

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ARITMA ÇAMURLARININ
REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Barış VURAL

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Sezen COŞKUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2020**



©2020 [Barış VURAL]

TEZ ONAYI

Barış VURAL tarafından hazırlanan "**Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarının Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Dr. Öğr. Üyesi Sezen COŞKUN**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Nevzat Özgü YİĞİT**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Hakan CEYLAN**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Barış VURAL

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Barış Vural', with a stylized flourish at the end.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| İÇİNDEKİLER..... | i |
| ÖZET | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | v |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | vi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | vii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 4 |
| 2.1. Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurları | 4 |
| 2.2. Arıtma Çamuru Kaynaklı Tesis Problemleri..... | 6 |
| 2.3. Isparta Süleyman Demirel OSB Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi..... | 7 |
| 2.4. Reoloji Bilimi | 14 |
| 2.4.1. Kayma gerilimi | 15 |
| 2.4.2. Kayma hızı | 17 |
| 2.4.3. Akma gerilimi | 18 |
| 2.4.4. Viskozite | 18 |
| 2.4.5. Viskoz akış davranışları..... | 19 |
| 2.4.6. Newtoniyen akışlar | 19 |
| 2.4.7. Newtoniyen olmayan akışlar | 20 |
| 2.5. Arıtma Çamurlarının Reolojik Özellikleri ile ilgili Çalışmalar | 24 |
| 3. MATERYAL ve METOT | 27 |
| 3.1. Materyal..... | 27 |
| 3.2. Metot..... | 27 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA..... | 29 |
| 4.1. Karakterizasyon Testleri..... | 29 |
| 4.2. Reolojik Testler | 29 |
| 4.2.1. Çamur numunelerinin reolojik davranışları | 30 |
| 4.2.2. Çamur katı madde konsantrasyonlarının viskoziteye etkisi..... | 33 |
| 4.2.3. Reolojik testlerin model uygunluğu..... | 35 |
| 5. SONUÇLAR..... | 39 |
| KAYNAKLAR | 41 |
| EKLER..... | 46 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 48 |

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ARITMA ÇAMURLARININ REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Barış VURAL

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sezen COŞKUN

Tez çalışmasında endüstriyel atıksu arıtma tesisinden iki farklı mevsimde, tesisin iki farklı kademesinden (kimyasal arıtma çıkışı ve biyolojik arıtma çıkışı) alınan çamur numunelerinin (kimyasal arıtma çamuru; KAÇ ve biyolojik arıtma çamuru; BAÇ) reolojik özellikleri belirlenmiştir. Çamur numuneleri, kimyasal arıtma ünitelerini takiben aktif çamur prosesi ile işletilen Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında çamur numunelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (pH, sıcaklık, iletkenlik, AKM, KOİ ve UAKM) tespit edilmiş, ikinci aşamasında ise Brookfield DV-II+Pro viskozimetre cihazı ve Rheocalc V3 1.1 programı kullanılarak speed ramp mode'da numunelerin farklı kayma hızlarına karşılık kayma gerilmeleri ve viskoziteleri belirlenmiştir. Reolojik veriler, Power Law (Ostwald) Modeline göre değerlendirilmiştir. Ekim ayında meyve suyu üretim tesisi kaynaklı atıksuyun arıtma tesisi prosesine dâhil olması nedeniyle, inorganik kirlilik artış göstermiş ve ekim ayı AKM konsantrasyonları şubat ayına göre her iki çamur numunesinde de daha yüksek tespit edilmiştir. Hem kimyasal hem de biyolojik arıtma çamur numuneleri için artan kayma hızı ile görünür viskozite değerlerinin azaldığı, kayma geriliminin ise artış gösterdiği belirlenmiştir. Bütün numunelerde Power Law Modeli'ne göre akış davranış indeksi (n) 1'den küçük olduğu belirlenmiştir. Katı madde konsantrasyonundaki artışla beraber akışkanlık katsayısı olan K değerinde de artış görülmüş, akış davranış indeksi ise azalmıştır. Çamur numunelerinden elde edilen görünür viskozite değerleri $\eta_{KAÇ EKİM} > \eta_{KAÇ ŞUBAT} > \eta_{BAÇ EKİM} > \eta_{BAÇ Şubat}$ şeklindedir. Tüm numuneler Newtoniyen olmayan akış özelliğine sahip psödoplastik akış davranışı göstermiştir. Sonuç olarak, arıtma tesisi giriş atıksuyunda meydana gelecek mevsimsel değişimlerin tesis çamurunun reolojik özellikleri açısından etkili bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Belirli mevsimlerde, giriş suyunun inorganik içeriğine ve çamurun reolojik özelliklerine göre ön arıtma prosesinde kimyasal değişikliğine gidilebilir ve çamurun viskozitesindeki artışlar kontrol altına alınabilir. Böylece çamur pompalarının daha verimli çalışması, arıza problemlerinin azaltılması ve iletim hatlarının korunması sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel arıtma çamuru, reoloji, viskozite

2020, 48 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT PLANT SLUDGES

Barış VURAL

Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sezen COSKUN

In this thesis study, rheological properties of sludge samples (chemical treatment sludge; CTS and biological treatment sludge BTS) taken from industrial wastewater treatment plant in two different seasons, from two different stages of the plant were determined. Sludge samples were taken from Isparta Suleyman Demirel Organized Industrial Zone Wastewater Treatment Plant, which is operated with activated sludge process following chemical treatment units. The physical and chemical properties (pH, temperature, conductivity, SS, COD and total volatile solids) of the mud samples were determined in the first phase of the study, and in the second phase Rheocalc V3 1.1 in the Brookfield DV-II+Pro viscometer device by creating the speed ramp mode program, the shear stresses and viscosity of the samples were determined in response to different shear speeds. The rheological data were evaluated according to the Power Law (Ostwald) Model. Due to the inclusion of wastewater from the fruit juice production plant into the industrial treatment plant process in October, inorganic pollution increased and October suspended solid concentrations of sludge were higher in both samples compared to February. It was determined that apparent viscosity values decreased and shear stress increased with increasing shear rate for both chemical and biological treatment sludge samples. In all samples, flow behavior index (n) was found to be less than 1 according to Power Law Model. The viscosity values obtained from sludge samples is $\eta_{CTS\ October} > \eta_{CTS\ February} > \eta_{BTS\ October} > \eta_{BTS\ February}$. Sludge samples show Non-Newtonian pseudoplastic flow characteristics. As a result, seasonal changes in treatment plant inlet wastewater were found to be an effective factor in the rheology of plant sludge. In certain seasons, depending on the inorganic content of the inlet water and the rheological properties of the sludge, chemical changes can be made in the pre-treatment process and increases in the viscosity of the sludge can be controlled. Thus, more efficient operation of mud pumps, reduction of fault problems and protection of transmission lines can be achieved.

Keywords: Industrial treatment sludge, rheology, viscosity

2020, 48 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmam boyunca desteğini gördüğüm değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sezen COŞKUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan verilerin temininde yardımcı olan Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesi Yönetim Kurulu ve Bölge Müdürü Kadir TEKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez dönemi boyunca her türlü zorluğu kolaylaştıran arkadaşlarım Çevre Mühendisi Muhammed Talha AYDIN ve Endüstri Mühendisi Dilan YURTSEVER'e teşekkür ederim.

Desteğini ve sabrını benden hiçbir zaman esirgemeyen tüm aile fertlerime sonsuz şükranlarımı sunarım.

Barış VURAL
ISPARTA, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1 Isparta Süleyman Demirel OSB Atıksu Arıtma Tesisi iş akım şeması | 8 |
| Şekil 2.2 Kum ve yağ tutucu ünitesi..... | 9 |
| Şekil 2.3 Havalandırma havuzları | 11 |
| Şekil 2.4 Son çökeltim havuzları | 11 |
| Şekil 2.5 Deşarj suyu..... | 11 |
| Şekil 2.6 Yoğunlaştırma havuzları..... | 12 |
| Şekil 2.7 Çamur çekim ekipmanı dekantör..... | 13 |
| Şekil 2.8 Solar çamur kurutma tesisi | 13 |
| Şekil 2.9 Reoloji biliminin temel sınıflandırılması..... | 14 |
| Şekil 2.10 Basma, çekme, kayma kuvvetleri..... | 16 |
| Şekil 2.11 Viskozite temel tanımı | 17 |
| Şekil 2.12 Kayma hızı ve kayma gerilimi diyagramı akışkan modelleri | 19 |
| Şekil 2.13 Newtoniyen akış kayma hızı, kayma gerilimi, viskozite | 20 |
| Şekil 2.14 Newtoniyen olmayan akışkanlar şematik gösterimi..... | 21 |
| Şekil 2.15 Psödoplastik akışkan davranışı..... | 22 |
| Şekil 2.16 Dilatant akışlar davranışı..... | 22 |
| Şekil 2.17 Kayma gerilimi ve zaman grafiği | 24 |
| Şekil 3.1 Brookfield DV_II+Pro Cihazı..... | 28 |
| Şekil 4.1 Ekim ayı KAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı..... | 30 |
| Şekil 4.2 Şubat ayı KAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı..... | 31 |
| Şekil 4.3 Ekim ayı BAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı..... | 31 |
| Şekil 4.4 Şubat ayı BAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı..... | 32 |
| Şekil 4.5 Çamur örnekleri kayma gerilmesi-kayma hızı reogramı | 32 |
| Şekil 4.6 KAÇ ve BAÇ viskozite-kayma hızı grafiği | 34 |
| Şekil 4.7 Ekim ayı KAÇ Power Law Model uygunluk reogramı..... | 36 |
| Şekil 4.8 Şubat ayı KAÇ Power Law Model uygunluk reogramı..... | 37 |
| Şekil 4.9 Ekim ayı BAÇ Power Law Model uygunluk reogramı..... | 37 |
| Şekil 4.10 Şubat ayı BAÇ Power Law Model uygunluk reogramı | 38 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 4.1. Ekim ayına ait KAÇ ve BAÇ karakteristik özellikleri | 29 |
| Çizelge 4.2. Şubat ayında KAÇ ve BAÇ karakteristik özellikleri..... | 29 |
| Çizelge 4.3. Çamur numunelerinin Power Law Model parametreleri ve uygunlukları..... | 35 |



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|----------|-------------------------------|
| A | Alan |
| AD | Faaliyet Verisi |
| AKM | Askıda Katı Madde |
| BAÇ | Biyolojik Arıtma Çamuru |
| BOİ | Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı |
| BSI | British Standard Institution |
| F | Kuvvet |
| KAÇ | Kimyasal Arıtma Çamuru |
| KOİ | Kimyasal Oksijen İhtiyacı |
| n | Akış Davranış İndeksi |
| γ | Kayma hızı |
| η | Viskozite |
| η_p | Plastik viskozite |
| τ | Kayma Gerilmesi |

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve yanlış tüketim alışkanlıkları nedeniyle doğal kaynaklarımız giderek azalmakta veya kirlenmektedir. Çevre kirliliği açısından en önemli problemlerden birisi su kaynaklarının hızlıca kirlenmesidir. Bu durum içilebilecek nitelikte suya ulaşma olasılığını giderek düşürmektedir. Çevre kirliliğine karşı alınabilecek öncelikli önlem ise kirliliğin kaynağında engellenmesidir. Hızla gelişen teknoloji bu konuda çözüm önerilerini de beraberinde getirmiş, su kirliliğinin önlenmesi açısından kurulan atıksu arıtma tesislerinin sayısı hızla artış göstermiştir. Temel amacı, alıcı ortama deşarj edilmeden atıksuyun arıtılması olan atıksu arıtma tesislerinin işleyiş prensipleri ve projelendirilmesi iyi anlaşılmalıdır. Atıksu arıtma tesislerinin doğru tasarlanması ve verimli bir şekilde işletilmesi, yaşanması muhtemel işletme problemlerinin önlenmesine katkıda bulunacaktır. Bu konularda hazırlanacak lisansüstü tez çalışmaları ve çalışma sonucu elde edilen veriler, hem literatüre katkısı hem de pratik uygulamalarda yol gösterici olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır.

Organize sanayi bölgelerinde farklı sektörlerden kaynaklanan farklı özelliklere sahip atıksuların birlikte arıtılması nedeniyle, işletilen endüstriyel atıksu arıtma tesisleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Fiziksel arıtmada kullanılan kaba ızgara, ince ızgara, kum ve yağ tutucu ünitelerinde büyük katı partiküllerin uzaklaştırılması sağlanarak pompa ve diğer arıtma ekipmanlarının zarar görmesi engellenmektedir (Şimşek, 2019). Kimyasal arıtma prosesinde uygun pH değerinde atıksuya kimyasal maddeler (koagülant, polielektrolit vb.) ilave edilerek koagülasyon (hızlı karıştırma) ve flokülasyon (yavaş karıştırma) havuzlarında floklar oluşturulur. Oluşan kimyasal floklar çöktürme havuzlarında çökeltilerek çamur hâlinde sudan ayrılır (Qasim, 1999; Arceivala, 2002). Kimyasal arıtma prosesi, biyolojik arıtma öncesinde toksik maddelerin büyük ölçüde giderilmesini sağlar. Biyolojik arıtma prosesinde ise düşük maliyetle yüksek arıtma verimlerine ulaşılabilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan atıksu arıtma prosesleri aktif çamur arıtma sistemleridir (Öztürk vd., 2005; Kryłów ve Fryźlewicz-Kozak, 2007). Aktif

çamur arıtma sistemleri hem evsel atıksuların arıtımında hem de kimyasal arıtma ünitelerinin sisteme eklenmesi ile endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılabilir. Sistem içerisinde aerobik mikroorganizmalar fiziksel ve kimyasal metotlarla giderilmeyen atıksu içerisindeki organik maddeyi oksijen kullanarak ayrıştırırlar. Organik maddeler yapı değişimi (asimilasyon) ve madde değişimine (disimilasyon) uğrayıp çökebilir floklar (aktif çamur) hâline gelerek kararlı maddeye ve ısı enerjisine dönüşürler (Muslu, 1996; Eroğlu, 1991; Kalkan, 2010). Çoğunluğu bakterilerden oluşan mikroorganizmalar, kısmen çözünmüş, kısmen asılı hâldeki organik maddeleri hücrelerini kurmak ve enerji elde etmek için kullanılırlar ve hızla çoğalırlar (Toprak, 2006). Çoğalan mikroorganizmalar birbirine ve suda asılı maddelere tutunarak aktif çamur yumaklarını oluşturur ve yumaklar son çöktürme havuzunda çöktürülür. Çöken mikrobiyal biokütle (çamur) fazlası sistemden periyodik olarak atılır. Aktif çamur yumaklarının bir kısmı da havalandırma havuzuna geri devrettirilerek aktif çamur konsantrasyonu istenilen seviyede tutulur (Muslu, 1985). Çamurun katı madde içeriği yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma gibi işlemlerle arttırılarak katı atık deponi sahası vb. alanlarda çamurun nihai bertarafı sağlanır.

