakrilat kendi kuru hacminden 100 kat daha emme potansiyeline sahip bir polimer yapıdır. Polimerin su tutma kapasitesi ve su tutma kabiliyetinin artması etkileşime girdiği yapının formülasyonuna bağlıdır [8]. Beyaz renkli kokusu olmayan ve yanıcı özelliği bulunmayan özelliklere sahiptir. Sodyum poliakrilatın hacminin emdiği su miktarı ile birlikte artış gösterdiği yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır [9]. Su ile birlikte etkileşime girdiği zaman sodyum poliakrilat molekülleri su molekülleri tarafından çekilir ve polimer yapı büyük oranda genişleme gösterir. Bu etkisi oldukça fazla görülen su tutma özelliğinden ötürü sanayide birçok alanda tercih edilmektedir [9]. Bu nedenle özellikle kişisel bakım ve temizlik malzemelerinde potasyum akrilat veya alkil akrilat gibi polimer yapılarla birlikte tercih edilirler [10]. Ayrıca, tüm sektör sahalarında yapılan çalışmalarda enerji verimliliğini sağlayacak, enerji tüketimini minimize edecek minimum maliyetli malzemelerin araştırılması ve de kullanılmaya başlanması ile sodyum poliakrilatın da beyaz eşyadan enerji sektörüne kadar her alanda uygulanabilirliği çalışmaları sürdürülmektedir [11].

Bu tez çalışmasında da sodyum poliakrilat polimerinin bentonit kili ile birlikte kullanılarak farklı yaşlandırma sürelerinde ve değişik ağırlık konsantrasyonlarında reolojik ve filtrasyon ölçümleri yapılmış ve bu ölçümler yine sadece bentonit ile elde edilen karışımların verdiği reolojik ve filtrasyon sonuçları ile karşılaştırılmış, yorumlanmıştır. Deney çalışmalarında kullanılan sodyum poliakrilat $(C_3H_3NaO_2)_n$, 94,046 g/mol molekül ağırlığında, 0,64 g/cm³ yopunluğunda ve %95 saflık derecesindedir. Deneyler sırasında, numuneler API 13A standardına göre dizayn edilmiş olup yine API-13B-1 standardına göre incelenmiş ve de yorumlanmıştır.

2. SONDAJ VE SONDAJ ÇAMURU

2.1. Sondaj

Dünya’da ilk petrol sondajı 1859 yılında Pensilvanya’da 69,5 feet derinlikte gerçekleştirilmiştir. Bu endüstriyel petrol sondajının tarihte ilk olmasına karşın, bu zamana kadar pek çok su, tuzlu su ve nafta gibi birçok ürünün ilaç vb gibi sektörlerde kullanımı için sondaj faaliyetleri yürütülmüştür [12].

20.yüzyılın başlarında Spindeltop petrol sahasının keşfi ile, tüm dünyanın döner sondaj uygulamalarından nasıl etkilendiği görülmüş ve bundan sonra döner sondaj uygulamaları tüm dünya çapında kullanılmaya başlanmış ve bu alanda çok sayıda teknik gelişmeler yaşanmıştır [12].

2.1.1. Sondaj Lisans, Keşif ve Geliştirme

Petrol ve doğal gaz kaynakları tüm dünyada ülke yönetimlerinin himayesi altındadır. Ülkelerin enerji bakanlıkları tüm kamu kurumlarını ve özel kuruluşları petrol ve doğal gaz arama ve üretim faaliyetlerine teşvik etme çalışmalarını gerçekleştirmektedirler. Keşif lisansları firmalara, öncelikle firma tarafından sismik data verilerine göre belirlenen derinliklerde hidrokarbon varlığı doğrulandığı zaman verilmektedir. Bunun yanı sıra üretim lisansları ise gerekli derinliklerde sondaj, araştırma ve hidrokarbon üretimi için firmalara verilmektedir [13].

Sondaj uygulamaları oldukça maliyetli ve de sahada herhangi bir hidrokarbon varlığına rastlanılmamış ise o sahadan jeolojik dataları almadan geri dönülmemekte olup eğer sahadan sınırlı sayıda data (veri) elde edildi ise faaliyetler büyük bir risk içermektedir.[13]. Firma araştırma yaptığı sahada hidrokarbon varlığını tespit etmiş ise rezervuar içerisinde bir veya birkaç tane kuyu deler ve bu kuyulardan elde ettikleri verilere göre etkili maliyet davranışlarını geliştirirler. Üretimden birkaç yıl sonra, ilk tahmin edilen çıkarılabilecek miktardan fazla ya da eksik hidrokarbon çıkarır ve firmalar gelecek yıllarda sahadaki sonda faaliyetlerinin sonucunu ellerinde tutmaktadırlar [13].

2.2. SONDAJ ÇEŞİTLERİ

2.2.1. Petrol ve Doğal Gaz Kara Sondajı

Petrol ve doğal gaz sondajlarının dünyada en çok uygulaması yapılan türleri arama ve üretim sondajlarıdır [14]. Rezervuar yeri tespit edildikten sonra ilk kez keşif amaçlı faaliyetlerinin yürütüldüğü sondajlara “arama sondajları”, rezervuardan üretim yapıp tekrar üretimin artırılması amacı ile yapılan sondajlara ise “üretim sondajları” adı verilmektedir [14].

2.2.2. Petrol ve doğal gaz deniz sondajı

Tarihte ilk bilinen deniz sondajı 1897 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde Santa Barbara Kanalı’nda gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise deniz sondajları farklı derinliklerde farklı uygulama yöntemlerini kullanarak gerçekleştirilmektedir. Sondaj gemisi ve jackup bu uygulamalardan sadece ikisidir [14]. Deniz sondajları sığ deniz sondajları ve derin deniz sondajları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Sığ deniz sondajları derinlikleri 100 metreyi geçmeyen denizlerde uygulanırken derin deniz sondajları ise derinlikleri 100 metreden fazla olan denizlerde ya da okyanuslarda gerçekleşir [14].

2.3. Sondaj Çamuru

Sondaj akışkanları petrol ve doğal gaz sektöründe sondaj çamuru olarak adlandırılırlar ve petrol ve doğal gaz doğal gaz kuyularının başarılı bir şekilde tamamlanması ve de kuyu maliyetleri sondaj sırasında kullanılan sondaj akışkanlarının özelliklerine bağlıdır. Sondaj akışkanlarının maliyetlerinin az olmasına karşın, doğru seçimleri ve de doğru özelliklerinin kullanımları tüm kuyu maliyetini doğrudan etkilemektedir. Seçilen sondaj akışkanın özellikleri, sondaj borularının zarar görmesi ve sirkülasyon kaybı gibi tüm kuyunun faaliyetlerinin zarar görebilmesinin nedeni olabilir [15].

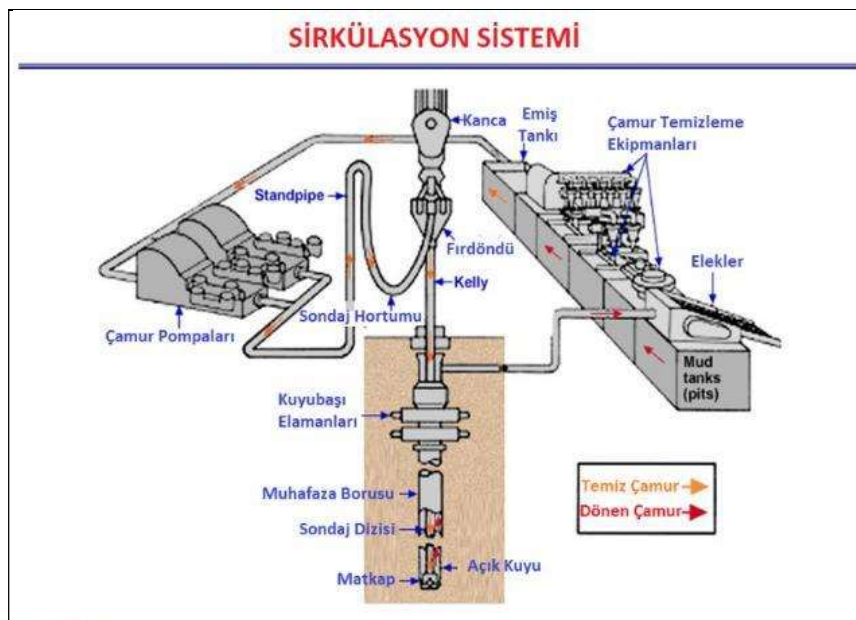
Sondaj çamurları temel işlevleri arasında; sondaj sırasında oluşabilecek tüm kesintileri matkap ve kuyu dibinden uzaklaştırılmasını sağlamak, hidrostatik basınç meydana getirerek kuyuyu kontrol altında tutmak, jel kuvvetini oluşturarak kuyu dibinde birikebilecek

kesintileri tutmak, yüzeyde kuyu teçhizatından dolayı oluşacak hidrolik enerjiyi matkaba ve sondaj dizisine iletmek, rezervuar alanının temizliğinin kontrol altında tutulmasını sağlamak, geçirgenliği fazla olan formasyonlarda oluşabilecek sızıntıları engellemek, matkap ve sondaj ekipmanlarının kayganlaştırılmasını, soğutulmasını sağlamak, formasyonlardan alınacak numunelerin eldesini kolaylaştırmak, sondaj sırasında sondaj ekipmanlarında oluşabilecek korozyonu minimuma indirmek ve saha alanı çevresinde oluşabilecek çevresel etkileri en aza indirmektir [14].

Sondaj akışkanlarının, optimum kuyu performanslarının gerçekleşmesi amacı ile, reolojik ve de filtrasyon (sıvı kaybı) özellikleri geliştirilmektedir [16].

2.3.1. Sondaj çamuru sirkülasyonu

Sondaj sıvıları kuyu dibinden sondaj kesintilerini alarak kuyu içerisinde sirküle olmaktadır. Sondaj sıvısı sondaj dizisi ile kuyudan aşağıya pompalanır, matkap deliklerinden geçer ve kuyu duvarları ile sondaj dizisi arasında kalan anülüsten tekrar yukarı matkabin hareketi ile oluşan kesintileri de alarak yukarı geri döner [17].



Resim 2.1. Sondaj çamuru sirkülasyon sistemi [14]

2.3.2. Sondaj çamuru kesinti taşıma kapasitesi

Sondaj sıvılarının (akışkanlarının) kesintileri taşıma yeteneğine taşıma kapasitesi adı verilmektedir. Akışkanların taşıma kapasitelerinin seçilen akışkanın viskozite ve yoğunluk gibi özelliklerine bağlı olmasına rağmen, endüstride taşıma kapasitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır [18]. Sondaj çamurlarının taşıma kapasitelerini etkileyen bu faktörler arasında; kesintilerin fiziksel özellikleri, sondaj akışkanının fiziksel özellikleri ve de formasyonun büyüklüğüdür. Formasyon büyüklüğü, kuyu delik çapı, sondaj dizisi çapları, pompa kapasitesi ve pompa hızına bağlıdır. Bu büyüklükler sondaj akışkanının dairesel hızını oluşturmaktadır [18].

Taşıma kapasitesini etkileyen fiziksel özellikler arasında kesintilerin büyüklüğü, yoğunluğu ve de jel kuvvetleri bulunmaktadır. Sondaj çamuru ile sondaj kesintileri arasında oluşabilecek yüksek yoğunluk farkından dolayı kesinti taşıma kapasitesi azalmaktadır.

Non-newtonian karakteristik yapıda bulunan birçok sondaj akışkanının viskozite üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesi oldukça sınırlı olmakla beraber ölçülebilmekte ve de sondaj akışkanının taşıma kapasitesine bağlı olmaktadır.

Taşıma kapasitesi üzerinde etkisi olan bir diğer parametre olan jel kuvveti ile ilgili literatür bilgilerine çok daha az değinilmiştir [18].

2.3.3. Sondaj çamuru çeşitleri

Sondaj sıvılarının fiziksel özellikleri, çamurun içerisinde bulunan katıların özelliklerine bağlıdır. Çamur içerisinde bulunan bu katılar, aktif, inaktif katılar olmak üzere iki kısma ayrılmaktadırlar. Aktif katılar su ile ve çözünemeyen kimyasallar ile birlikte tepkimeye girerken, inaktif katılar ise su ve kimyasallar ile tepkimeye girmezler. Barit ve hematit inaktif katılara verilebilecek en iyi örneklerdir. Bu inaktif katılar viskozite arttırıcı kil, polimer ve diğer kimyasalları bileşiminde bulundurlar [19]. Sondaj sıvıları Pnömatik, sıvı ve sıvı-pnömatik karışımları olmak üzere üç ana başlık altında toplanırlar.

Çizelge 2.1. Sondaj çamuru sınıflandırması [19]

Pnömatik Akışkanlar	Sıvı Akışkanlar	Pnömatik-Sıvı Akışkanlar
Hava	Su Bazlı Çamurlar	Köpük(çoğunlukla gaz)
Doğal Gaz	Petrol Bazlı Çamurlar	Gözenekli (çoğunlukla su)

Pnömatik sondaj akışkanları : Pnömatik sondaj akışkanları daha çok sirkülasyon kayıplarının olduğu formasyonlarda tercih edilmekte olup denge problemlerinin olduğu sondajlarda kullanılmaktadırlar. Pnömatik sondaj akışkanları, sirkülasyon alan kayıplarının çok daha iyi kontrollerini sağlayıcı, formasyonun zarar görmesini engelleyici ve ilerleme hızını daha da arttırmak amacı ile kullanılmaktadırlar. Ancak, tüm bu özelliklerine rağmen, özellikle kuru hava ve doğal gaz kullanılan sondaj akışkanları, sondaj ekipmanlarının korozyonuna ve de yangınlara sebebiyet verebilmektedirler [19].

Sıvı sondaj akışkanları: Su bazlı sondaj akışkanları, su ve suya ilave edilen katı, sıvı ve kimyasalların karışımından oluşmaktadır [19]. Su bazlı sondaj çamurları diğer çamur tiplerine göre daha az toksik olmaları sebebi ile daha çok tercih edilmektedirler [20].

Petrol bazlı sondaj akışkanları: Petrol bazlı sondaj çamurları dizel, mineral ve sentetiklerden oluşmaktadır. Petrol bazlı sondaj çamurları içerisindeki tüm katılar su ile tepkimeye girmedikleri için inaktiftirler [20].

Su bazlı sondaj çamurlarının daha çok tercih edilmelerine rağmen petrol bazlı sondaj çamurlarının kullanımına devam edilmektedir. Ancak her iki çeşit sondaj çamurunun da bazı dezavantajları bulunmaktadır [20]. Teknolojik gelişmeler ve de araştırmalar sonucu sentetik bazlı sondaj çamurlarının da petrol ve doğal gaz sondaj saha uygulamalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Sentetik bazlı sondaj çamurlarının kimyasal yapısını çoğunlukla ester, eter ve glikol, gliserin ve glikosidler oluşturmaktadır [21]. Sektörde, yaklaşık olarak %5-%10 oranlarında petrol bazlı ve hava bazlı sondaj çamurları kullanılmaktadır [21]. Sondaj akışkanları yıllar geçtikçe daha karmaşık ve daha pahalı olmaya başlamış ve bu sebep ile sondaj operatörleri için hangi formasyona hangi sondaj sıvısının kullanılabileceğinin önemi daha da artmıştır [20].

2.3.4. Sondaj çamuru reolojik özellikleri

Uluslararası standartların gerektirdiği hidrostatik basıncın dengelenmesi, iletim ve sondaj kesintilerinin uzaklaştırılmasını sağlamak amacı ile kullanılan sıvı akışkanlarının bu özelliklerine çamur reolojisi adı verilmektedir. Reoloji, sıvıların akışı ve deformasyon çalışmalarıdır. Jel mukavemeti, plastik viskozite, akma noktası ve görünür viskozite sondaj çamuru reolojik özellikleridir [22]. Petrol ve doğal gaz sondaj sahalarında, çeşitli katkı maddeleri ile katılan sondaj çamurlarının görevlerini yerine getirebilmesi için belirli reolojik ve de filtrasyon özelliklerine uyum sağlaması gerekmektedir. Bu reolojik özellikler; sondaj çamuru ağırlığı, viskozitesi, plastik viskozitesi, görünür viskozitesi, akma noktası ile 10 sn jel mukavemeti ile 10 dakika jel mukavemetidir. Sondaj çamuru filtrasyonu ise API standardı baz alınarak sondaj çamurunun 30 dakika süre sonunda kaybettiği sıvı miktarıdır ve çamur özelliklerinden birisidir.

Sondaj çamuru ağırlığı: İyi bir sondaj kuyu stabilitesinin sağlanabilmesi için sondaj çamur ağırlığının gözlemlenmesi sondaj akışkanları teknolojisinde kullanılan yaygın bir bilgidir. Barit gibi ağırlaştırıcı katılar sondaj gereklerinin sağlanması ve de sondaj kuyu ekonomisi için çamur ağırlığını oluşturmada kullanılmaktadırlar [23].

Sondaj çamuru ağırlığı, sondaj yoğunluğu olup birim hacminin kütesine oranıdır ve sondaj çamurunun en belirgin özelliklerinden, dikkat edilmesi gereken konulardan birisidir. Çamur yoğunluğunu doğru bir şekilde ölçebilmek için çamur terazisi kullanılmaktadır. Çamur terazisini doğru bir şekilde kullanabilmek için diğer kullanılan tüm donanımlarda olduğu gibi çamur terazisinin de kalibrasyonunun yapıldığından emin olunması gerekmektedir. Düzenli aralıklarla çamur terazisinin kalibrasyonu tekrar edilmelidir. Çamur terazisi 70°F'deki su ağırlığını 8,33 ppg olarak veriyor ise kalibrasyonunun tam olduğu anlamına gelmektedir ve bu doğrultuda ölçümler sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilir [14].

Sondaj çamuru viskozitesi: Viskozite, akışkanın, deformasyon (bozunma) kuvvetlerine karşı gösterdiği bir dirençtir. Plastik viskozite ve görünür viskozite olmak üzere iki çeşidi vardır. Viskozite, laboratuvar çalışmalarında viskozimetre ile ölçülürken sahada Marsh hunisi ile ölçülmektedir [22]. Sondaj çamuru reolojik değerlerinden viskozite ölçümünün yapılabilmesi için laboratuvarlarda kalibrasyonu yapılmış viskozimetre cihazları kullanılmaktadır. Bu viskozimetre cihazları ekran okuma değerlerini 600 rpm, 300 rpm, 200

rpm, 100 rpm, 60 rpm ve 30 rpm değerlerinde okumaktadır. Ekran okuma değerlerinin yanı sıra, çamur reolojik özelliklerinden 10 sn jel mukavemeti ile 10 dakika jel mukavemeti değerleri ile akma noktası değerleri de standartların belirttiği şekilde viskozimetre cihazından okunabilmektedir [6,14].

Plastik viskozite, sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Katıların boyutları, dağılımı ve miktarlarının ve sıvı fazın viskozitesini gösterir. Plastik viskoziteyi arttırmak için çamur içerisindeki katı maddelerin boyutlarını azaltmak gerekir. Yüksek plastik viskozite veren sıvılar, kuyu deliğine pompalanan akışkanın pompa basıncını arttırmamasından dolayı sirkülasyon yoğunluğunu arttırdıkları için tercih edilmemektedir. Ayrıca yüksek plastik viskozitenin bir diğer olumsuz sonucu ise ilerleme hızını azaltmasıdır. Görünür viskozite, verilen ekipmanda ölçülen kayma oranıdır ve bir diğer adı da efektif viskozitedir [22]. Plastik viskozite aşağıdaki Eş. 2.1. ile açıklanır [24].

$$(PV)cP=\Theta_{600}-\Theta_{300} \quad (2.1)$$

Sondaj çamuru jel mukavemeti: Jel mukavemeti, sondaj çamurunun sondaj kesintilerini ve diğer katı ilaveleri askıda tutma kabiliyetidir. Sondaj çamurunun genellikle 10 dakika sürenin sonundaki kayma gerilmesini vermektedir. Ancak, API standartlarına göre 10 saniye ve 10 dakikalık süreler sonunda da jel mukavemeti değerleri ölçülür. Jel mukavemeti birimi lbs/100 ft²'dir [22]. Bu özellik, ikinci bir sondaj operasyonu sırasında sondaj çamuru sirkülasyonu kesildiği zaman sondaj dizisi ile anülüs arasında sondaj kesintilerinin askıya alınmasına yardımcı olmaktadır [25]. Jel mukavemeti kırılğan jel, artan jel ve düz jel olmak üzere gruplandırılmakta olup bu jeller arasındaki farkı 10 sn ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri arasındaki fark oluşturmaktadır [6]. Düz jel tipi, çamur içerisindeki formasyon kalıntılarını diğer jel tiplerine göre çok daha iyi askıda tutabildiği için sondaj operasyonlarında en çok tercih edilen jel tipidir [6].

Akma noktası: Akma noktası, ilk akışa karşı direnç olmakla birlikte akış hareketi için gerekli gerilimi vermektedir. Yüksek akma noktası değerleri büyük basınç kayıplarına ve de sirkülasyon yoğunluğunun artmasına sebep olmaktadır [22]. Akma noktası aşağıdaki Eş. 2.2. ile açıklanır [24].

$$YP, \text{lb}/(100\text{ft}^2) = \Theta_{300} - PV \quad (2.2)$$

Sondaj çamuru filtrasyonu: Çamur filtrasyonu diğer adı ile çamur sıvı kaybı, kuyu duvarlarında gerçekleşen çamur sirkülasyonu ve sondaj dizisi devri sırasında gerçekleşmekte olup çamur sirkülasyonunu, çamur özellikleri ile sondaj dizisi devri tanımlamaktadır. Kuyu deliğindeki çamur filtrasyonu zamanla basınç altında artmaktadır [26].

Döner sondaj yöntemi ile sondajı gerçekleşen petrol kuyularında, anülüs ile sondaj borusu ve kuyu duvarı arasında çamur sirkülasyonu gerçekleşmektedir. Sondajcılar, kuyu dibindeki çamur basıncının rezervuar basıncından çok daha fazla olduğu durumlarda çamur yoğunluğunu düzenlemektedirler, çünkü bu basınç farkından dolayı, çamurun içerisindeki sıvı, formasyon kayaçlarına geçer ve geriye katı faz bir tabaka kalır. Bu tabaka çamur keki adını almakta olup sektörde çamur keki ile ilgili çok sayıda deneysel çalışmalar yer almaktadır [26].

Sondaj kuyusunda oluşan çamur keki oluşumu, sondaj sırasında kesintisiz ve düzgün bir şekilde ilerlemez. Çamur kekinin oluşumu, sondaj çamurunun sirkülasyon içinde olup olmadığı ile ilgili bir durumdur. Çamur keki oluşumu sadece filtrasyon karakteristiğine bağlı olmamakla birlikte, akış içerisindeki çamurun korozif etkisine de bağlıdır [27].

Kuyu deliğinde meydana gelen sıvı kaybı, statik ve dinamik sıvı kaybı olmak üzere iki çeşittir. Statik filtrasyon sırasında, sıvı kaybı hızı zamanla azalmaktadır. Dinamik filtrasyonda ise, kek kalınlığı zaman içerisinde denge kalınlık oranına ulaşmakta ve de sıvı kaybı miktarı sabit duruma gelmekte ya da sıfırlanmaktadır [28].

Sondaj uygulamaları sırasında çamur filtrasyonunun az olması, (dolayısı ile çamur kek tabakasının ince ve geçirimsiz olması) kuyu veriminin artması açısından oldukça önemlidir. Ayrıca sıvı miktarı kaybının azalması yine sondaj deliğinin tıkanmaması açısından önemli bir etkidir [26].

Sondaj çamuru filtrasyon testi, laboratuvar araştırmalarında kullanılan çamur numunelerinin sıvı kaybı miktarını ölçmek amacı ile API standart filtre presi yardımı ile 30 dakika sürenin sonunda çamur numunesinden ne kadar sıvının ayrıldığını ölçmek için yapılmaktadır [29].

Basınç iletimini gerçekleştirmek için hava, su, CO₂ ve azot gazı kullanılmaktadır. Ayrıca filtrasyon testi ile sıvı kaybının ölçülmesinin yanı sıra kek kalınlığı ölçümü de yapılmaktadır.

2.3.5. Sondaj çamuru reolojik özelliklerinin sondaj ilerleme hızı üzerine etkisi

Sondaj uygulamaları sırasında sahadan toplanan veriler analiz edildiğinde, sondaj sıvısı karakteristik özellikleri ile sondaj sıvısı miktarlarının sondaj ilerleme hızına etki eden faktörler olduğu gözlemlenmiştir. Bu bilgi doğrultusunda, sondaj ilerleme programının ekonomisini iyileştirme çalışmaları, optimum sondaj performansının minimum sondaj maliyeti ile elde edilmesinin yanı sıra minimum sondaj akışkanı maliyetinin düzenlenmesi çalışmaları yapılmaktadır [30].

Uzun zamandır sondaj akışkanları özelliklerinin sondaj uygulamalarına önemli ölçüde etkisinin var olduğu bilinmekte olup bu bilgi laboratuvar çalışmaları ile de güçlendirilmiştir. Yakın zamandaki çalışmalar ise, çamur özellikleri ve de matkap üzerindeki kinematik viskozitenin sondaj ilerleme hızına olan etkisinin ölçülmesi üzerine odaklanmıştır. Yakın zamandaki literatür çalışmalarının sonucu ise akışkan özelliklerinin direkt olarak değil de matkap üzerindeki sıvının deliklerden geçerken oluşturduğu viskoziteye bağlı olarak akışkan içerisindeki katı maddelerin özelliklerinin sondaj ilerleme hızına etki ettiği [30].

Sondaj çamuru reolojik özelliklerinden sondaj çamuru ağırlığı, sıvı kaybı miktarı, çamurun içerdiği katı madde miktar ve boyutları ile çamurun kimyasal yapısı sondaj ilerleme hızına etki eden faktörlerdir [29].

Çamur ağırlığı, kuyuda meydana gelen hidrostatik basıncın kontrol edilmesini ve de kuyu deformasyonlarının oluşmasını engellemektedir. Tüm bu özelliklerine rağmen, kuyuda aşırı ağır bir sondaj çamuru varlığı, sondaj çamur kayıplarına ve de ilerleme düşük ilerleme hızlarına sebep olmaktadır [29].

Sondaj çamurunun viskozitesi ile sondaj ilerleme hızı arasında ters bir orantı bulunmaktadır. Çamur viskozitesi arttıkça, çamur sirkülasyonu sırasında sürtünme kuvvetlerinin artmasından dolayı ilerleme hızında azalma meydana gelmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, sondaj akışkanının sıvı kaybı (filtrasyon) miktarının, yüksek ilerleme hızları için düşük olması gerektiği ifade edilmiştir [29].

2.4. Reolojik Modeller

Reolojik modeller, sıvının akış davranışını kayma gerilmesi ve kayma oranı arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade etmektedirler. Sondaj çamurları için bu oldukça karmaşıktır. Sondaj akışkanları için, kayma gerilmesi-kayma oranını açıklayan tek bir reolojik model yoktur. Sondaj akışkanları için birçok farklı matematiksel yaklaşım uygulanmaktadır. Bu modeller non-newtonian akışkanlar için tamamen uygulanmasada kısmen yaklaşım göstermektedirler. Sondaj akışkanlarının reolojisini tanımlamak için iki ana model kullanılır. Bunlardan ilki Newtonian modeldir. Newtonian model, sabit bir viskozite değerinde, kayma gerilmesinin kayma oranına direkt olarak oranını gösterirken non-newtonian akışkanlarda ise viskozite değerinin sabit olmadığı durumlardaki kayma gerilmesinin kayma oranına orantısını ifade eder [24].

Kayma Gerilmesi (Shear Stress): Kuvvetin birim alana oranıdır ve hızın bir fonksiyonu olarak açıklanır. Kayma gerilmesi bağıntısı aşağıdaki Eş. 2.3.'deki gibidir. Birimleri N/m², Pascal veya Dynes/cm²dir [24].

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dr} \quad (2.3)$$

μ = Sıvı viskozitesi

dv/dr = Hız gradyanı

Kayma Oranı: (Shear Rate): Hız gradyanının mutlak değeri olarak açıklanır ve matematiksel olarak aşağıdaki Eş. 2.4'deki gibi ifade edilir [24].

$$\gamma = \frac{dv}{dr} \quad (2.4)$$

γ = Kayma Oranı (sn⁻¹)

dv/dr = Hız gradyanı

2.4.1 Non-newtonian akış modelleri

Non-Newtonian akışkanların reolojisini belirlemek için kullanılan matematiksel metodlardır. Bu metodlar, Power-Law Model, Bingham Plastic Model, Hershel Buckley

Model, Casson Model, API Model (RP 13D), Unified Model ve Robertson and Stiff Model'lerdir [24].

Bingham plastik model: Bingham plastik model, sondaj akışkanları endüstrisinde akış karakteristiklerini yorumlamak için kullanılan iki parametrelili matematiksel bir modeldir. Bingham akışkanları kayma gerilmesini kırmak için kabul edilen basıncın yeteri kadar yüksek olduğu durumlarda katı gibi davranış sergilerler. Bu modelde kayma gerilmesi aşağıdaki Eş. 2.5 gibi yazılır [24].

$$\tau = \tau_y + \mu_p \gamma \quad (2.5)$$

J_y = Akma noktası (YP), lb/100ft²

μ_p = Plastik viskozite (PV), mPa, s(cP)

τ = Kayma oranı (sn⁻¹)

Bingham plastik modeli ile gösterilen akışkanlar, kayma oranından bağımsız olarak akma noktası ve plastik viskozite değerleri ile karakterize edilirler [24].

Hershel Buckley Model: Bingham plastik modelin kayma oranını içeren genişletilmiş matematiksel modelidir. Matematiksel olarak aşağıdaki Eş. 2.6 ile ifade edilir:

$$\tau = \tau_{oH} + k_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.6)$$

τ = Kayma oranı (sn⁻¹)

J = Kayma gerilmesi (Pa)

n_H = Akışkan davranış indeksi (boyutsuz)

k_H = HRBM sabiti (Pa.sⁿ)

J_{oH} = HRBM kopma gerilimi (Pa)

Akışkanların gerilmeye bağlı akma noktası ve viskozitelerini Bingham Plastik modeli yeteri kadar açıklayamıyor. Herschel Buckley model, Bingham plastik model ile Power Law tanımlarında bu yetersizliği plastik viskozitenin yerini alarak doğrulamaktadır [24].

Power-law Model: Düşük ve yüksek kayma gerilmesi durumlarında, bu durumu azaltmak amacı ile Bingham Plastik modele alternatif bir matematiksel model olarak Power-Law model kullanılmaktadır. Power-Law matematiksel modeli aşağıdaki Eş. 2.7'deki gibidir [24].

$$\tau = k\gamma n \quad (2.7)$$

n =Sıvı akış davranışı indeksi

k =sabit katsayı

2.5. Sondaj Çamuru Katkı Maddeleri

Formasyonların derinliklerine kullanılan sondaj çamuru türleri değişiklik göstermektedir. Genellikle 50 metre derinliğe kadar olan sahalarda spud çamuru, 50 metreden daha derin olan sondaj sahalarında ise lignosülfat çamuru kullanılmaktadır [31]. Sondaj çamurları katkı maddeleri; viskozite düşürücü, ağırlaştırıcı malzemeler, sıvı kayıp azaltıcılar, emülgatörler, kayıp sirkülasyon malzemeleri, pıhtılaştırıcılar, korozyon kontrol kimyasalları, köpük kesiciler ve pH kontrol katkılarıdır [19].

Çizelge 2.2. Sondaj uygulamalarında kullanılan bazı kimyasallar ve özellikleri [32]

Kullanılan Kimyasal (<i>Formülü</i>)	Kimyasal Özellikleri
Bentonit	Şişme yeteneği yüksek bil kil mineralidir. Su bazlı sondaj çamurlarında özellikle pH'ın artırılması amacı ile kullanılırlar.
Soda Külü (Na_2CO_3)	
Düşük Viskoziteli Karboksimetil Selüöz (CMC-LV) ($\text{C}_6\text{H}_9\text{OCH}_2\text{COONa}$)	Düşük viskozite yapıcı olması ile birlikte sıcaklık mukavemeti düşüktür. Akma noktasının plastik viskoziteye oranını artırıcı özellikte olup çamur içerisindeki katıların dibe çökmesini engeller.
Xantam Sakızı (XCD)($\text{C}_{35}\text{H}_{49}\text{O}_{29}$)	Su bazlı sondaj çamurlarında kullanılmakta olup çamurun pH'ının düşmesine yardımcı olur.
Sitrik Asit($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$)	Çamurun ağırlığını arttırmak amacı ile kullanılır.
Kalsiyum Karbonat (CaCO_3)	

Spud çamuru, su bazlı sondaj çamuru çeşidi olup reaktif bir özelliğe sahiptir ve ayrıca sondaj faaliyetlerinin ilk derinliklerinde kullanılmaktadırlar. Bentonit kili, spud çamurunda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır [32]. Sondaj operasyonları sırasında spud çamuru, üstlendiği görevleri yerine getirebilmesi için içerisine katılan farklı katkı maddeleri ile desteklenmektedir [6].