Çamurun akış (reolojik) özelliklerinin anlaşılması, arıtma tesisi içerisinde iletim sistemlerinin tasarlanması (Abu-Orf ve Dentel, 1999), arıtma tesisinin verimli işletilebilmesi amacıyla kontrol noktalarının takibi (Sanin, 2002; Kalkan, 2010), çamurun susuzlaştırma ünitelerinin veriminin arttırılması (Dentel vd., 2000; Yen vd., 2002) açısından büyük önem taşımaktadır. Çamurun reolojik karakterizasyonu belli bir kesme kuvveti uygulanarak ortaya çıkan kesme hızlarının ölçülmesi ile belirlenebilmektedir (Günalp, 2016). Aktif çamur, düşük katı madde konsantrasyonlarında reolojik özellik olarak su gibi Newtoniyen; yüksek katı madde konsantrasyonlarında ise Newtoniyen olmayan türde davranış göstermektedir (Behn, 1962; Moeller ve Torres, 1997). Aktif çamurun reolojik özelliklerini tanımlamak için literatürde Ostwald, Bingham, Hershel-Bulkley ve Sisko gibi modeller sunulmuştur (Eshtiaghi vd., 2013). Birçok reolojik model Ostwald Modeli diye adlandırılan Power Law eşitliğine dayanmaktadır (Behn, 1962; Lotito vd., 1997). Katılar yüksek

konsantrasyonlarda pseudoplastik davranış göstermekte, bu davranış şekli de genel olarak Ostwald Modeli ile temsil edilmektedir (Bougrier vd., 2006; Terashima vd., 2009; Wu vd., 2011; Eshtiaghi vd., 2013; Günalp, 2016).

Atık çamur reolojik çalışmalarının çoğunluğunun evsel atıksu arıtımının gerçekleştiği aktif çamur prosesi ile işletilen arıtma tesisi numuneleri üzerine yapıldığı görülmektedir. Sadece Krylow ve Fryzlewicz-Kozak (2007), evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin anaerobik çürütücü öncesi ve sonrası çamurların reolojik özelliklerini belirleyen çalışması ile endüstriyel atıksu konusuna çalışmalarında yer vermiştir.

Tez çalışmasının amacı, Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi kimyasal ve biyolojik arıtma çamurlarının reolojik özelliklerinin belirlenmesidir. Organize sanayi bölgesinde mevsimsel çalışan sektörler nedeniyle hem atıksu, hem de arıtma çamurlarının karakteristiği mevsimsel olarak değişim göstermektedir. Arıtma tesisi, endüstriyel atıksuların arıtıldığı kimyasal arıtma ünitelerini takiben aktif çamur prosesi ile işletilmektedir. Tez çalışması ile kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma olmak üzere farklı iki proses çıkışından, farklı mevsimlerde alınan çamur numunelerinin reolojik özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma, literatürde eksikliği görülen endüstriyel atıksu arıtma tesisi çamurlarının reolojik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili sağlayacağı katkı nedeniyle özgün değer taşımaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurları

Organize sanayi bölgelerinin dağınık sanayileşmeye kıyasla önemli avantajlarından birisi, sanayiden kaynaklı su kirliliğinin kontrol altına alınması amacıyla tüm sanayi kollarından gelen atıksuyun toplanması ve organize sanayi bünyesinde bulunan arıtma tesisleri ile arıtılmasıdır. Organize sanayi bölgelerinde farklı sektörlere ait atıksuların endüstriyel atıksu arıtma tesisinde birlikte arıtılması nedeniyle atıksu, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç aşamada arıtmaya tabi tutulur. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin farklı kademelerinde, farklı karakteristiklere sahip arıtma çamurları oluşmaktadır. Bu arıtma kademeleri kimyasal çöktürme havuzu, son çökeltim havuzu, yoğunlaştırma havuzu ve çürütme tankıdır (Filibeli 2002; Erkekardaş, 2014).

Kimyasal Çöktürme Havuzu: Kimyasal arıtma prosesleri suda çözünmüş veya askıda bulunan maddelerin fiziksel durumunu değiştirerek çökelmelerini sağlamak üzere uygulanan arıtma prosesleridir. Kullanılan kimyasal maddenin miktarına, özelliklerine veya atıksuyun kolloidal madde konsantrasyonuna göre miktarları ve özellikleri değişebilen bir çamur tipidir (Dindar, 2008). Koagülant olarak demir klorür kullanımı hâlinde havuzdan çıkan çamur koyu, demir içeriği yüksek ise kırmızı renklidir. Alüminyum sülfat kullanımından kaynaklanan çamur ise daha açık renktedir (Kestioğlu, 2001; Filibeli, 2002; İşçi, 2006). Kimyasal çöktürme havuzundan çıkan çamurların kokusu; biyolojik çamur, aerobik çürütülmüş çamur, anaerobik çürütülmüş çamur kokuları kadar yoğun değildir ancak inorganik içeriğinin daha yüksek olması beklenir. Çamurdaki demir veya alum hidratları, çamuru jelatinimsi yapıya dönüştürür (Erkekardaş, 2014).

Son Çökeltim Havuzu: Arıtma tesisinin bu bölümünde havalandırma havuzunda oluşan flokların çökelti olarak uzaklaştırılmasını sağlanmaktadır. Havuz tabanında biriken çamurun bir miktarı pompalar yardımıyla havalandırma havuzuna basılır (Yorulmaz, 2016), kalan kısmı ise çamur

yoğunlaştırma ve susuzlaştırılmak için kurutma yataklarına veya dekantörlere alınır (Muslu, 1994). Son çöktürmeden alınan çamurun rengi kahverengi ve içeriği flok ağırlıklıdır. Toprak kokusu ve yaklaşık %2 katı madde içeriği iyi şartların göstergesi olarak kabul edilir. Çamur, kolaylıkla septikleşmeye meyillidir ve bu durumda çürük yumurta kokusu yayabilir (Öztürk vd., 2005; Kalkan, 2010).

Çamur Yoğunlaştırıcı: Çamur bertaraf işlemlerinin ilk basamağı kabul edilen yoğunlaştırma ünitelerinin amacı, çamuru daha konsantre hâle getirmek ve çamur bertaraf işlemlerinin verimini arttırmaktır. Böylece yoğunlaştırma ünitesinden sonra gelen vakum filtrasyonu, santrifüjleme, belt pres vb. işlemlerin maliyeti azaltılmaktadır (İller Bankası, 1989; Yorulmaz, 2016).

Çamur Çürütme Tankı: Aerobik ve anaerobik şartlarda gerçekleştirilebilen çamur çürütme işleminin amacı, patojen mikroorganizmaların azaltılması, istenmeyen kokunun giderilmesi ve enerji elde edilebilmesidir. Aerobik çamur çürütme, organik çamurların, aerobik biyolojik mekanizmalar vasıtasıyla parçalanması esasına dayanmakta ve genel olarak, aktif çamur sistemlerinden açığa çıkan biyolojik arıtma çamurlarına uygulanan bir bertaraf sürecidir. Aerobik çamur çürütmenin anaerobik çamur çürütücülere göre; (1) ilk yatırım maliyeti düşük olup koku sorunu olmayan son ürünlerin elde edilmesi, (2) çıkış suyunda daha düşük biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve nispeten basit işletme gibi üstünlükleri vardır (Toprak, 2006; Yorulmaz 2016). Anaerobik çamur çürütme ise, moleküler oksijen yokluğunda organik maddelerin biyolojik olarak parçalanarak nihai olarak CO₂ ve CH₄'e dönüşmesi esasına dayanan ve organik madde içeriği oldukça yüksek endüstriyel atık suların arıtımından kaynaklanan arıtma çamurları için tercih edilen bir prosestir (Filibeli, 1998; Kalkan 2010). Anaerobik çürütme prosesinin avantajları, çamurun stabilize edilerek organik madde içeriğinin azaltılması ile biyokatı adı verilen çevreye zararsız ve kolaylıkla susuzlaştırılabilen bir maddeye dönüştürülmesi ve anaerobik çürütmenin son ürünü olan biyogazın içerisindeki metanın enerji elde etmek amacıyla kullanılabilmesidir (Eastman ve Ferguson, 1981). Çamur yaklaşık %4-6 oranında katı madde içeriğine sahip olup koyu kahve-siyah renklidir ve çok

miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde kötü kokmaz; kokusu hafif sıcak katran, yanmış lastik veya mühür mumu gibidir (Öztürk vd., 2005; Kalkan 2010).

2.2. Arıtma Çamuru Kaynaklı Tesis Problemleri

Atıksuların arıtılması sonucu oluşan arıtma çamurlarının biriktirilmesi, toplanması, taşınması ve bertarafı önemli bir sorundur. Arıtma çamuru ile ilgili proseslerin kurulum maliyeti, toplam tesis yatırım maliyetinin %20-30'unu oluştururken, tesis işletme maliyetinin %50'sini oluşturmaktadır (Yasui ve Shibata, 1994; Filibeli ve Kaynak, 2006; Yıldız vd., 2009). İlk yatırım maliyetlerinin korunması adına, arıtma tesisinde oluşan çamurların özgül ağırlığı, katı madde içeriği, akışkanlık özelliği, ağır metal içeriği, biyolojik, kimyasal ve çökelebilen özellikleri, çamur içerisindeki partiküllerin elektriksel yükleri, çamurun pompalar yardımıyla iletimi ve susuzlaştırılma şartları takip edilmeli ve iyileştirilmeye çalışılmalıdır.

Atıksu arıtma sistemlerinde değişen çamur özellikleri ile ilgili yaşanabilecek problemler ve çözüm yolları aşağıda maddeler hâlinde sıralanmıştır:

- Çamurların yüksek konsantrasyonlarda kum vb. diğer ağır veya hafif sıkışabilen madde ihtiva etmesi nedeniyle pompa ve borularda tıkanma problemleri görülebilmektedir. Bu durum çamur iletim hatlarında hız düşmesine de sebep olabilir (İller Bankası, 1989). Giriş suyunun inorganik içeriği özellikle organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesislerinde kontrol edilmesi gereken bir parametredir ve değişkendir. Farklı sektörlerden kaynaklanan atıksuların birlikte arıtıldığı organize sanayi bölgesi endüstriyel atıksu arıtma tesisleri, mevsimsel çalışan sektörler nedeniyle de değişen atıksu ve çamur karakteristiğine sahiptirler. Değişen parametrelere ayak uydurmak adına, çamurun reolojik özelliklerine göre kimyasal artıma prosesinde kimyasal seçimini doğru yapmak, kum tutucu yoksa tesise kum tutucu ilave etmek, boru hatlarında geri yıkama yapmak ve pompa tıkanıklığının sürekli kontrol edilmesiyle tesiste yaşanacak problemlerin önüne geçilebilir (İller Bankası, 1989; Yorulmaz 2016).