Lignosülfat çamuru ise daha derin sondaj uygulamalarında tercih edilen bir sondaj çamuru çeşididir. Lignosülfat çamurunun içerisine katılan katkı maddeleri ile formasyon için

istenilen akış özellikleri sağlanmaktadır [6]. Bentonit, soda külü, kostik soda, karboksimetilselülöz (CMC-HV;düşük viskoziteli), karboksimetilselülöz (CMC-HV;yüksek viskoziteli), polianyonik selülöz, (düşük viskoziteli), XCD polimer gibi kimyasallar lignosülfat çamuru içerisine katılan kimyasallardan bazılarıdır [32].

Spud çamuru ve lügnosülfat çamurundan başka bir diğer çamur türü olan polimer çamuru ise sondaj operasyonları sırasında rezervuar kayacına ulaşıldığında kullanılmaktadır[6]. Polimer çamurlarının kullanım amacı, meydana gelebilecek formasyonda oluşabilecek kaçak riskini ortadan kaldırmak ve çamur sorunlarını minimum düzeye indirmektir [6]. Polimer çamurlarına katılan XCD, kostik soda ve diğer malzemelerin amacı çamur kırıntılarının taşınmasını sağlamak amacı ile formasyonda oluşabilecek kaçakların önüne geçebilmektir [6].

2.5.1. Bentonit

İlk olarak ABD'nin Wyoming eyaletinde bulunan bentonit, smektit grubunda yer alır. Smektit grubunda yer alan bentonitin ana mineral içeriğini montmorillonit türü mineral oluşturmaktadır. Montmorillonitin yanında bentonit kilinin içerdiği diğer mineraller ise kuvars, illit, mika, feldspat, kristobalit ve piroksendir [33].

Bentonitler içerisindeki montmorillonit mineralinin katyonik özelliklerine bağlı olarak Na-Bentonit, Ca-Bentonit ve Na-Ca Bentonit olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Na-Bentonit Wyoming tip, Ca-Bentonit ağartma toprağı, Na-Ca Bentonit ise ara tip olarak adlandırılmaktadırlar. Bu isimlendirme yapılırken yapılan kimyasal analizlerden elde edilen $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}+\text{MgO}$ oranına bakılmaktadır. Analizler sonucu elde edilen bu değer 1'e eşit veya 1 den büyük olması durumunda bentonit Na-Bentonit, 1-1/3 değerleri arasında ise Na-Ca Bentonit, 1/3 den küçük ise Ca-Bentonit olarak tanımlanmaktadırlar[33]. Bentonitin, soda, polimer ve benzeri ürünlerle tepkimelere girdiğinde verimliliği ve kullanım alanlarının artışı sağlanmaktadır. Bentonitin içerisine girdiği katkı maddesine göre isimlendirmeleri ise "sodyum aktif bentonit", "aktif ağartma toprağı" ve "polimer katkılı bentonit" şeklinde olmaktadır [33].

Bentonit yüksek yüzey alanına sahip olması, yüksek katyon değişim kapasitesi ve yüksek absorpsiyon gibi fiziksel ve de kimyasal özelliklerinden dolayı birçok sektörde geniş

kullanım alanına sahiptir. Bu özelliklerinin yanı sıra farklı sektörlerde kullanım için tercih edilmesinin sebepleri arasında şişme, kırılma, plastiklik, yüksek kayma, büzülme ve şekil değiştirmeye karşı göstermiş olduğu direncin yanı sıra geçirmezlik ve de sıkıştırılabilirlik özellikleri de bulunmaktadır [33].

Bentonitin sondaj operasyonlarında ise tercih edilmesinin sebebi su bazlı sondaj çamurlarından tuzlu su çamurlarına kadar tüm çamurlarda kullanılabilmesidir [6]. Formasyonların sahip olduğu koşullara göre yüksek sıcaklıklı formasyonlarda ve formasyonun değişken kimyasal koşullarında kullanılabilmesi, çamurun üstlendiği görevleri yerine getirebilmesine ve sirkülasyon sırasında akış özelliklerinin sağlanmasına yardımcı olmasının yanı sıra sıvı kaybı kontrolünü de başarılı bir şekilde yerine getirebilmesi sebebi ile bentonit, sondaj çamurlarında çoğunlukla tercih edilmektedir [6].

Na^+ iyonlarının kolay hidratlaşma özelliği sebebi ile negatif yüklü kil yüzeyleri ile sıkı bir bağ meydana getiremedikleri için çözültide çökmeye karşı bir direnç oluştururlar ve çökme meydana gelmez ve flokülasyon olayı gerçekleşmez. Buna karşın Ca^{+2} iyonları Na^+ iyonlarının aksine kolay hidratlaşma özelliği gösterdiği için kil yüzeyine sıkı bir şekilde bağlanırlar ve bu nedenle yüzey nötralize haline gelmiş olur ve koloidal sistem floküle olmuş olur. Tüm bu nedenlerle Na Bentonitler ve Ca Bentonitler arasında oldukça keskin ayrılıklar bulunmakta olup Na-Bentonitler oldukça fazla disperse, viskozduurlar ve suda oldukça fazla şişerler ve nem değerleri yüksektir. Ayrıca tüm bunların yanında Na^+ iyonlarını geçirgendirler ve elektriksel iletkenlik özellikleri fazladır. Ca-Bentonitler ise Na-Bentonitlerin aksine daha az dispersetirler ve suda daha az şişme özelliği göstermektedirler. Ayrıca viskoziteleri düşüktür ve yüksek yüzey aktivite özellikleri göstermektedirler [33].

Dünyada kullanım alanlarında göre Ca-Bentonitler deterjan, kağıt, kozmetik ve şarap sanayinde kullanılırken, Na- Bentonitlerin ise daha çok petrol ve diğer sondaj işlemlerinde sondaj çamuru olarak kullanımı tercih edilmektedir [33].

Petrol ve doğal gaz endüstrisinde kullanılan bentonit, katkısız bentonit ve OCMA bentoniti özellikleri API 13A standardında göre karakterize edilmiştir. İçerisinde herhangi bir iave katkı maddesi olmayan bentonit katkısız bentoniti, içerisinde sodyum karbonat veya başka polimerlerin kullanıldığı katkı maddelerinin olduğu bentonite ise OCMA Bentoniti ve bentonit adı verilmekte olup sondaj çamurlarında kullanılan bentonitin yoğunluğu, kullanılan bentonitin tipine, çamur karışımına göre değişmektedir [34]. Aşağıdaki çizelgede

API 13A standardının bentonit spesifikasyonları verilmiştir.

Çizelge 2.3. API 13A standardı bentonit spesifikasyonları [34]

Özellikler	Bentonit	Katkısız Bentonit	OCMA Bentoniti
600 rpm okuması	Minimum 30	-	minimum 30
Kopma Noktası/PV oranı	maximum 3	maximum 1,5	maximum 6
Disperst PV, Cp	-	minimum 10	-
Filtrat hacmi, ml	maximum 15 ml	-	maximum 16
Disperst su kaybı, ml	-	maximum 12,5	-
75 mikrondan büyük kısım, % ağırlıkça	maximum %4	-	maximum %2,5
Nem, ağırlıkça	maximum %10	-	maximum %13

2.5.2. Ağırlaştırıcı katkı maddeleri

Sondaj çamurlarının istenilen ağırlıkta olmasını sağlamak amacı ile kullanılan barit, hematit ve kalsiyum karbonat gibi kimyasallardır. Barit, bütün sondaj çamuru çeşitlerinde ağırlaştırıcı olarak kullanılmaktadır [35]. Diğer bir ağırlaştırıcı türü olan Kalsiyum Karbonat ise HCl ile tepkimede tamamen çözünme özelliği göstermektedir. Bu özelliği sebebi ile de kaçak önleyici kimyasal olarak tüm sondaj çamurlarında kullanılmaktadır [31].

2.5.3. Tuzlar

Sondaj çamurlarının ağırlığını arttırmak ve de iyonik durdurmayı sağlamak amacı ile çamurlara ilave edilen NaCl, KCl gibi tuzlardır. Sodyum Klorür, tuz formasyon sorunlarının yaşandığı sondaj kuyularında sondaj çamurunda sodyum inhibisyonu olarak kullanılmaktadır [35].

2.5.4. Polimerler

Sondaj çamurlarının reolojik ve de filtrasyon özelliklerini belirlemek amacı ile viskozite yapıcılar, incelticiler, sıvı kaybı kontrol ediciler olmak üzere üç gruba ayrılan sondaj çamuru katkı maddeleridir. Bunlardan bazıları ise nişasta, CMC, PAC ve PHPA'dır. Bu polimerlerden ThermaThin inceltici polimerler, sondaj çamurlarında jel artışının önüne

geçmek için, Unical inceltici polimerler ise viskoziteyi azaltmak veya pıhtılaşmanın önüne geçmek için kullanılmaktadırlar [31].

2.5.5. Kaçak önleyici malzemeler

Geçirgen yapıları formasyonların sondajı sırasında sondaj kesintilerinin sızmasını önlemek amacıyla kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler arasında pullu, fiber yapıları ve granüllü malzemeler yer almaktadır [14].

2.5.6. Diğer katkı malzemeleri

Kostik soda, bikarbonat, soda külü ve kireç, sondaj çamurlarında çamurun pH'nın kontrolünde kullanılan malzemelerdir [31]. Ayrıca, bakteri oluşumunun ve sebep olacağı korozyonun önüne geçen malzemeler ile sondaj uygulamaları sırasında malzeme sürtünmelerinin olumsuz etkilerinin önüne geçme amacıyla kullanılan malzemeler diğer katkı malzemeleri örnekleri arasında bulunmaktadır [14].

2.6. Sondaj Çamuru Testleri

Petrol ve doğal gaz sondajlarında kullanılan sondaj çamurlarının fiziksel ve de kimyasal özelliklerinin ölçümleri yapılarak istenilen kalitede çamur elde edilebilmekte ve de sondaj koşulları iyileştirilebilmektedir. Sondaj çamurlarının kimyasal özelliklerini ölçmek için uygulanan testler; pH testi, alkalinite testi, kireç miktarının ölçümü, klor tespiti, sertlik ölçümü, kalsiyum ve metilen mavisi testi, katyon değişim kapasitesi, polimer, potasyum ve jips testleri ile glikol yüzdesinin ölçümü testleridir [6].

Sondaj çamuruna uygulana fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla uygulana testler ise, çamur ağırlığının ölçülmesi, viskozite ölçümü, plastik viskozite-görünür viskozite, bakma noktası hesaplamaları, 10 saniye ve 10 dakika jel mukavemeti ölçümleri, sıvı kaybı testi, çamur keki ölçümü testleridir [6].

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Aydın (2020) pomza, kuvarsit ve diatomitten üretilen amorf silikanın sondaj çamuruna etkisini incelediği çalışmasında, kullandığı pomza, kuvarsit, diatomit ve amorf silika katkı maddelerini ağırlık olarak API 13-A standardına göre hazırlamış ve bu katkı maddelerinin su bazlı sondaj çamuruna olan reolojik ve de filtrasyon özelliklerini API 13B-1 standardına göre yorumlamıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, pomza, kuvarsit ve diatomitin %8- %10 arasındaki katkı miktarlarındaki değerlerin bazı standartlar ile uyumlu olduğu görülmüş olup, sondaj uygulamaları sırasında su bazlı sondaj çamurlarına katkı maddesi olarak kullanılmasının, malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı pek mümkün olmayacağı sonucuna varılmıştır. Ancak, bunların yanında amorf silika katkı maddesinin ise %8, %9 ve %10 katkı oranlarında baz alınan standartlara uyum sağladığı görülmüştür. Yazarın çalışmasında kullanılan amorf silikanın sondaj çamurundaki yüksek sıvı kaybını minimum seviyeye getirdiği için sondaj işlemleri sırasında sondaj çamuruna katkı maddesi olarak kullanılmasının fayda sağlayacağı ve ekonomik bir seçenek olacağı sonucuna varılmıştır [6].

Sebüktekin (2019), bor türevleri katkılanmış sondaj çamurlarının reolojik ve de filtrasyon özelliklerini incelediği çalışmasında petrol ve doğal gaz sektöründe yoğun olarak tercih edilen su bazlı sondaj çamurunu kullanmış ve su bazlı sondaj çamuruna değişik katkı maddeleri ilave etmiştir. Bu çalışmada katkı maddeleri olarak borat grubu minerali boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), sodyum-kalsiyum borat grubu minerali üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), ve kalsiyum borat grubu minerali kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) kullanmıştır. Bu katkı maddeleri ile hazırlanan sondaj çamurlarının plastik viskozite, görünür viskozite, jel mukavemeti, filtrasyon, kek kalınlığı ve viskozimetre değerlerine bakılmıştır. Elde edilen değerler API standartları ile karşılaştırılmıştır. Boraks $100\mu\text{m}$, üleksit $75\mu\text{m}$ ve kolemanit ise $45\mu\text{m}$ tane boyutunda kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, X ışını floresans spektrometresi (XRF) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak numunelerin kimyasal ve morfolojik özellikleri de araştırılmıştır. Hazırlanan numunelerin reolojik ve filtrasyon özellikleri önce kendi aralarında daha sonra ise katkısız sondaj çamuru ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bor minerali katkılı su bazlı sondaj çamurlarının reolojik ve filtrasyon değerlerinin, katkısız su bazlı sondaj çamuruna kıyasla, su kaybı ve kek kalınlığı değerlerinin arttığı gözlemlenmiş olsa dahi, daha uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak yazarın farklı tane boyutlarında farklı bor minerallerin ilave ederek hazırladığı

su bazlı sondaj çamurlarının, reolojik değerleri üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmüştür [36].

Özyol (2015), gerçekleştirmiş olduğu çalışmasında bentonit ve soda mineralini belirli katkı oranlarında karıştırarak ve farklı bekleme sürelerinde tutarak hazırladığı bu numunelerin reolojik özelliklerini analiz etmiştir. Elde edilen reolojik sonuçlar arasında plastik viskozite, akma noktası ve tane boyutu büyük kalıntıların tespiti bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan standart, diğer yazarların çalışmalarından farklı olarak TS EN 13500 standardına göre yapılmıştır. Bu çalışma da, yine diğer yazarların çalışmaları ile paralel olarak XRD ve SEM analiz yöntemleri kullanılarak güçlendirilmiştir. Bu deneylerin sonucunda soda katkılı olarak hazırlanan numunelerin plastik viskozite, akma noktası ve akma noktası/plastik viskozite oranlarında bir etki görülmediği saptanmıştır. Filtrasyon sonuçlarında ise killerin soda ile aktivasyonunun olumlu bir etkisi görülememiştir. Bunların yanı sıra XRD analizi sonuçlarına göre aktive edilmiş sondaj çamurunun Na potansiyelinin arttığı gözlemlenmiştir. Sondaj çamurlarında Na oranının yükselmesi şişme potansiyelini arttıracak için istenilen bir özellik olduğu bilgisi ile hazırlanan numunelerin Na oranının yükselmesi eğilimi, yapılan kimyasal analizler sonucunda da ortaya çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda Buca kilinin dolomitik yapıya sahip bir kil olabileceği üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır [37].

Kargı (2015), kil-polimer sondaj çamur uygulamalarındaki etkileşimlerini belirlemek için yapmış olduğu deneysel çalışmada, bentonit, sepiolit ve kireç killeri kullanarak hazırladığı numunelere katkı maddeleri ekleyerek elde etmiş olduğu sondaj çamurlarının reolojik, XRD, zeta potansiyel ve fourier dönüşüm kızılötesi özelliklerine bakmıştır. Numunelerde bentonit, sepiolit ve kireçleri ağırlıkça %1, %2, %3 ve %4 lük konsantrasyon oranlarında kullanmıştır. Katkı maddeleri olarak HEC (hidroksietil selülöz) ve nişasta kullanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere değerlendirildiğinde, en verimli sonuçların polimerli sepiolit ve bentonitli karışımların verdiği görülmüştür. Hazırlanan sondaj numunelerinin viskozite değerlerinin, karışıma HEC ve nişasta ilave edildiğinde arttığı gözlemlenmiştir. Bunların yanı sıra filtrasyon özellikleri incelendiğinde ise sepiolitli numunelerin daha iyi sonuç verdiği ortaya konmuştur. Katkı maddesi olarak kullanılan HEC ve nişasta karşılaştırıldığında HEC'in analizler sonucu istenilen değerlere yakın değerler verdiği gözlemlenmiş olup sondaj uygulamalarında sondaj çamuruna katkı maddesi olarak kullanılmasının mümkün olabileceği kanısına varılmıştır [38].

Öztekin (2019), pirina bazı katkı maddelerinin sondaj çamurları üzerindeki reolojik ve filtrasyon etkilerini incelediği deneysel çalışmasında hammadde olarak kullandığı pirinayı çeşitli işlemlerden geçirerek sondaj çamuruna katkı maddesi olarak piriolitik yağ, öğütülmüş pirina ve modifiye pirina kullanmıştır. Yapılan çalışmada bu üç katkı maddesinin sondaj çamurunun reolojik özelliklerine etkisi incelenmiş olup, ayrıca farklı sıcaklıklarda da ölçümler alınmış, sıcaklığın da katkılı sondaj çamurunun üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. 25°C, 35°C, 49°C ve 66°C ölçüm sıcaklıkları baz alınmıştır. Reolojik özelliklerde yine diğer yazarların da çalışmalarında olduğu gibi çamur ağırlığı, viskozite, akma noktası, jel mukavemeti, filtrasyon (sıvı kaybı), kek kalınlığı ve pH incelenmiştir. Tüm bu deneysel çalışmaların neticesinde sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerine pirina bazlı katkı maddelerinin olumlu yönde etki ettiği saptanmıştır. Sıcaklığın ise pirina katkılı sondaj çamuru numuneleri üzerinde bazı sıcaklık değerlerinde viskozite, akma noktası ve jel mukavemeti değerlerinde azalma görülürken bazı sıcaklık değerlerinde ise bu özelliklerde artışa rastlanılmıştır. Ph değerlerinin ise pirina katkılı sondaj çamuru numunelerinde sıcaklıkla ters orantılı olduğu sıcaklık artışında pH değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Yazar yaptığı deney çalışmaları neticesinde pirina katkı maddelerinin sondaj çamuru uygulamalarında kullanılabileceğinin mümkün olduğu sonucuna varmıştır [39].

Turan (2019), bu tez çalışmasında su bazlı sondaj çamuruna uçucu kül ekleyerek elde edilen numunelerin reolojik özelliklerini farklı tane boyutlarında ve farklı ağırlık oranlarında incelemiştir. Farklı tane boyutları olarak 32µm, 63µm ve 90µm değerlerini ele almıştır. Su bazlı sondaj çamurunu bentonit ve barit kullanarak elde etmiş olup katkılacağı maddeleri ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında kullanmıştır. Ölçümler sırasında API standartları baz alınmış olup katkı maddesi olarak eklenen uçucu küllerin sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerinde standart ile uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Uçucu kül miktarı ile sıvı kayıpları arasındaki ters orantı saptanmış olup en fazla sıvı kaybının 32 µm tane boyutunda olduğu görülmüştür. Çamur yoğunluğu ile eklenen uçucu kül miktarı arasında doğru orantı olduğu saptanmıştır. Yazar bu deneysel çalışma sonucunda kullandığı uçucu küllerin sondaj uygulamalarında sondaj çamuruna katkı maddesi olarak kullanılabilesinin mümkün olabileceği sonucuna varmıştır [40].

Farklı yazarlar tarafından farklı zamanlarda yapılan tüm bu deneysel çalışmalarda, su bazlı sondaj çamurunun farklı katkı maddeleri ile farklı konsantrasyonlarda ve de farklı

sıcaklıklarda reolojik ve filtrasyon özellikleri başta olmak üzere istenilen değerleri verip vermediği incelenmiş olup sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak görülüyor ki petrol ve doğal gaz sektörü sahası içerisinde en çok tercih sebebi olan su bazlı sondaj çamurlarına bu zamana kadar katılanmamış katkı maddeleri de ekleyerek reolojik ve filtrasyon ölçümleri alınabilir ve şayet API standartları içerisinde kalıyor ise sahada uygulamaya sokulması önerilebilmektedir.



4. MATERYAL ve METOT

4.1. Materyal

Bu deneysel çalışmada saf su, bentonit ve sodyum poliakrilat malzemeleri kullanılmıştır. Kullanılan bentonit Niksar menşeli olup 75 µ boyutundan küçüktür. Sodyum poliakrilat kimyasalı ise $(C_3H_3NaO_2)_n$, 94,046 g/mol molekül ağırlığında, 0,64 g/cm³ yoğunluğunda ve %95 saflık derecesindedir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan bentonit kilinin XRD, XRF Oksit ve SEM analizi sonuçları “Araştırma ve Bulgular” kısmında verilmiş olup hazırlanan çamur numunelerinde kullanılan saf su, bentonit ve sodyum poliakrilat miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çamur numune kompozisyonları

16-24 saat yaşlandırma süreli Bentonit ilaveli sondaj çamurları		
Çamur numune kodu	Kullanılan malzemeler	Kullanılan katkı miktarları(ml:g)
B424-B416	Saf su+Bentonit	Saf su=400 ml, Bentonit:16,7
B524-B516	Saf su+Bentonit	Saf su=400 ml, Bentonit:21,05
B624-B616	Saf su+Bentonit	Saf su=400 ml, Bentonit:25,53
B724-B716	Saf su+Bentonit	Saf su=400 ml, Bentonit:30,10
B824-B816	Saf su+Bentonit	Saf su=400 ml, Bentonit:34,78
B924-B916	Saf su+Bentonit	Saf su=400 ml, Bentonit:39,6
B1024-B1016	Saf su+Bentonit	Saf su=400 ml, Bentonit:44,4
16-24 saat yaşlandırma süreli Bentonit+SodyumPoliakrilat katkılı sondaj çamurları		
Çamur numune kodu	Kullanılan malzemeler	Kullanılan katkı miktarları(ml:g)
BSP424-BSP416	Saf su+Bentonit+SodyumPoliakrilat	Saf su=400 ml; Bentonit:16,7; SP= 0,17
BSP524-BSP516	Saf su+Bentonit+SodyumPoliakrilat	Saf su=400 ml; Bentonit:21,05; SP=0,21
BSP624-BSP616	Saf su+Bentonit+SodyumPoliakrilat	Saf su=400 ml; Bentonit:25,53; SP=0,26
BSP724-BSP716	Saf su+Bentonit+SodyumPoliakrilat	Saf su=400 ml; Bentonit:30,10; SP=0,30
BSP824-BSP816	Saf su+Bentonit+SodyumPoliakrilat	Saf su=400 ml; Bentonit:34,78; SP=0,35
BSP924-BSP916	Saf su+Bentonit+SodyumPoliakrilat	Saf su=400 ml; Bentonit:39,6; SP=0,39
BSP1024-BSP1016	Saf su+Bentonit+SodyumPoliakrilat	Saf su=400 ml;Bentonit:44,4; SP=0,44

Çalışma kapsamında, ağırlıkça %4-%10 arasında bentonit kili kullanılarak hazırlanan su bazlı sondaj çamuru numuneleri ile ağırlıkça bentonitin %1’i oranında katkılanan sodyum poliakrilatlı çamur numunelerinin reolojik ve de filtrasyon ölçümleri 16 ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde ve oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında, bentonitli su bazlı çamur numunelerinden 14, sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamuru numunelerinden ise 14 olmak üzere toplamda 28 adet su bazlı sondaj çamuru

numunesi hazırlanmış ve hazırlanan çamur numunelerinin reolojik ve de filtrasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deney çalışmaları oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup kullanılan malzemeler API 13A standardına göre hazırlanmış ve elde edilen sonuçlar ise API 13B-1 standardına göre analiz edilmiştir [41, 42].

Yapılan deneysel çalışma kapsamında su bazlı sondaj çamurlarının hazırlanması, reolojik ve de filtrasyon ölçümleri İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Sondaj ve Kaya Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Resim 4.1 ve Resim 4.2'de Laboratuvar'a ait görüntüler yer almaktadır.



Resim 4.1. İSTE Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Sondaj ve Kaya Laboratuvarı-1



Resim 4.2. İSTE Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Sondaj ve Kaya Laboratuvarı-2

4.2. Metot

Bentonit ilaveli sondaj çamurlarını, bentonitin ağırlıkça %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında kullanarak 16 ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde bekletildikten sonra, çamur ağırlığı, 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, 60 rpm ve 30 rpm viskozimetre ekran okumaları ile plastik viskozite, görünür viskozite ile akma noktası hesaplamaları yapılmış ayrıca 10 saniye jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri ölçüldükten sonra 30 dakika filtrasyon testi gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça 7 farklı bentonit oranında olmak üzere iki farklı yaşlandırma sürelerinde olmak üzere 14 adet bentonit ilaveli sondaj çamuru numunesi hazırlanmıştır.

Sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamurlarını, %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında bentonit ve bentonit miktarının da %1'i olacak şekilde sodyum poliakrilat maddesi katkılanarak 16 ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde toplamda 14 adet numune hazırlanmış. Toplamda hazırlanan numune sayısı 28 olmuştur. Sodyum poliakrilat katkılı numunelerin çamur ağırlığı, 600 rpm, 300 rpm, 200 rpm, 100 rpm, 60 rpm ve 30 rpm viskozimetre ekran okumaları ile plastik viskozite, görünür viskozite ile akma noktası hesaplamaları yapılmış ayrıca 10 saniye jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri ölçüldükten sonra 30 dakika filtrasyon testi gerçekleştirilmiştir.

Saf su-bentonit ya da saf-su-bentonit-sodyum poliakrilat ilaveli sondaj çamurları laboratuarda Dynamics marka mixer ile hazırlanmıştır. Mixere önce saf su konmuş, saf su belirli bir süre karıştırıldıktan sonra içerisine ilave bentonit yavaş yavaş karışımda topaklanma oluşmayacak şekilde ilave edilmiş ve yaklaşık iki üç dakika kadar karışımın homojen olması beklenmiştir. Sodyum poliakrilat katkılı numunelerde ise aynı işlem sırası uygulanmış, sodyum poliakrilat bentonit ilavesinden sonra yavaş yavaş ilave edilmiş ve belirli bir süre mixerde karıştırılmıştır. Bu işlem hazırlanan 28 numunenin hepsine uygulanmıştır.



Resim 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan bentonit kili

Aşağıdaki görüntülerde 16 saat yaşlandırma süreli bentonit ilaveli sondaj çamurları ile 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamuru numuneleri görülmektedir. Yapılan deney çalışmasında, su bazlı sondaj çamuru numuneleri ölçüm sırasında kullanılan kodlar, bentonit-ağırlıkça konsantrasyon ve yaşlandırma süresi şeklindedir. Kullanılan katkı maddelerin miktarları DESIS marka ve SHIMADZU marka hassas teraziler kullanılarak ölçülmüştür.



Resim 4.4. 16 saat bentonitli çamur numuneleri



Resim 4.5. 24 saat sodyum poliakrilatlı çamur numuneleri

4.2.1. Çamur ağırlığı ölçümü

Çamur terazisinin dikkatlice temizlik işleri (kalan kırıntıların temizlenmesi gibi) yapılır, karışımı yapılmış numune, çamur terazisindeki alana dikkatlice doldurulur, numunenin konulduğu kısmın tamamen dolduğundan emin olunacak şekilde kapağı kapatılır, kapak kapandıktan sonra bir miktar numunenin dışarıya sızması beklenir, numunenin konulduğu kısım terazideki yerine yerleştirilir ve terazinin dengede kalma noktası beklenir, dengede kaldığı nokta dikkatlice okunur, okunan çamur ağırlığı değeri araştırma verileri kısmına not edilir, numunenin bulunduğu kısım teraziden alınarak bir sonraki adım olan viskozimetre ekran okumaları için viskozite cihazının içine aktarılır, numunenin bulunduğu kısım temizlenir ve bir sonraki çamur ağırlığı ölçümü için ölçümler tekrar edilir [6].

4.2.3. Viskozimetre ekran okumaları

Viskozite cihazının numune haznesi kısmına belirtilen bölge içerisine numune dikkatlice doldurulur, numune haznesi cihaz üzerine ilgili nokta bağlantıları sağlanacak şekilde yerleştirilir, rotorun hazne içerisinde kalan çamurun istenilen noktaya kadar girmesi sağlanır, rotor önce 600 rpmde olmak üzere sırasıyla 300, 200, 100, 60 ve 30 rpm değerleri için çalıştırılır ve kadranda ibrenin hangi noktada sabit kaldığı görülürse o değer not edilir, not edilen değerler ile daha sonra plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerleri gerekli bağıntılar kullanılarak hesaplanır ve kayıt edilir. Yapılan deney çalışmalarında sondaj çamuru numunelerinin viskozite ölçümleri OFITE marka viskozite cihazı ile gerçekleştirilmiştir [6].

Çizelge 4.2. Görünür viskozite, plastik viskozite ve akma noktası bağıntıları

Görünür Viskozite, (AV),cP	$\Theta_{600} /2$
Plastik Viskozite, (PV), cP	$\Theta_{600}-\Theta_{300}$
Akma noktası, (YP), lb/(100ft ²)	$\Theta_{300} -PV$

4.2.4. Jel mukavemeti testi

10 saniye jel mukavemeti için hazırlanan sondaj çamuru numunesi viskozimetre cihazına konularak 600 rpmde 10 saniye süre ile çalıştırılır, 10 saniyelik sürenin sonunda cihaz durdurulur ve bekleme durumunda 10 saniye beklenir, 3 rpm değerinde tutularak ibrenin sabit kaldığı kadran değerinde okunur ve not edilir. Bu değer bize sondaj çamuru numunesinin 10 saniye jel mukavemeti değerini göstermektedir [6].

10 dakika jel mukavemeti için, hazırlanan sondaj çamuru numunesi viskozimetre cihazına konularak 600 rpmde 10 saniye süre ile çalıştırılır, 10 saniyelik sürenin sonunda cihaz durdurulur ve bekleme durumunda 10 dakika beklenir, 3 rpm değerinde tutularak ibrenin sabit kaldığı kadran değerinde okunur ve not edilir. Bu değer bize sondaj çamuru numunesinin 10 dakika jel mukavemeti değerini göstermektedir. Yapılan deney çalışmalarında sondaj çamuru numunelerinin jel mukavemeti ölçümleri OFITE marka viskozite cihazı ile gerçekleştirilmiştir [6].

4.2.5. Filtrasyon testi

Hazırlanan sondaj çamuru numunesi filtrasyon aletinin haznesine dikkatlice yerleştirilir, hazneye yerleştirilen numunenin kapağı iyice sıkıştırılmalıdır, daha sonra kaybettiği sıvıyı ölçmek amacı ile haznenin alt kısmına cam bir kap yerleştirilir, numune yerleşiminden sonra 100 psi basınç verilmek üzere alete gaz verilir, 30 dakika bekleme süresi beklendikten sonra gaz kesilir, ölçüm için konulan kap dikkatlice alınarak ne kadar sıvı biriktiği gözlemlenir ve kayıt edilir, haznede kalan çamur boşaltılır ve filtrat kağıdında kalan kısım eğer çamur kek kalınlığı ölçülecek ise değerlendirilir, hazne ve cam kap boşaltılır ve iyice temizlendikten sonra diğer çamur numunelerinin ölçümü için hazır bekletilir [6].