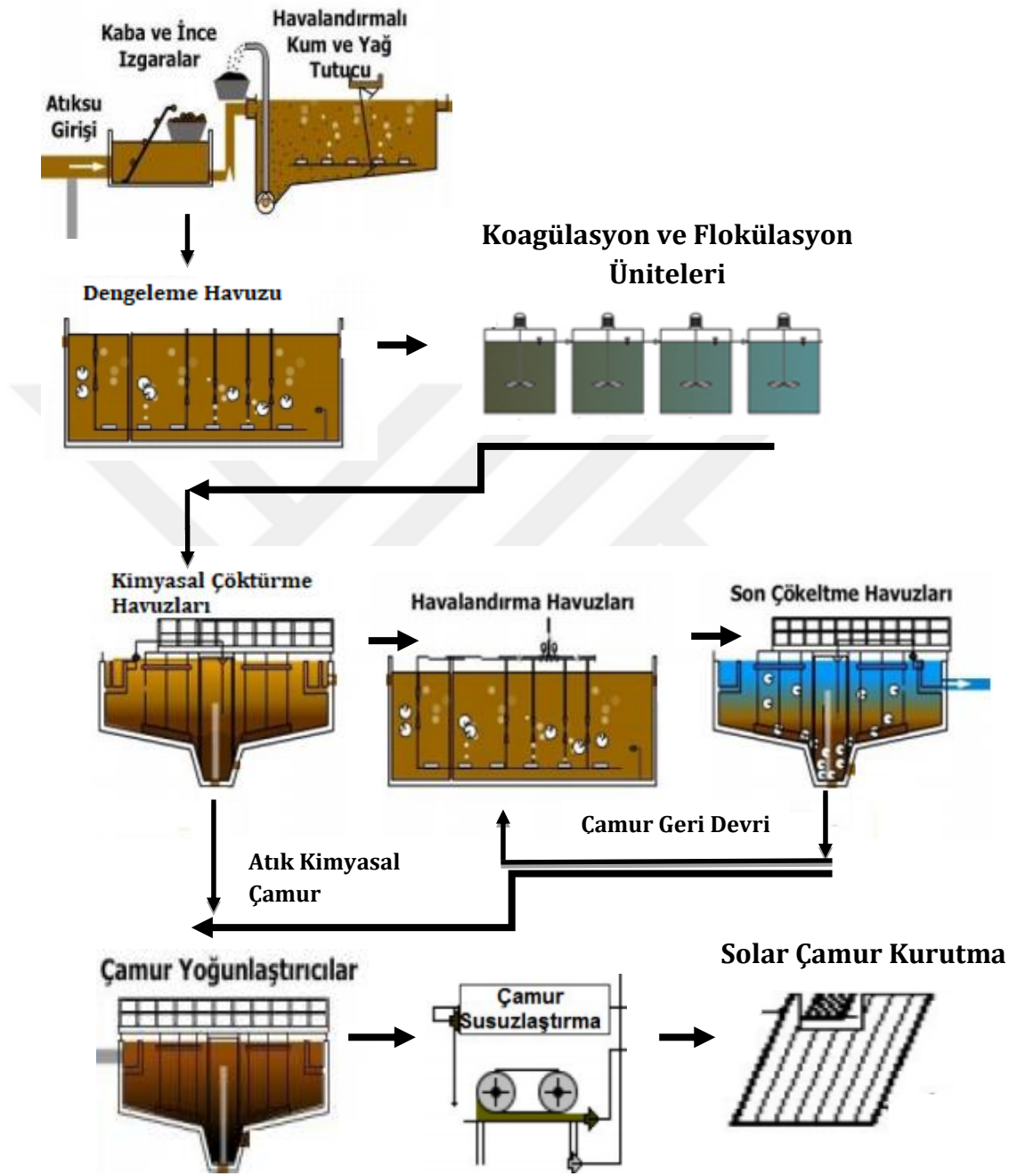
- Atıksu arıtma tesislerinde tıkanma problemleri ile ilgili pompa istasyonlarının sayısı ve bakımı bir diğer önemli konudur. Atıksu arıtma tesisinde pompa istasyonlarının sayısı minimum tutulmalı, mümkün oldukça ara pompa istasyonlarından kaçınılmalıdır. Çökeltim havuzlarının verimli çalıştırılabilmesi için giriş ve çıkış dalgıç perdelerinden oluşan birikintilerin devamlı temizlenmesi, biriken yüzücü kirlerin de giderilmesi sağlanmalıdır (Muslu, 1994; Yorulmaz, 2016).
- Tanklarda biriken çamurun alınma sıklığı da arıtma verimini doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Çamur alım sıklığı tankın ve sıyrıcının türüne, bölgenin iklim şartlarına, arıtma tesisinin müteakip ünitelerde uygulanacak proseslere göre belirlenmelidir (İller Bankası, 1989). Tanktan alınan çamurun su içeriği pompalanmasında güçlük yaratmayacak düzeyde olmalıdır. Şayet çamur arıtmaya tabi tutulacaksa, çürütücü içerisindeki çamuru soğutmamak ve çürütücüdeki çamur bekleme süresini azaltmamak için çamur katı madde yüzdesini mümkün olduğu kadar yüksek tutmak yararlıdır (İller Bankası, 1989). Çamurun ne hızla boşaltıldığı da önemlidir. Bu hız ne üstteki suyun çamur çıkışına ulaşmasına olanak verecek kadar yüksek, ne de katı maddelerin çamur borusunda birikerek tıkanmaya yol açmasına olanak verecek kadar düşük olmalıdır (İller Bankası, 1989; Yorulmaz, 2016).

Arıtma çamuru bertarafı için harcanan giderler atıksu arıtma tesisi işletiminde önemli kalemler arasındadır. Çamur miktarının kaynağında azaltılması ve çamurun reolojik özelliklerindeki değişikliklere göre yapılacak müdahaleler, taşıma maliyetinin minimize edilmesini ve bertaraf işlemlerinin kolaylaşmasını sağlayacaktır. Verimli bir tesis işletimi açısından arıtma çamuru özellikleri ve ana parametreleri düzenli olarak takip edilmelidir.

2.3. Isparta Süleyman Demirel OSB Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi

Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan fabrikaların evsel ve endüstriyel atıksuları, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma proseslerinin bulunduğu endüstriyel atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır.

Tesisin günlük ortalama debisi 4000 m³/gün olarak tasarlanmıştır. Atıksu Arıtma Tesisi iş akım şeması aşağıdaki Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 0.1. Isparta Süleyman Demirel OSB Atıksu Arıtma Tesisi iş akım şeması

Fiziksel Arıtma Üniteleri: Tesis girişinde maksimum 800 m³/saat debiyi arıtma ünitelerine basabilecek kapasitede pompaların yer aldığı bir terfi merkezi yer almaktadır. Atıksuyun terfi ettirilmesi ile ön arıtma ünitelerinin toprağa gömülü olması önlenmiştir. Giriş yapısından geçen su, kaba malzemelerin tutulması amacıyla çubuk ara mesafesi 50 mm, çubuk genişliği 10 mm (dikdörtgen kesitli) ve mekanik temizlemeli kaba ızgaradan geçer. Kaba ızgaradan geçen küçük katı maddeler, çubuk ara mesafesi 5 mm, çubuk genişliği 10 mm (dikdörtgen kesitli) ve mekanik temizlemeli ince ızgarada atıksudan ayrılır. Kum ve yağ gibi atıkların diğer ünitelere geçmesini önlemek amacıyla, bu atıklar trapez en kesitli, mekanik temizlemeli ve havalandırmalı kum ve yağ tutucuda atıksudan ayrılmaktadır. Şekil 2.2'de kum ve yağ tutucu ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 0.2. Kum ve yağ tutucu ünitesi

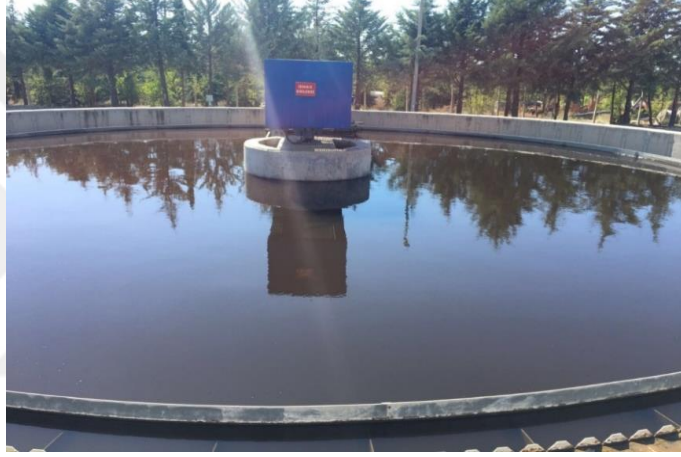
Kaba ızgara, ince ızgara kum ve yağ tutucu ünitesinden geçen atıksu dengeleme havuzuna alınmaktadır. Atıksu debisi, kirlilik değerlerinin homojenizasyonu ve tesisin diğer ünitelerine sabit bir debinin basılabilmesi için dengeleme havuzu tasarlanmıştır. Dengeleme havuzlarından tesisin diğer ünitelerine sabit ortalama debinin basılabilmesi için terfi haznesi yer almaktadır. Dengeleme havuzundan geçip terfi haznesinde toplanan su, pompalar vasıtasıyla hızlı karıştırma ünitesine gönderilir.

Kimyasal Arıtma Üniteleri: Hızlı karıştırma havuzlarında (koagülasyon) koagülant madde olarak PAK (Poli Alüminyum Klorür), atıksuyun uygun pH aralığına getirilmesi için ise kireç veya asit ilavesi yapılmaktadır. Hızlı karıştırma havuzlarından sonra atıksu yavaş karıştırma havuzlarına (flokülasyon) alınır. Havuzların her birinde homojen karışım sağlamak üzere düşey milli paletli tip birer yavaş karıştırıcı bulunmaktadır. Hızlı karıştırıcı ve yavaş karıştırıcı ünitelerinden geçen atıksu kimyasal çökeltim havuzlarına geçiş yapar. Ayrıca her bir havuz diğerinde oluşabilecek herhangi bir arıza nedeniyle kademe debisinin tek bir havuzda toplanabileceği şekilde tasarlanmıştır. Kimyasal çökeltme havuzları içerisinde bulunan kenardan tahrikli sıyrıcı mekanizma bir taraftan dip çamurunu toplarken diğer taraftan yüzen cisimleri havuz yüzeyinden uzaklaştırmaktadır.

Biyolojik Arıtma Üniteleri: Kimyasal çökeltme havuzundan savaklanan atıksu havalandırma havuzlarına alınmaktadır. Tesis tasarımında seçilen sistem uzun havalandırmalı aktif çamur sistemidir. Toplam 6 adet havuzdan oluşan havalandırma havuzlarında 37 kW gücünde aeratörler ile oksijen ihtiyacını karşılanmaktadır. Havalandırma havuzlarından çıkan ve biyolojik olarak arıtılması tamamlanmış atıksuyun son çökeltim havuzuna eşit olarak dağıtılabilmesi için dağıtım yapısı kullanılmaktadır. 1. kademe 2 tane olacak şekilde inşa edilen son çökeltme havuzlarının havuz çapı 16 m'dir. Havuz çevresi boyunca yüzücü maddelerin kaçmaması için dalgıç perde, birim boydan eşit miktarda su savaklanması içinde üçgen savaklar tasarlanmıştır. Son çökeltme havuzu içinde kenardan tahrikli sıyrıcı mekanizma, bir taraftan dip çamurunu toplarken diğer taraftan yüzen cisimleri havuz yüzeyinden uzaklaştırmaktadır. Havuz diplerinden alınan dip çamurların bir kısmı geri devir haznesine bir kısmı ise yoğunlaştırma havuzlarına gönderilir. Geri devir, çamur geri devir haznesinde bulunan dalgıç pompalar ile sağlanmaktadır. Son çökeltme havuzlarının üst suyu cazibe ile alınıp arıtılmış su haznesine toplanarak açık kanalın en yakın noktasına deşarj edilmektedir. Tesisin deşarj izni bulunmaktadır. Havalandırma havuzları, son çökeltim havuzları ve deşarj suyu görüntüleri sırasıyla Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 0.3. Havalandırma havuzları



Şekil 0.4. Son çökeltim havuzları



Şekil 0.5. Deşarj suyu

Çamur Arıtma Üniteleri: Arıtma tesisi içerisinde oluşan kimyasal arıtma çamurlarının tamamı yoğunlaştırma havuzlarına geçmektedir. Biyolojik arıtmadan kaynaklı oluşan çamurların bir kısmı geri devir pompaları ile havalandırma ünitelerine verilmektedir. Geri devire gitmeyen biyolojik arıtma çamuru ve kimyasal arıtma çamurları pompalar vasıtası ile yoğunlaştırma havuzlarına gönderilmektedir. Yoğunlaştırma havuzlarından da pompalar vasıtası ile dekantöre gönderilmektedir. Yoğunlaştırma havuzuna gelen arıtma çamurları %95-97 su içermektedir. Yoğunlaştırma havuzlarında katı içeriği %3-5 olan çamur, katı içeriği yaklaşık %20-25 oranlarında dekantöre geçiş yapar. Dekantörde kek haline getirilen arıtma çamuru solar çamur kurutma tesisine aktarılmaktadır. Kurutma tesisinde yüksek ısı sağlanarak nem oranı düşürülen çamur, kuruma işleminin hızlanması için tambur vasıtası ile de sürekli karıştırılarak katı oranı yaklaşık %94'e yükseltilmektedir. Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de sırasıyla yoğunlaştırma havuzları, dekantör, kurutma tesisi gösterilmiştir.



Şekil 0.6. Yoğunlaştırma havuzları



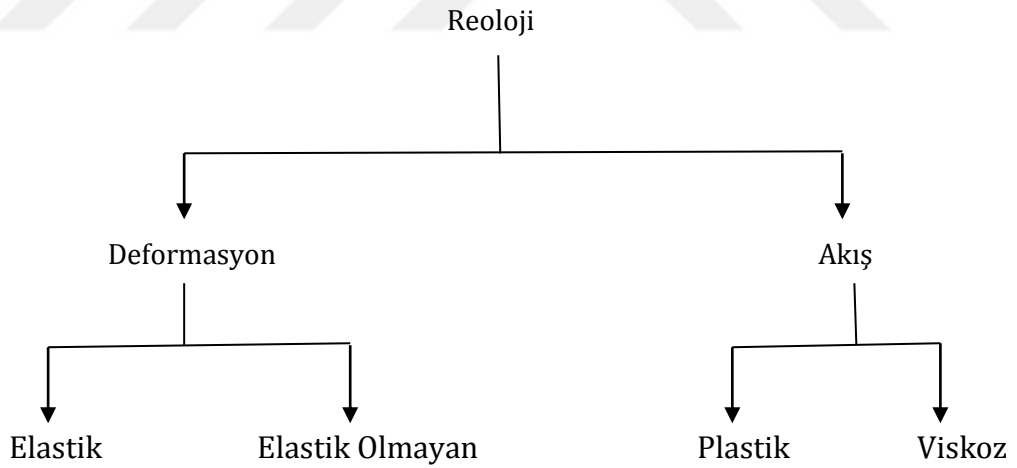
Şekil 0.7. Çamur çekim ekipmanı dekanter



Şekil 0.8. Solar çamur kurutma tesisi

2.4. Reoloji Bilimi

Reoloji bilimi; maddenin şekil değişikliğini yani katıların deformasyonunu ve sıvıların akış özelliklerini incelemektedir. Yunanca akış anlamına gelen rheos ve bilim anlamına gelen logos kelimelerinin birleşmesinden oluşmuştur (Mezger, 2006; Yılmaz, 2007). İlk kez 1928 yılında, akışkanların basınç karşısında gösterdiği direncin ölçülerek yorumlanması olarak kullanılmıştır (Barnes vd., 1998). Maddenin üzerine uygulandığında deformasyona ve akmaya sebep olan mekanik özellikler reolojik özellikler olarak tanımlanabilir (Davulcu, 2012). İdeal sıvılardan ideal katılara kadar maddenin reolojik davranışları değişiklik göstermektedir. Kayma hızı ve kayma süresi, sıcaklık, basınç, pH ve daha önce uygulanan deformasyon reolojik özellikleri etkilemektedir (Lokumcu, 2000). Birçok alanda reoloji çalışmaları yapılmaktadır. Gıda, kömür, asfalt, boya gibi çok farklı malzemelerde reoloji biliminden faydalanılır. Süspansiyon reolojisi, polimer reolojisi ve biyoreoloji gibi dallara da ayrılmaktadır. Reolojinin sınıflandırılması Şekil 2.9'da gösterilmiştir (Ün, 2007).



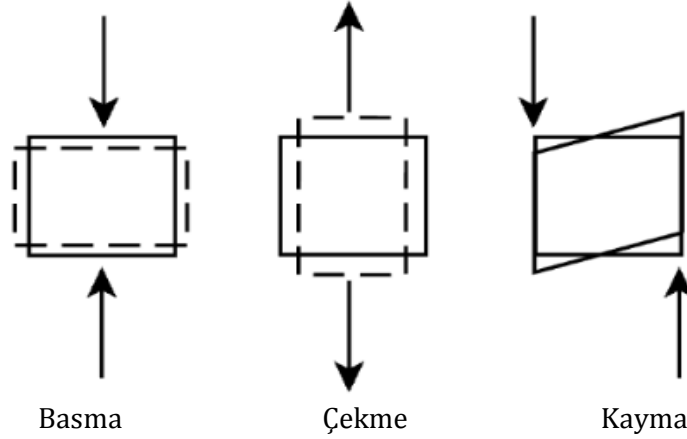
Şekil 0.9. Reoloji biliminin temel sınıflandırılması (Ün, 2007)

Reolojinin amacı malzeme ve özellikleri arasındaki ilişkinin anlaşılmasıdır. Newtoniyen (tamamen viskoz) ve Hooken (tamamen elastik) malzemeler reolojik davranışın iki uç örneğidir (Çelik, 2013). Newtoniyen akışa sahip sistemlerin hız gradyanı ve gerilimi arasında doğrusal ilişki mevcuttur. Bu sistemlerin akış özelliğinin ve viskozitesinin belirlenmesinde tek noktalı

viskozimetreler kullanılmaktadır. Tek kayma hızı ile çalışan bu viskozimetre, akış eğrisi üzerinde tek bir noktadan yapılan uzatma eğrisi ile tam bir akış eğrisi elde eder. Newtoniyen olmayan akış sistemleri viskozitesinin ölçülmesi ise değişik hız gradyanlarında çalışılarak mümkün olabilir. Çok noktalı viskozimetreler kullanılarak doğru sonuçlar elde edilebilir. Viskozimetreler, tüp içerisindeki sıvının akışa karşı direncini ölçmek ve sıvının içindeki katının direncini ölçmek üzere iki temel prensibe göre ölçüm yaparlar. Newton akışkanların ve Hooken elastiklerin her iki özelliğini birden taşıyan viskoleastik malzemeleri incelemek reolojistlerin esas amaçları ve uğraşlarıdır. Reolojinin net ve açık bir şekilde anlaşılması için akışkan davranışlarının ve modellerinin iyi bilinmesi gerekir (Barnes vd., 1998; Davulcu, 2012).

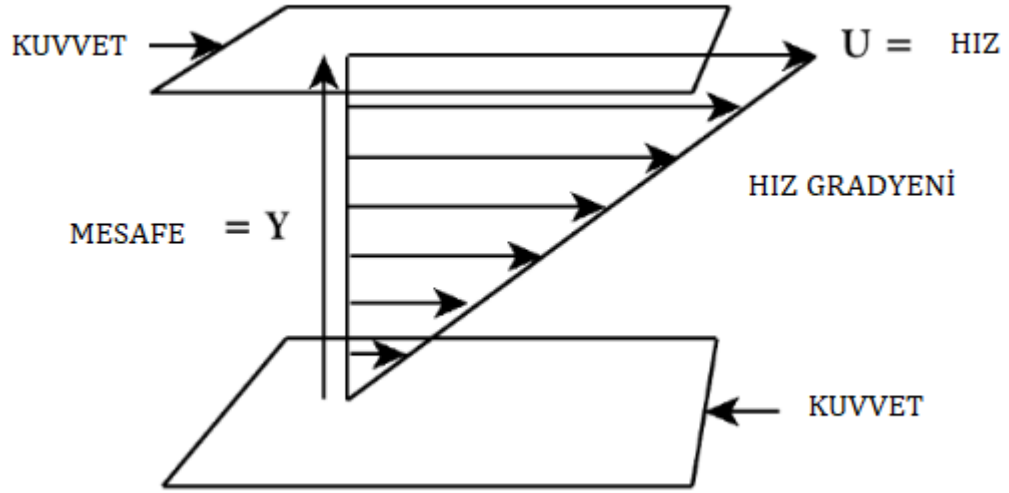
2.4.1. Kayma gerilimi

Kayma gerilimi, bir sıvının veya bir süspansiyonun kayması için belirli bir kayma hızı içerisinde gerekli olan uygulama alanı başına kayma kuvvetidir. Birbirine zıt kutuplardaki kuvvetlerin uygulanması ile meydana gelmektedir. Kuvvetler arasında paralel bir gerilme vardır ve meydana gelen gerilme cisimleri ya da objeleri kaydırır (Çelik, 2013). Bir diğer deyişle yüzeye paralel olarak uygulanan kuvvetlere kesme kuvvetleri, bu kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeye ise kayma gerilmesi denir. Cismin yüzeyine dik kuvvet uygulanırsa kesme kuvveti ve dolayısıyla kayma gerilmesi sıfır olacaktır. Cisme ya da objeye çekme kuvveti veya basınç uygulanırsa cismin boyunda uzama, kısalma, yanıl yüzeylerinde ise daralma veya genişleme meydana gelecektir. Kesme kuvvetinin uygulandığı cisim açısal bir değişme gösterecektir. Kayma gerilmesi oluşan malzemenin eksenleri arasındaki açısal değişme kaçınılmazdır (Dinger, 2002). Şekil 2.10'da basma, çekme, kayma kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 0.10. Basma, çekme, kayma kuvvetleri (Dinger, 2002)

Şekilde gösterilen küp ele alındığında basma ve çekme kuvvetleri ya da gerilmeleri küpü sıkıştırma ya da küpü çekme etkisi gösterirler. Ancak zıt kuvvetlerin uygulanması küp üzerinde kayma gerilimi oluşturmaktadır. Gerilmelerin küp üzerinde kaydırma etkisi olmasıyla birlikte deforme etkisi de görülmektedir. Kuvvet uygulanan katının elastik yapıda olduğu düşünülürse; basma kuvveti ile daralma ve sıkışma, çekme kuvveti ile genişleme meydana gelecektir. Elastik yapıdaki katıda deformasyon oluşturur, kuvvetler ortadan kaldırıldığında ise orijinal şeklini almaktadır. Zıt ve paralel kutuplardaki kayma kuvveti sıvılara uygulandığında ise sıvı molekülleri içerisindeki bağımsız tabakalar diğerine taşınır. Aynı kayma kuvveti uzaklaştırılırsa sıvı molekülleri yeni düzenlemeler yapacaktır. Basit sıvılarda kayma gerilimi ile birlikte akma meydana gelecektir. Akma gerilimi sergileyen sıvılarda kayma gerilimi akma gerilimini aştığı anda akış meydana gelecektir. Akma gerilimi sergileyen sıvılarda akış, tamamen uygulanan kayma gerilimi büyüklüğü ile ilgilidir. Kayma gerilmesi, kayma oranı ve viskozitenin tanımları için kullanılan en temel diyagram Şekil 2.11'de verilmiştir (Dinger, 2002).



Şekil 0.11. Viskozite temel tanımı (Dinger, 2002)

Şekilde görüleceği üzere iki tabaka arasındaki sıvının akış diyagramı örnek alınmıştır. Yukarıdaki plakada sağ tarafa doğru kuvvet uygulanmasıyla en alt plakada buna zıt ve eşit bir tepki kuvveti meydana gelmektedir. İki düzlem arasında bulunan sıvı bu şekilde kaymaya başlar. Plakalar arasında uygulanan kuvvetler kayma gerilmesi üretir ve bu gerilim sıvıya iletilir (Kalkan, 2010). Kayma gerilmesi Yunan alfabesinden alınan τ (tau) simgesi ile ifade edilir. Formül olarak ifadesi aşağıdaki gibidir (Günalp, 2016).

$$\text{Kayma Gerilmesi} = \text{Kuvvet}/\text{Alan}; \tau = F/A = \text{N}/\text{m}^2 = \text{Pa} \quad (2.1)$$

Mühendislik birimleri içerisinde yaygın olarak kullanılan kayma gerilimi birimi psi'dir. SI biriminde yaygın kayma gerilimi birimi Pascal'dır (Dinger, 2002).

2.4.2. Kayma hızı

Sıvılar kayma gerilimine maruz kaldığında sabit bir oranda deformasyona uğrayacaktır. Meydana gelen bu deformasyon oranı kayma hızı olarak tanımlanır. Kayma hızı γ simgesi ile ifade edilir (Akdemir, 2006). Basit bir sıvıda hız gradyeni doğrusaldır. Ancak bu doğrusallık Newtoniyen olmayan sıvılarda geçerli değildir. Belirlenen noktadaki hız gradyeninin hesaplanması ile oran

hesaplanabilecek ve kayma hızı belirlenecektir. Kayma hızı birimi s^{-1} olarak belirlenmiştir ve aşağıdaki formülasyon ile hesaplanır (Günel, 2016).

$$\text{Kayma Oranı} = \text{Hızdaki Değişim} / \text{Mesafe} = \Delta v / \Delta X = \gamma \quad (2.2)$$

2.4.3. Akma gerilimi

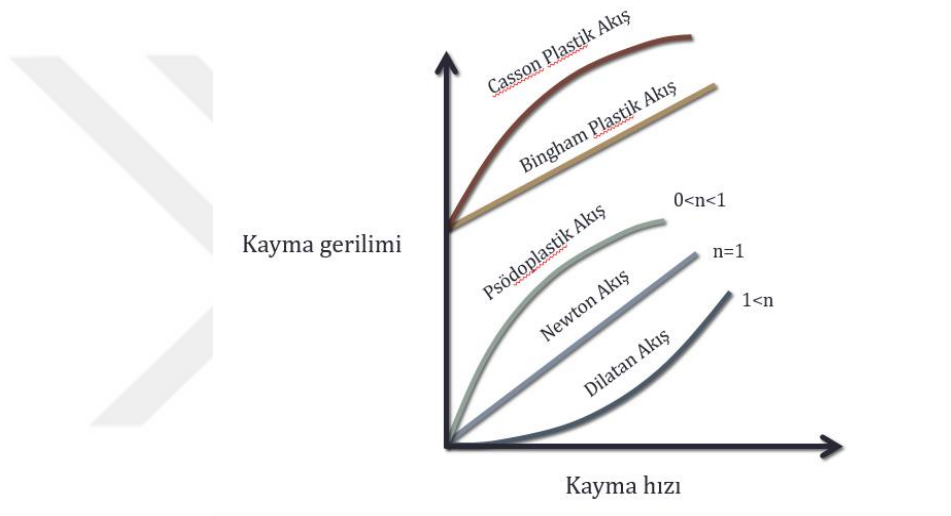
Bir süspansiyonda akmanın meydana gelebilmesi için aşılması gereken gerilime akma gerilimi denir. Basit sıvılar akma gerilimi göstermezler. Uygulanan gerilimlere tepki verirler ve akış gerçekleştirirler. Akma gerilimini aşan malzemeler plastik şekil değişimine uğrarlar (Dinger, 2002). Elastik bölgede yani akma gerilimi aşılmadan önceki bölgede malzemeye etki eden kuvvet ortadan kaldırılırsa malzeme eski haline dönecektir. Ancak akma gerilimi aşılmış ve plastik bölgeye geçilmiş ise malzemeye uygulanan kuvvet yok olsa dahi şekil değiştirme kalıcı hal almıştır (Kalkan, 2010).

2.4.4. Viskozite

Viskozite, maddenin içerisindeki kayma kuvvetleri nedeniyle oluşan direncin büyüklüğünü tanımlar. Akış karakterleri üzerinde önemli bir ölçüye sahiptir. Akışkan içerisindeki komşu tabakaların hareketleriyle ortaya çıkan içsel sürtünmedir. Bu olaya akışkanlarda akışa karşı direnç gösteren moleküller sebep olur. Moleküller çekim kuvvetinin sebep olduğu sürtünme akışkan tabakasının kendisine yapışan başka bir tabaka üzerinde hareketini engeller. Özetle viskozite moleküller çekim kuvvetinden kaynaklı, akışkanın akışa karşı gösterdiği dirençtir (Davulcu, 2012). Yaygın olarak kullanılan viskozite birimi Centi Poise (cP)'dir ve aynı zamanda mPa.s (mili pascal saniye) eşdeğer birimi olarak da kullanılır. Örnekle açıklanacak olursa; $1\text{cP} = 1\text{ mPa.s}$ şeklinde olacaktır (Akdemir, 2006). 1 cm/sn hızla hareket eden sıvının viskozitesi 1 poise 'dir. $1\text{ poise} = 1\text{ dyne/cm}^2.\text{saniye}$, $0,01\text{ poise} = 1\text{ centipoise (cp)}$ olarak karşımıza çıkacaktır (Kalkan, 2010).