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

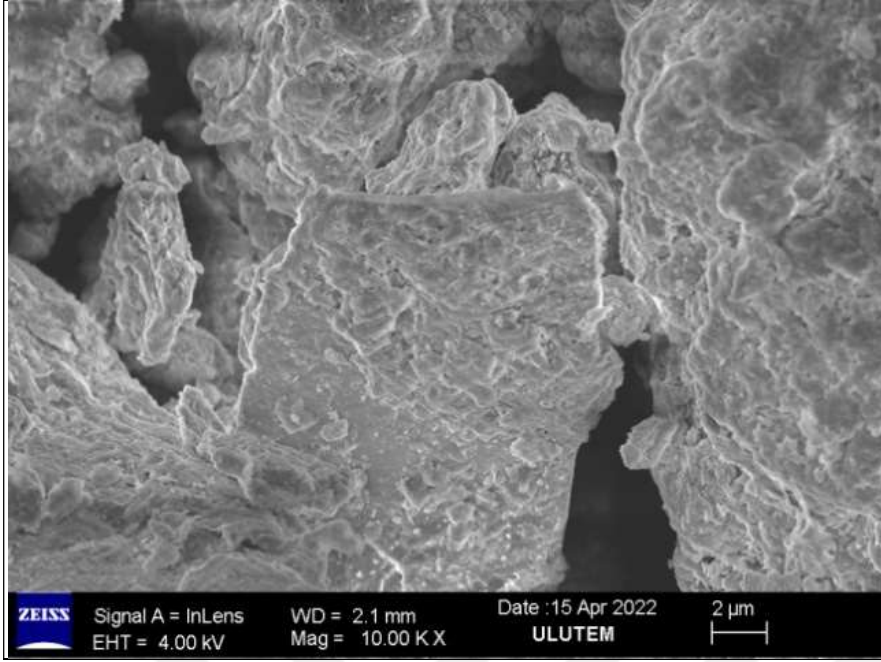
Yapılan çalışma kapsamında, bentonit kili kullanılarak elde edilen su bazlı sondaj çamuruna sodyum poliakrilat kimyasalının ilave edilmesi ile sodyum poliakrilatın su bazlı sondaj çamurunda katkı maddesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Su bazlı çamur numunelerinde kullanılan bentonitin XRD, XRF ve SEM analiz ölçümleri incelenmiş ve yorumları yapılmıştır. Deneysel çalışmalarında kullanılan bentonitin XRF oksit analizi değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Deneysel çalışmalarında kullanılan bentonit kilinin yüksek oranda SiO_2 içerdiği gözlemlenmiş olup çoğunluğun silika oksitlerden oluştuğu görülmektedir [43].

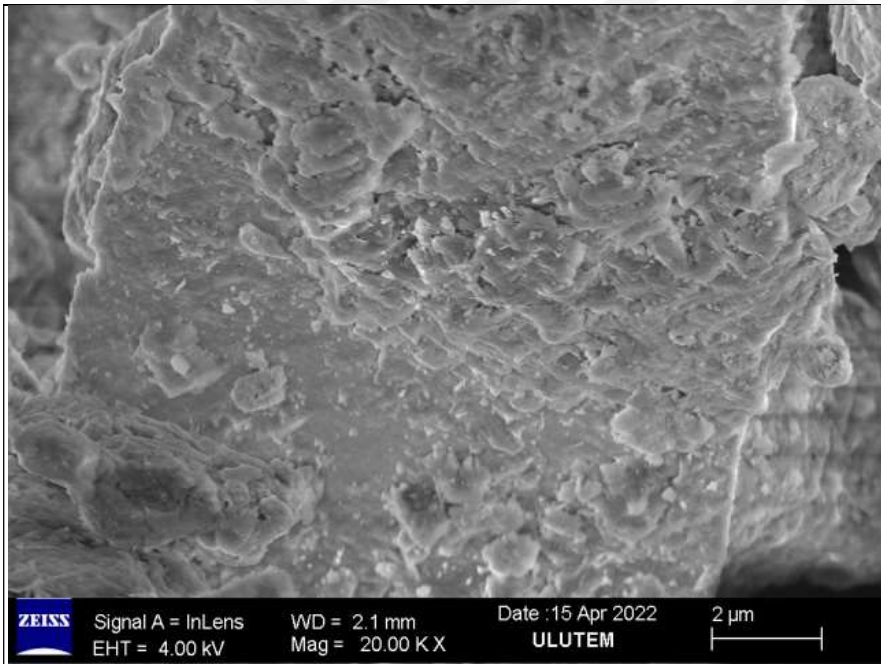
Çizelge 5.1. Bentonit numunesi XRF oksit değerleri [43]

Bileşen	%
SiO_2	61,50
Al_2O_3	15,80
Fe_2O_3	3,00
FeO	0,05
TiO_2	0,40
MgO	2,20
CaO	3,50
K_2O	4,50
Na_2O	2,10
MnO	0,10
P_2O_5	0,50
A.Za.(L.O.I)	6,20
Toplam	99,50

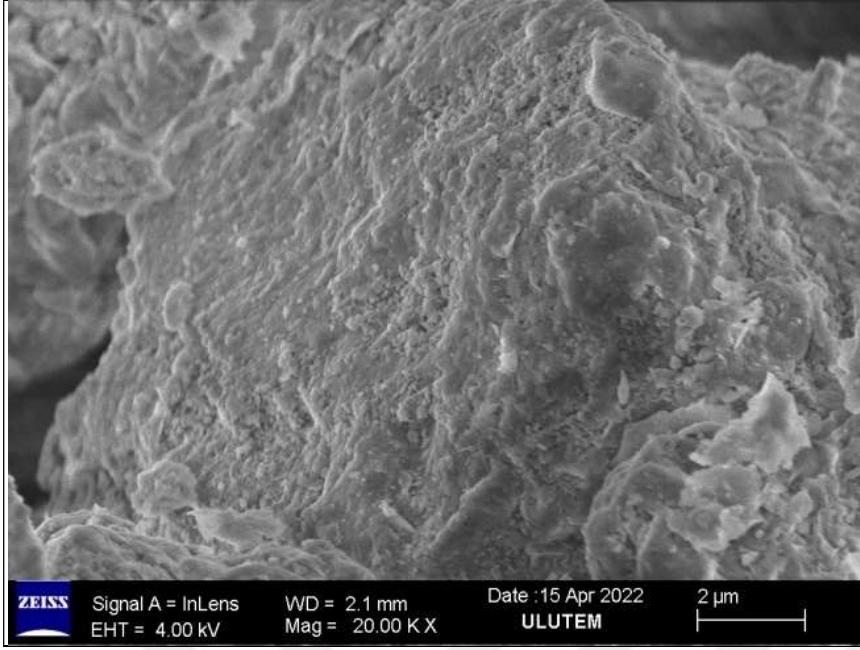
Yapılan deneylerde kullanılan bentonit numunesinin SEM analiz taraması Gaziantep Üniversitesi Uluğbey Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde Zeiss marka cihaz ile gerçekleştirilmiş olup 5000, 10000, 20000 ve 40000 büyütme oranlarındaki SEM analizi görüntüleri alınmıştır. Elde edilen SEM analizi görüntüleri Resim 5.1, Resim 5.2, Resim 5.3, Resim 5.4, Resim 5.5, Resim 5.6’da verilmiştir.



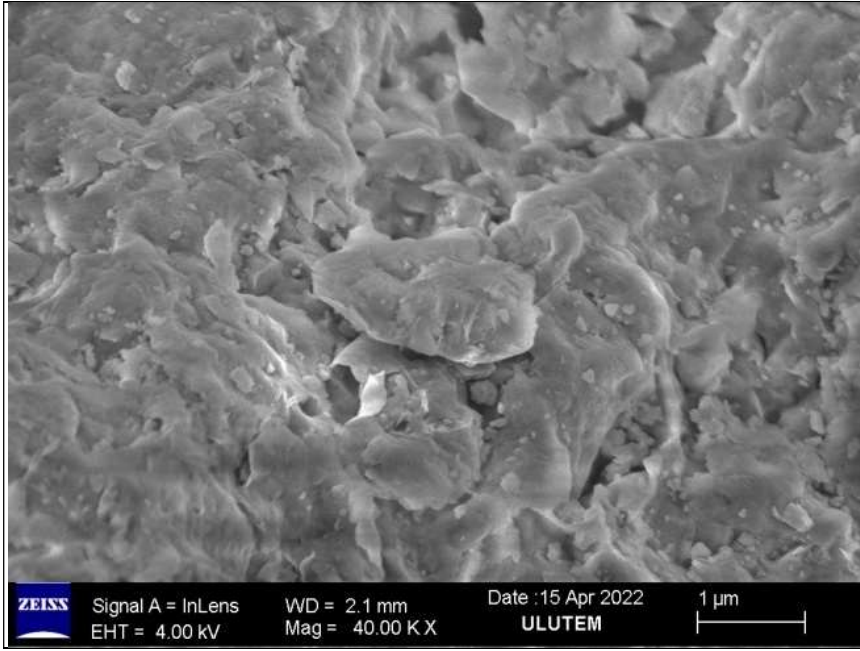
Resim 5.1 Bentonit SEM analizi görüntüsü



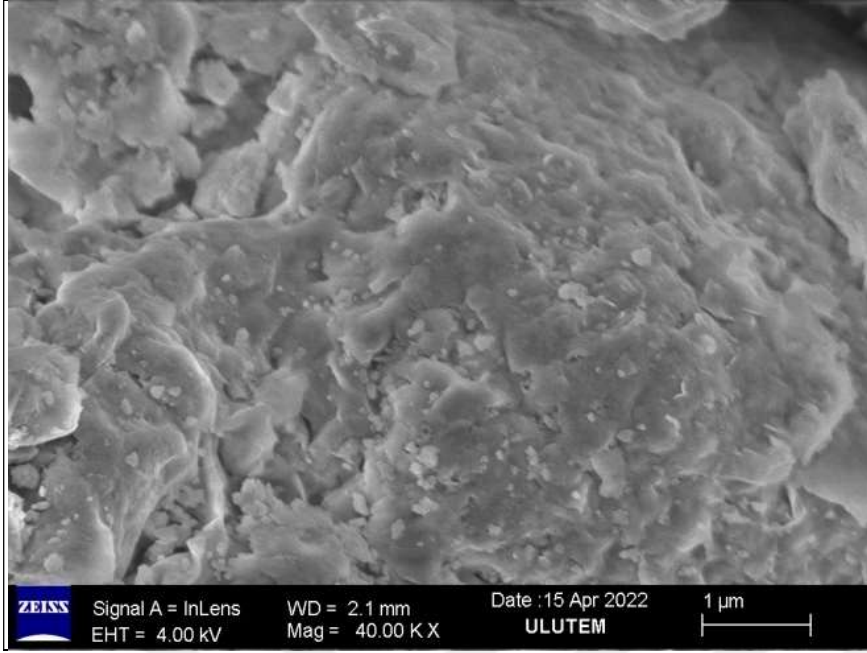
Resim 5.2 Bentonit SEM analizi görüntüsü



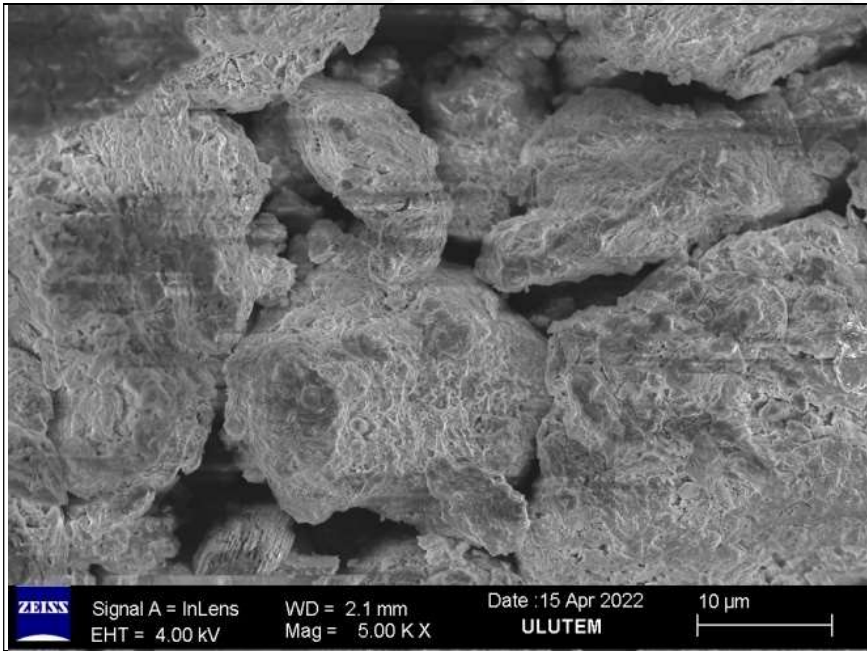
Resim 5.3 Bentonit SEM analizi görüntüsü



Resim 5.4 Bentonit SEM analizi görüntüsü



Resim 5.5 Bentonit SEM analizi görüntüsü

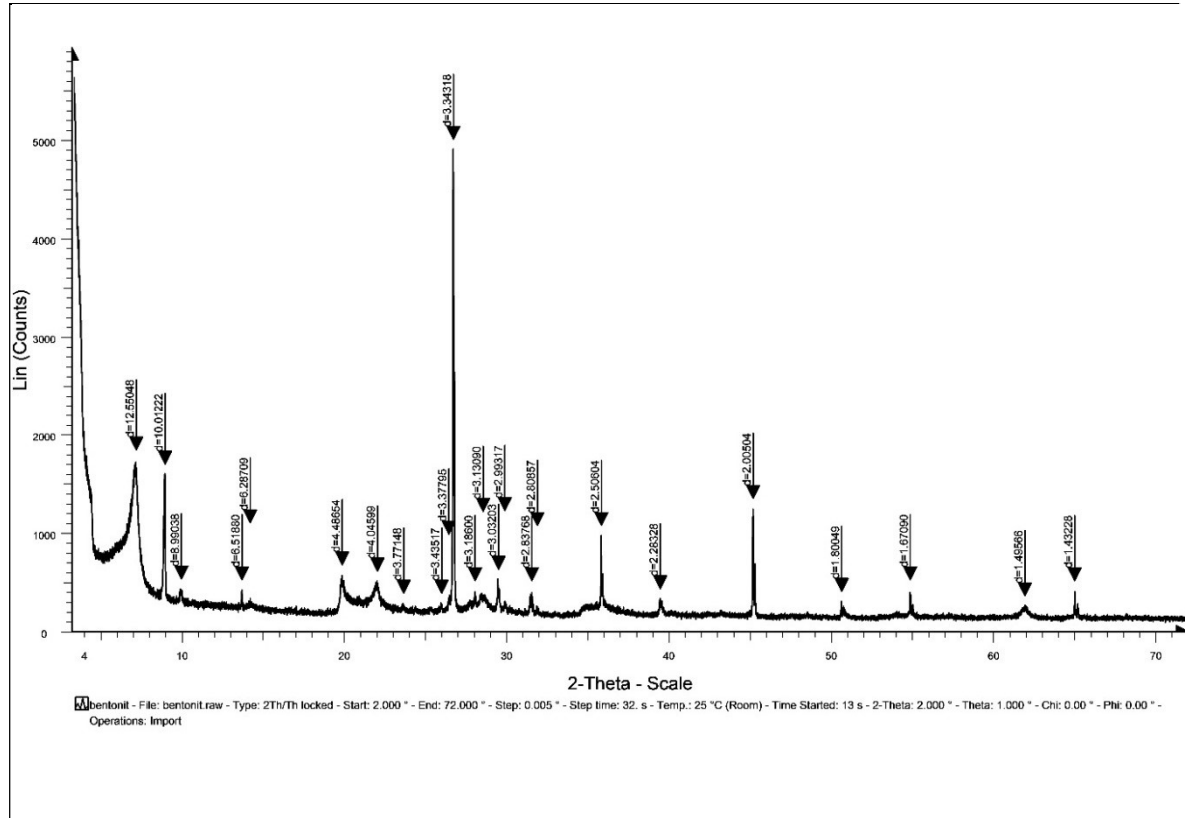


Resim 5.6 Bentonit SEM analizi görüntüsü

X-ışınları difraksiyon (XRD) analizi İTÜ Maden Fakültesi XRD Laboratuvarında; Bruker D8 Advance marka X-ışınları difraktometresinde CuK_{α} radyasyon ve Ni filtre kullanılarak, 2Theta: $4-72^{\circ}$ aralığında; çekim hızı $2^{\circ}/\text{dakika}/\text{cm}$ 40kV voltaj ve 40mA akım şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Bentonit örneğinin X-ışınları difraksiyon (XRD) paterni Şekil 5.1’de verilmiştir. Paternde görülen mineraller smektit (montmorillonit tür), mika (veya illit), opal-kristobalit, feldspat, kuvars, kalsit ve zeolit (klinoptilolit türü).

Smektit oranı yüksek olup, mika ve opal-kristobalit düşük oranlardadır diğer mineraller ise muhtemelen çok düşük veya eser oranlardadır.



Şekil 5.1. Bentonit örneğinin X-ışınları difraksiyon (XRD) paterni (Sm: Smektit, M: Mika, O: Opal-kristobalit, Ku: Kuvars, Fd: Feldspat, Ka: Kalsit, Z: Zeolit)

Şekil 5.1 incelendiğinde, XRD paterninde smektitin ana pikleri 12.55, 6.28Å, 4.48Å, 3.13Å ve 1.49Å pikleri olduğu görülmekte olup mika (veya illit) mineralinin piklerinin 10.01Å, 3.37-3.34Å, 2.50Å, 2.00Å, 1.67Å ve 1.43Å ince keskin pikler olduğu gözlemlenmiştir. Kuvars muhtemelen az oranda bulunmakta ve kuvarın önemli piki olan 3.34Å piki mika piki ile örtüşmektedir. Opal-kristobalitin önemli piki yayvan bir pik şeklinde bulunan 4.04Å piki olduğu görülmektedir. Feldspat 6.51Å, 3.77Å ve 3.18Å, pikleri ile ve Kalsit 3.03, 2.28

pikleri ile belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. 8.99 ve 2.83 pikleri muhtemelen zeolit mineral türü olan klinoptilolittir.

Bentonitin ana minerali olan smektit; özellikle de montmorillonit (Na, Ca) (Al, Mg) $6(\text{Si}_4\text{O}_{10}) 3(\text{OH})_6 n\text{H}_2\text{O}$ genel kimyasal formülüne sahiptir. Burada, Na ve Ca katyonları yapıya gevşek bağlı olarak bulunan değişebilen katyonlardır. Smektitler yapılarındaki tabakalar arası katyon tipine göre sınıflanmakta ve bu sebeple bentonitler de Na-bentonit (Wyoming tip) veya Ca-bentonit (ağartma toprağı) veya Na/Ca-bentonit (ara tip) olarak sınıflandırılmaktadırlar [33].

Smektit minerallerinin en önemli ayırtmanı, onların birim hücrelerinin c boyutudur. Birim hücrenin c boyutu bazal mesafe (bazal boy) olarak da bilinir ve d(001) veya d_{001} simgesiyle gösterilmektedir. Smektit mineralinin bazal mesafesi (d_{001}) Ca-smektitlerde yaklaşık 14-15 Å arasında iken Na-smektitlerde 12-13 Å arasındadır. Bu farklılığın nedeni smektit yapısındaki katmanlardan birisi olan tabakalar arası (interlayer) katmanın kalınlığının, katmanın içinde Na olduğunda yaklaşık 2,5 Å olması, katmanın içinde Ca bulunduğu ise katman kalınlığının yaklaşık 5 Å olmasıdır. Smektit yapısında (birim hücrede) iki tetrahedral katman (silika katmanı), bir oktahedral katman (alümina katmanı) vardır (2:1 yapısı). Bunların boyu sabittir ve 10 Å dur. Bu üç katmanlı yapı üst üste dizilirken her üç katmanlı yapı arasında tabakalar arası katman denilen değişebilir katyonların (Na, Ca) yer aldığı bir katman vardır. Bu katmanın 2,5 Å veya 5 Å olması sonucunda smektitlerin toplam bazal mesafesi ya 12,5 Å ya da 15 Å olmaktadır.

Şekil 5.1 incelendiğinde, yapılan deneysel çalışma kapsamında kullanılan bentonit kili örneğinde smektit mineralinin bazal mesafesi 12,55 Å dur. Bu mesafe değeri Na-smektit türünü işaret etmektedir. Dolayısıyla kullanılan bentonit örneğinin Na-bentonit olduğu XRD verileriyle ortaya konulmuştur.

5.1. Bentonitli Sondaj Çamur Numuneleri Reolojik ve Filtrasyon Ölçümleri

Deneysel çalışmalarda, 16 ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde, bentonitin karışımın ağırlıkça %4, %5, %6, %7, %8, %9 ve %10 oranlarında kullanılarak toplam 14 adet su bazlı sondaj çamuru numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerden elde edilen sonuçlar grafikleri ve de yorumları ile birlikte verilmiştir.

5.1.1. 24 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri reolojik ve filtrasyon ölçümleri

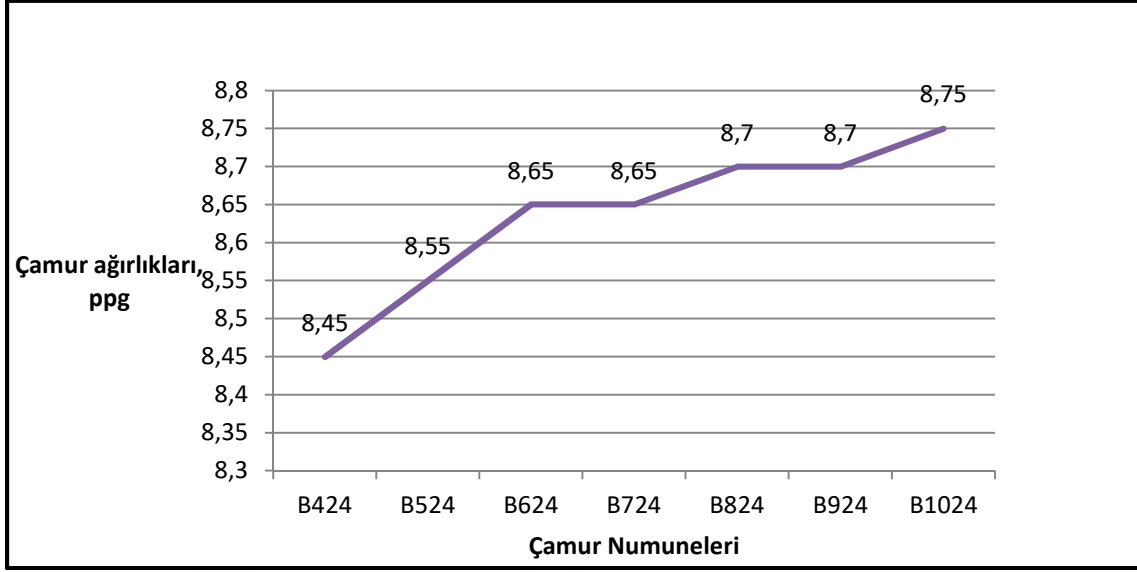
Yapılan deneysel çalışmalarda, kullanılan bentonitin, 24 saat yaşlandırma süresinde, sondaj çamurunun reolojik ve de filtrasyon parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. İncelenen parametreler, çamur ağırlığı, viskozimetre ekran okumaları, plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti, 10 dakika jel mukavemeti ve filtrasyon (sıvı kaybı)dır. Çizelge 5.2’de 24 saat yaşlandırma süreli sondaj çamuru numunelerinin reolojik ve de filtrasyon ölçümleri görülmekte ve ölçüm birimleri olarak İngiliz birim sistemi kullanılmıştır.*

Çizelge 5.2. 24 saat bentonitli çamur ölçümleri*

Numune	Çamur Ağırlığı (ppg)	Filtrasyon (ml)	AV (cP)	PV (cP)	YP (lb/100ft ²)	10 sn jel muk. (lb/100ft ²)	10 dk jel muk. (lb/100ft ²)
B424	8,45	18,5	5	4,5	1	1	0,5
B524	8,55	16	9	8	2	1	1
B624	8,65	14	18	14	8	2	2
B724	8,65	13	36,5	25	23	4	5
B824	8,7	12	56,75	33,5	46,5	8	10
B924	8,7	10,5	103	48	110	21	27
B1024	8,75	10	147	61	172	40	51

24 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri çamur ağırlıkları ölçüm sonuçları: Yapılan deneysel çalışmalar kapsamında, bentonitin, 24 saat yaşlandırma süresinde, su bazlı sondaj çamurunun çamur ağırlığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. %4-%10 ağırlık oranlarında kullanılan bentonitin çamur ağırlığına etkisi aşağıdaki Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

Şekil 5.2 incelendiğinde, en düşük çamur ağırlığını 8,45 ppg ile %4 katkılı B424 numunesinin, en yüksek çamur ağırlığını ise %10 katkılı B1024 numunesinin 8,75 ppg ile verdiği görülmüş olup çamur numunelerinin çamur ağırlıklarının düzenli bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bentonitin 24 saat yaşlandırma çamur ağırlığını arttırıcı özellik taşıdığı göstermektedir.



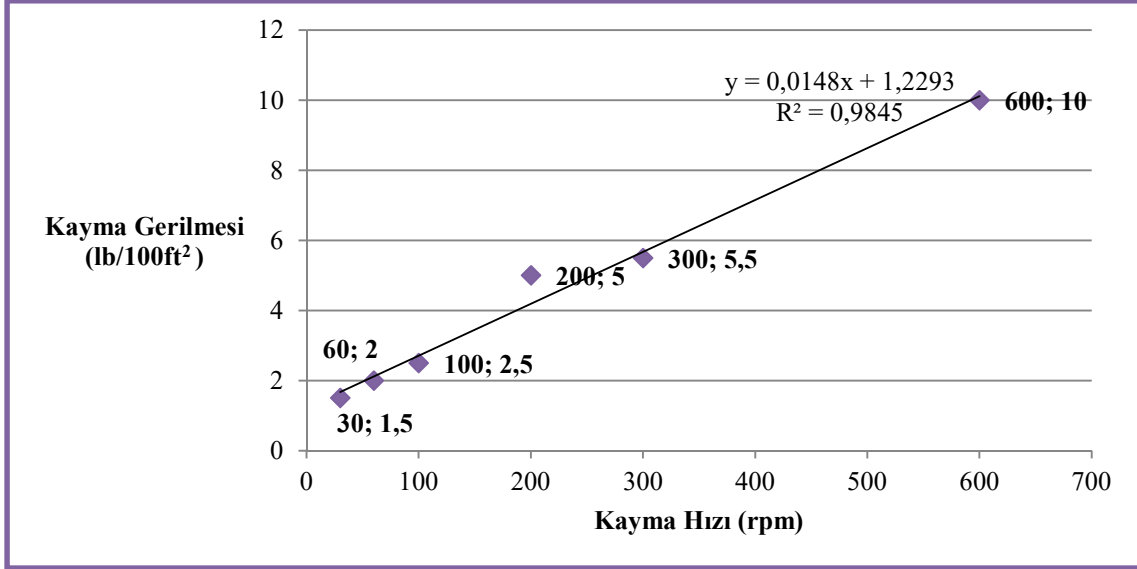
Şekil 5.2. 24 saat bentonitli numunelerin çamur ağırlıkları

24 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri viskozimetre ekran okumaları: Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan bentonitin, 24 saat yaşlandırma süresinde, su bazlı sondaj çamurunun viskozimetre ekran okumaları üzerine etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.3.'te 24 saat yaşlandırma süreli sondaj çamuru numunelerinin viskozimetre ekran okumaları verilmiştir.

Çizelge 5.3. 24 saat bentonitli çamur ölçümleri

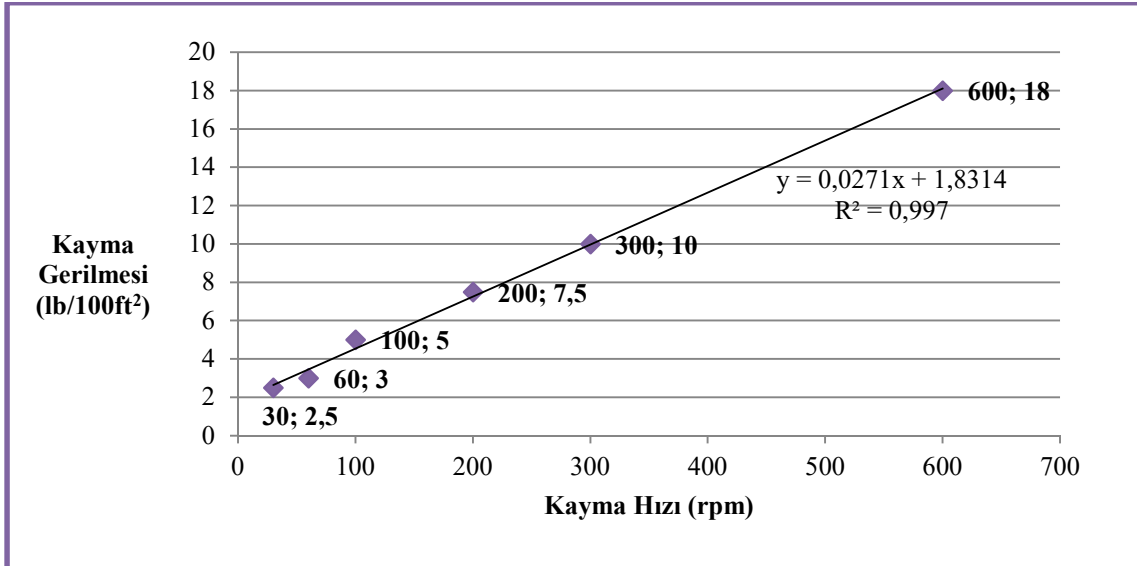
Numune	600 rpm	300 rpm	200 rpm	100 rpm	60 rpm	30 rpm
B424	10	5,5	5	2,5	2	1,5
B524	18	10	7,5	5	3	2,5
B624	36	22	16	10,5	7	5
B724	73	48	38	26	18	11
B824	113,5	80	65	45	34	24
B924	206	158	131	97	78	58
B1024	294	233	199	153	127	99

Deneysel çalışmalar kapsamında hazırlanan 24 saat yaşlandırma süreli su bazlı sondaj çamur numunelerine ait viskozimetre ekran okumaları kullanılarak hazırlanan Kayma Hızı- Kayma Gerilmesine ait reogram grafikleri yorumları ile birlikte aşağıda sırası ile verilmiştir.



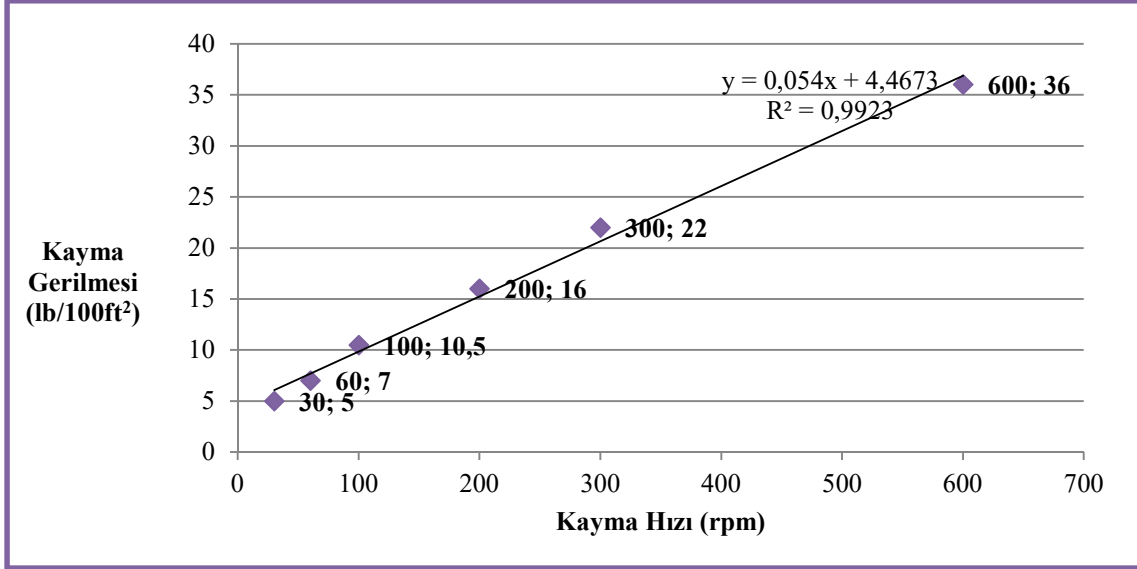
Şekil 5.3. B424 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.3 incelendiğinde, B424 sondaj çamuru numunesinin en yüksek değerini 600 rpm okumasında, en düşük değerini ise 30 rpm okumasında verdiği gözlemlenmiştir. Viskozimetre ekran okuma değerleri, en düşük 30 rpm'den en yüksek 600 rpm'e kadar düzgün doğrusal bir eğimle artmış olup eğim denklemi $y=0,014x+1,229$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,984$ olarak belirlenmiştir.