2.4.5. Viskoz akış davranışları

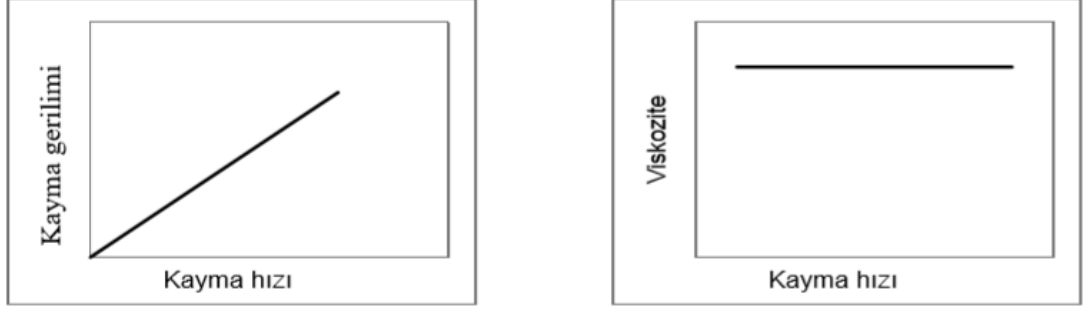
Akışkanların gösterecekleri akış durumu, yapılan ölçümlerde görülen ve elde edilen kayma hızına karşı çizilen kayma gerilimi diyagramı ile belirlenmektedir. Buradan anlaşılacağı gibi akışkanların davranış özellikleri kayma hızına ve kayma gerilimine bağlıdır. Yapılan ölçümlerde elde edilen diyagrama akış eğrisi (reogram) adı verilir ve çeşitli matematiksel işlemlerle hesaplanabilir (Dinger 2002; Kalkan, 2010). Şekil 2.12’de kayma hızı ve kayma gerilimine karşılık akış özellikleri verilmiştir.



Şekil 0.12. Kayma hızı ve kayma gerilimi diyagramı akışkan modelleri (Yılmaz, 2007).

2.4.6. Newtoniyen akışlar

Newtoniyen akışkanlar da uygulanan kayma gerilimi ile kayma hızı arasındaki ilişki doğrusaldır. Bu yüzden belirli bir sıcaklıkta da sabit viskoziteleri vardır. Newtoniyen akışkanların viskozitesi kayma hızından bağımsızdır. Newtoniyen akışkanların kayma hızı – kayma gerilimi ve viskozite – zaman grafiği aşağıdaki Şekil 2.13’te verilmiştir (Lokumcu, 2000).



Şekil 0.13. Newtoniyen akış kayma hızı, kayma gerilimi, viskozite (Davulcu, 2012)

Yukarıdaki grafiklerde görüleceği gibi Newtoniyen akışkanlarda viskozite kayma gerilimi - kayma hızı grafiğine eşittir. Bu akışkan özelliğini gösteren akışkanlar sabit reolojik özelliklere sahiptir. Bu akışkanların viskozitesi zamana bağlı olarak değişmez. Sıcaklı ve kompozisyonla değişiklik gösterir. Sıcaklığın artması ile viskozite azalacaktır (Lokumcu, 2000).

2.4.7. Newtoniyen olmayan akışlar

Bu akışkanların akış özellikleri kayma hızından etkilenirler. Sabit bir viskoziteden söz edilemez. Bu akışkanların viskoziteleri sabit olmadığı için belirli bir kayma hızında viskoziteleri bulunabilir. Genel viskozite denklemi Newtoniyen olmayan akışkanlarda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$

τ = Kayma gerilimi (dyne/cm²)

τ_0 = Başlangıçkayma gerilimi (dyne/cm²)

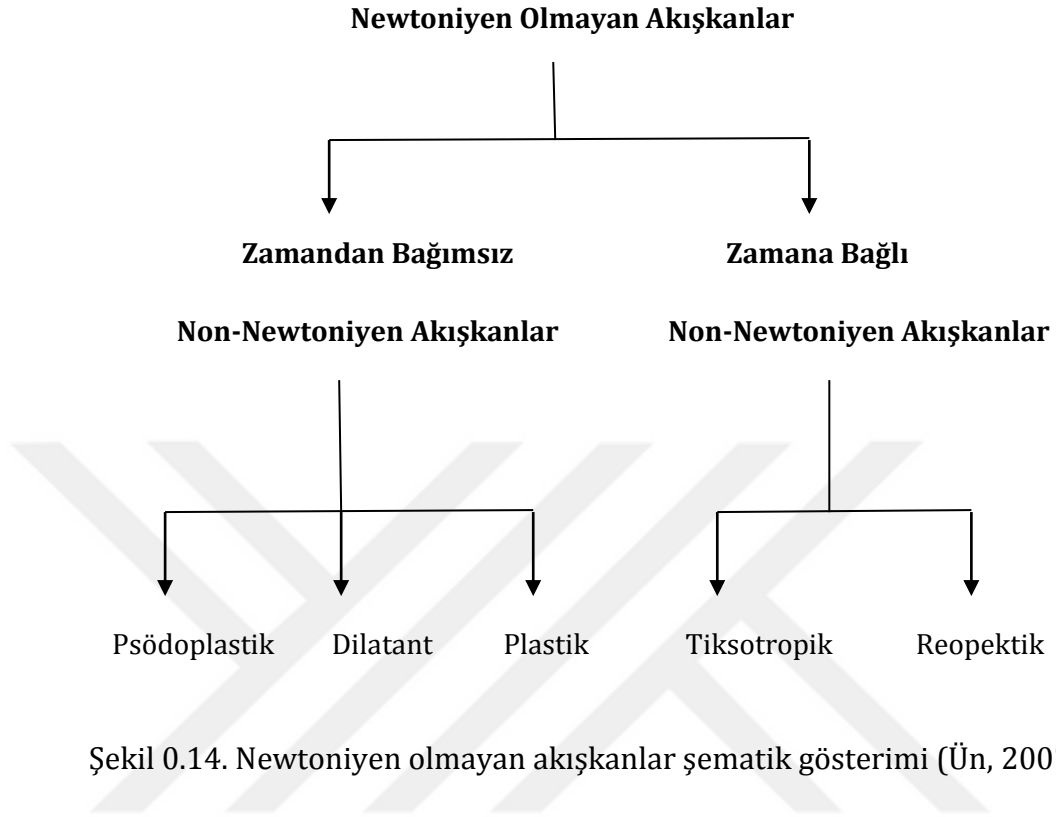
η = Viskozite (cP)

$\dot{\gamma}$ = Kayma hızı (sn⁻¹)

n = Akış Davranış İndeksi

Newtoniyen olmayan akışkanlar sabit sıcaklıkta dahi farklı viskozite özelliği gösterebilirler. Zamana bağlı olan Newtoniyen akışkanlar ve zamana bağlı olmayan Newtoniyen akışkanlar olmak üzere iki ana başlık içinde

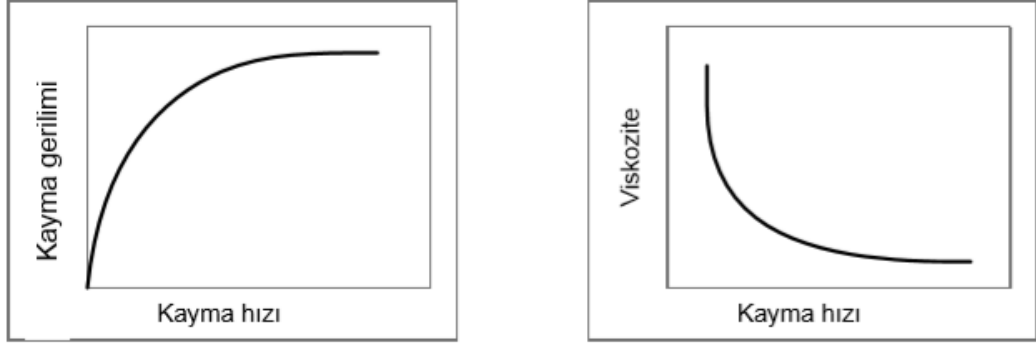
incelenenirler (Davulcu, 2012). Aşağıdaki Şekil 2.14'te Newtoniyen olmayan akışkanların şematik gösterimi verilmiştir (Ün, 2007).



Şekil 0.14. Newtoniyen olmayan akışkanlar şematik gösterimi (Ün, 2007).

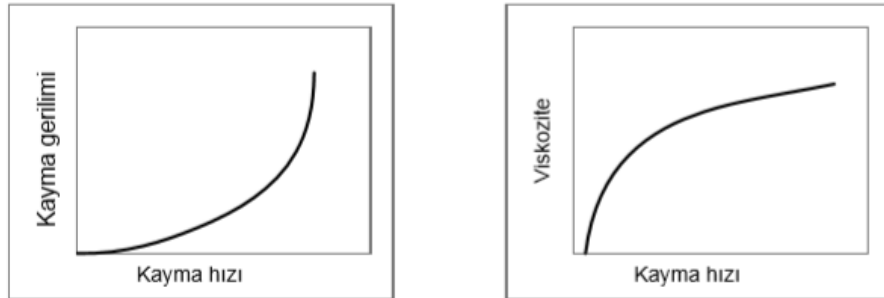
Zamandan bağımsız Newtoniyen akışkanlar da viskozite kayma gerilmesi ve uygulama hızına bağlıdır. Zamana bağlı Newtoniyen olmayan akışkanlar da ise viskozite kayma gerilmesine, uygulama hızına ve uygulama süresine bağlıdır (Kalkan, 2010)

Psödoplastik davranış: Psödoplastik davranış gösteren akışkanlar da kayma hızı arttıkça viskozite azalmakta, kayma gerilimi ise artış göstermektedir (Kalkan, 2010). Buradan anlaşılan kayma hızının artması ile birlikte akışkanın kayma direncinin düşmesidir. Psödoplastik, en çok rastlanan Newtoniyen olmayan akış davranışdır. Akış ve viskozite eğrileri aşağıdaki Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 0.15. Psödoplastik akışkan davranışı (Davulcu, 2012).

Dilatant davranış: Yüksek miktarda katı partikül içeren süspansiyonel yapıların gösterdiği davranış çeşididir. Akışkanın durgun yapısında katı partiküller tabaka oluştururlar. Sıvı faz bu tabakalar halindeki boşluklarda yer almaktadır. Bu sayede akışkana kaygan özellik kazandırır. Bu boşluklarda yer alan sıvı faz, yağlama görevi görmektedir. Bu sayede tabakalar birbiri üzerinde rahatça kayarlar. Kayma hızı yükseldikçe bu tabakalar bozulmaya başlarlar. Partiküller bireysel hareket ederler ve bu hareket ile hacimleri artar. Sıvı ihtiyacı yeni oluşan yapıda artmaya başlar ve akış zorlaşır. Bu şekilde viskozite yükselmiş olur. Yüksek kayma hızına ulaşan Dilatant akışkanlar katı gibi davrandıkları için pompalanma gibi işlemlerde sorun yaşatırlar. Dilatant davranışlarda kayma hızının artmasıyla artan viskozite ve kayma gerilimi, çok nadir görülen bir davranış biçimidir. Aşağıdaki Şekil 2.16'da davranış biçimi gösterilmiştir (Günalp, 2016).



Şekil 0.16. Dilatant akışlar davranışı (Davulcu, 2012)

Plastik akışkan davranış: Bingham plastik davranışında akışkana uygulanan gerilim belirli bir değeri aştığı zaman akış başlar. Aşılması gereken gerilim değerine yıkılma gerilimi ya da stres gerilimi adı verilir (Davulcu, 2012). Durgun hallerinde katı gibi davranan akışkanlardır. Eğer yıkılma geriliminin üzerinde bir kuvvet uygulanırsa Newtoniyen akışkan gibi davranırlar. Bu özelliği gösteren akışkanların reolojik özelliklerinin belirlenmesi için üretim şartlarındaki kesme hızlarının ölçülmesi gerekmektedir (Kalkan, 2010). Bu akış türü Newtoniyen davranış ve akma geriliminin toplamına eşittir. Plastik davranış gösteren bir maddenin akış denklemi aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi olacaktır.

$$\tau = \tau_0 + \eta_p * \gamma \quad (2.4)$$

γ = Kayma hızı (sn^{-1})

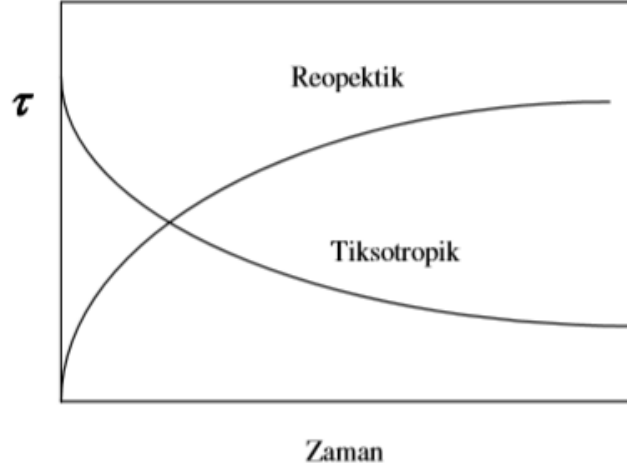
η_p = Plastik Viskozite

τ = Kayma gerilimi ($dyne/cm^2$)

τ_0 = Başlangıç kayma gerilimi ($dyne/cm^2$)

Tiksotropik davranış: Kayma uygulaması ile birlikte maddenin yapısında bozulma meydana gelmesi Tiksotropik davranışın sebebidir. Bu davranış içerisinde bulunan akışkanlar dinlenmeye bırakılırsa orijinal yapılarına kısmen ya da tamamen dönebilirler. Zamana bağlı viskozitedeki azalma tiksotropik akış davranışı olarak tanımlanır (Davulcu, 2012).