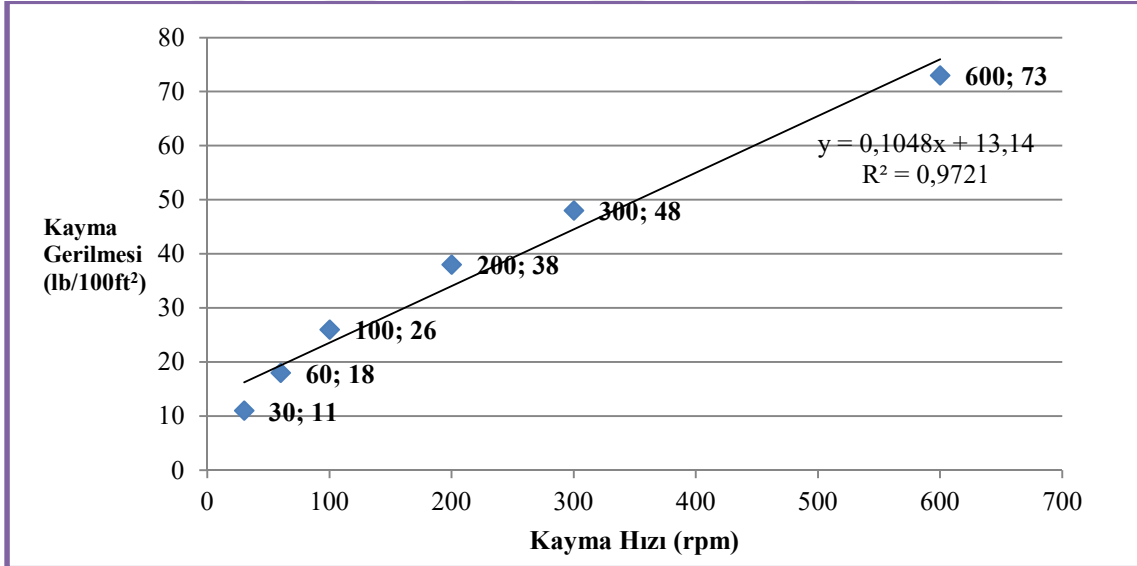
Şekil 5.4. B524 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.4 incelendiğinde, B524 sondaj çamuru numunesinin en yüksek değerini 600 rpm okumasında (18), en düşük viskozimetre ekran okuma değerini ise 30 rpm okumasında (2,5) verdiği gözlemlenmiş olup eğim denklemi $y=0,027x+1,831$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,997$ olarak belirlenmiştir.



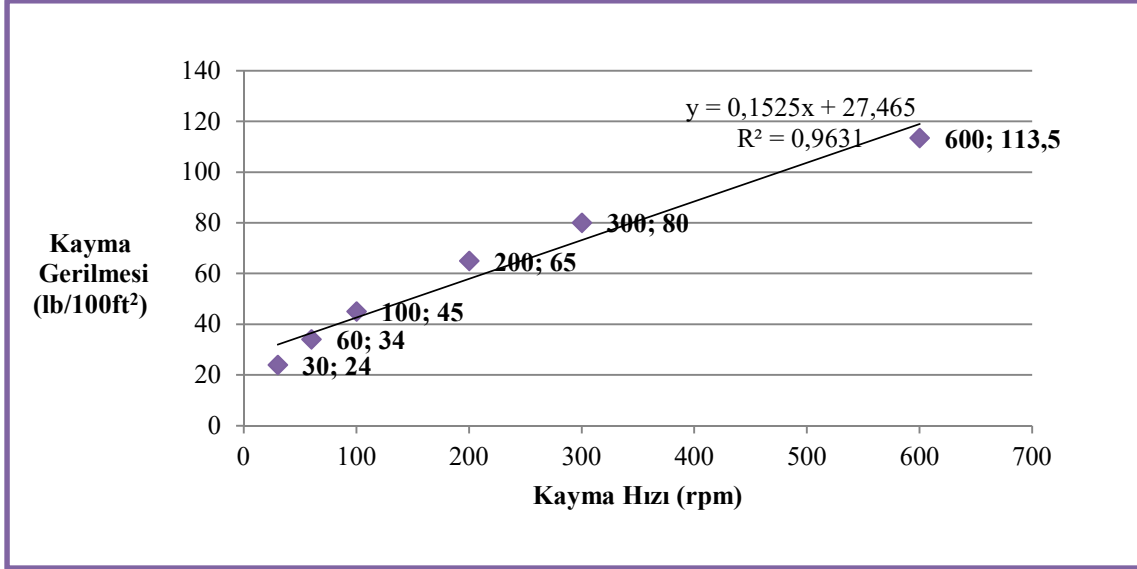
Şekil 5.5. B624 numunesi reogram grafiği

Şekil 5.5 incelendiğinde ise B624 sondaj çamuru numunesinin en yüksek değerini 600 rpm okumasında, en düşük değerini ise 30 rpm okumasında verdiği gözlemlenmiştir. Eğim denklemi $y=0,054x + 4,467$ olup korelasyon katsayısı ise $R^2= 0,992$ olarak belirlenmiştir.



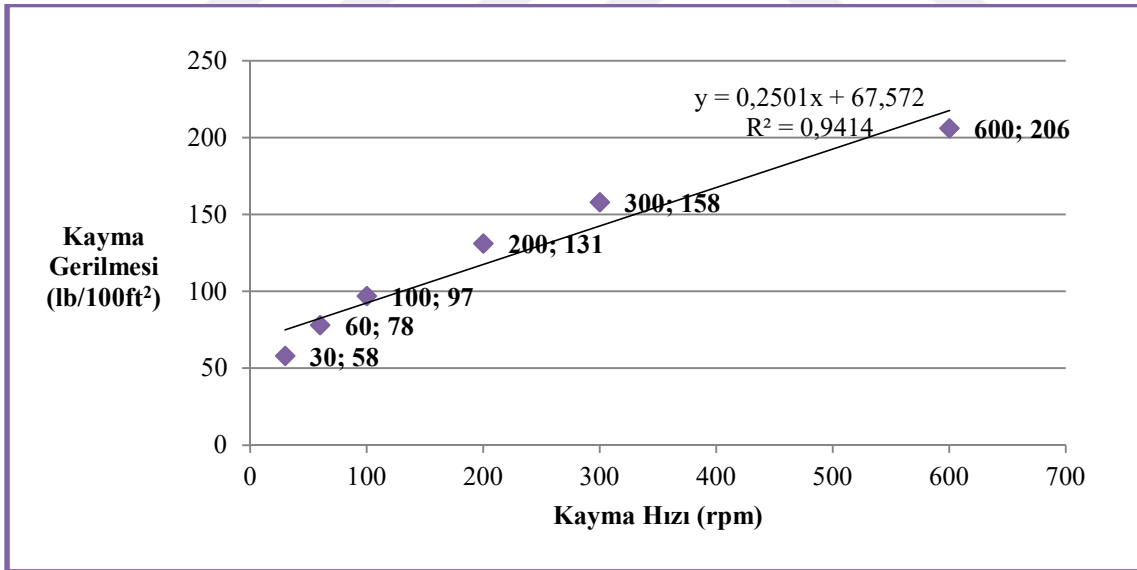
Şekil 5.6. B724 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.6 incelendiğinde ise B724 sondaj çamuru numunesinin en yüksek değerini 600 rpm okumasında 73 olarak, en düşük değerini ise 30 rpm okumasında 11 olarak verdiği gözlemlenmiştir. Eğim denklemi $y=0,104x+13,14$ olup korelasyon katsayısı ise $R^2= 0,972$ olarak belirlenmiştir.



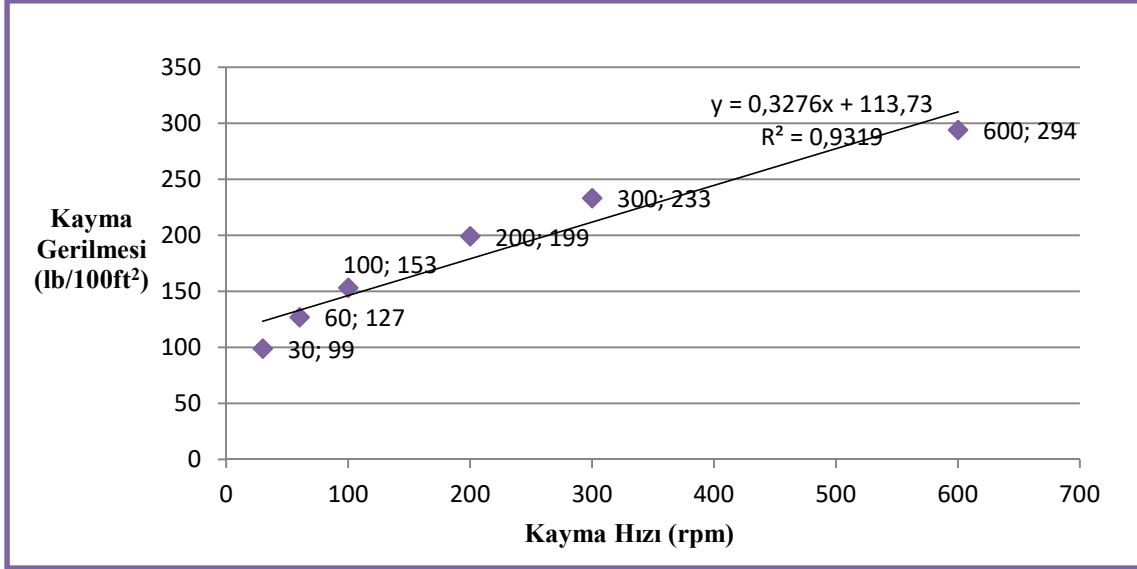
Şekil 5.7. B824 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.7 incelendiğinde ise B824 sondaj çamuru numunesi 600 rpm okumasında 113,5 değerini verirken, 30 rpm okumasında ise 24 değerini vermiştir. $y=0,152x+27,46$ eğim denklemi ile $R^2=0,963$ korelasyon katsayısı olarak belirlenmiştir.



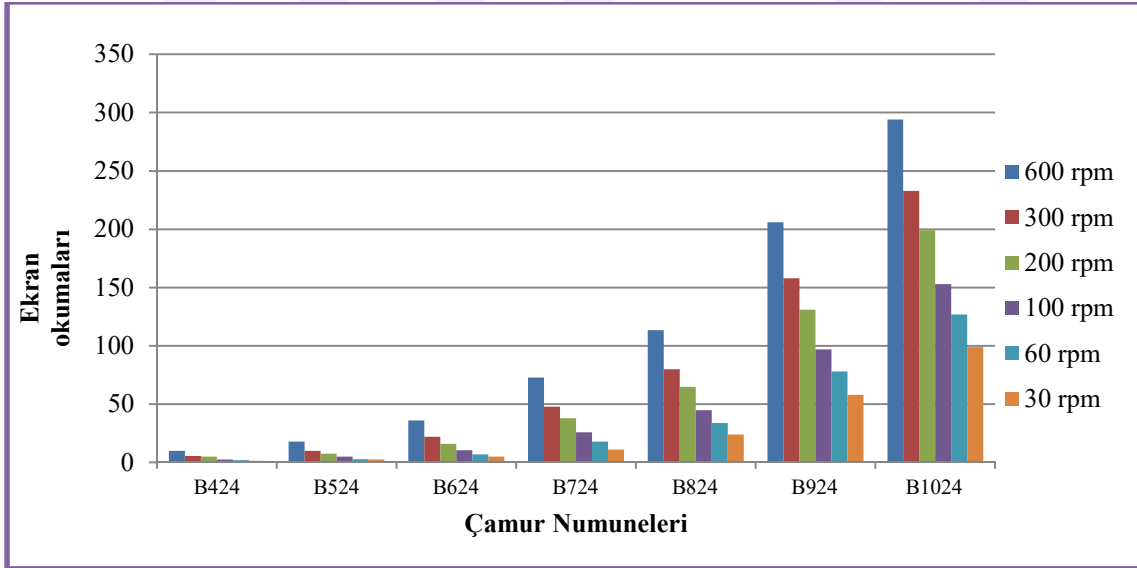
Şekil 5.8. B924 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.8 incelendiğinde, B924 sondaj çamurunun 206 değeri ile 600 rpm ekran okuması, 58 değeri ile de 30 rpm ekran okuması gerçekleşmiş olup elde edilen grafiğin denklemi $y=0,250x+67,57$ ve eğim çizgisi korelasyon katsayısı ise $R^2=0,941$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.9. B1024 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.9 incelendiğinde, B1024 sondaj çamuru 600 rpm okuma değerinin 294, 30 rpm okuma değerinin ise 99 olduğu görülmüş olup elde edilen grafiğin denklemi $y=0,327x+113,7$ ve eğim çizgisi korelasyon katsayısı ise $R^2=0,931$ olarak belirlenmiştir.

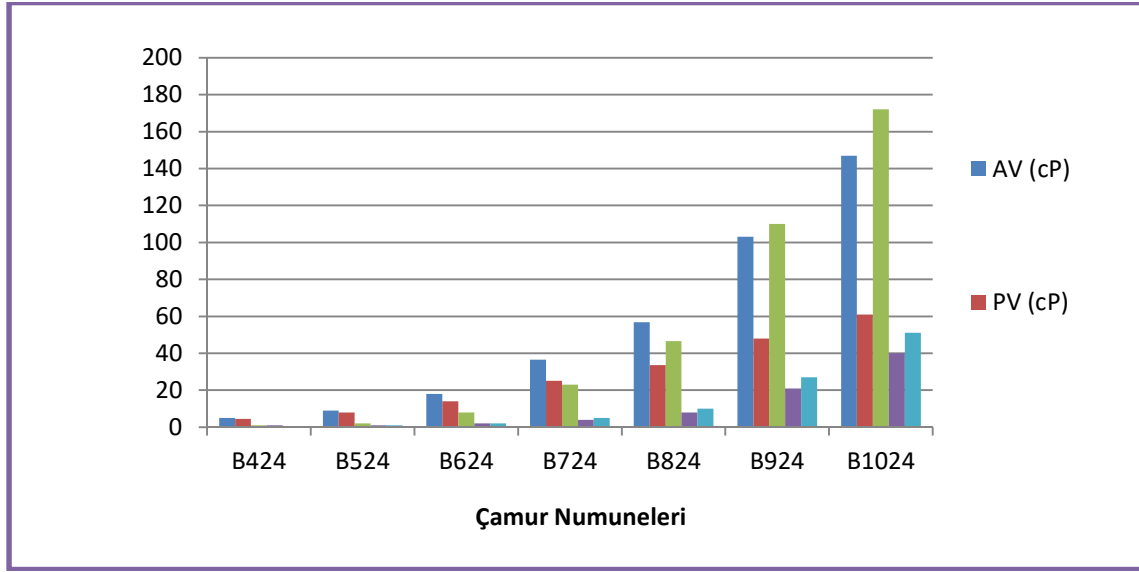


Şekil 5.10. 24 saat bentonitli numunelerin viskozimetre ekran okumaları

Şekil 5.10 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının 30, 60, 100, 200, 300 ve 600 rpm ekran okumalarındaki en yüksek 600 rpm ekran okuma değerini B1024 numunesinin 294 ile, en düşük 600 rpm ekran okuma değerini B424 numunesinin 10 ile verdiği görülmüştür. Bu durum, bentonitin artan katkı

miktarlarında çamur numunelerinin viskozimetre ekran okuma değerini arttırdığını göstermektedir.

Şekil 5.10 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının 600 rpm okumaları değerlendirildiğinde, %6-%10 arasındaki tüm çamur numunelerinin standart referans değeri olan min 30 değerine uygunluk sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.11. 24 saat bentonitli numunelerin reolojik parametreleri

Şekil 5.11 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası, değerlerinin B1024 çamur numunesinde diğer numunelere kıyasla daha yüksek olduğu, en düşük plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerini ise B424 çamurunun verdiği görülmektedir. Bu durumun bentonitin ağırlıkça oranının artmasının plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinde bir artış meydana getirdiğini göstermektedir.

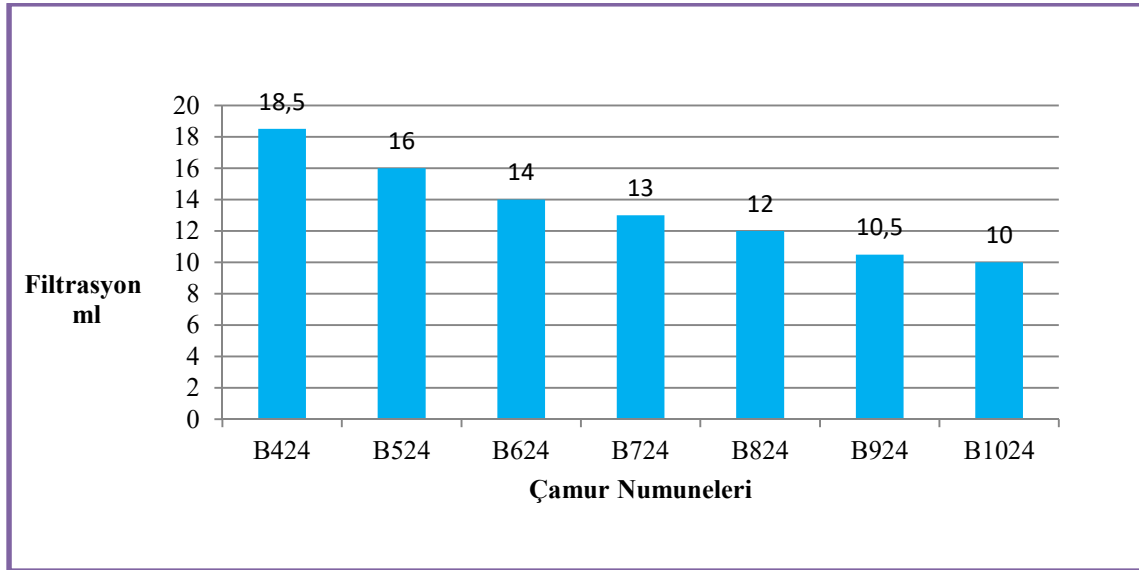
Şekil 5.11 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma süreli bentonitli su bazlı sondaj çamurlarının YP/PV oranları değerlendirildiğinde %4-%10 katkılı tüm çamur numunelerinin standart referans değeri olan maximum 3 değerine uygunluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

Ayrıca, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının 10 sn jel mukavemeti değerleri incelendiğinde en yüksek değerleri B1024 numunesinin 40

lb/100ft² ile, en düşük 10 sn jel mukavemeti değerinin ise 1 lb/100ft² değerli ile B424 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir. Düşük katkı oranlarındaki (%4-%8) numunelerdeki değerlerin birbirlerine daha yakın olduğu ve %9 ile %10 luk katkı oranlarındaki numunelerin değerlerinin hızla arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum bentonitin artan katkı oranlarında 10 sn jel mukavemeti değerlerini arttırdığını göstermektedir.

Yapılan çalışma kapsamında tüm çamur numunelerinin 10 dakika jel mukavemeti sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek 10 dakika jel mukavemeti değerini %10 luk katkı oranlı B1024 numunesinin 51 lb/100 ft² ile, en düşük değeri ise %4 katkı oranlı B424 numunesinin 0,5 lb/ft² ile verdiği görülmüştür. Düşük katkı oranlarındaki (%4-%8) numunelerdeki değerlerin birbirlerine daha yakın olduğu ve %9 ile %10 luk katkı oranlarındaki numunelerin değerlerinin hızla arttığı gözlemlenmiştir. Bentonitin artan katkı oranlarında 10 dakika jel mukavemeti değerlerini arttırdığını göstermektedir.

24 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri filtrasyon ölçüm sonuçları: Çalışma kapsamında, 24 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamurlarının filtrasyon miktarı üzerine yaptığı etkiler incelenmiştir. %4-%10 ağırlık oranlarında katkılanan maddelerin filtrasyon üzerine yaptığı etkiler Şekil 5.12'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.12. 24 saat bentonitli numunelerin filtrasyon değerleri

Şekil 5.12 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarında en düşük filtrasyon değerini %10 katkı oranlı B1024 numunesinin 10

ml ile, en yüksek filtrasyon ölçümünü ise %4 katkı oranlı B424 numunesinin 18,5 ml ile verdiği görülmektedir. Bu durum, bentonitin çamurun filtrasyon miktarını azaltan bir özellik taşıdığını göstermektedir.

5.1.2. 16 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri reolojik ve filtrasyon ölçümleri

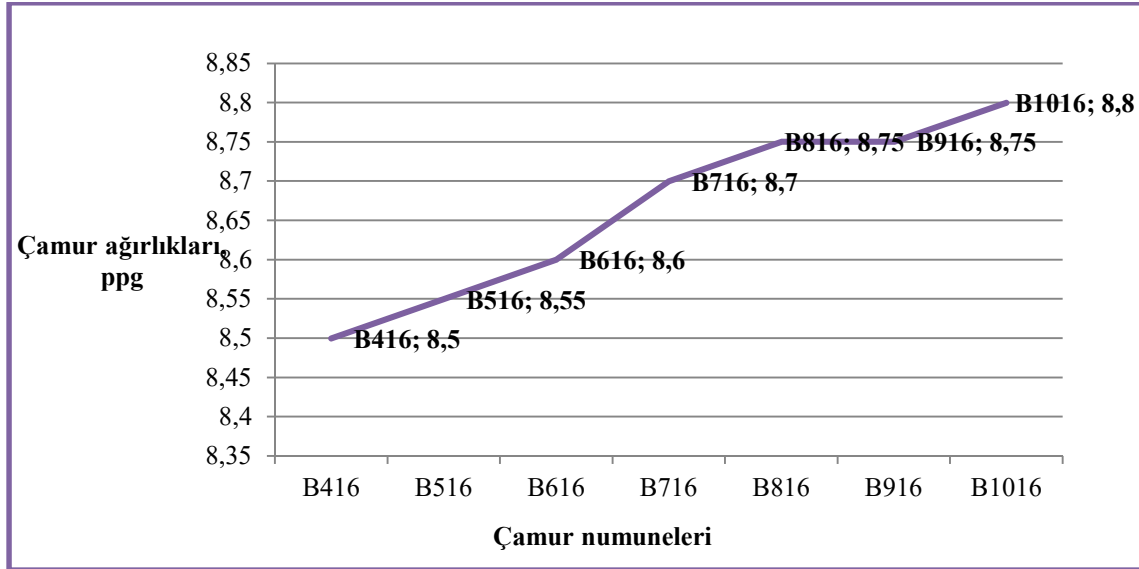
Yapılan deneysel çalışmalarda, kullanılan bentonitin, 16 saat yaşlandırma süresinde, sondaj çamurunun reolojik ve de filtrasyon parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. İncelenen parametreler, çamur ağırlığı, viskozimetre ekran okumaları, plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti, 10 dakika jel muakvemeti ve filtrasyon (sıvı kaybı)dır. Çizelge 5.4’de 16 saat yaşlandırma süreli sondaj çamuru numunelerinin reolojik ve de filtrasyon ölçümleri görülmektedir.

Çizelge 5.4. 16 saat bentonitli çamur ölçümleri*

Numune	Çamur Ağırlığı (ppg)	Filtrasyon (ml)	AV (cP)	PV (cP)	YP (lb/100ft ²)	10 sn jel muk. (lb/100ft ²)	10 dk jel muk. (lb/100ft ²)
B416	8,5	17	6	5	2	1	1
B516	8,55	16,5	8,5	7	3	3	3
B616	8,6	15	16	11	10	3	3
B716	8,7	13,5	30	21	18	4	4
B816	8,75	12	59	43	32	7	9
B916	8,75	11,5	87	44	86	15	23
B1016	8,8	10,5				54	67

16 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri çamur ağırlıkları ölçüm sonuçları: Çalışma kapsamında kullanılan bentonitin, 16 saat yaşlandırma süresinde, su bazlı sondaj çamurunun çamur ağırlığı üzerine etkisi incelenmiştir. %4-%10 ağırlık oranlarında kullanılan bentonitin çamur ağırlığına etkisi aşağıdaki Şekil 5.13’de gösterilmiştir.

Şekil 5.13 incelediğinde, en düşük çamur ağırlığını 8,5 ppg ile %4 katkı B416 numunesinin, en yüksek çamur ağırlığını ise 8,8 ppg ile %10 katkı B1016 numunesinin verdiği görülmüş olup çamur numunelerinin çamur ağırlıklarının düzenli bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bentonitin çamur ağırlığını arttırıcı bir özellik taşıdığını göstermektedir.



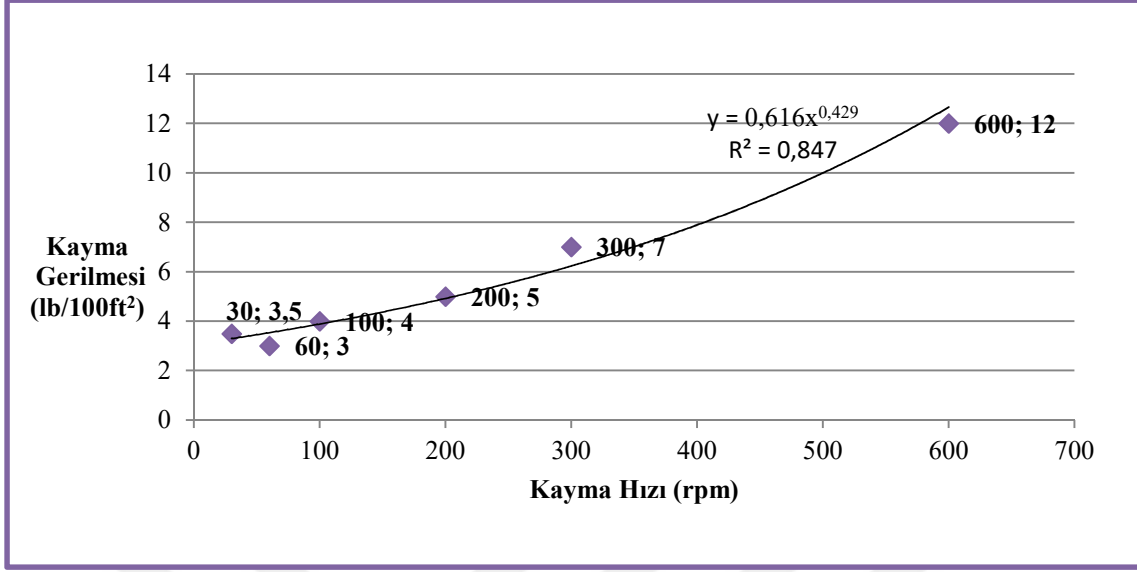
Şekil 5.13. 16 saat bentonitli numunelerinin çamur ağırlıkları

16 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri viskozimetre ekran okumaları: Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan bentonitin, 16 saat yaşlandırma süresinde, su bazlı sondaj çamurunun viskozimetre ekran okumaları üzerine etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.5’de 16 saat yaşlandırma süreli sondaj çamuru numunelerinin viskozimetre ekran okumaları verilmiştir.

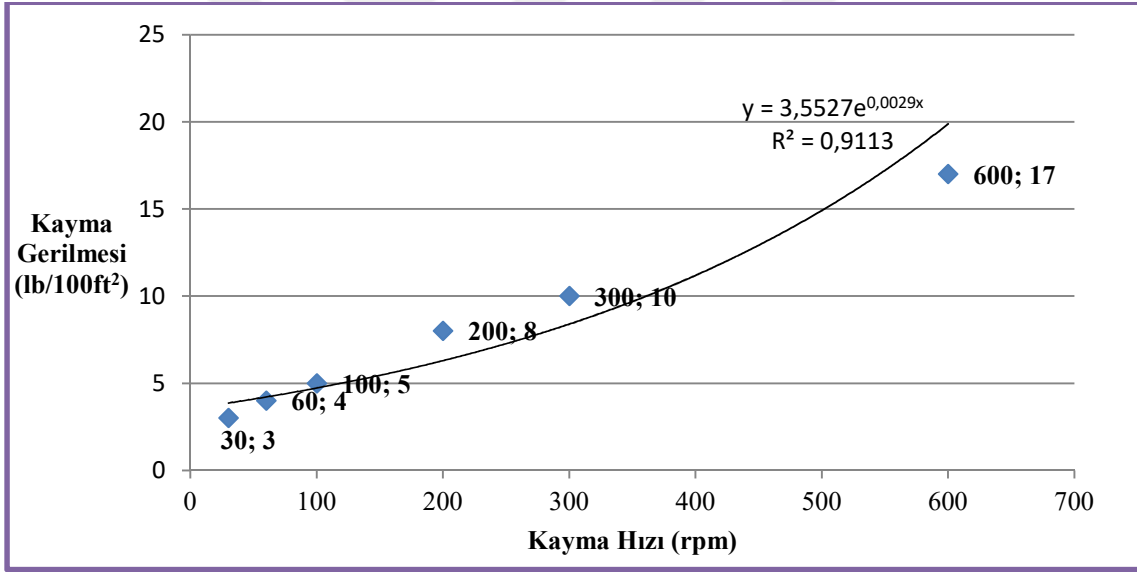
Çizelge 5.5. 16 saat bentonitli çamur ölçümleri

Numune	600 rpm	300 rpm	200 rpm	100 rpm	60 rpm	30 rpm
B416	12	7	5	4	3	3,5
B516	17	10	8	5	4	3
B616	32	21	15,5	9	7	5
B716	60	39	30	20	15	9
B816	118	75	60	42	31	21
B916	174	130	108	78	61	46
B1016	>330	299	260	205	173	139

Deneysel çalışmalar kapsamında hazırlanan 16 saat yaşlandırma süreli su bazlı sondaj çamur numunelerine ait viskozimetre ekran okumaları kullanılarak hazırlanan Kayma Hızı- Kayma Gerilmesine ait reogram grafikleri yorumları ile birlikte aşağıda sırası ile verilmiştir. Şekil 5.14 incelendiğinde, B416 çamur numunesinin artan rpm değerlerinde verdiği ekran okumalarının da arttığı görülmektedir. B416 çamur numunesi 600rpm ekran okumasında 12 değerini verirken 30 rpm ekran okumasında ise 3,5 değerini vermiştir. Şekil 5.14’ten elde edilen eğim denklemi $y=0,616x^{0,429}$, korelasyon katsayısı R^2 ise 0,847 dir.

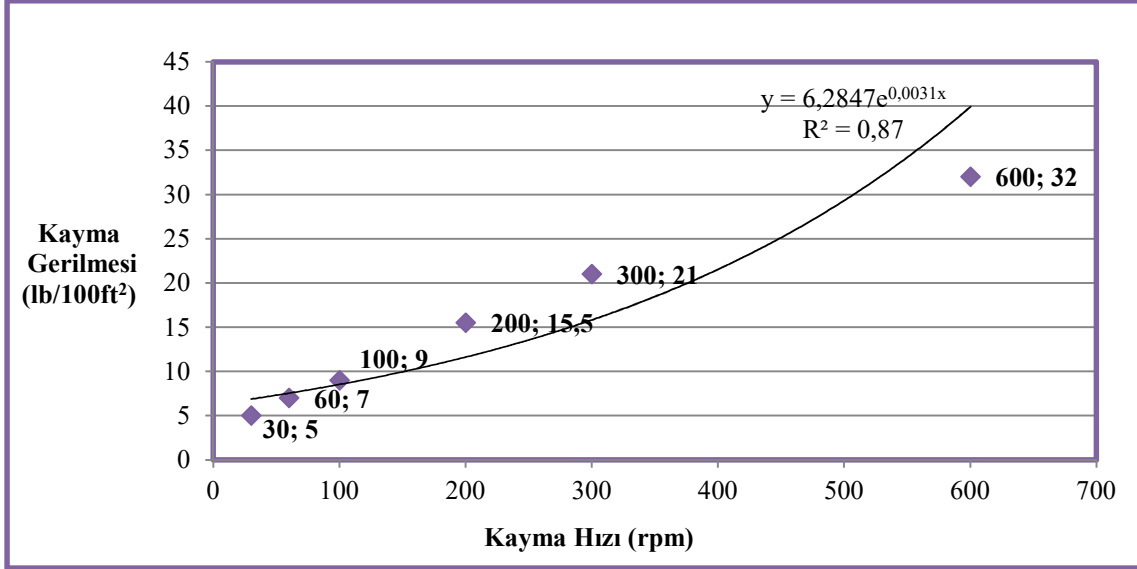


Şekil 5.14. B416 numunesinin reogram grafiği



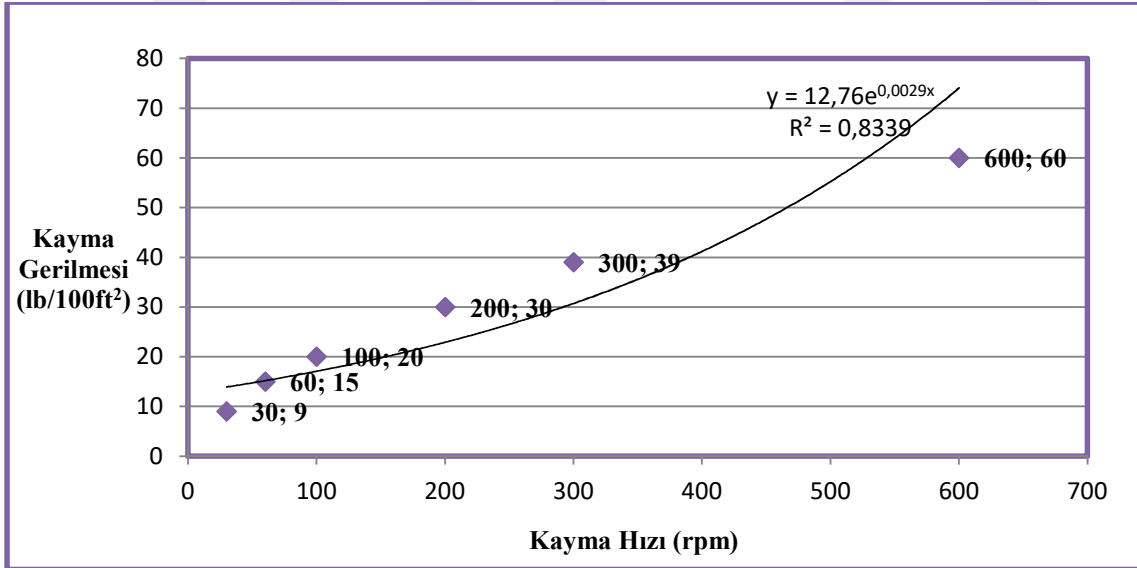
Şekil 5.15. B516 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.15 incelendiğinde, B516 sondaj çamur numunesinin viskozimetre ekran okumalarından elde edilen sonuçların en yüksekinin 600 rpm'de 17 ile, en düşük sonucun ise 30 rpm'de 3 ile alındığı görülmüş olup elde edilen eğim denklemi $y=3,55e^{0,002x}$, korelasyon katsayısı R^2 ise 0,911 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.16. B616 numunesinin reogram grafiği

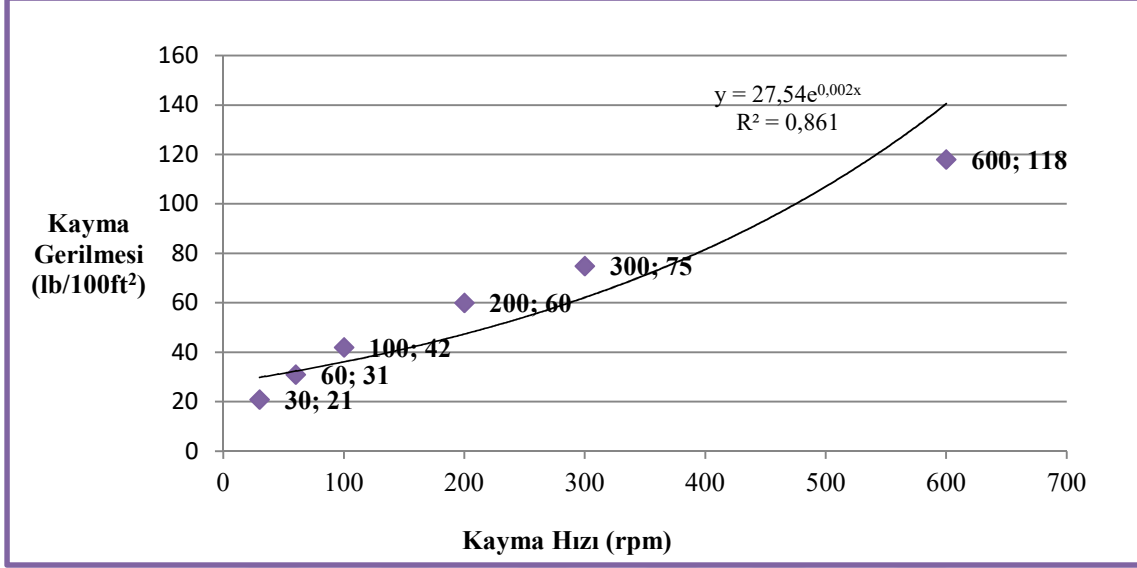
Şekil 5.16 incelendiğinde, B616 sondaj çamuru numunesinin, en yüksek değerini 600 rpm okumasında 32 ile, en düşük değeri ise 30 rpm okumasında 5 ile verdiği görülmüş olup grafikten elde edilen eğim denklemi $y=6,284e^{0,003x}$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,87$ olmuştur.



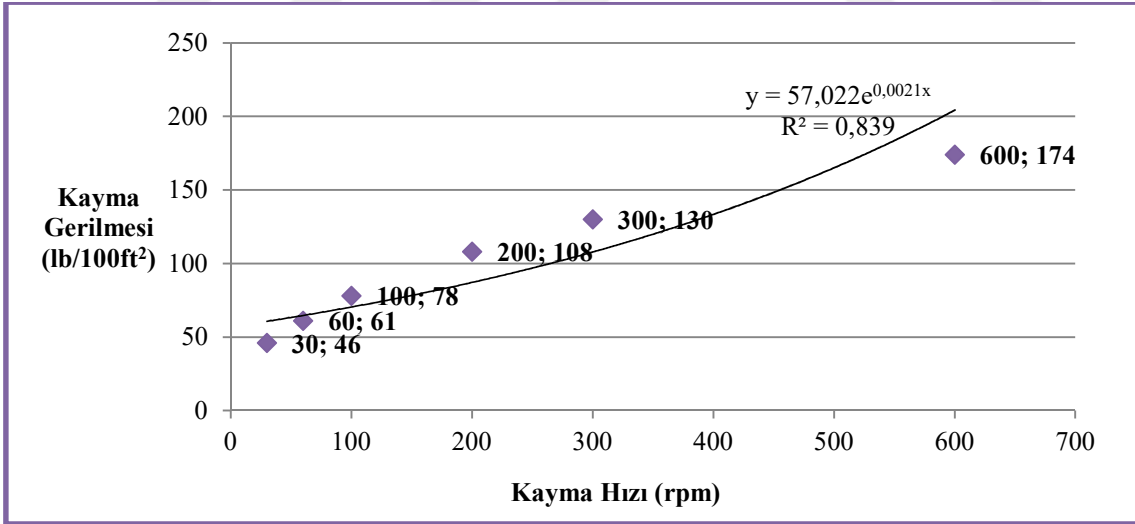
Şekil 5.17. B716 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.17 incelendiğinde, B716 sondaj çamuru numunesinin, en yüksek değerini 600 rpm okumasında 60 ile, en düşük değeri ise 30 rpm okumasında 9 ile verdiği görülmüş olup grafikten elde edilen eğim denklemi $y=12,76e^{0,002x}$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,833$ olmuştur.

B816 sondaj çamuru numunesinden elde edilen sonuçlar ile hazırlanan Şekil 5.18'ye göre, en yüksek değeri 600 rpm okumasında 118 ile, en düşük değeri ise 30 rpm okumasında 21 ile verdiği görülmüştür. Eğim denklemi $y=27,54e^{0,002x}$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,861$ olarak belirlenmiştir.

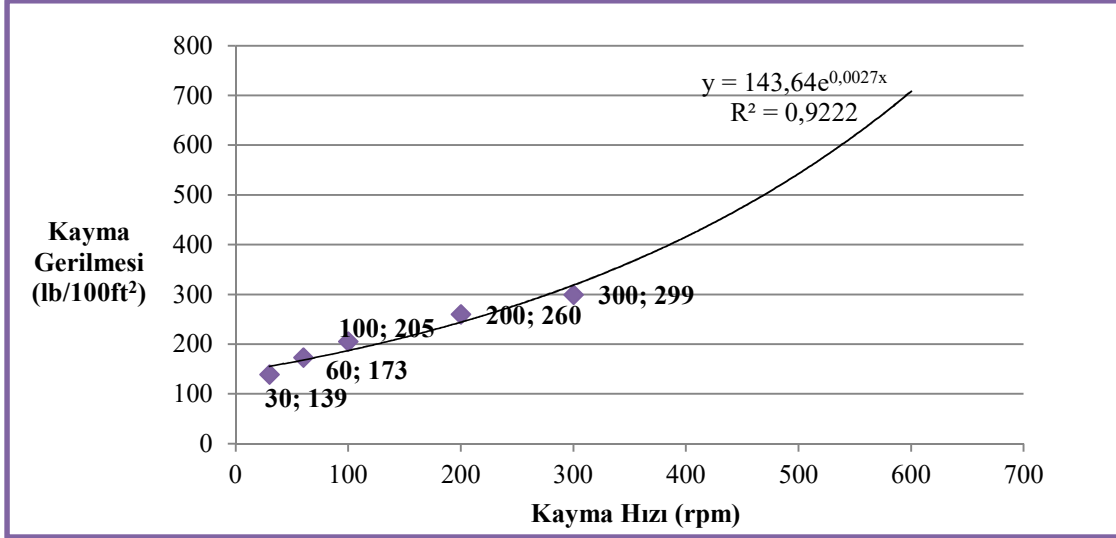


Şekil 5.18. B816 numunesinin reogram grafiği



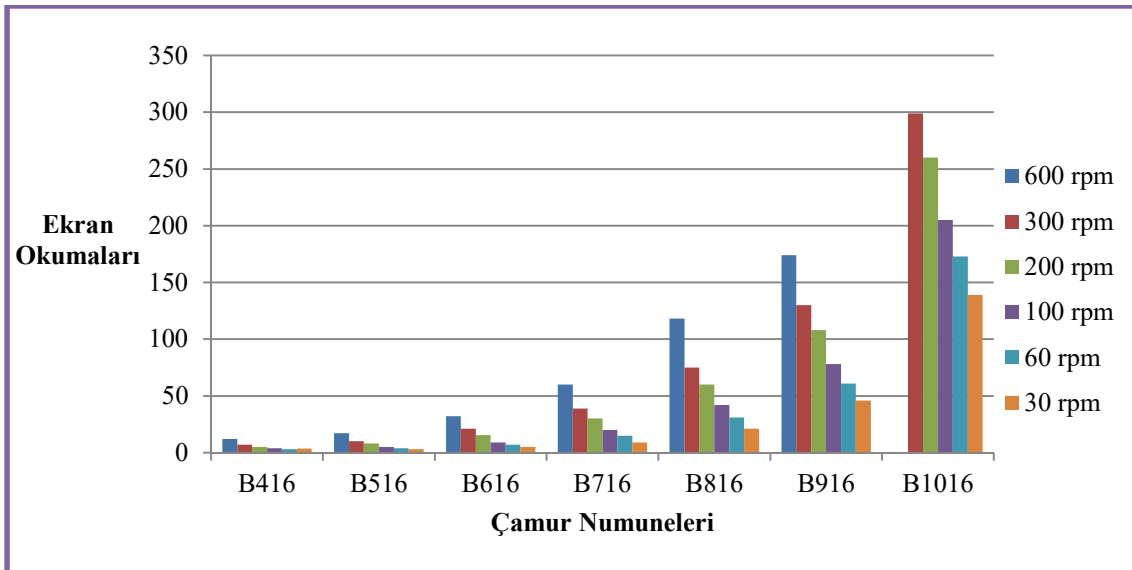
Şekil 5.19. B916 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.19 incelendiğinde, B916 çamur numunesinin viskozimetre ekran okumasında en yüksek değeri 600 rpm'de (174) verdiği görülmüştür. 30 rpm viskozite ölçümünde en düşük değeri (46) vermiştir. Grafikten elde edilen eğim denklemi $y=57,02e^{0,002x}$, korelasyon sabiti $R^2=0,839$ olmuştur.



Şekil 5.20. B1016 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.20 incelendiğinde, %10 bentonit ilavesi ile hazırlanan 16 saat yaşlandırma süreli çamur numunesi B1016'nin, grubundaki diğer bentonitli çamur numuneleri ile benzer şekilde davranış sergilediği; ancak 600 rpm ekran okuma değerinin oldukça yüksek çıkmasından dolayı grafikte karşılık gelen değerinin olmadığı görülmüştür. Dolayısı ile okunabilen en yüksek viskozimetre ekran okuma değerinin 300 rpm'de 299 olarak görülmüştür. Grafikten $y=143,6e^{0,002x}$ denklemi ve $R^2=0,922$ korelasyon katsayısı elde edilmiştir.

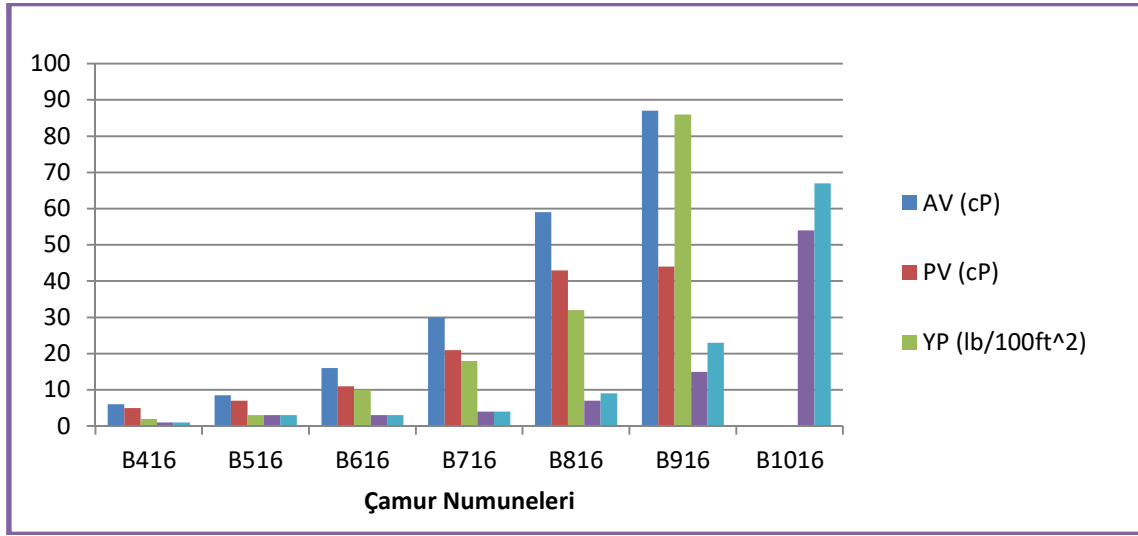


Şekil 5.21. 16 saat bentonitli numunelerin viskozimetre ekran okumaları

Şekil 5.21 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının 30, 60, 100, 200, 300 ve 600 rpm ekran okumalarındaki en düşük 600

rpm okumasını %4 katkılı B416 numunesinin 12 ile verdiği görülmüştür. %10 katkılı çamur numunesi viskozimetre ekran okumasının cihazda kadranda 330 değerinden daha yüksek bir değer verdiği görülmüştür. Bu durum, bentonitin artan katkı miktarlarında çamur numunelerinin viskozimetre ekran okuma değerini arttırdığını göstermektedir.

Şekil 5.21 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarından %6-%10 arasındaki tüm çamur numunelerinin 600 rpm okumalarının standart referans değeri olan min 30 değerine uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 5.22. 16 saat bentonitli numunelerin reolojik parametreleri

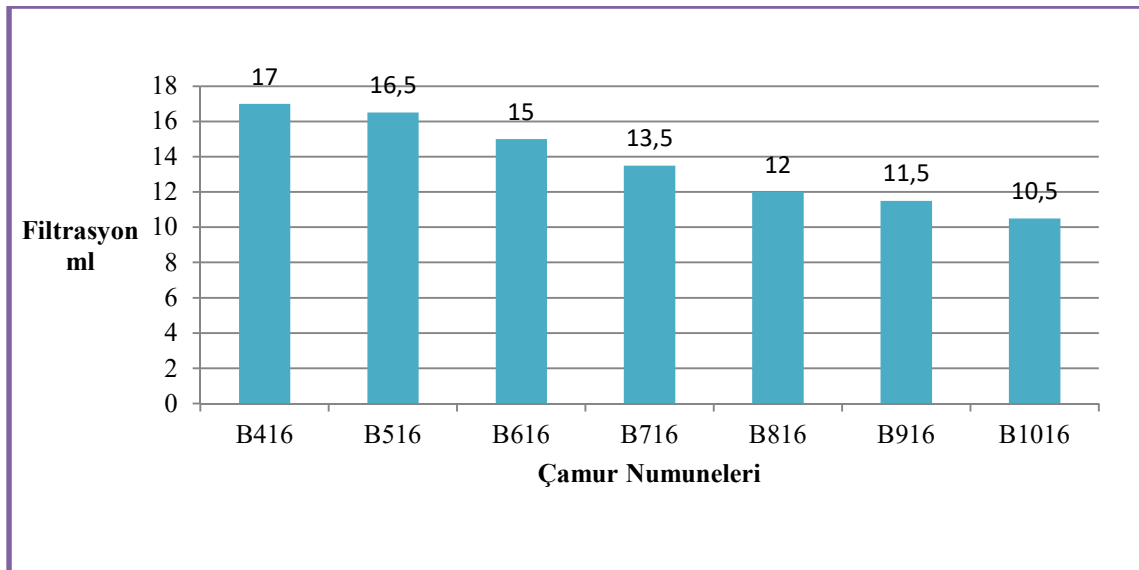
Şekil 5.22 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası, değerlerinin B916 çamur numunesinde diğer numunelere kıyasla daha yüksek olduğu, en düşük plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerini ise B416 çamurunun verdiği görülmektedir. B1016 çamur numunesine ait plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerleri numunenin 600 rpm ekran okumasında cihazda kadranda görülemeyecek kadar yüksek bir değer verdiği için hesaplanamamıştır. Bu durumun bentonitin, plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinde artırıcı bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.22 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma süreli bentonitli su bazlı sondaj çamurlarının YP/PV oranları değerlendirildiğinde %4-%9 katkılı tüm çamur numunelerinin standart referans değeri olan maximum 3 değerine uygunluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

Ayrıca, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının 10 sn jel mukavemeti değerleri incelendiğinde en yüksek değeri B1016 numunesinin $54 \text{ lb}/100 \text{ ft}^2$ ile, en düşük 10 sn jel mukavemeti değerinin ise $1 \text{ lb}/100 \text{ ft}^2$ değerli ile B416 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir. Düşük katkı oranlarındaki (%4-%8) numunelerdeki değerlerin birbirlerine daha yakın olduğu ve %9 ile %10'luk katkı oranlarındaki numunelerin değerlerinin hızla arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum bentonitin artan katkı oranlarında 10 sn jel mukavemeti değerlerini arttırdığını göstermektedir.

Yapılan çalışma kapsamında tüm çamur numunelerinin 10 dakika jel mukavemeti sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek 10 dakika jel mukavemeti değerini %10 luk katkı oranlı B1016 numunesinin $67 \text{ lb}/100 \text{ ft}^2$ ile, en düşük değeri ise %4 katkı oranlı B416 numunesinin $1 \text{ lb}/\text{ft}^2$ ile verdiği görülmüştür. Düşük katkı oranlarındaki (%4-%8) numunelerdeki değerlerin birbirlerine daha yakın olduğu ve %9 ile %10 luk katkı oranlarındaki numunelerin değerlerinin hızla arttığı gözlemlenmiştir. Bentonitin artan katkı oranlarında 10 dakika jel mukavemeti değerlerini arttırdığını göstermektedir.

16 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamur numuneleri filtrasyon ölçüm sonuçları: Çalışma kapsamında, 16 saat yaşlandırma süreli bentonitli sondaj çamurlarının filtrasyon miktarı üzerine yaptığı etkiler incelenmiştir. %4-%10 ağırlık oranlarında katkılanan maddelerin filtrasyon üzerine yaptığı etkiler Şekil 5.23'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Bentonitli numunelerin filtrasyon değerleri

Şekil 5.23 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarında en düşük filtrasyon değerini %10 katkı oranlı B1016 numunesinin 10,5 ml ile, en yüksek filtrasyon ölçümünü ise %4 katkı oranlı B416 numunesinin 17 ml ile verdiği görülmektedir. Bu durum, bentonitin çamurun filtrasyon miktarını azaltan bir özellik taşıdığını göstermektedir.

5.1.3. 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri reolojik ve filtrasyon ölçümleri

Yapılan deneysel çalışmalarda, bentonite, bentonitin ağırlıkça %1'i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, 24 saat yaşlandırma süresinde, sondaj çamurunun reolojik ve de filtrasyon parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. İncelenen parametreler, çamur ağırlığı, viskozimetre ekran okumaları, plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti, 10 dakika jel mukavemeti ve filtrasyon (sıvı kaybı)dır. Çizelge 5.6'da 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamuru numunelerinin reolojik ve de filtrasyon ölçümleri görülmektedir.

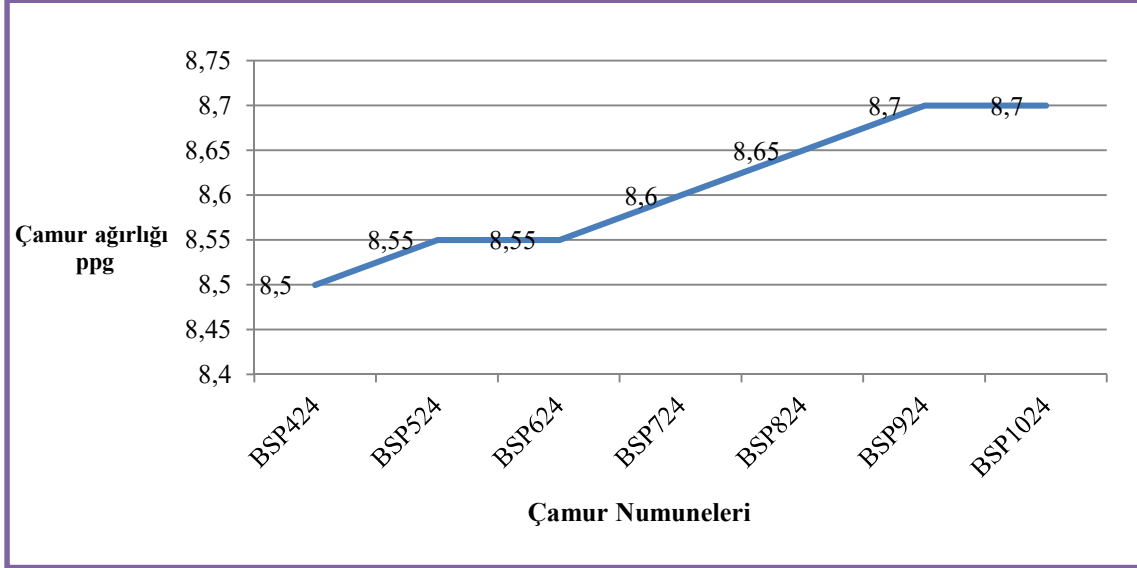
Çizelge 5.6. 24 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri*

Numune	Çamur Ağırlığı (ppg)	Filtrasyon (ml)	AV (cP)	PV (cP)	YP (lb/100ft ²)	10 sn jel muk. (lb/100ft ²)	10 dk jel muk. (lb/100ft ²)
BSP424	8,5	18	26,5	14	25	15	15
BSP524	8,55	15	61,5	15	93	45	43
BSP624	8,55	13,5	108,5	23	171	87	91
BSP724	8,6	7,5				130	129
BSP824	8,65	6				186	190
BSP924	8,7					288	194
BSP1024	8,7					>330	>330

24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri çamur ağırlıkları: Yapılan deneysel çalışmalarda, bentonite, ağırlıkça bentonitin %1'i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, 24 saat yaşlandırma süresinde, çamur ağırlığına etkisi incelenmiştir. Ağırlıkça %4-%10 katkı oranlarındaki çamur numunelerinden elde edilen çamur ağırlıkları aşağıdaki Şekil 5.24'de gösterilmiştir.

Şekil 5.24 incelendiğinde, en düşük çamur ağırlığını 8,5 ppg ile %4 katkılı BSP424 numunesinin, en yüksek çamur ağırlığını ise %10 katkılı BS924 ve BSP1024 numunelerinin 8,75 ppg ile verdiği görülmüş olup çamur numunelerinin çamur ağırlıklarının düzenli bir

şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sodyum poliakrilatın, 24 saat yaşlandırma süresinde, çamur ağırlığını arttırıcı bir özellik taşıdığını göstermektedir.



Şekil 5.24. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları

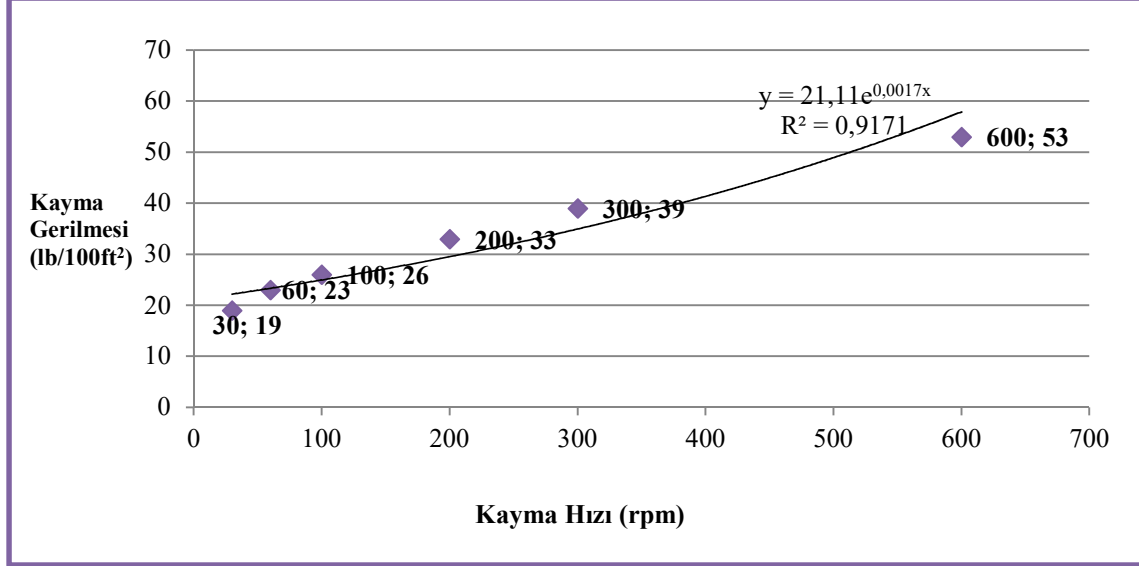
24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri viskozimetre ekran okumaları: Deneysel çalışmalar kapsamında bentonite, ağırlıkça bentonitin %1'i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, 24 saat yaşlandırma süresinde, su bazlı sondaj çamurunun viskozimetre ekran okumaları üzerine etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.7'de 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamuru numunelerinin viskozimetre ekran okumaları verilmiştir.

Çizelge 5.7. 24 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri

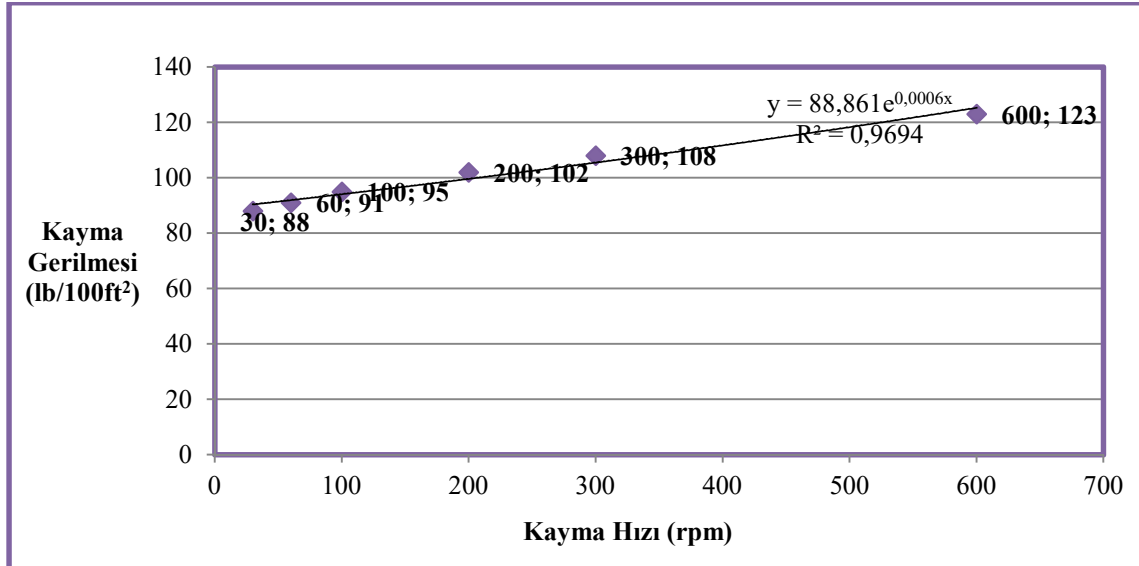
Numune	600 rpm	300 rpm	200 rpm	100 rpm	60 rpm	30 rpm
BSP424	53	39	33	26	23	19
BSP524	123	108	102	95	91	88
BSP624	217	194	189	179	174	168
BSP724				317	306	303
BSP824						
BSP924						
BSP1024						

Deneysel çalışmalar kapsamında hazırlanan 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamur numunelerine ait viskozimetre ekran okumaları kullanılarak hazırlanan Kayma Hızı- Kayma Gerilmesine ait reogram grafikleri yorumları ile birlikte aşağıda sırası ile verilmiştir.

Şekil 5.25 incelendiğinde, BSP424 çamur numunesinin viskozimetre ekran okumalarının 30 rpm'den 600 rpm'e kadar artış gösterdiği ve en yüksek değeri 600 rpm'de (53) verdiği görülmüştür. Grafikten elde edilen eğim denklemi $y=21,11e^{0,0017x}$, korelasyon sabiti $R^2=0,917$ olmuştur.