Reopektik davranış: Tiksotropik davranış tersine olan bir davranış biçimidir. Bu davranış biçiminde olan akışkanların görünür viskozitesi zamanla artmaktadır (Çelik,2013). Dinlenmeye bırakıldığı durumlarda orijinal yapılarına tamamen ya da kısmen dönme eğilimindedirler. Tiksotropik ve Reopektik akışların görünür viskozite ve zaman grafiği aşağıdaki Şekil 2.17’de verilmiştir. Viskozite, tiksotropik ifadede kayma hızı ve zaman ile azalır, reopektik ifade de ise artar (Bartos, 1992; Çelik, 2013).



Şekil 0.17. Kayma gerilimi ve zaman grafiği

2.5. Arıtma Çamurlarının Reolojik Özellikleri ile ilgili Çalışmalar

Arıtma tesislerinde çamur karakteristiğinin iyi anlaşılması, yüksek arıtma verimi ve sürdürülebilir bir çamur yönetimi için çok önemlidir (Eshtiaghi vd., 2013; Günalp, 2016). Çamurun karakteristik özelliklerinden birisi de akış özelliğidir ve bu özellik büyük oranda atıksu arıtma tesisi proses yapısına bağlıdır. Akış özelliklerinin tespiti reolojik metotlar ile ölçülmektedir (Battistoni, 1997; Moeller ve Torres, 1997; Lotito vd.,1997).

Aktif çamur arıtma tesisi arıtma çamurları genel olarak Newtoniyen olmayan bir akış özelliği sergilerler. Bunun sebebi kayma gerilmesi ve kayma hızı arasında doğrusal bir ilişki olmamasıdır (Dentel, 1997). Sanin (2002), kentsel atıksu arıtma tesisi aktif çamur numuneleri ile ilgili çalışmasında, Hasar vd. (2004), batık membran prosesi atık çamur numunelerinin reolojik özellikleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarında, Krylow ve Fryzlewicz-Kozak (2007), evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin anaerobik çürütücü öncesi ve sonrası çamurların reolojik özellikleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarında benzer sonuç olarak çamurların Newtoniyen olmayan akışkan özelliği gösterdiğini tespit etmişlerdir. Aktif çamurun reolojik özelliklerini tanımlamak için literatür kaynaklarında birçok model sunulmuştur. Newtoniyen olmayan çamur karışımlarının belirlenmesinde en çok kullanılan matematiksel modeller Power

Law (Ostwald), Casson, Bingham, Herschel-Bulkley ve Sisko Modeli'dir. Konsantrasyon süspansiyon haldeki çamurlarda reolojik karakterin tespiti için Power Law Modeli ve Bingham Modeli en yaygın kullanılan modellerdir (Kurath ve Larson, 1990; Moeller ve Torres, 1997; Bougrier vd., 2006; Eshtiaghi vd., 2013; Çelik, 2013)

Sanin (2002), kentsel atıksu arıtma tesisi aktif çamur numunelerinin reolojik özellikleri ile ilgili çalışmasında farklı matematiksel modelleri de test etmiştir. En uygun model olarak Power Law Modelini belirlenmiştir. Çalışmada farklı katı konsantrasyonlarının çamur reolojisine etkisi de değerlendirilmiş, katı konsantrasyonlarındaki artış ile birlikte çamur viskozitesinde de artış tespit edilmiştir. Katı konsantrasyonu artışıyla akış reogramlarından elde edilen akışkanlık katsayısı; K değerinin arttığı fakat akış davranış indeksi; n değerinin azaldığı ifade edilmiştir. Çamurların güçlü bir Newtoniyen olmayan akışkan özelliği gösterdiği doğrulanmış ve aynı zamanda çamur davranışının psödoplastik davranış sergilediği görülmüştür.

Lotito vd. (1997), yaptıkları reoloji çalışmalarında çamur numuneleri evsel atıksu arıtma tesisinden alınmıştır. Dönel viskozimetre ile yapılan çalışmalarda Bingham ve Power Law matematiksel modelleri denenmiştir. Matematiksel modellerin katsayıları ve çamur katı konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki kurulmuş ve çamur reolojisini etkileyen ana parametrenin katı konsantrasyonu olduğu vurgulanmıştır.

Hasar vd. (2004), farklı katı madde konsantrasyonu içeren çamur numunelerinin reolojik özelliklerini incelemiştir. Eksenel viskozimetre kullanılarak numunelerin kayma hızı ve kayma oranları arasındaki ilişki belirlenmiştir. Viskozimetrenin dönüş hızındaki artışla birlikte viskozitenin logaritmik olarak azaldığı bulunmuştur. Bingham ve Power Law Modelleri kullanılan çalışmada, Power Law Modeli'nin en uygun reolojik özellikleri belirleyen model olduğu belirtilmiştir.

Slatter (1997), reolojik özelliklerinin belirlenmesiyle çamurun hidrodinamik karakterinin tespit edilebileceğini savunmuştur. Böylece çamur arıtım işleminin sürdürülebilir hale getirilmesi için gerekli parametreler ve işleme koşullarının belirlenebileceği vurgulanmıştır.



3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, endüstriyel atıksu arıtma tesisinin farklı arıtma kademelerinden (kimyasal arıtma çıkışı ve biyolojik arıtma çıkışı) iki farklı mevsimde çamur numuneleri (kimyasal arıtma çamuru; KAÇ ve biyolojik arıtma çamuru; BAÇ) alınmış ve numunelerinin reolojik özellikleri belirlenmiştir. Çamur yoğunlaştırıcı ünitesi ekipman arızaları nedeniyle numune alma dönemleri içerisinde faaliyette olmadığı için numune örnekleri içerisine dahil edilmemiştir. Numuneler Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınmıştır. Tesiste farklı mevsimlerde faaliyet gösteren sanayi kuruluşları nedeni ile arıtma tesisi giriş atıksu karakteristiği de mevsimsel olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle şubat ve ekim aylarında çamur numuneleri alınmıştır. Şubat ayı giriş atıksu içeriği ağırlıklı olarak süt, balık ve tekstil fabrikası atıksuyundan oluşurken, ekim ayı içerisinde mevcut üç sektöre ek olarak meyve (özellikle elma) suyu üretiminden kaynaklanan atıksular da arıtma tesisine ulaşmaktadır.

3.2. Metot

Çamur Numunesi Karakterizasyonu: Alınan çamur numunelerinde öncelikle karakterizasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde iletkenlik (iletkenlik ölçer; model Level 1, WTW GmbH, Germany), pH ve sıcaklık değerleri (pH metre; model 340i, WTW GmbH, Germany), askıda katı madde (AKM), uçucu katı madde konsantrasyonu (UAKM) parametreleri Standart Metotlara göre gerçekleştirilmiştir (APHA, 1998). Alınan numuneler aynı gün deneysel işlemlere tabi tutulmuştur.

Reolojik Deney Prosedürleri: Arıtma çamuru reolojik özelliklerinin belirlenebilmesi için Brookfield DV-II+ Pro model viskozimetre kullanılmıştır. Cihaz farklı hızlarda dönüş yapabilen miller sayesinde çok düşük viskoziteleri

ölçebilmektedir. Kullanılan viskozimetre cihazı aşağıdaki Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 0.1. Brookfield DV_II+Pro Cihazı

Deneysel öncesi viskozimetre cihaz yazılımı ile kullanılacak spindlle kalibre edilmiştir. Çamurun katı madde içeriğinin yüksek olması nedeniyle 16 ml sabit hacimde ve 20°C sabit sıcaklıkta LV4 spindlle ile çalışılmıştır. Time to stop modunda Newtoniyen olmayan çamur örneklerinde genellikle kullanılan model olan Power-Law Model (Eshtiaghi vd., 2013) seçilerek, belirlenen kayma hızı aralıklarında (1-200 RPM) görünür viskozitedeki değişimler kaydedilmiştir. Ekim ve şubat ayında alınan numuneler üzerinde 3 paralel analiz yapılarak ortalama değerler alınmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. LV4 spindlle kullanılarak cihazdan elde edilen tork değerlerinin yardımıyla, kayma hızı ve kayma gerilmesi değerleri üretici firmanın ve literatürün (Kalkan, 2010) vermiş olduğu formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Formülde kullanılan eksen boyutları üretici firmanın ilgili ürün için verdiği değerlerdir.

$$\text{Kayma Hızı} = 1.223 * (\text{RPM}) \quad (3.1)$$

$$\text{Kayma Gerilmesi} = \frac{\text{Torque}}{((2) * (\text{Spindle yarıarıçap}) (0,1588) * \text{Spindle boyu}(L)) (3.396)} \quad (3.2)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Karakterizasyon Testleri

Ekim ve şubat aylarında Isparta OSB Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan kimyasal arıtma çamuru (KAÇ) ve biyolojik arıtma çamuru (BAÇ) karakteristik özellikleri Çizelge 4.1'de ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 0.1. Ekim ayına ait KAÇ ve BAÇ karakteristik özellikleri

| Parametre | Birimi | Kimyasal Arıtma Çamuru | Biyolojik Arıtma Çamuru |
|------------|--------------------|------------------------|-------------------------|
| KOİ | mg/l | 38241 | 13265 |
| AKM | mg/l | 8316 | 4427 |
| UAKM | % | 61,54 | 84,37 |
| pH | | 7,08 | 8,15 |
| İletkenlik | $\mu\text{S/cm}$ | 1671 | 1182 |
| Sıcaklık | $^{\circ}\text{C}$ | 20 | 20 |

Çizelge 0.2. Şubat ayında KAÇ ve BAÇ karakteristik özellikleri

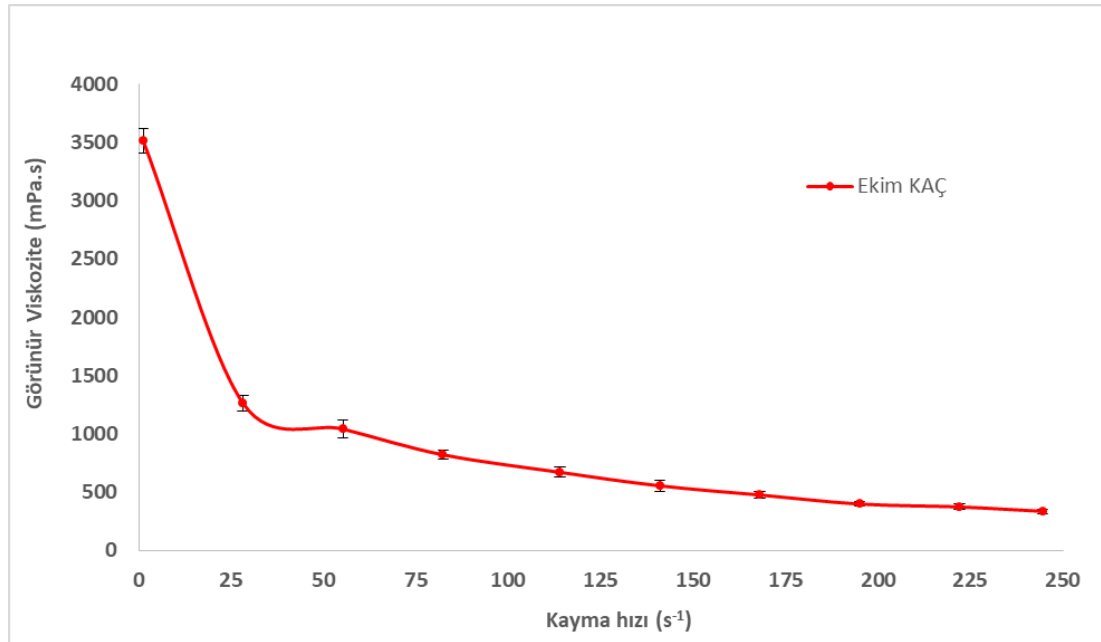
| Parametre | Birimi | Kimyasal Arıtma Çamuru | Biyolojik Arıtma Çamuru |
|------------|--------------------|------------------------|-------------------------|
| KOİ | mg/l | 24549 | 8462 |
| AKM | mg/l | 5928 | 3316 |
| UAKM | % | 58,92 | 81,13 |
| pH | | 6,96 | 7,53 |
| İletkenlik | $\mu\text{S/cm}$ | 1425 | 975 |
| Sıcaklık | $^{\circ}\text{C}$ | 20 | 20 |