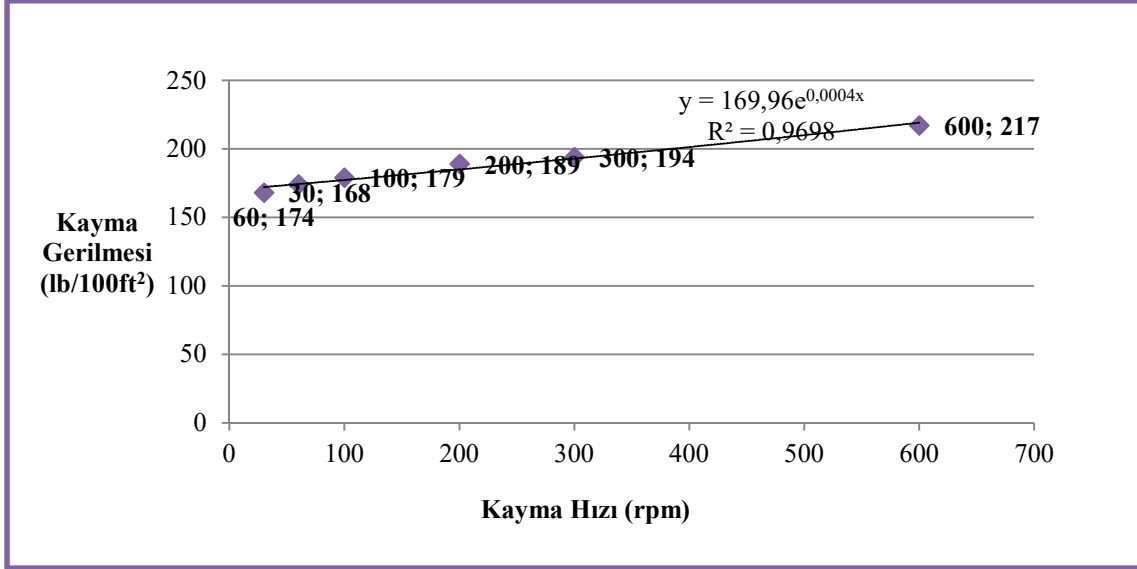


Şekil 5.25. BSP424 numunesinin reogram grafiği



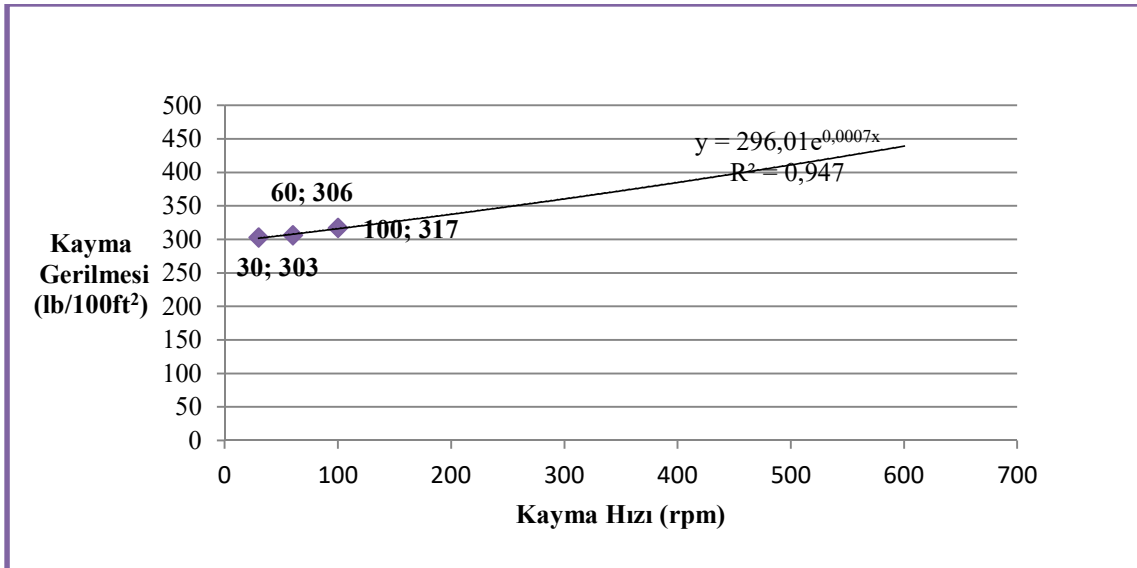
Şekil 5.26. BSP524 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.26 incelendiğinde, BSP524 sondaj çamuru numunesinden elde edilen sonuçlara göre, en yüksek değeri 600 rpm okumasında 123 ile, en düşük değeri ise 30 rpm okumasında 88 ile verdiği görülmüştür. Eğim denklemi $y=88,86e^{0,0006x}$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,969$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.27. BSP624 numunesinin reogram grafiği

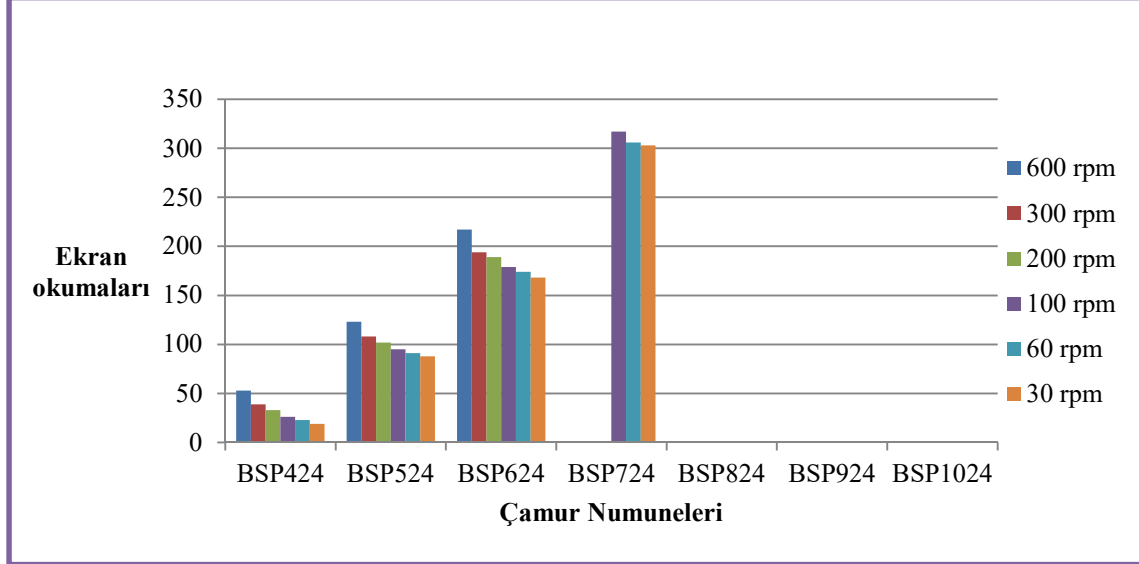
Şekil 5.27 incelendiğinde, BSP624 sondaj çamuru numunesinden elde edilen sonuçlara göre, en yüksek değeri 600 rpm okumasında 217 ile, en düşük değeri ise 30 rpm okumasında 174 ile verdiği görülmüştür. Eğim denklemi $y=169,9e^{0,000x}$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,969$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.28. BSP724 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.28 incelendiğinde, BSP724 sondaj çamuru numunesinin, 200 rpm, 300 rpm ve 600 rpm devirde değerlerinin okunamadığı görülmüştür. Bu neden ile numuneden elde edilen ve okunabilen en yüksek viskozimetre ekran okuma değeri 100 rpm'de 317 olmuştur. Numuneden elde edilen en düşük viskozimetre ekran okuma değeri ise 30 rpm'de 303 olarak

elde edilmiştir. Grafikten elde edilen eğim denklemi $y=296,0e^{0,000x}$ ve korelasyon katsayısı $R^2=0,947$ olarak belirlenmiştir.

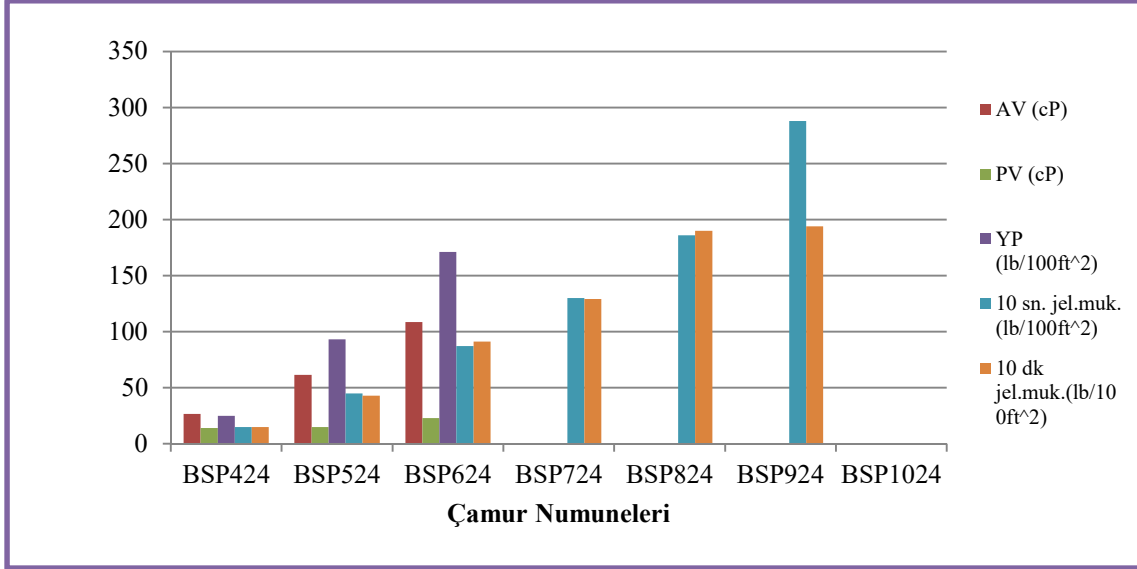


Şekil 5.29. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin viskozimetre ekran okumaları

Şekil 5.29 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının 30, 60, 100, 200, 300 ve 600 rpm ekran okumalarındaki en yüksek 600 rpm ekran okuma değerini BSP624 numunesinin 217 ile, en düşük 600 rpm ekran okuma değerini BSP424 numunesinin 53 ile verdiği görülmüştür. %7 katkılı BSP724 numunesinin 600 rpm, 300 rpm ve 200 rpm okumalarının cihazda kadranda görülemeyecek kadar yüksek değer verdiği ancak 100 rpm, 60 rpm ve 30 rpm değerlerinin okunabildiği görülmüştür.

Şekil 5.29 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının 600 rpm okumaları değerlendirildiğinde, %4-%6 katkılı çamur numunelerinin standart referans değeri olan minimum 30 değerine uygunluk sağladığı görülmüştür.

Bununla birlikte ağırlıkça %8-%10 katkı oranlarındaki numunelerin tüm rpm okumaları çok yüksek değerler verdiği için cihazda ekranda görülememiştir. Bu durum, bentonite katkılanan sodyum poliakrilat kimyasalının artan katkı miktarlarında çamur numunelerine ait viskozimetre ekran okuma değerini arttırdığını göstermektedir.



Şekil 5.30. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreleri

Şekil 5.30 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinin BSP624 çamur numunesinde diğer düşük katkılı (%4-%5) numunelere kıyasla daha yüksek olduğu, en düşük plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerini ise BSP424 çamur numunesinin verdiği görülmektedir. Ayrıca, %7-%10 arasındaki katkılı çamur numunelerinin plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinin yüksek viskozimetre ekran okumaları vermelerinden dolayı hesaplanamadığı görülmektedir. Bu durumun bentonite katkılanan sodyum poliakrilatın plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinde üzerinde bir artış sağladığını göstermektedir.

Şekil 5.30 incelendiğinde, 24 saatlik yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının YP/PV oranları değerlendirildiğinde sadece %4 katkılı çamur numunesinin standart referans değeri olan maximum 6 değerine uygunluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

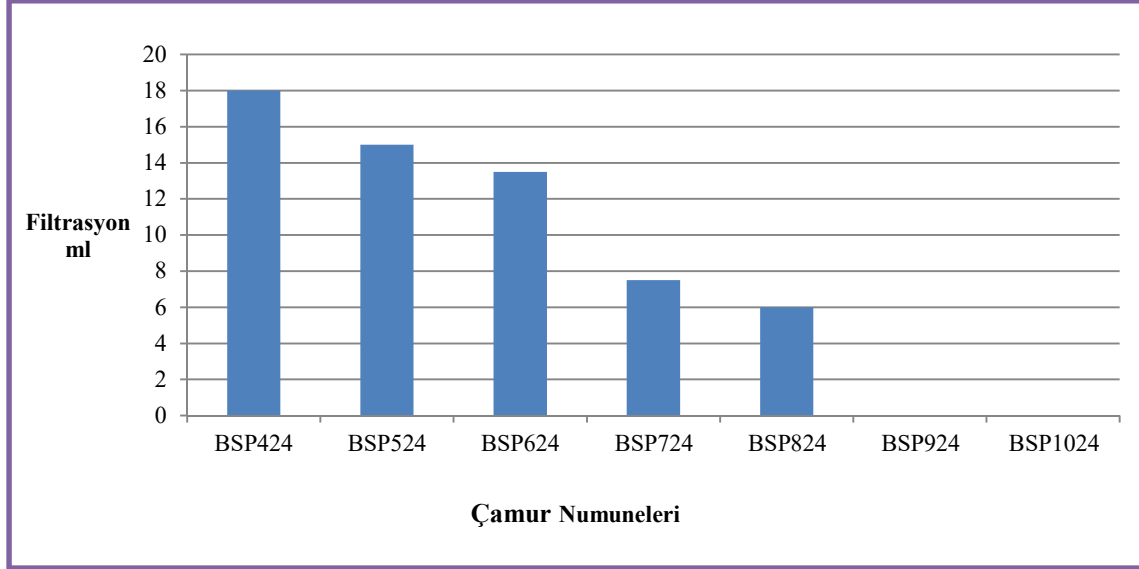
Şekil 5.30'a göre, 24 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının 10 sn jel mukavemeti değerleri incelendiğinde en yüksek değerleri BSP924 numunesinin 288 lb/100ft² ile, en düşük 10 sn jel mukavemeti değerinin ise 15 lb/100ft² değerli ile BSP424 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir. BSP1024 numunesinin 10 sn jel mukavemeti değeri oldukça yüksek çıktığından cihazda ekranda görülememiştir. %4-%10 arasındaki numunelere ait 10 sn jel mukavemeti değerlerinin artan

bentonit ve sodyum poliakrilat katkısı ile beraber hızla artış sergilediği görülmektedir. Bu durum sodyum poliakrilatın 10 sn jel mukavemeti değerlerini arttırıcı bir özellikte olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışma kapsamında tüm çamur numunelerinin 10 dakika jel mukavemeti sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek 10 dakika jel mukavemeti değerini %9 luk katkı oranlı BSP924 numunesinin 194 lb/100 ft² ile, en düşük değeri ise %4 katkı oranlı BSP424 numunesinin 15 lb/ft² ile verdiği görülmüştür. BSP1024 numunesinin 10 dakika jel mukavemeti değeri oldukça yüksek çıktığından cihazda ekranda görülememiştir. %4-%10 arasındaki numunelere ait 10 dakika jel mukavemeti değerlerinin artan bentonit ve sodyum poliakrilat katkısı ile beraber hızla artış sergilediği görülmektedir. Bu durum sodyum poliakrilatın 10 dakika jel mukavemeti değerlerini arttırıcı bir özellikte olduğunu göstermektedir.

24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri filtrasyon ölçüm sonuçları: Yapılan deneysel çalışmalarda, bentonite, bentonitin ağırlıkça %1'i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, 24 saat yaşlandırma süresinde, sondaj çamurunun filtrasyon üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen filtrasyon (sıvı kaybı) noktaları Şekil 5.31'de gösterilmiştir.

Şekil 5.31 incelendiğinde, en yüksek filtrasyon miktarını %4 katkılı BSP424 numunesinin 18 ml ile, en düşük filtrasyon miktarını ise 6 ml ile %8 katkılı BSP824 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum, bentonite katkılanan sodyum poliakrilat kimyasalının su bazlı sondaj çamuru filtrasyon değerini azaltıcı etki sergilediğini göstermektedir.



Şekil 5.31. 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri

5.1.4. 16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri reolojik ve de filtrasyon ölçümleri

Yapılan deneysel çalışmalarda, bentonite, bentonitin ağırlıkça %1'i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, 16 saat yaşlandırma süresinde, sondaj çamurunun reolojik ve de filtrasyon parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir. İncelenen parametreler, çamur ağırlığı, viskozimetre ekran okumaları, plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti, 10 dakika jel mukavemeti ve filtrasyon (sıvı kaybı)dır. Çizelge 5.8'de 16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamuru numunelerinin reolojik ve de filtrasyon ölçümleri görülmektedir.

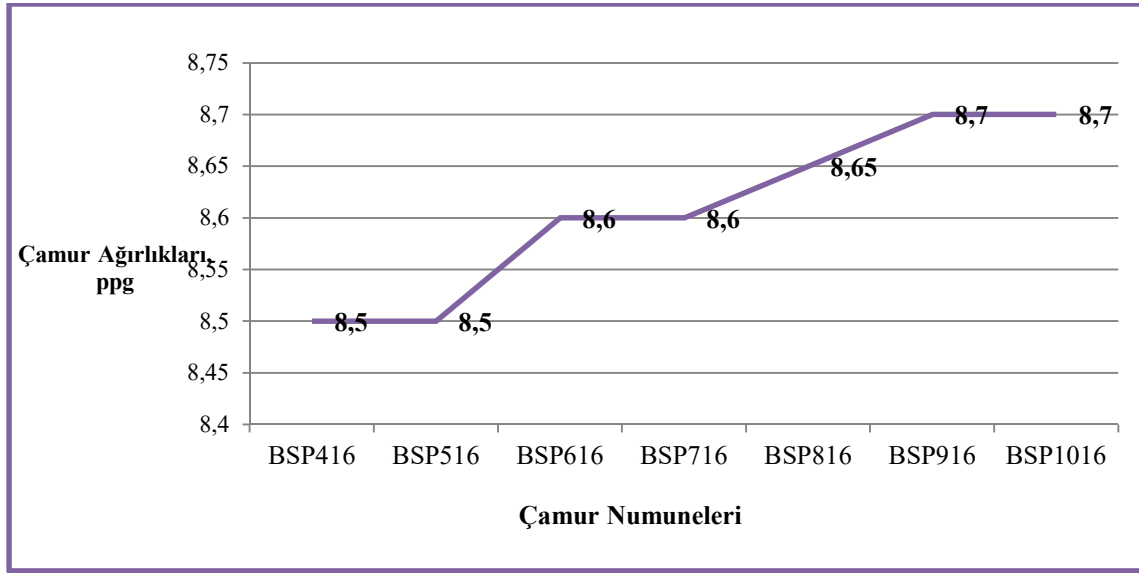
Çizelge 5.8. 16 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri*

Numune	Çamur Ağırlığı (ppg)	Filtrasyon (ml)	AV (cP)	PV (cP)	YP (lb/100ft ²)	10 sn jel muk. (lb/100ft ²)	10 dk jel muk. (lb/100ft ²)
BSP416	8,5	17,5	66	12	42	24	20
BSP516	8,5	16	124	13	98	45	43
BSP616	8,6	14	207	14	179	74	71
BSP716	8,6	11,5	307	12	283	118	112
BSP816	8,65	7	>330	-	-	184	182
BSP916	8,7	7,5	>330	-	-	309	304
BSP1016	8,7	-	>330	-	-	286	245

16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri çamur ağırlıkları: Yapılan deneysel çalışmalarda, bentonite, bentonitin ağırlıkça %1'i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, su bazlı sondaj çamurunun çamur ağırlığı üzerindeki etkisi

incelenmiştir. Ağırlıkça %4-%10 katkı oranlarındaki çamur numunelerinden elde edilen çamur ağırlıkları aşağıdaki Şekil 5.32’de gösterilmiştir.

Şekil 5.32 incelendiğinde, en düşük çamur ağırlığını 8,5 ppg ile %4 katkılı BSP416 numunesinin, en yüksek çamur ağırlığını ise %10 katkılı BSP1016 numunesinin 8,7 ppg ile verdiği görülmüş olup çamur numunelerinin çamur ağırlıklarının düzenli bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. .Bu durum, sodyum poliakrilatın, 16 saat yaşlandırma süresinde, çamur ağırlığını artırıcı bir özellik taşıdığını göstermektedir.



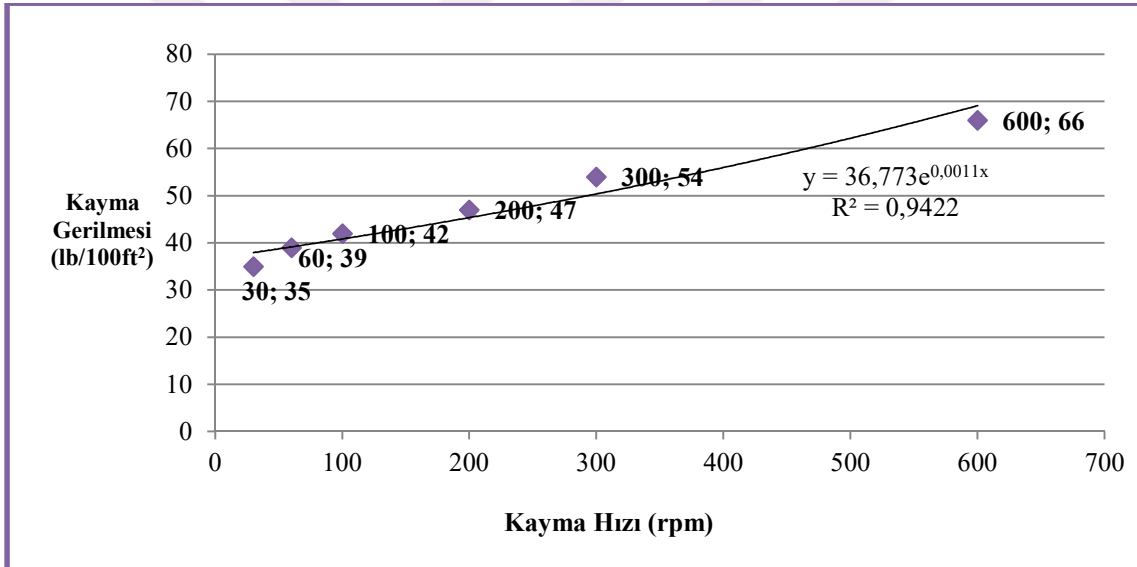
Şekil 5.32. 16 saat sodyum poliakrilatlı çamur numunelerin çamur ağırlıkları

16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri viskozimetre ekran okumaları: Deneysel çalışmalar kapsamında bentonite, ağırlıkça bentonitin %1’i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, 16 saat yaşlandırma süresinde, su bazlı sondaj çamurunun viskozimetre ekran okumaları üzerine etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.9’da 16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamuru numunelerinin viskozimetre ekran okumaları verilmiştir.

Çizelge 5.9. 16 saat sodyum poliakrilatlı çamur ölçümleri

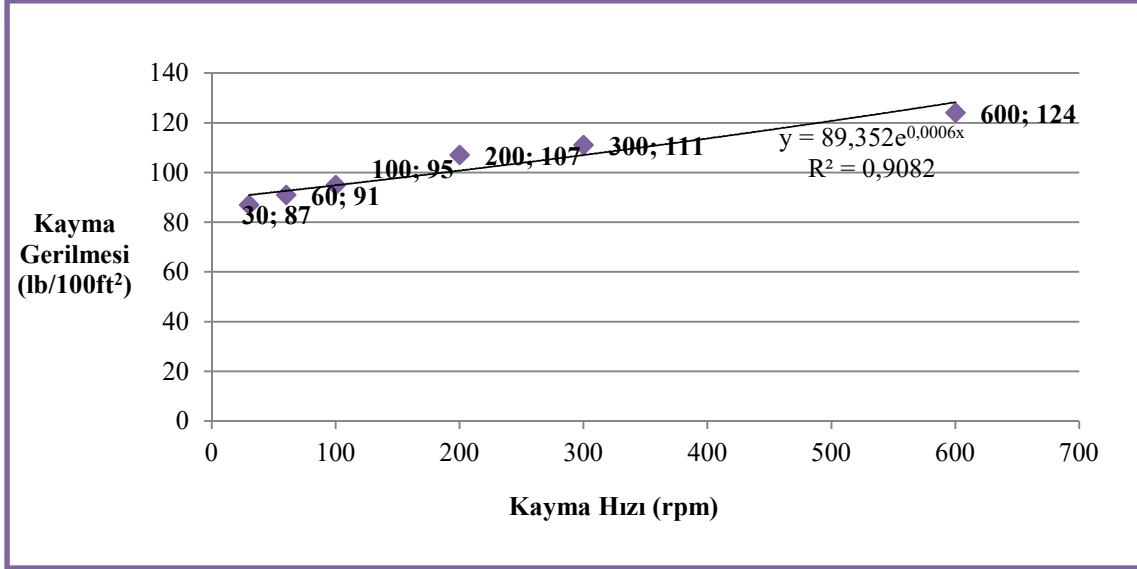
Numune	600 rpm	300 rpm	200 rpm	100 rpm	60 rpm	30 rpm
BSP416	66	54	47	42	39	35
BSP516	124	111	107	95	91	87
BSP616	207	193	185	172	166	164
BSP716	307	295	283	273	267	265
BSP816	>330	>330	>330	>330	>330	>330
BSP916	>330	>330	>330	>330	>330	>330
BSP1016	>330	>330	>330	>330	>330	>330

Deneysel çalışmalar kapsamında hazırlanan 16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamur numunelerine ait viskozimetre ekran okumaları kullanılarak hazırlanan Kayma Hızı- Kayma Gerilmesine ait reogram grafikleri yorumları ile birlikte aşağıda sırası ile verilmiştir.



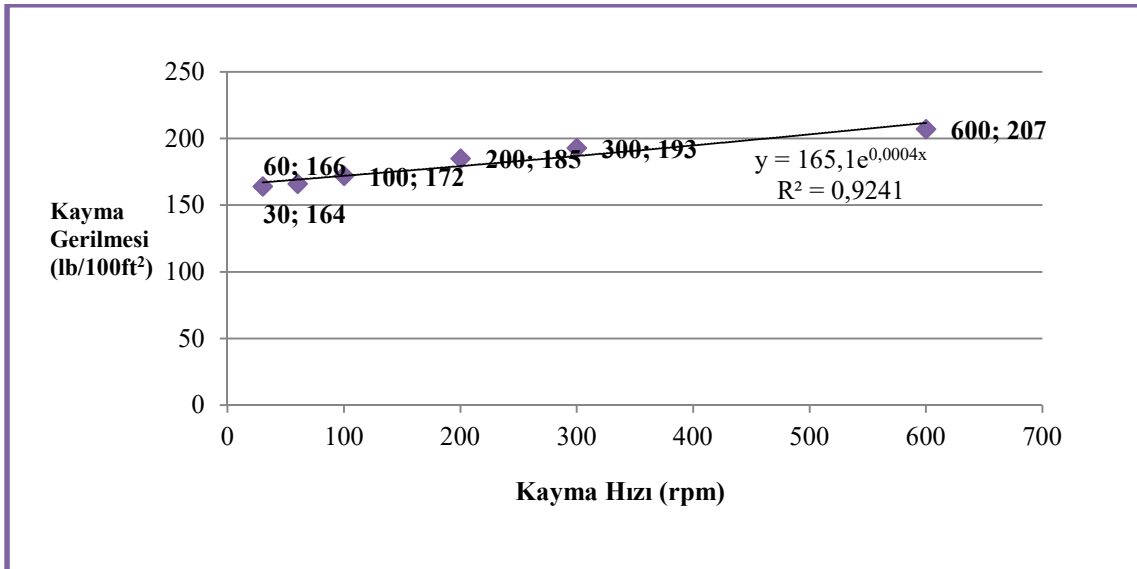
Şekil 5.33. BSP416 numunesinin reogram grafiği

Şekil 5.33 incelendiğinde, BSP416 çamur numunesinin viskozimetre ekran okumalarının 30 rpm'den 600 rpm'e kadar artış gösterdiği ve en yüksek değeri 600 rpm'de (66) verdiği görülmüştür. 30 rpm viskozimetre ekran okumasında en düşük değeri (35) vermiştir. Grafikten elde edilen eğim denklemi $y=36,77e^{0,001x}$, korelasyon sabiti $R^2=0,942$ olmuştur.



Şekil 5.34. BSP516 numunesinin reogram grafiği

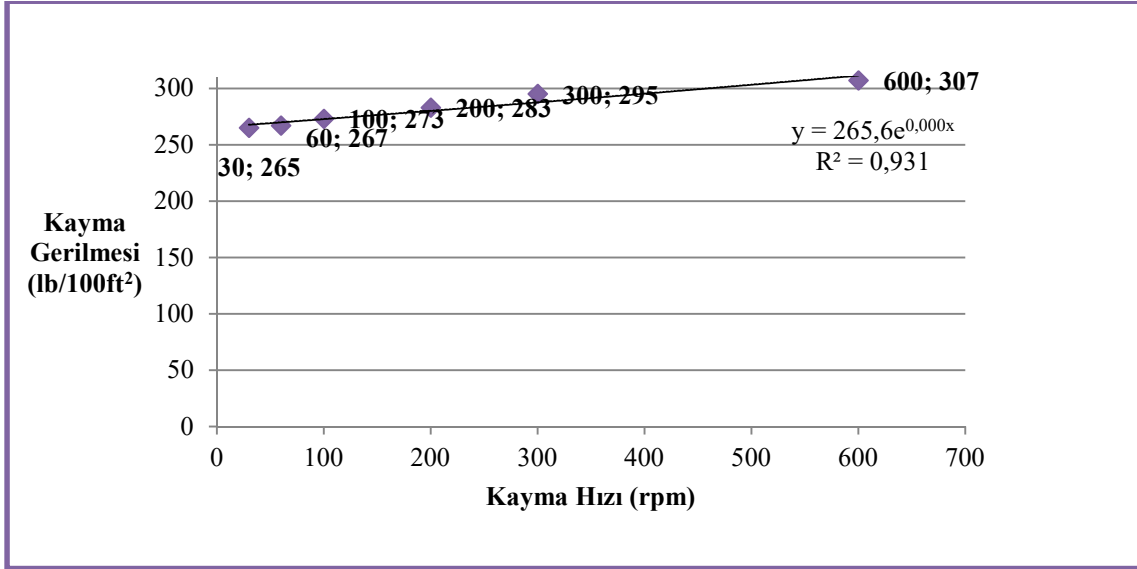
Şekil 5.34 incelendiğinde, BSP516 çamur numunesinin viskozimetre ekran okuma değerlerinin 30 rpm'den 600 rpm'e kadar artış gösterdiği ve en yüksek değeri 600 rpm'de (124) verdiği görülmüştür. 30 rpm viskozimetre ekran okumasında en düşük değeri (87) vermiştir. Grafikten elde edilen eğim denklemi $y = 89,35e^{0,0006x}$, korelasyon sabiti $R^2 = 0,908$ olmuştur.



Şekil 5.35. BSP616 numunesinin reogram grafiği

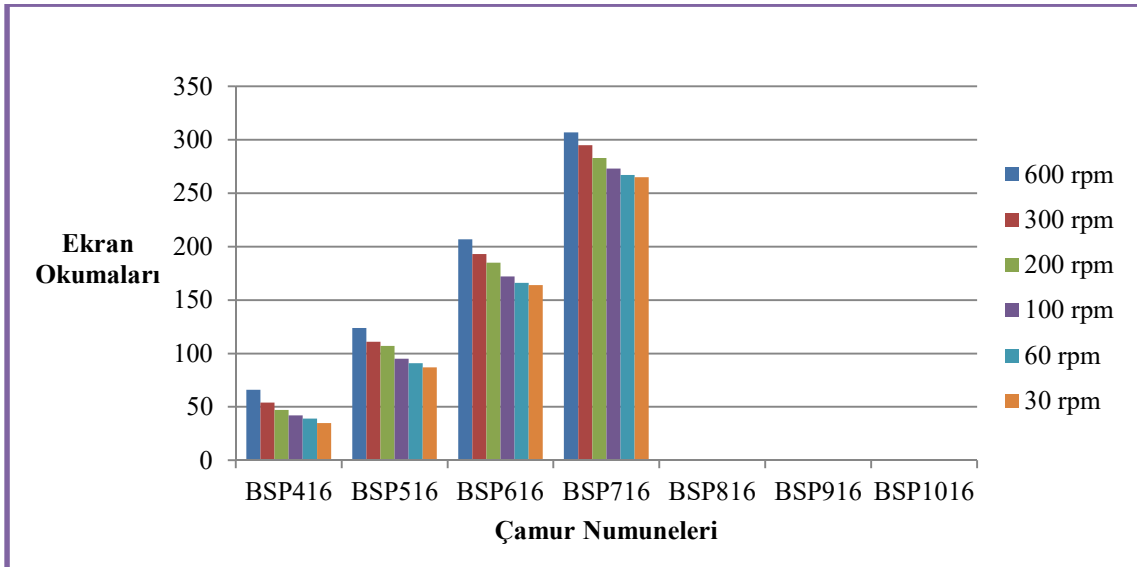
Şekil 5.35 incelendiğinde, BSP616 sondaj çamuru numunesinin en yüksek ekran okuma değerini 600 rpm okumasında 207 ile, en düşük okuma değerini ise 30 rpm okumasında 164

ile verdiği gözlemlenmiştir. Eğim denklemi $y=165,1e^{0,000x}$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,924$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.36. BSP716 numunesinin reogram grafiği

Şekil5.36 incelendiğinde, BSP716 sondaj çamuru numunesinin en yüksek ekran okuma değerini 600 rpm okumasında 307 ile, en düşük okuma değerini ise 30 rpm okumasında 265 ile verdiği gözlemlenmiştir. Eğim denklemi $y= 265,6e^{0,000x}$, korelasyon katsayısı ise $R^2=0,931$ olarak belirlenmiştir.

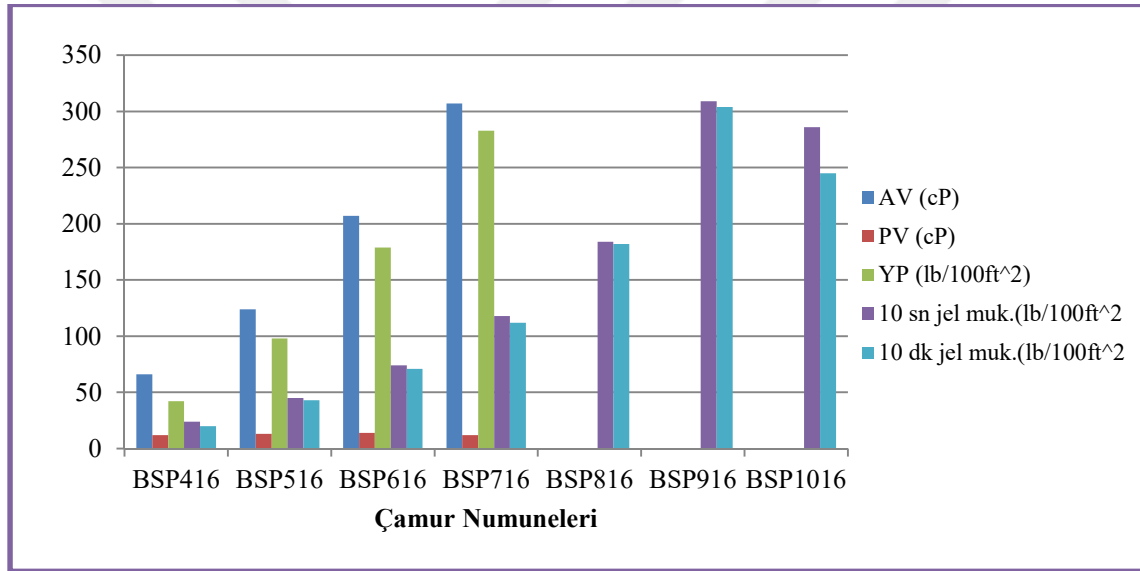


Şekil 5.37. 16 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin viskozimetre ekran okumaları

Şekil 5.37 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonit ilaveli sondaj çamurlarının 30, 60, 100, 200, 300 ve 600 rpm ekran okumalarındaki en yüksek 600

rpm ekran okuma değerini BSP716 numunesinin 307 ile, en düşük 600 rpm ekran okuma değerini BSP416 numunesinin 66 ile verdiği görülmüştür. %8-%10 katkılı çamur numunelerinin viskozimetre ekran okumaları yüksek değer aralıklarında olduğu için cihaz kadranında gözlemlenememiştir.

Şekil 5.37'ye göre, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamurları 600 rpm okumaları değerlendirildiğinde %4-%10 arası tüm çamur numunelerinin standart referans değeri olan 30 değerine uygunluk sağladığı görülmüştür. Bu durum, sodyum poliakrilatın artan katkı miktarlarında çamur numunelerinin viskozimetre ekran okuma değerini arttırdığını göstermektedir.



Şekil 5.38. 16 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreleri

Şekil 5.38 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası, değerlerinin BSP716 çamur numunesinde diğer düşük katkılı (%4-%5-%6) numunelere kıyasla daha yüksek olduğu, en düşük plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerini ise BSP416 çamur numunesinin verdiği görülmektedir. Ayrıca, %8-%10 arasındaki katkılı çamur numunelerinin plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinin yüksek viskozimetre ekran okumaları vermelerinden dolayı hesaplanamadığı görülmektedir. Bu durumun bentonite katkılanan sodyum poliakrilatın plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinde üzerinde bir artış sağladığını göstermektedir.

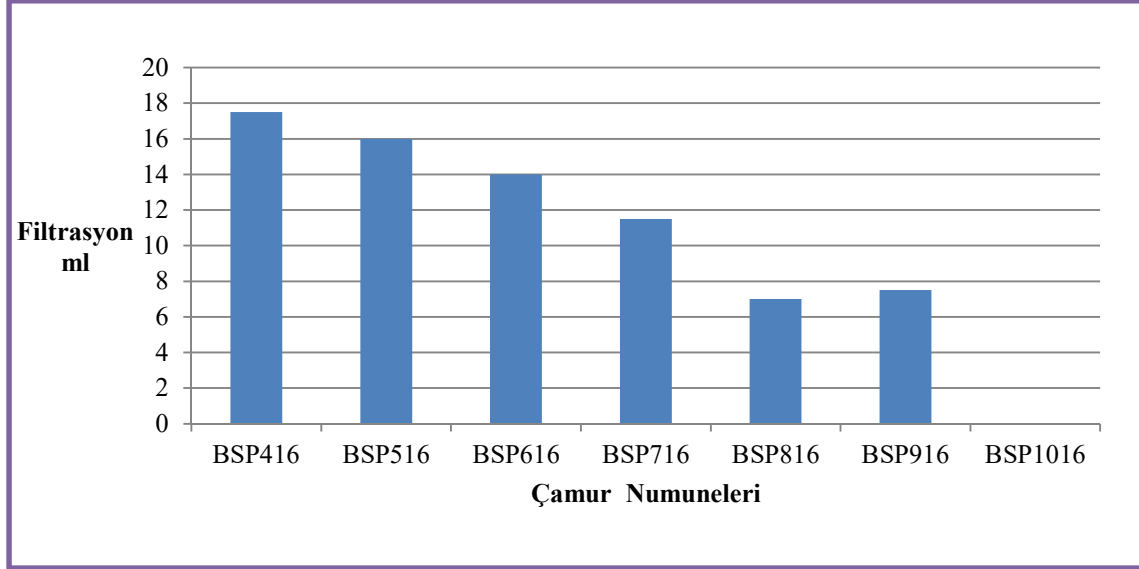
Şekil 5.38 incelendiğinde, 16 saatlik yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının YP/PV oranları değerlendirildiğinde sadece %4 çamur numunesini standart referans değeri olan maximum 6 değerine uygunluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

Ayrıca, 16 saatlik yaşlandırma sürelerine tabii tutulan sodyum poliakrilat katkılı su bazlı sondaj çamurlarının 10 sn jel mukavemeti değerleri incelendiğinde en yüksek değerleri BSP1016 numunesinin 286 lb/100ft² ile, en düşük 10 sn jel mukavemeti değerinin ise 24 lb/100ft² değerli ile BSP416 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir. %4-%10 arasındaki numunelere ait 10 sn jel mukavemeti değerlerinin artan bentonit ve sodyum poliakrilat katkısı ile beraber hızla artış sergilediği görülmektedir. Bu durum sodyum poliakrilatın 10 sn jel mukavemeti değerlerini arttırıcı bir özellikte olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışma kapsamında tüm çamur numunelerinin 10 dakika jel mukavemeti sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek 10 dakika jel mukavemeti değerini %10 luk katkı oranlı BSP1016 numunesinin 245 lb/100 ft² ile, en düşük değeri ise %4 katkı oranlı BSP416 numunesinin 20 lb/ft² ile verdiği görülmüştür. %4-%10 arasındaki numunelere ait 10 dakika jel mukavemeti değerlerinin artan bentonit ve sodyum poliakrilat katkısı ile beraber hızla artış sergilediği görülmektedir. Bu durum sodyum poliakrilatın 10 dakika jel mukavemeti değerlerini arttırıcı bir özellikte olduğunu göstermektedir.

16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numuneleri filtrasyon ölçüm sonuçları: Yapılan deneysel çalışmalarda, bentonite, bentonitin ağırlıkça %1'i oranında katkılanan sodyum poliakrilatın, 16 saat yaşlandırma süresinde, sondaj çamurunun filtrasyon üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen filtrasyon (sıvı kaybı) miktarları Şekil5.39'da gösterilmiştir.

Şekil 5.39 incelendiğinde, en yüksek filtrasyon miktarını %4 katkılı BSP416 numunesinin 17,5 ml ile, en düşük filtrasyon miktarını ise 7 ml ile %8 katkılı BSP816 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir. %9 katkı oranlı numunenin filtrasyon miktarında ise küçük bir artışın olduğu görülmüştür. Bu durum, filtrasyon miktarında genel azalma eğilimini bozmamakla birlikte, bentonite katkılanan sodyum poliakrilat kimyasalının su bazlı sondaj çamuru filtrasyon değerini azaltıcı bir etki sergilediğini göstermektedir.



Şekil 5.39. 16 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri

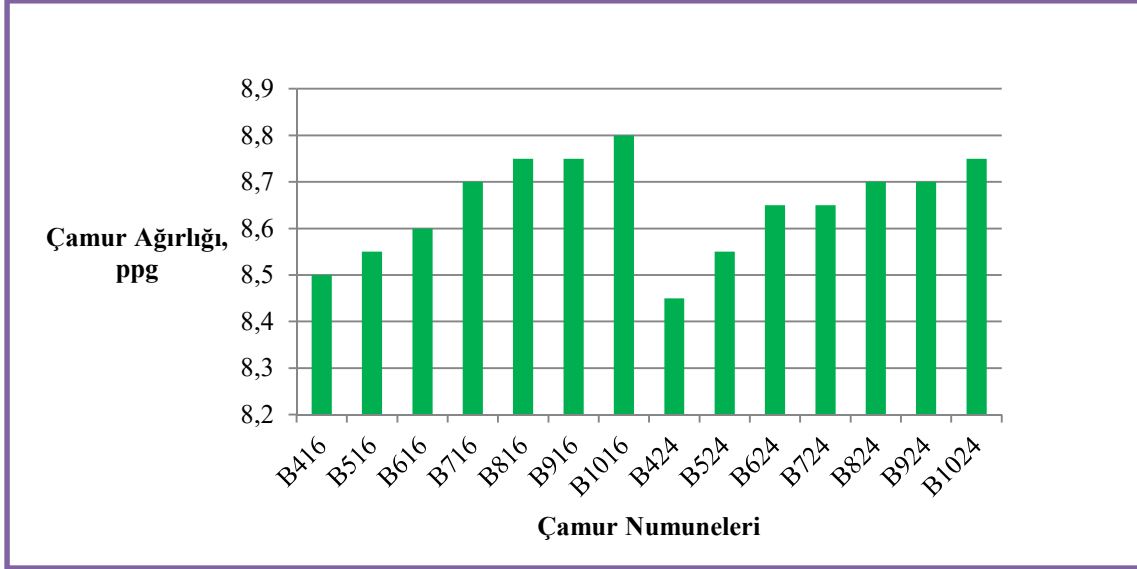
5.2. Çamur Numunelerinin Reolojik ve de Filtrasyon Ölçüm Değerlerinin Kullanılan Katkı Maddesine ve Yaşlandırma Sürelerine göre Karşılaştırılması

Yapılan deneysel çalışmalarda, bentonitli su bazlı sondaj çamurları ile sodyum poliakrilat katkılı sondaj çamur numunelerinden toplamda 28 numune elde edilmiş olup tüm numunelerin, oda sıcaklığı koşullarında, 16 saat ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde reolojik ve de filtrasyon özellikleri incelenmiştir.

Deney çalışmalarında hazırlanan tüm çamur numunelerin reolojik ve filtrasyon ölçüm sonuçlarının karşılaştırmalı grafikleri çamur numunelerin yaşlandırma sürelerine ve katkı maddelerine göre ayrı ayrı yapılmıştır.

5.2.1. Çamur ağırlıkları analizi

Çamur ağırlıklarının kullanılan yaşlandırma sürelerine göre karşılaştırılması: 16 ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde hazırlanan bentonitli çamur numunelerinin çamur ağırlıkları karşılaştırılması yapılmış ve Şekil 5.40'da verilmiştir.



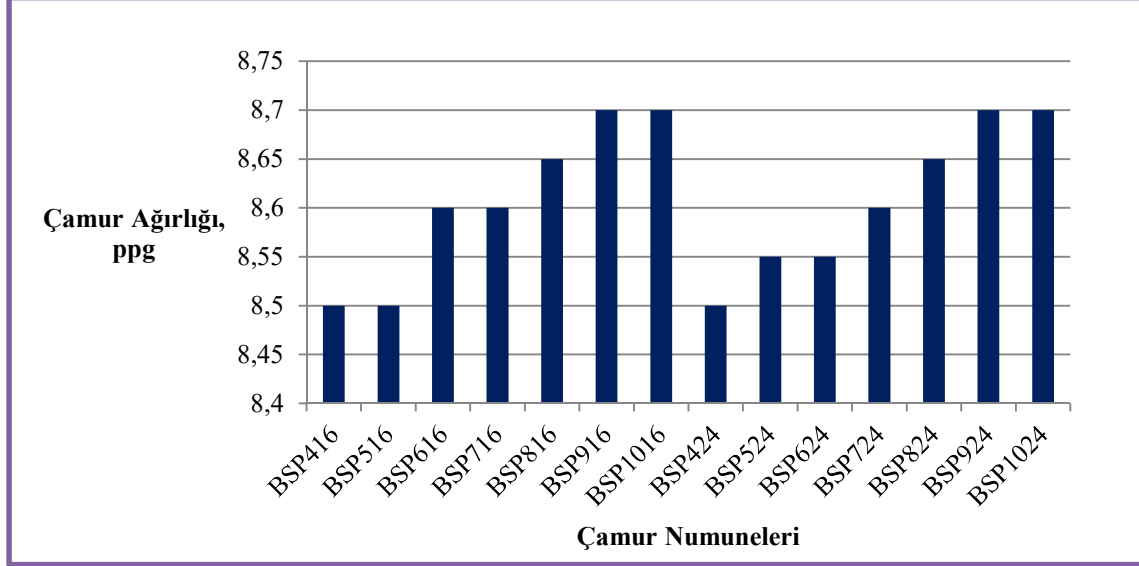
Şekil 5.40. 16 ve 24 saat bentonitli numunelerin çamur ağırlıkları

Şekil 5.40 incelendiğinde, en yüksek çamur ağırlıklarının 16 saat yaşlandırma süreli bentonitli çamur numunelerinin verdiği görülmüş olup B1016 numunesinin 8,8 ppg ile en yüksek ağırlıklı çamur numunesi olduğu gözlemlenmiştir. Her iki yaşlandırma süresinde en düşük çamur ağırlığına sahip olan numune ise %4 bentonit katkıli çamur numuneleri olmuş, %4 katkı oranında ise en düşük ağırlığı 24 saat yaşlandırma süreli %4 katkıli B424 numunesi 8,45 ppg ile vermiştir.

Şekil 5.40'a göre, hazırlanan tüm çamur numunelerinin çamur ağırlıklarının düzenli bir şekilde artış gösterdiğini görülmekte olup, 16 saat ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde tüm katkı oranlarında çamur ağırlıklarının birbirine yakın değerler aldığı belirlenmiştir. Bu durum, bentonitin çamur ağırlığını arttırıcı bir özellik taşıdığını göstermektedir.

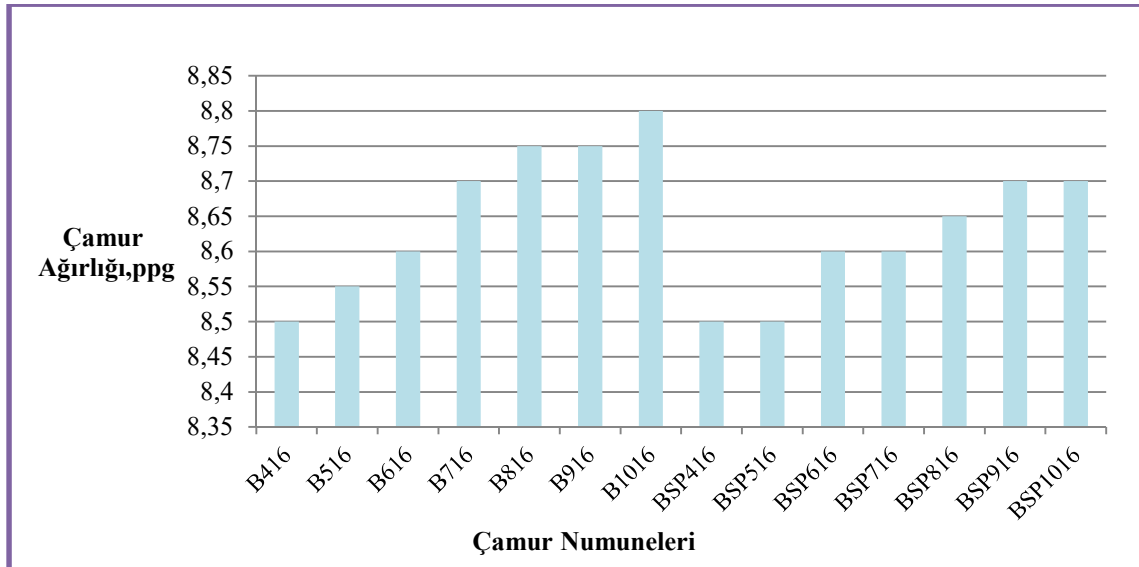
Şekil 5.41'de, 16 ve 24 saat yaşlandırma sürelerinde hazırlanan sodyum poliakrilat katkıli çamur numunelerinin çamur ağırlıklarının karşılaştırılması verilmiştir. En yüksek çamur ağırlıklarını her iki yaşlandırma sürelerinde %9 ve %10 katkıli çamur numunelerinin 8,7 ppg ile verdiği görülmüştür. Her iki yaşlandırma süresinde en düşük çamur ağırlığına sahip olan numuneler ise yine her iki yaşlandırma sürelerinde %4 katkıli çamur numuneleri olup 8,5 ppg değeri vermiştir. Her iki yaşlandırma süresinde, sodyum poliakrilat katkıli çamur numuneleri çamur ağırlıklarının düzenli bir şekilde artan sodyum poliakrilat miktarına göre artış sergilediği gözlemlenmiş olup her iki yaşlandırma süresindeki tüm katkı oranlarında

hazırlanan çamur numuneleri çamur ağırlıklarının birbiri ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5.41. 16 ve 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları

Çamur ağırlıklarının kullanılan katkı maddesine göre karşılaştırılması: Şekil 5.42’de 16 saat yaşlandırma süreli bentonit ve 16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı çamur numuneleri çamur ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

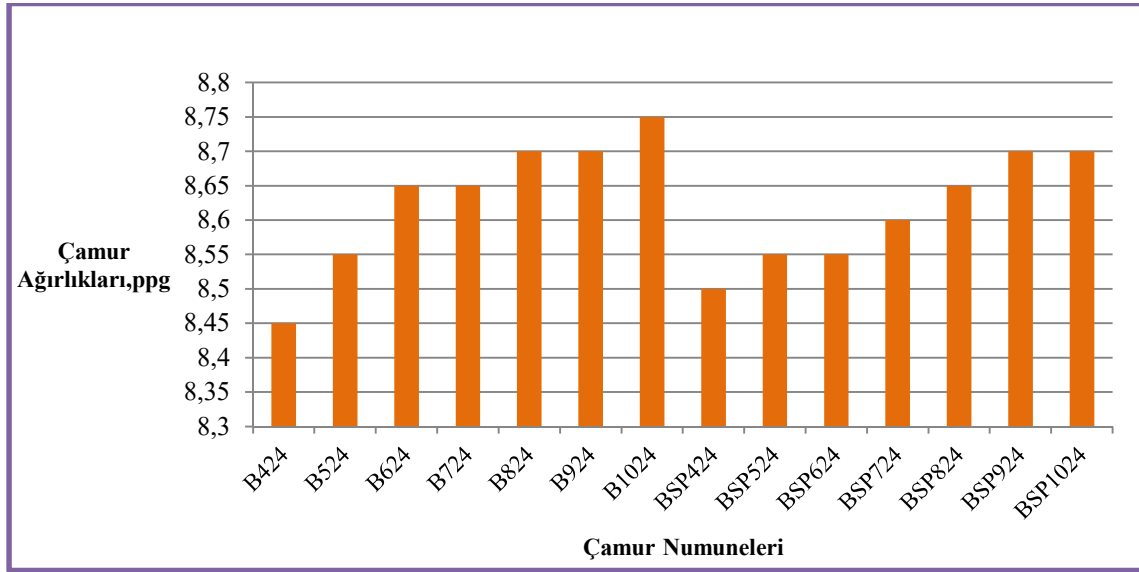


Şekil 5.42. 16 saat bentonitli sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları

Şekil 5.42 incelendiğinde, en yüksek çamur ağırlığını %10 katkılı bentonitli çamur numunesi B1016’nın 8,8 ppg ile verdiği en düşük çamur ağırlığını ise %4 katkılı bentonitli ve %4-%5

katkılı sodyum poliakriatlı çamur numunelerinin 8,5 ppg ile verdiği görülmüştür. 16 saat yaşlandırma süreli bentonitli ve sodyum poliakrilatlı çamur numuneleri çamur ağırlıklarının birbirlerine yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5.43'de 24 saat yaşlandırma süreli bentonit ve 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı çamur numuneleri çamur ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

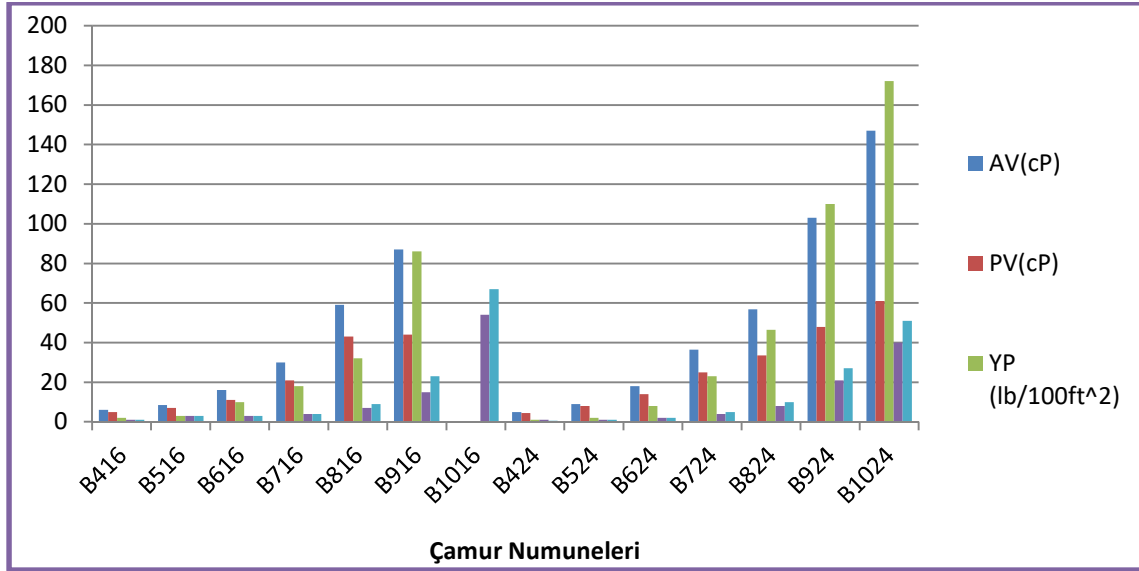


Şekil 5.43. 24 saat bentonitli ve 24 sodyum poliakrilatlı numunelerin çamur ağırlıkları

Şekil 5.43 incelendiğinde, en yüksek çamur ağırlığını %10 katkılı bentonitli çamur numunesi B1024'ün 8,75 ppg ile, en düşük çamur ağırlığını ise %4 katkılı bentonitli çamur numunesinin 8,45 ppg ile verdiği görülmüştür. 24 saat yaşlandırma süreli bentonitli ve sodyum poliakrilatlı çamur numuneleri çamur ağırlıklarının birbirlerine yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir.

5.2.2. Görünür viskozite, plastik viskozite ve akma noktası analizi

Görünür viskozite, plastik viskozite, akma noktası ölçüm sonuçlarının yaşlandırma sürelerine göre karşılaştırılması: Şekil 5.44'de 16 saat ve 24 saat yaşlandırma süreli bentonit ilaveli çamur numunelerinin plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri karşılaştırılmıştır.

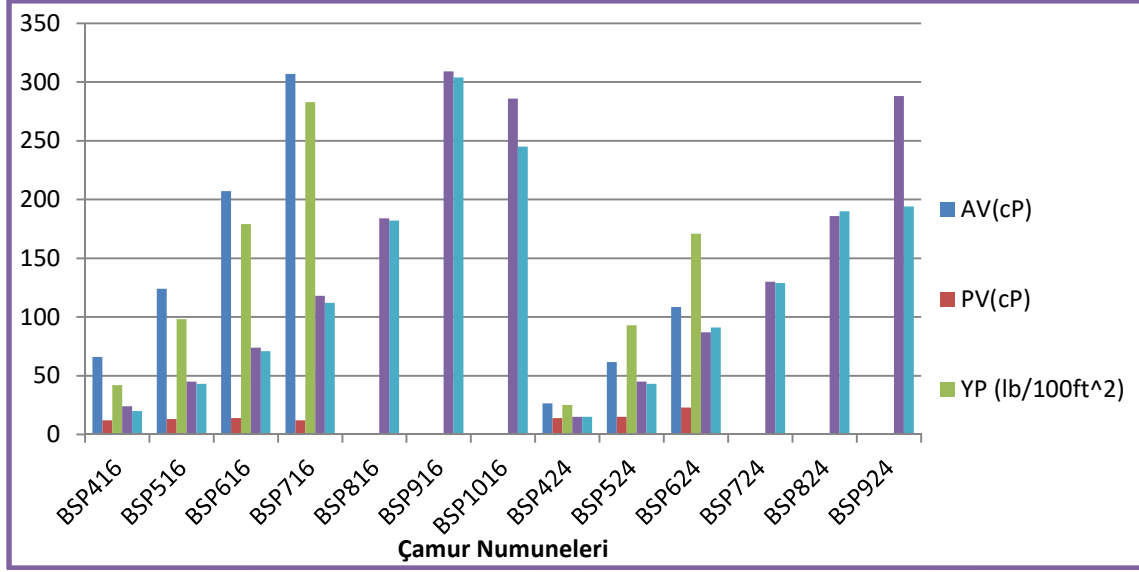


Şekil 5.44. 16 ve 24 saat bentonitli numunelerin reolojik parametreleri

Şekil 5.44 incelendiğinde, her iki yaşlandırma süresinde en yüksek plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerini %10 katkılı B1024 numunesinin verdiği görülmüştür. Bu durum, yaşlandırma süresi ile birlikte bentonitin çamurun plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerini arttırıcı bir etki sergilediğini göstermektedir.

Şekil 5.44 incelendiğinde, en yüksek 10 sn ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerini 16 saat yaşlandırma süreli %10 katkılı B1016 numunesini verdiği gözlemlenmiş olup yaşlandırma sürelerinde en yüksek değerler 16 saatlik yaşlandırma süresinde gözlemlenmiştir. Bu durum, bentonitin 10 sn ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerini arttırıcı bir özellik gösterdiğini belirlemiştir.

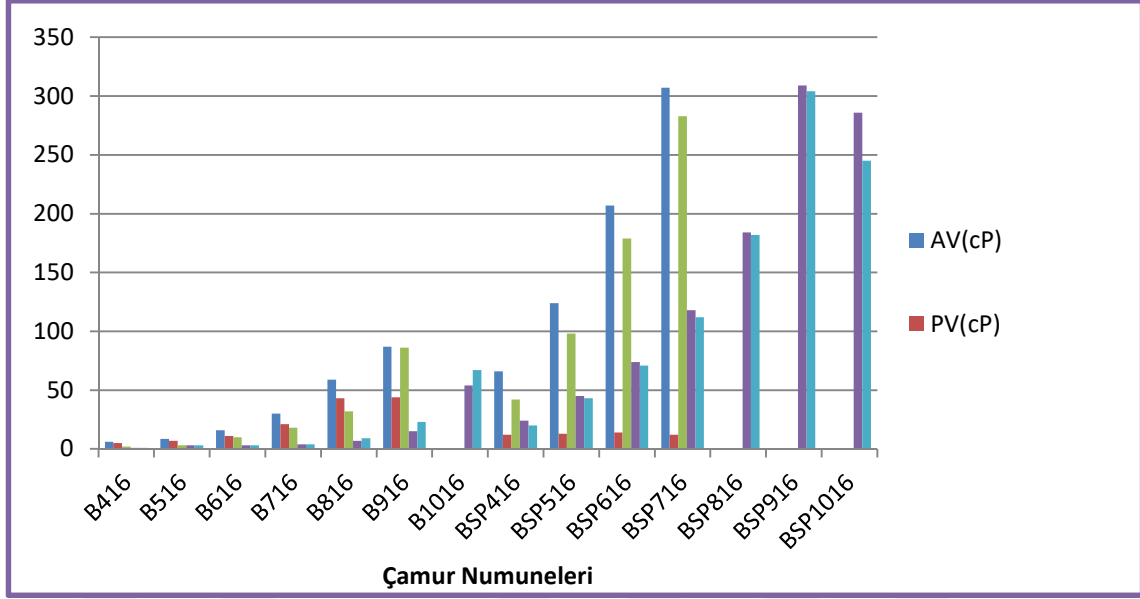
Şekil 5.45’de, 16 saat ve 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.45. 16 ve 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreleri

Şekil 5.45 incelendiğinde, numuneler arasında en yüksek görünür viskozite değerini BSP716 numunesi 307 cP ile verirken, en yüksek plastik viskozite değerini BSP624 numunesi 23 cP ile vermiştir. Öte yandan en yüksek akma noktası değerini 283 lb/100ft² ile BSP716 numunesi vermiş olup en yüksek 10 saniye jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri BSP916 numunesinde görülmüştür.

Görünür viskozite, plastik viskozite, akma noktası ölçüm sonuçlarının kullanılan katkı maddesine göre karşılaştırılması: 16 saat yaşlandırma süreli bentonitli ve sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri karşılaştırılmış ve Şekil 5.46'da gösterilmiştir.



Şekil 5.46. 16 saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerin reolojik parametreleri

Şekil 5.46 incelendiğinde, en yüksek görünür viskozite değerini 307 cP ile %7 katkılı BSP716 numunesinin, en yüksek plastik viskozite değerini ise 44 cP ile %9 katkılı B916 numunesinin verdiği görülmüştür.

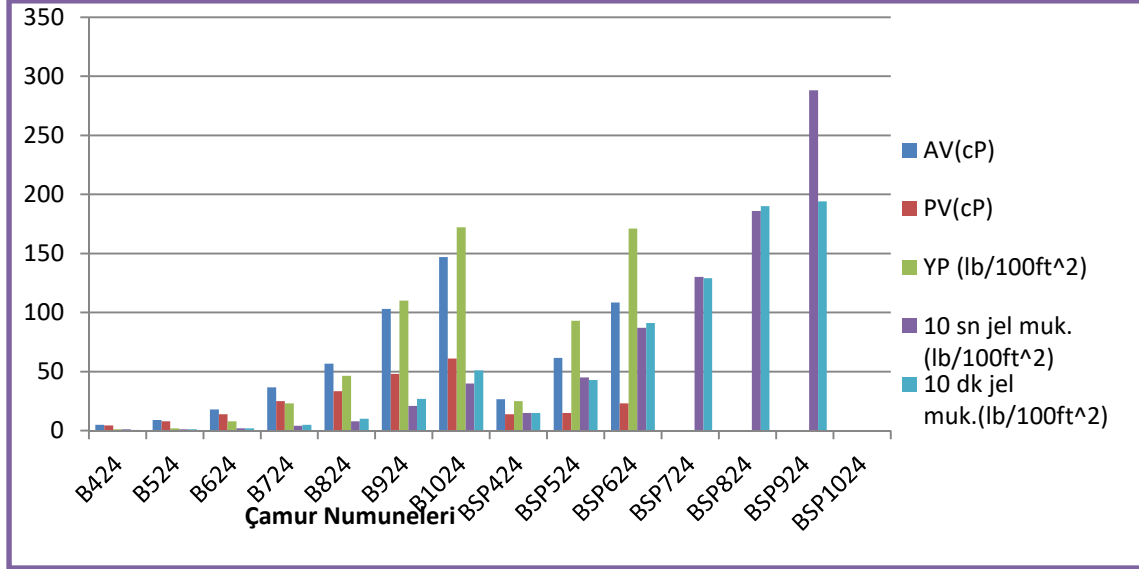
Şekil 5.46'da, akma noktası değerleri karşılaştırıldığında ise en yüksek değer 283 cP ile BSP716 numunesine ait olduğu görülmüştür.

Şekil 5.46 incelendiğinde, 10 saniye jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri en yüksek ölçümleri %9 katkılı BSP916 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir.

24 saat yaşlandırma süreli bentonitli ve sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası, 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri karşılaştırılmış ve Şekil 5.47'de gösterilmiştir.

Şekil 5.47 incelendiğinde, en yüksek görünür viskozite, plastik viskozite akma noktası değerini %10 katkılı bentonitli B1024 numunesinin verdiği görülmüştür.

Şekil 5.47 incelendiğinde, en yüksek 10 saniye jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerini ise %9 katkılı sodyum poliakrilatlı BSP924 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.47. 24 saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerinin reolojik parametreleri

Deneysel çalışmalar kapsamında farklı yaşlandırma sürelerinde (16 saat ve 24 saat) hazırlanan bentonitli ve de sodyum poliakrilatlı çamur numunelerinin genellikle artan bentonit ve sodyum poliakrilat miktarlarına bağlı olarak plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum artan bentonit ve sodyum poliakrilatın çamurun reolojik parametrelerini (plastik viskozite, görünür viskozite ve akma noktası) arttırıcı bir özellik taşıdığını göstermektedir.