4.2. Reolojik Testler

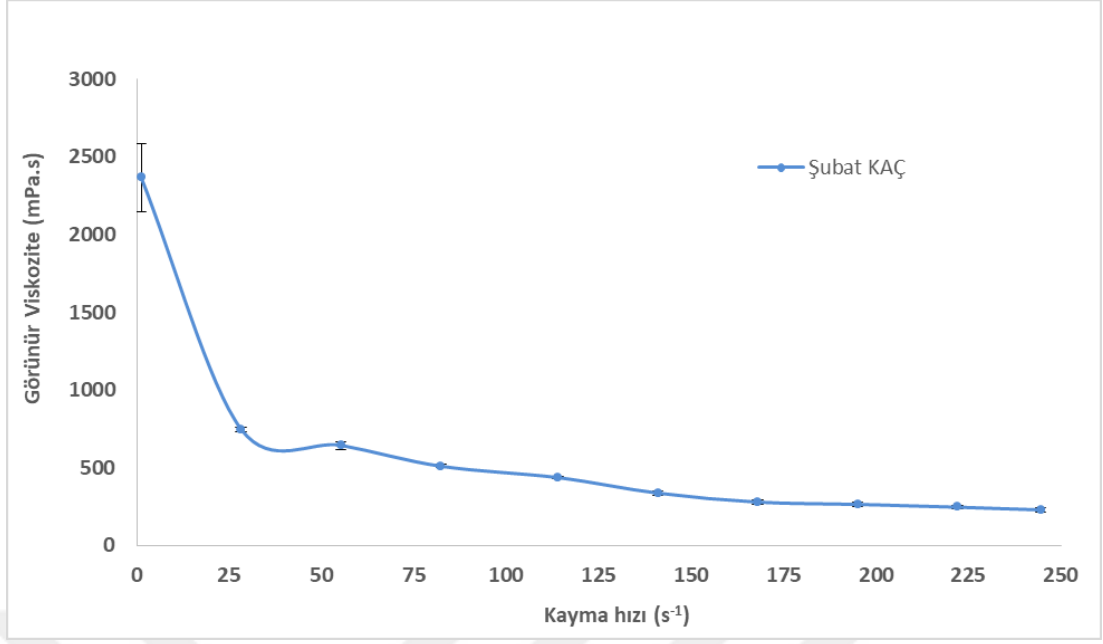
Isparta Süleyman Demirel OSB Atıksu Arıtma Tesisi kimyasal ve biyolojik arıtma ünitelerinden alınan çamur numunelerinin reolojik testleri 1-200 RPM (1,22 ile 244,60 s^{-1}) kayma hızı aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Belirlenen 10 farklı dönüş hızına karşılık kayma hızı değerleri 1,22 s^{-1} , 1,83 s^{-1} , 3,67 s^{-1} , 7,34 s^{-1} , 14,68 s^{-1} , 36,69 s^{-1} , 73,38 s^{-1} , 122,30 s^{-1} , 183,45 s^{-1} , 244,60 s^{-1} bulunmuştur.

4.2.1. Çamur numunelerinin reolojik davranışları

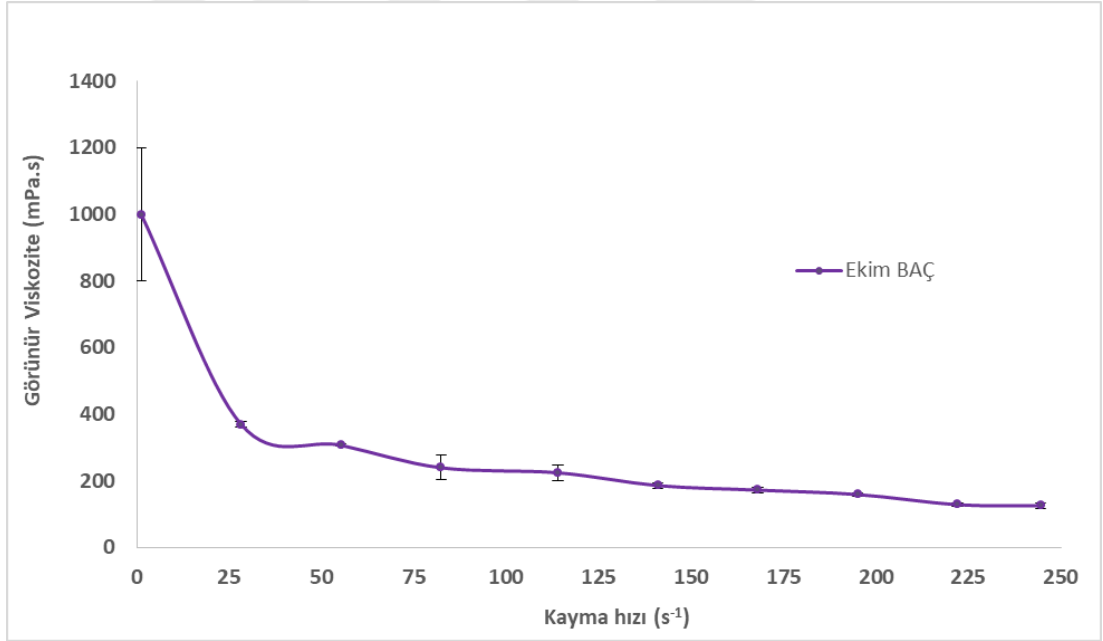
Farklı karıştırma hızlarında çamurun reolojiye bağlı akış özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla Şekil 4.1-4.4'de numunelerin kayma hızına karşı viskozite reogramları verilmiştir. Reogramların elde edilmesi için kullanılan vizkozite sonuçlarının ayrıntıları EkA-EkD'de sunulmuştur. Evsel ve endüstriyel aktif çamur prosesi atık çamurları için yapılan literatür çalışmalarında, çamurun psödoplastik Newtoniyen olmayan akış özellikleri gösterdiği Sanin (2002), Krylow ve Fryzlewicz-Kozak (2007) tarafından da bildirilmiştir. Günalp (2016), aktif çamurun disperse faz akış özelliklerine, disperse faz etkisine ve partikül-partikül etkileşimine bağlı olarak kompleks akış davranışı gösterdiğini ve sonuç olarak Non-Newtoniyen gibi davrandığını belirtmiştir. Şekil 4.1-4.4'de tüm çamur numuneler için reogramlar incelendiğinde görünür viskozitenin artan kayma hızı ile azaldığı görülmektedir. Bu durum tüm çamur numunelerinin psödoplastik Newtoniyen olmayan bir akış özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Psödoplastik akış, incelen akış (shear thinning) olarak da bilinmekte olup, en fazla rastlanan Newtoniyen olmayan akış çeşididir (Dinger, 2002; Kalkan, 2010).



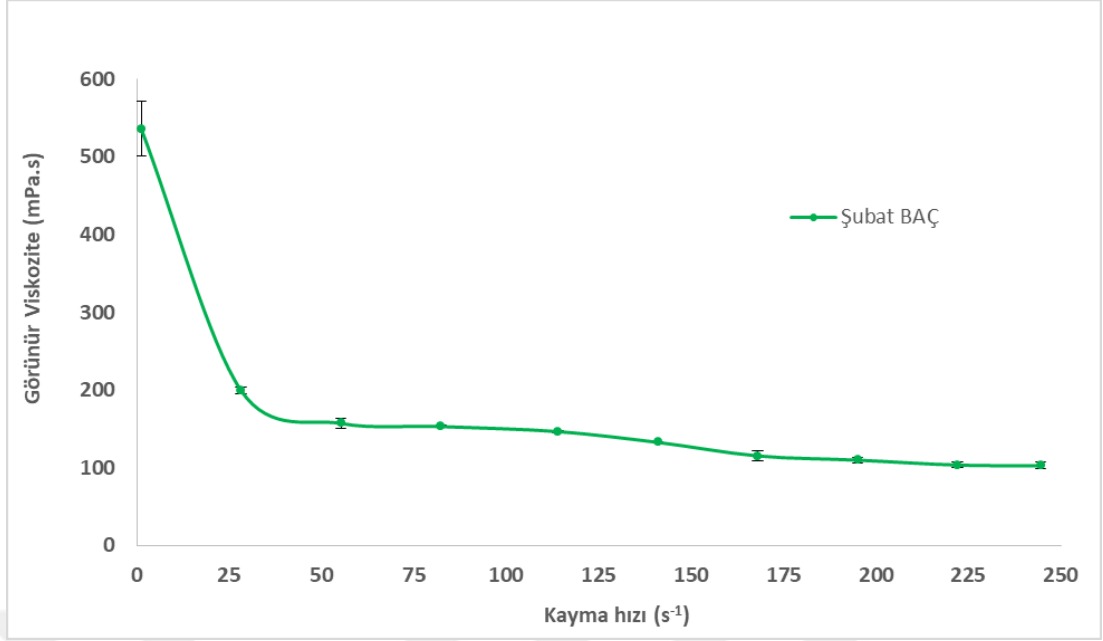
Şekil 0.1. Ekim ayı KAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı



Şekil 0.2. Şubat ayı KAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı

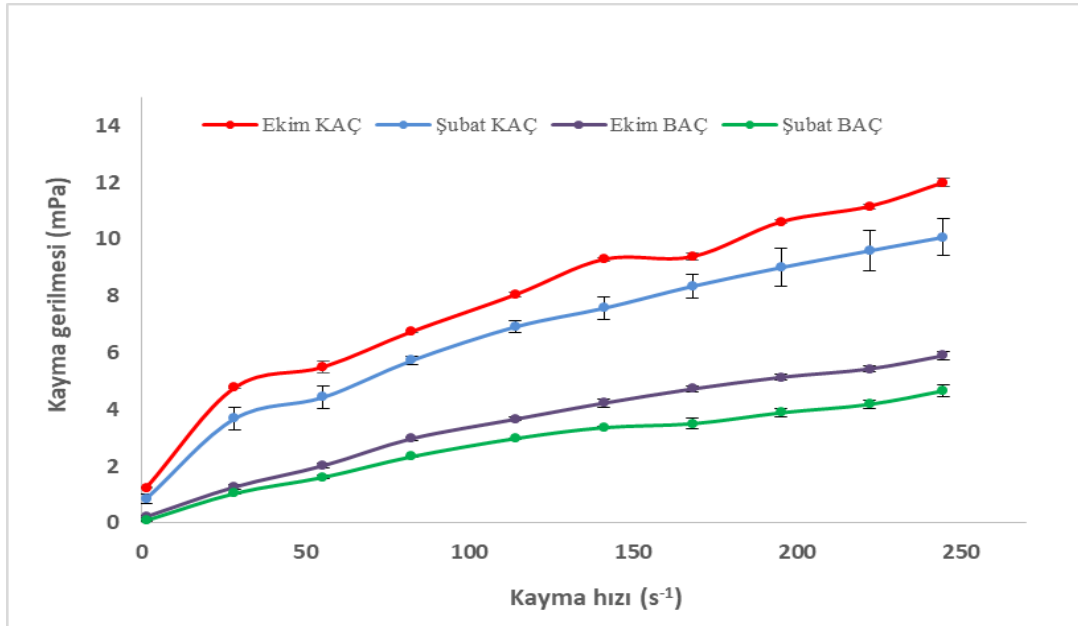


Şekil 0.3. Ekim ayı BAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı



Şekil 0.4. Şubat ayı BAÇ görünür viskozite-kayma hızı reogramı

Çamur numunelerinin psödoplastik Newtoniyen olmayan akış özelliğine sahip olduğu, kayma hızlarına karşılık kayma gerilmesi değerlerinin reogramı ile de desteklenmiştir. Yapılan reolojik testler sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

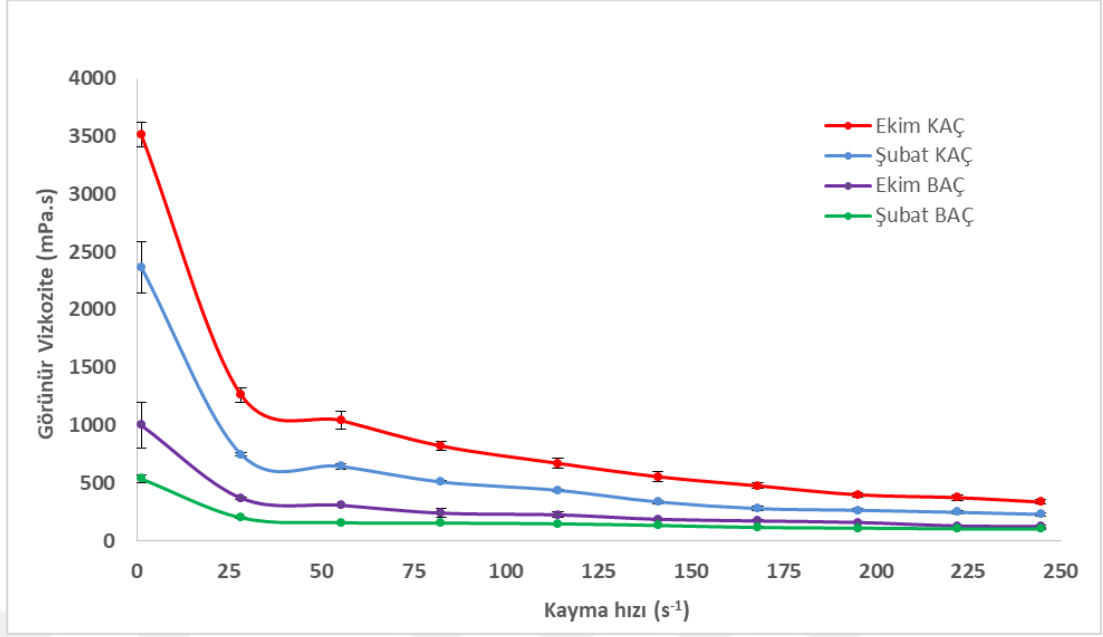


Şekil 0.5. Çamur örnekleri kayma gerilmesi-kayma hızı reogramı

Psödoplastik Newtoniyen olmayan davranış gösteren akışkanlar da kayma hızı arttıkça viskozite azalırken, kayma gerilimi ise artış göstermektedir (Yılmaz, 2007; Kalkan, 2010; Günalp, 2016) Bütün çamur numunelerinde kayma hızı arttıkça kayma kuvveti de artmıştır. Artışın doğrusal olmaması ile birlikte, tezin viskoz akış davranışları başlığı altında verilmiş olan Şekil 2.12’de gösterilen reogramlara göre çamurun psödoplastik bir davranış biçimi sergilediği görülmektedir.