Deney çalışmaları kapsamında hazırlanan çamur numunelerin farklı yaşlandırma sürelerinde (16 saat ve 24 saat) hazırlanan bentonitli ve de sodyum poliakrilatlı çamur numunelerinin artan bentonit ve sodyum poliakrilat miktarlarına bağlı olarak 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerinde bir artış gözlemlendiği belirlenmiştir.

16 saat ve 24 saat yaşlandırma süreli bentonitli çamur numunelerinde, %4-%8 katkı oranları arasındaki numunelerinin 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerlerinin birbirine çok yakın ve çok küçük değerlere sahip olması sebebi ile kırılğan jel tipine uyduları, %9-%10 katkı oranları arasındaki numunelerin ise birbirine çok yakın ve orta yükseklikte değerler aldığı için düz jel tipine uygunluk gösterebilecekleri öngörülmektedir.

24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı çamur numuneleri 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerlendirildiğinde, %4 katkılı BSP424 numunesi ile %5 katkılı çamur numunesinin birbirine yakın ve orta yükseklikte değerler

alması sebebi ile düz jel tipine uygun olabileceği görülmüş olup %6 ve daha yüksek katkılı çamur numune değerlerinin yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir.

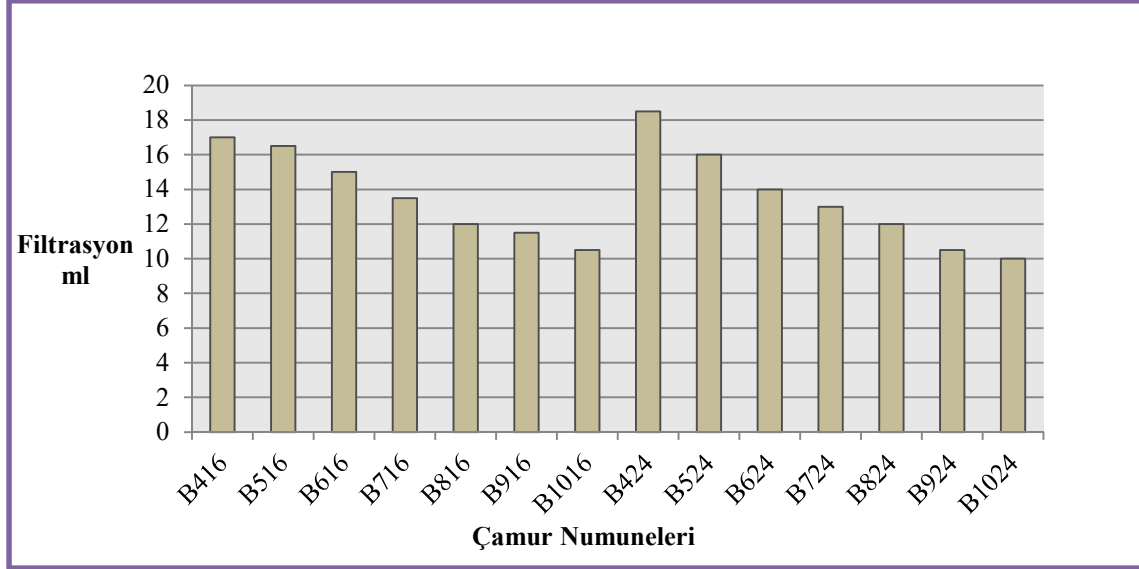
16 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı çamur numuneleri 10 sn jel mukavemeti ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri değerlendirildiğinde, %4 ve %5 katkılı çamur numunelerinin birbirine çok yakın ve orta yükseklikte değerler alması sebebi ile düz jel tipine uygun olabileceği öngörülmektedir.

Yapılan deney çalışmaları kapsamında elde edilen 10 sn ve 10 dakika jel mukavemeti değerleri değerlendirildiğinde, düz jel tipine uygunluk gösteren çamur numunelerinin, sondaj operasyonları sırasında gerçekleşebilecek yüksek manevra basınç farklılıklarına sebebiyet vermemesi ve de durgun olan sondaj operasyonunun tekrar başlaması sebebi ile meydana gelebilecek yüksek pompa basınçlarına bağlı olarak formasyonların çatlatılması riskini taşımaması amacı ile düz jel tipi sondaj akışkanları tercih edilmektedirler [34].

5.2.3. Filtrasyon analizi

Filtrasyon ölçüm sonuçlarının kullanılan katkı maddesine göre karşılaştırılması: Yapılan deneysel çalışmada, 16 saat ve 24 saat bentonit ilaveli sondaj çamurlarının filtrasyon (sıvı kaybı) değerleri ölçülmüş olup Şekil 5.48'de karşılaştırmalı olarak belirtilmiştir.

Şekil 5.48 incelendiğinde, 16 ve 24 saat yaşlandırma süreli bentonit ilaveli çamur numunelerinin filtrasyon değerlerinin karşılaştırıldığında, numuneler arasında en yüksek filtrasyon değerini %4 katkılı 24 saat yaşlandırma süreli B424 numunesinin 18,5 ml ile, en düşük filtrasyon değerini ise %10 katkılı 24 saat yaşlandırma süreli B1024 numunesinin verdiği gözlemlenmiştir. %4 ve %5 katkılı 16 saat ve 24 saat yaşlandırma süreli numunelerin standart referans değeri olan maximum 15 ml'nin üzerinde ölçüm sonuçları verdiği %6,%7,%8,%9 ve %10 katkılı numunelerin ise standart referans değerine uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

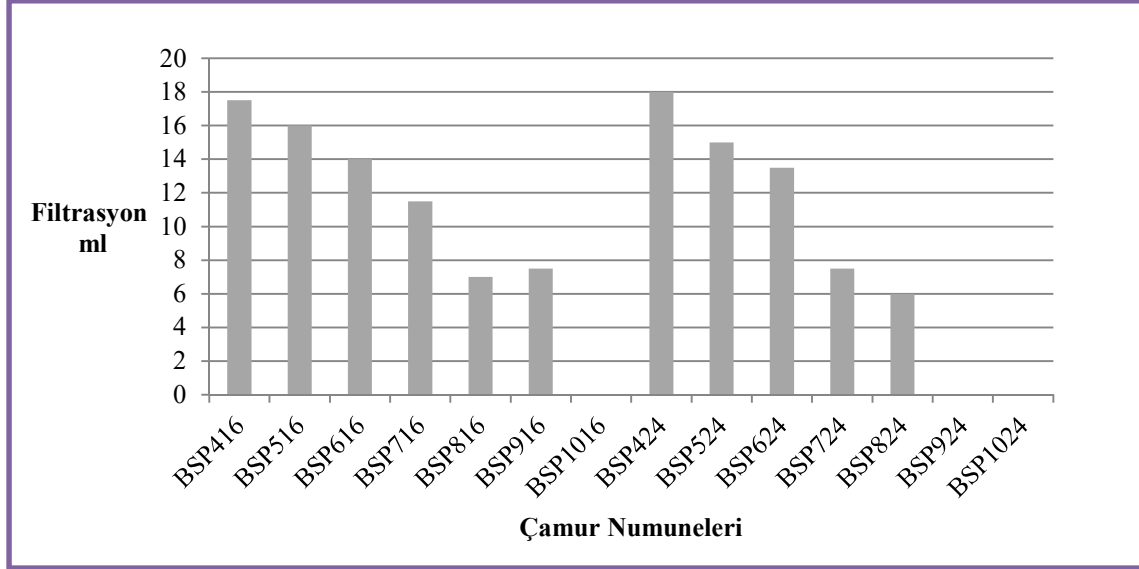


Şekil 5.48. 16 ve 24 saat bentonitli numunelerin filtrasyon değerleri

Şekil 5.48 incelendiğinde, yaşlandırma sürelerinin filtrasyon miktarı üzerindeki etkisi karşılaştırıldığında, elde edilen ölçüm değerlerinin birbirine yakın değerler verdiği görülmüştür.

Farklı yaşlandırma süreli (16 saat ve 24 saat) bentonitli çamur numunelerinin filtrasyon üzerine etkisi incelendiğinde, bentonitin filtrasyon miktarını azaltıcı bir etki gösterdiği gözlemlenmiş olup farklı yaşlandırma sürelerindeki (16 saat-24 saat) %4 ve %5 katkılı numunelerin, dizi sıkışmalarına, ani viskozite artışlarına ve bu sebeple oluşabilecek yüksek pompa gücü ihtiyacı sebebi ile sondaj operasyonlarını engelleyebileceği tahmin edilmektedir [6].

Yapılan deneysel çalışma kapsamında, 16 ve 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin filtrasyon değerlerinin incelenmiş ve Şekil 5.49'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



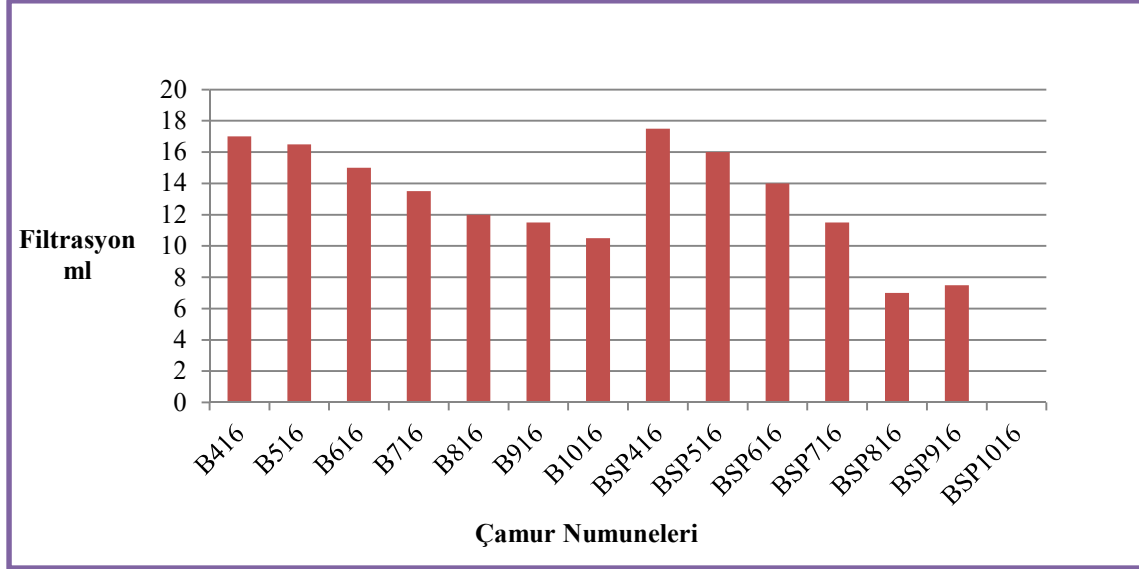
Şekil 5.49. 16 ve 24 saat sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri

Şekil 5.49 incelendiğinde, numuneler arasında en yüksek filtrasyon değerini 18mL ile %4 katkılı BSP424 numunesinin verdiği, ayrıca en düşük filtrasyon miktarını ise %8 katkılı BSP824 numunesinin 6 ml ile verdiği görülmüştür. %5 ve daha yüksek katkılı numunelerin standart referans değeri olan maximum 16 ml değerine uygun olduğu görülmüştür.

Şekil 5.49 incelendiğinde, 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkılı çamur numuneleri filtrasyon miktarındaki azalmanın 16 saat yaşlandırma süreli numunelere kıyasla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı yaşlandırma süreli (16 saat ve 24 saat) sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin filtrasyon üzerine etkisi incelendiğinde, sodyum poliakrilatın filtrasyon miktarını azaltıcı bir etki gösterdiği gözlemlenmiş olup farklı yaşlandırma sürelerinde (16 saat ve 24 saat) %4 katkılı numunenin, dizi sıkışmalarına, ani viskozite artışlarına ve bu sebeple oluşabilecek yüksek pompa gücü ihtiyacı sebebi ile sondaj operasyonlarını engelleyebileceği tahmin edilmektedir [6].

Filtrasyon ölçüm sonuçlarının kullanılan katkı maddesine göre karşılaştırılması: Yapılan deneysel çalışmada, 16 saat yaşlandırma süreli bentonit ilaveli ve sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin filtrasyon değerleri incelenmiş ve Şekil 5.50'de numune filtrasyon değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.



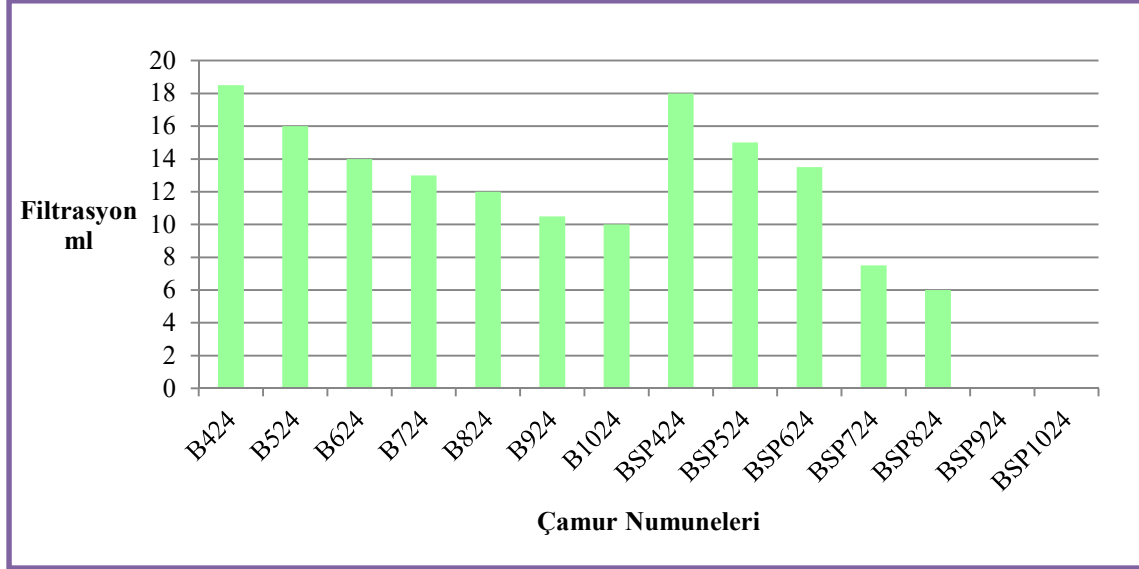
Şekil 5.50. 16 saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri

Şekil 5.50 incelendiğinde, çamur numuneleri arasında en düşük filtrasyon değerini BSP816 numunesinin 7 ml ile, en yüksek filtrasyon değerini ise 17,5 ml ile BSP416 numunesinin verdiği görülmüştür.

Şekil 5.50 incelendiğinde, sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin bentonit ilaveli çamur numunelerine kıyasla daha düşük filtrasyon sonuçları verdiği görülmüş, filtrasyon miktarlarındaki azalmanın ise yine sodyum poliakrilat katkılı numunelerde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, sodyum poliakrilatın sondaj çamurunun filtrasyon değerini azaltıcı bir etki ortaya koyduğunu göstermektedir.

Aynı yaşlandırma süreli (16 saat) bentonitli ve sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin filtrasyon üzerine etkisi incelendiğinde, sodyum poliakrilatın filtrasyon miktarını azaltıcı bir etki gösterdiği gözlemlenmiş olup %4 katkılı BSP416 ve %5 katkılı BSP516 sodyum poliakrilatlı numuneler ile %4 ve %5 katkılı bentonitli B416 ve B516 numunelerinin, dizi sıkışmalarına, ani viskozite artışlarına ve bu sebeple oluşabilecek yüksek pompa gücü ihtiyacı sebebi ile sondaj operasyonlarını engelleyebileceği tahmin edilmektedir [6].

Deneysel çalışma kapsamında, 24 saat yaşlandırma süreli bentonit ilaveli ve sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin filtrasyon değerleri incelenmiş ve Şekil 5.51'de numune filtrasyon değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 5.51. 24 saat bentonitli ve sodyum poliakrilatlı numunelerin filtrasyon değerleri

Şekil 5.51 incelendiğinde, çamur numuneleri arasında en yüksek filtrasyon değerlerini %4 katkıli bentonitli B424 numunesi ile % 4 katkıli sodyum poliakrilatlı BSP424 çamur numunelerinin verdiği gözlemlenmiştir. B424 numunesi filtrasyon değeri 18,5 ml, BSP424 numunesi filtrasyon değeri ise 18 ml olduğu Şekil 5.51’de gösterilmiştir.

Şekil 5.51 incelendiğinde, aynı yaşlandırma sürelerindeki bentonitli ve sodyum poliakrilatlı çamur numunelerinin filtrasyon değerlerindeki azalmanın 24 saat yaşlandırma süreli sodyum poliakrilat katkıli numunelere ait olduğu görülmektedir. Bu durum, yaşlandırma süresinin ve sodyum poliakrilatın sondaj çamuru filtrasyon miktarını azaltıcı bir etki sergilediğini göstermekte olup %4 katkıli B424 numunesinin, dizi sıkışmalarına, ani viskozite artışına ve buna bağlı olarak yüksek pompa gücü ihtiyacına sebebiyet vereceği için sondaj operasyonlarını engelleyebileceği öngörülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında, süper emici özelliği, temin kolaylığı ve de maliyetinin ucuz olmasından dolayı sodyum poliakrilat kimyasalı su bazlı bentonit çamura katkılanmış ve çamur üzerindeki reolojik ve de filtrasyon özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada, sodyum poliakrilat katkı maddesinin diğer katkı maddelerine bir seçenek olup olmayacağı analiz edilmiştir.

Deney çalışmalarında, farklı yaşlandırma sürelerine tabii tutulan bentonitli çamur numuneleri ile bentonite katkılanan sodyum poliakrilat kimyasalı ile hazırlanan çamur numuneleri %4 ile %10 arasındaki oranlarında hazırlanmış ve su bazlı sondaj çamuru üzerindeki reolojik ve de filtrasyon özellikleri karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmaların tümü oda sıcaklığı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney çalışmalarının sonucu olarak, sodyum poliakrilat katkılı çamurların bentonitli çamur karışımlarına göre çok daha yüksek reolojik değerler (plastik viskozite, görünür viskozite, akma noktası ve 10 sn ve 10 dakika jel mukavemet değerleri) verdiği gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen reoloji ölçümlerinden, 24 saat yaşlandırma süreli su bazlı sondaj çamuruna %4, %5 ve %6 oranlarında sodyum poliakrilat katkılanan çamur numuneleri ile 16 saat yaşlandırma süreli su bazlı sondaj çamuruna %4 ile %7 arasındaki tüm oranlarda sodyum poliakrilat katkılanan çamur numunelerinin API standardında belirlenen 600 rpm viskozimetre okumasını karşıladığı görülmüştür.

Yüksek manevra basınç değişimlerine ve sirkülasyonun tekrar başlaması ile ortaya çıkabilecek yüksek pompa basınçlarından kaynaklanabilecek formasyonun çatlatılması riskine engel olması sebebi ile sondaj operasyonlarında düz jel tipine sahip sondaj akışkanlarının kullanımı tercih edilmektedir [34]. Bu nedenle yapılan deneysel çalışmada elde edilen numune ölçümleri incelendiğinde, sodyum poliakrilat katkılı çamur numunelerinin 16 saat ve 24 saat yaşlandırma sürelerindeki 10 sn ve 10 dakika jel mukavemetleri değerlendirildiğinde, yine aynı yaşlandırma sürelerindeki bentonitli çamur numunelerine kıyasla daha yüksek değerler verdiği gözlemlenmiştir. 16 saat ve 24 saat yaşlandırma süreli ağırlıkça %4 ve %5 oranlarında sodyum poliakrilat katkılanan numunelere ait 10 sn ve 10 dakika jel mukavemetlerinin orta yükseklikte ve birbirine çok yakın değerler aldığı ve düz jel tipine uyduğu gözlemlenmiştir.

Sondaj operasyonları sırasında dizi sıkışmalarının önlenmesi ve de kuyu stabilitesinin sağlanması amacı ile filtrasyon miktarının az olması ve filtrasyon sırasında oluşacak kek kalınlığının ince ve geçirimsiz olması istenir [34]. Bu nedenle, yapılan deneysel çalışmalar neticesinde sodyum poliakrilatlı çamur numunelerinin filtrasyon miktarlarının aynı yaşlandırma sürelerinde hazırlanan bentonitli numunelere göre daha düşük olduğu görülmüş olup yine sodyum poliakrilatlı numunelerin yaşlandırma süreleri karşılaştırıldığında en düşük filtrasyon değerlerini 24 saat yaşlandırma süresinde verdiği gözlemlenmiştir. 24 saatlik katkıli numunelerden %5 ile %8 arasındaki tüm numunelerin ve 16 saatlik katkıli numunelerden %5-%9 arası tüm numunelerin filtrasyon ölçümlerinin API 13B-1 standardı referans değeri maksimum 16 ml ölçüm değeri ile uyum sağladığı görülmüştür.

Ancak, yapılan deney çalışmaları neticesinde sodyum poliakrilatlı çamur numunelerinin YP/PV oranları değerlendirildiğinde numunelerden sadece su bazlı sondaj çamuruna ağırlıkça %4 katkı oranında sodyum poliakrilat katkılanan numunelerin 16 saat ve 24 saat yaşlandırma sürelerinin her ikisinde de standart referans değeri olan maksimum 6 değerini karşıladığı görülmüştür.

Bentonit ilave edilerek hazırlanan su bazlı sondaj çamurlarına sodyum poliakrilat katkılanması ile, sodyum poliakrilatın referans alınan standardın en önemli parametrelerinden biri olan YP/PV oranı ile uyumlu olmamasına karşın bir diğer önemli parametre olan filtrasyonu azalttığı ve iyi derecede bir viskozite arttırıcı olduğu görülmüş olup uygun kombinasyonu ile sondaj çamuruna katkı maddesi olarak kullanılabilmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]Önder, K. (2019). Enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanımı ve doğal gaz kullanımına yönelik depolama sistemlerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, xviii.
- [2]Elmas, M. (2019). Petrol endüstrisi ve petrol ihraç eden ülkeler, Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 29-31.
- [3]Solak, A.O. (2012). Petrol fiyatlarını belirleyici faktörler, Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, 4(2),117-124.
- [4]Aslanoğlu, V. ve Yücel, B.C. (2020). OPEC için yeni bir dönüşüm: OPEC+, Bilkent Üniversitesi İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, 2-4.
- [5]Uçak, S. ve Usupbeyli, A. (2015). Türkiye’de petrol tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi, Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 70(3), 769-787.
- [6]Aydm, M.G. (2020). Pomza, kuvarsit ve diatomitten üretilen amorf silikanın sondaj çamuruna etkisi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi.
- [7]Ahmed, A.W., and Kalkan, E. (2019). Drilling fluids; types, formation choice and environmental impact, *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS)* Volume VIII, Issue XII, December 2019 | ISSN 2278-2540, 66-69.
- [8]Geesing, D., and Schmidhalter, U. (2004). Influence of sodium polyacrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat, *Soil Use and Management* (2004) 20, 207±209 DOI: 10.1079/SUM2004241.
- [9]Özbakan, N. (2021). Sodyum Poliakrilat ve Geçirimsiz Tabaka Uygulamalarının Zemin Sıvılaşma Potansiyeline Etkisi, Eskişehir Teknik üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [10]Uyanık, S. (2016). Bebek Bezi Üretimi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(2), 327-341.
- [11]Sezek, N. (2015). Nem tutma performansı yüksek polimerik malzemelerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 18-19.
- [12]Nguyen, J.P. (1996). Oil and gas field development techniques drilling.
- [13]Hossein, M.E. (2015). Fundamentals of sustainable drilling Engineering.
- [14]Balkaya T.A., Gül S., İlgen E., Dimez B.A., Deniz S., Heke E., Yaşar M., Uygur Öz, Erşahin A. (2019). Sondaj el kitabı, PMO Yayınları, 10-11.
- [15]Caenn, R., Darley, HCH., and Gray, G.R. (2011). Composition and properties of drilling and completion fluids, Gulf Professional Publishing, 1-2.

- [16]Mahto, V., and Sharma, V.P. (2004). Rheology study of a water based oil well drilling fluid, *Journal Of Petroleum Science and Engineering* (45), 123-128.
- [17]Ahmed, A.W., and Kalkan, E. (2019). Drilling fluids; types, formation choice and environmental impact, *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science (IJLTEMAS)*, Volume VIII, Issue XII, December 2019 | ISSN 2278-2540.
- [18]Williams, C.E., and Bruce, G.H. (1951). Carrying capacity of drilling muds, *J. Pet. Technol* (04): 111-120, Paper number: SPE-951111-G, <https://doi.org/10.2118/951111-G>.
- [19]Dhiman, A.S. (2012). Rheological properties & corrosion characteristics of drilling mud additives, Dhiman, Faculty of Engineering, Dalhousie University.
- [20]SnehaS., Bjørnar, L., Ytrehus J.D., and Saasen, A. (2107). Hole-cleaning performance comparison of oil based and water based fluids, *Journal of Petroleum Science and Engineering* (159), 49-57 <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.08.069>.
- [21]Caenn, R., and Chillingar G.V. (1996). Drilling fluids :state of the art, *Journal of Petroleum Science and Engineering* (14), 22 1-230, [https://doi.org/10.1016/0920-4105\(95\)00051-8](https://doi.org/10.1016/0920-4105(95)00051-8)
- [22]Agwu, O.E., Akpabio U.J., Ekpenyong, M.E., Udoinyang, G. U., Asuquo D.E., Eyoh, I., J. and Adeoye O.S. (2021). A critical review of drilling mud rheological models, *Journal of Petroleum Science and Engineering* (203), <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108659>.
- [23]Abdou, M.I., Al- Sabagh A.M., Ahmed, H. E., and Fadl, A.M. (2018). Impact of barite and ilmenite mixture on enhancing the drilling mud weight, *Egyptian Journal of Petroleum* (27), 955-967, <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.004>.
- [24]Apeye, A., Lucky A., and Johnson, A. (2018). Modification of bingham plastic rheology model for beter rheological characterization of synthetic based drilling mud, *Journal of Engineering and Applied Sciences* 13 (10): 3573-3581, ISSN: 1816-949X.
- [25]Shah, S.N., E.P, Ph.D., Shanker, N.H., and Ogugbue, C.C. (2010). Future challanges of drilling fluids and their rheological measurements, Well Construction Technology Center, University of Oklahoma.
- [26]Ferguson, C.K., and Klotz, J.A. (1954). Filtration from mud during drlling, *J. Pet Technol* 6(02):30-43. Paper number: SPE-289-G, <https://doi.org/10.2118/289-G>.
- [27]Prokop, C.L. (1952). Radial filtration of drilling mud, *J Pet Technol*, 4(01):5-10, Paper Number: SPE, 143-G, <https://doi.org/10.2118/143-G>.
- [28]Vipulanandan, C., and Mohammed, A. (2020). Effect of drilling mud bentonite contents on the fluid loss and fitler cake formation on a field clays oil formation compared to the API fluid loss method and characterize during Vipulanandan models, *Journal*

of Petroleum Science and Engineering, 189 (2020), 107029, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.197029>.

- [29]Avcı, E. (2018). Jeotermal sularla hazırlanmış çamurların sondaj performansına etkisi, *Petrol ve Doğal Gaz Ana Bilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi*.
- [30]Beck, F.E., Powell, J.W., and Zamora M. (1995). The effect of rheology of penetration, *SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Netherlands, PaperNumber: SPE-29368-MS*, <https://doi.org/10.2118/29368-MS>.
- [31]Güllü A., Özdemir A., Palabıyık Y. ve Yaşar, E. (2021). Türkiye kara alanlarında delinen petrol ve doğalgaz kuyularında kullanılan sondaj akışkanı katkı maddeleri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27, 398-406.
- [32]Erdoğan Y. ve Kök O. E. (2017). Sondaj uygulamalarında kullanılan bazı kimyasallar ve özellikleri (Çanakkale Tuzla jeotermal sahası çamur maaliyetinin araştırılması, Yasin Erdoğan, Onur Eser Kök, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4), 11-20.
- [33]Şans, B. E. Kuzeybatı Trakya’da (Lalapaşa-Pınarhisar) İslambeyli formasyonu’nun ve bentonit oluşumlarının jeolojisi, mineralojisi, jeokimyası ve teknolojik özellikleri, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [34]Türkiye Petrolleri [TP]. (2007). Sondaj akışkanları teknolojisi (lignosülfat çamuru).
- [35]Kök, M. V., Özel, R. ve Sönmez, A. (2012). Sondaj sıvılarına eklenen sıvı kayganlaştırıcıların performans analizi, *Ankara*.
- [36]Sebüktekin, B.M. (2019). Bor türevleri katkılanmış sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özelliklerinin incelenmesi, *Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi*.
- [37]Özyol, F. (2015). Buca killerinin sondaj çamuru olarak kullanımının araştırılması, *Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ekonomik Jeoloji Programı, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [38]Kargı, E. (2015). Sondaj çamuru uygulamaları için kil-polimer etkileşimlerinin belirlenmesi, *Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Fizik Mühendisliği Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- [39]Öztekin, M. (2019). Pirina bazlı çeşitli katkıların su bazlı sondaj çamurunun reolojik ve filtrasyon özellikleri üzerine etkileri, *Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi*.
- [40]Turan, S.E. (2019). Sondaj çamuruna uçucu kül eklenmesinin çamurun reolojik ve filtrasyon özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi*.
- [41]American Petroleum Institute (API). 2017. Recommended practice for field testing water-based drilling fluids, 5th ed., API 13B-1.

[42]American Petroleum Institute (API). 2010. Specification for drilling fluids materials, 18th ed., API 13A .

[43]Akbulut A. (1995). Yazıcık (Niksar-Tokat/Türkiye) bentonitleri: İlk veriler, Türkiye Jeoloji Bülteni, 38, 1, 53-61.



DİZİN

A

API · iv, v, ix, xv, 4, 10, 11, 12, 15,
18, 19, 21, 23, 24, 26, 80, 81,
83, 84, 85

B

bentonit · iv, ix, xiii, xv, 4, 17, 18,
19, 22, 23, 25, 27, 28, 31, 36,
42, 43, 44, 50, 51, 52, 53, 59,
64, 66, 68, 69, 70, 74, 75, 77,
78, 80, 84

Ç

çamur · iv, viii, ix, x, xi, xiii, 9, 10,
11, 12, 13, 16, 17, 18, 20, 22,
23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 37,
38, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50,
51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59,
60, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 68,
69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76,
77, 78, 79, 80, 81, 84

E

enerji · 1, 4, 5

F

filtrasyon · iv, viii, x, xi, xii, 4, 7,
10, 12, 13, 19, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 30, 37, 44, 45, 52,
53, 59, 60, 66, 67, 75, 76, 77,
78, 79, 80, 81, 84

J

jel mukavemeti · 10, 11, 20, 21,
23, 27, 30, 37, 43, 44, 45, 52,

53, 58, 59, 60, 66, 70, 71, 72,
73, 74, 75

N

newtonian · vij, 8, 14

O

OPEC · xv, 2, 82

P

petrol · iv, ix, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12,
18, 21, 24, 82, 83, 84
pnömatik · 8

F

filtrasyon · iv, viii, x, xi, xii, 4, 7,
10, 12, 13, 19, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 27, 30, 37, 44, 45, 52,
53, 59, 60, 66, 67, 75, 76, 77,
78, 79, 80, 81, 84

J

jel mukavemeti · 10, 11, 20, 21,
23, 27, 30, 37, 43, 44, 45, 52,
53, 58, 59, 60, 66, 70, 71, 72,
73, 74, 75

N

newtonian · vij, 8, 14

O

OPEC · xv, 2, 82

P

petrol · iv, ix, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12,
18, 21, 24, 82, 83, 84
pnömatik · 8

R

reolojik · iv, vii, viii, x, xi, xii, 4, 7,
10, 13, 14, 19, 21, 22, 23, 24,
25, 26, 37, 43, 45, 51, 53, 58,
60, 65, 67, 71, 72, 73, 74, 80,
84

S

sodyum poliakrilat · iv, viii, 4, 25,
27, 28, 31, 53, 54, 57, 58, 59,
60, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 69,
70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77,
78, 79, 80, 81
sondaj · iv, vii, viii, 1, 2, 3, 4, 5, 6,
7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16,
17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25,
26, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 37,
38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45,
46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53,
54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61,
62, 63, 64, 65, 66, 67, 75, 76,
77, 78, 79, 80, 81, 82, 84

V

viskozite · iv, viii, 8, 10, 11, 14,
15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 27,
29, 30, 37, 43, 45, 49, 51, 53,
58, 60, 65, 70, 71, 72, 73, 74,
76, 77, 78, 79, 80, 81



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