4.2.2. Çamur katı madde konsantrasyonlarının viskoziteye etkisi

Aktif çamur örneklerinin genellikle Newtoniyen olmayan yani hem viskoz hem de elastik özellik göstermesinin nedeni artan kayma hızlarında flok yapılarının bozulması olarak açıklanabilir. Yüksek MLSS konsantrasyonlarına sahip aktif çamur örneklerinde flok yapılarında çapraz bağ yapıları sayesinde su tutulması artmaktadır. Artan kayma hızları bu yapının bozulmasına, açığa çıkan su ise viskozitenin düşmesine neden olmaktadır (Dentel, 1997; Proff ve Lohmann, 1997; Rosenberger vd., 2002; Köseoğlu, 2011). Arıtma tesisi kimyasal arıtma çamuru da benzer şekilde psödoplastik Newtoniyen olmayan akış özelliği göstermiştir. Bu durum, kimyasal arıtma çamurunun yapısının da koagülasyon-flokülasyon prosesinde kullanılan koagülant kimyasalı nedeniyle yoğun flok yapısına sahip olmasına bağlanabilir. Literatürde Newtoniyen olmayan davranışın katıların kolloidal özelliklerinden kaynaklandığı bilgisi de mevcuttur (Hiemenz ve Rajagopalan, 1997, Sanin, 2002). Şekil 4.6’da farklı mevsimlerde, farklı katı içeriğine sahip çamur numunelerinin görünür viskoziteleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 0.6. KAÇ ve BAÇ viskozite-kayma hızı grafiği

Kimyasal arıtma çamurlarının şubat ve ekim aylarına ait AKM konsantrasyonları sırasıyla 5928 mg/lt ve 8316 mg/lt'dir. Biyolojik arıtma çamurlarının aynı aylara ait AKM konsantrasyonları ise sırasıyla 3316 mg/lt ve 4427 mg/lt'dir. Organize sanayi bölgesinde mevsimsel olarak ekim ayında meyve suyu üretim tesisi çalışmaya başlamaktadır. Tesiste özellikle elma suyu üretiminde bahçelerden gelen düşük kalite elmaların yıkama işlemleri sırasında yüksek miktarda inorganik kirlilik içeren atıksu açığa çıkmaktadır. Meyve suyu üretim tesisi kaynaklı atıksuyun OSB atıksu arıtma tesisinde prosese dâhil olması nedeniyle ekim ayı AKM konsantrasyonları şubat ayına göre daha yüksektir. Kimyasal arıtma prosesinde özellikle inorganik AKM gideriminin gerçekleşmesi nedeniyle de hem şubat hem de ekim ayı numunelerinde $AKM_{KAÇ} > AKM_{BAÇ}$ konsantrasyonları $AKM_{BAÇ}$ konsantrasyonlarından yüksektir. Katı madde konsantrasyonları tüm çamur numuneleri için $AKM_{Ekim\ KAÇ} > AKM_{Şubat\ KAÇ} > AKM_{Ekim\ BAÇ} > AKM_{Şubat\ BAÇ}$ 'dir. Şekil 4.6'dan da görüleceği üzere alınan çamur numunelerinin sabit bir kayma hızında viskozite değerleri birbiriyle karşılaştırıldığında, artan katı madde konsantrasyonu başlangıç viskozite değerlerinin de yüksek çıkmasına neden olmaktadır ($\eta_{Ekim\ KAÇ} > \eta_{Şubat\ KAÇ} > \eta_{Ekim\ BAÇ} > \eta_{Şubat\ BAÇ}$).

4.2.3. Reolojik testlerin model uygunluğu

Tez kapsamında yapılan çalışmalar Power Law (Ostwald de Vaele) reolojik modeli kullanılarak yapılmıştır. Power Law Modeli aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\tau = K \cdot \gamma^n \quad (4.3)$$

τ = Kayma Gerilmes (mPa)

K= Akışkanlık Katsayısı (mPa.s)

γ = Kayma Hızı (s^{-1})

n= Akış Davranış İndeksi (-)

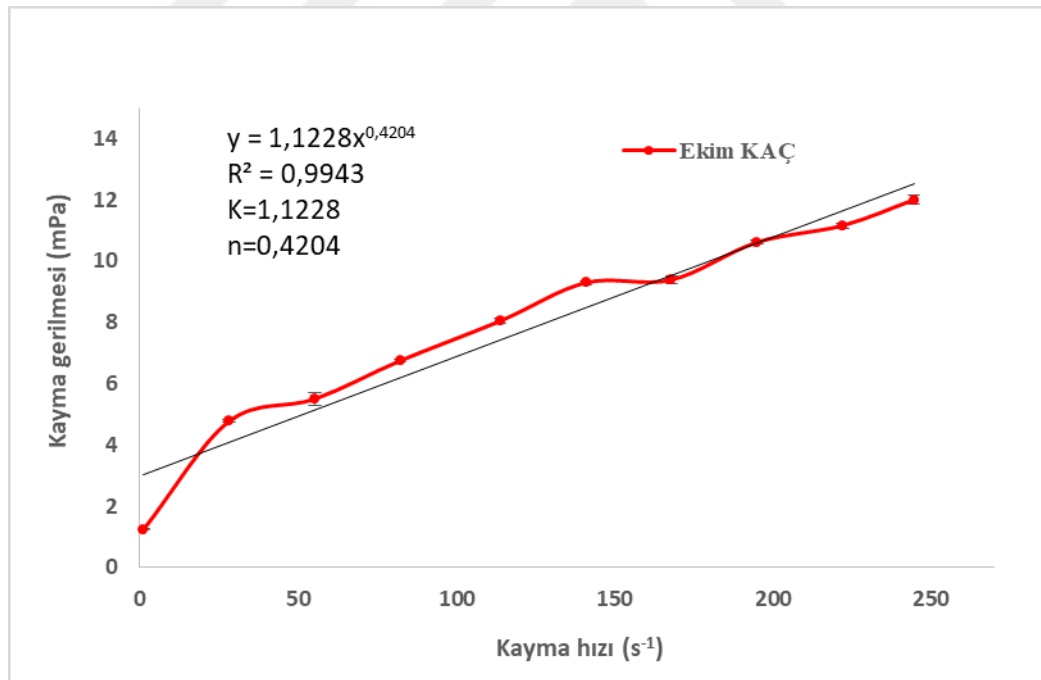
Power Law reolojik modelinde K; akışkanlık katsayısı, viskoziteyi temsil etmektedir. Akış davranış indeksi n=1 olması durumunda; Newtoniyen, n<1 olması ise, psödoplastik akış özelliğinin göstergesidir (Sanin, 2002). Ayrıca, Mori vd. (2006) tarafından artan katı madde içeriğiyle birlikte akışkanlık katsayısının arttığı, akış davranış indeksinin ise tersine azalma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir.

Isparta OSB Atıksu Arıtma Tesisi KAÇ ve BAÇ numunelerinin Power Law Model parametreleri; akışkanlık katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve regresyon katsayıları (R^2) Çizelge 4.3'te, modele uygunluğunun gösterildiği reogramlar ise Şekil 4.7-4.10'da verilmiştir.

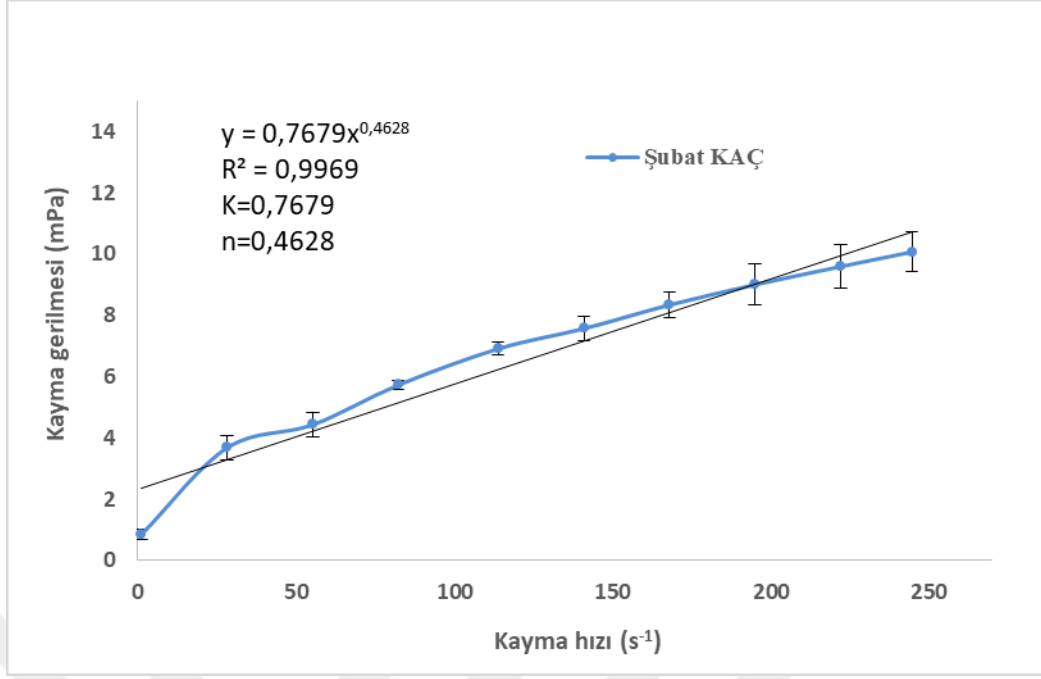
Çizelge 0.3. Çamur numunelerinin Power Law Model parametreleri ve uygunlukları

| Çamur Kaynakları | K | n | R^2 |
|------------------|------|------|--------|
| Ekim Ayı KAÇ | 1,12 | 0,42 | 0,9943 |
| Şubat Ayı KAÇ | 0,76 | 0,46 | 0,9969 |
| Ekim Ayı BAÇ | 0,18 | 0,62 | 0,9711 |
| Şubat Ayı BAÇ | 0,08 | 0,74 | 0,9607 |

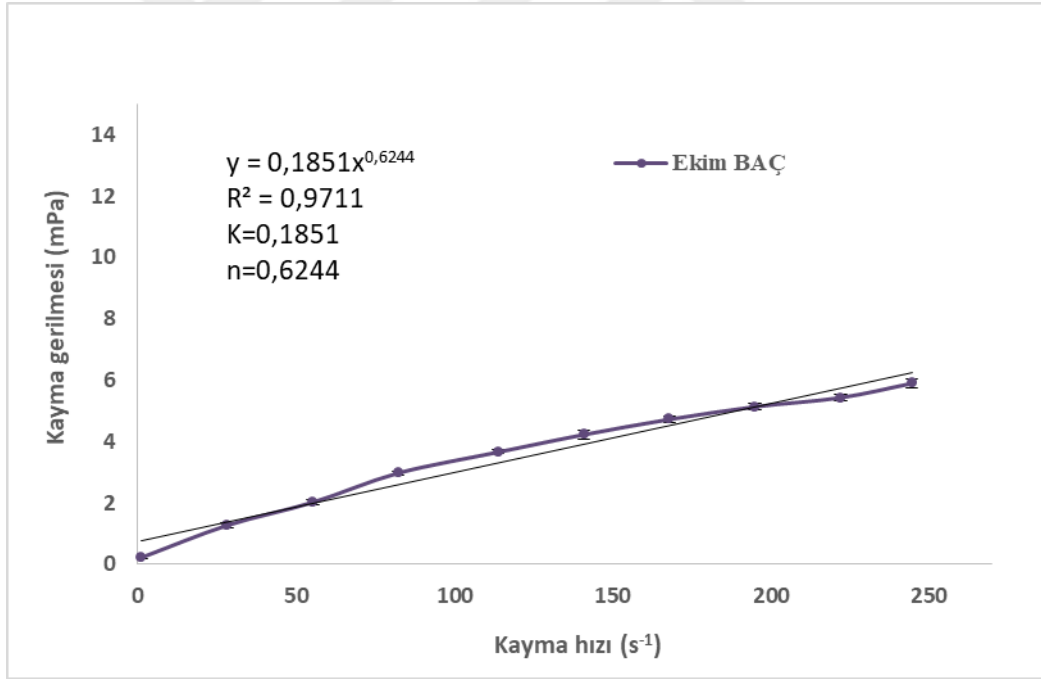
Arıtma tesisinden alınan çamur numunelerinin katı madde konsantrasyonları $AKM_{EKİM\ KAÇ} > AKM_{ŞUBAT\ KAÇ} > AKM_{EKİM\ BAÇ} > AKM_{ŞUBAT\ BAÇ}$ şeklindedir. Katı madde konsantrasyonundaki artışla beraber akışkanlık katsayısı olan K değerinde de artış görülmüştür. Akışkanlık katsayısındaki artış ile birlikte ise akış davranış indeksi azalmıştır. Alınan çamur numunelerinin akışkanlık katsayıları $K_{EKİM\ KAÇ} > K_{ŞUBAT\ KAÇ} > K_{EKİM\ BAÇ} > K_{ŞUBAT\ BAÇ}$, akış davranış indeksi $n_{ŞUBAT\ BAÇ} > n_{EKİM\ BAÇ} > n_{ŞUBAT\ KAÇ} > n_{EKİM\ KAÇ}$ şeklindedir. Ayrıca tüm çamur numunelerinin çamur indeksi değerinin 1'den küçük olması arıtma çamurlarının Newtoniyen olmayan ve psödoplastik davranış biçimi sergilediğinin göstergesidir. Daha önce yapılan çalışmalarda ve literatür özetinde geniş ölçekli matematiksel modeller arasında en uygun sonuçları veren modelin Power Law modeli olduğu belirtilmiştir (Sanin, 2002; Hasar vd., 2004). R^2 katsayıları, Power Law Modeli'nin deneysel reogramlara uygunluğunun oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.



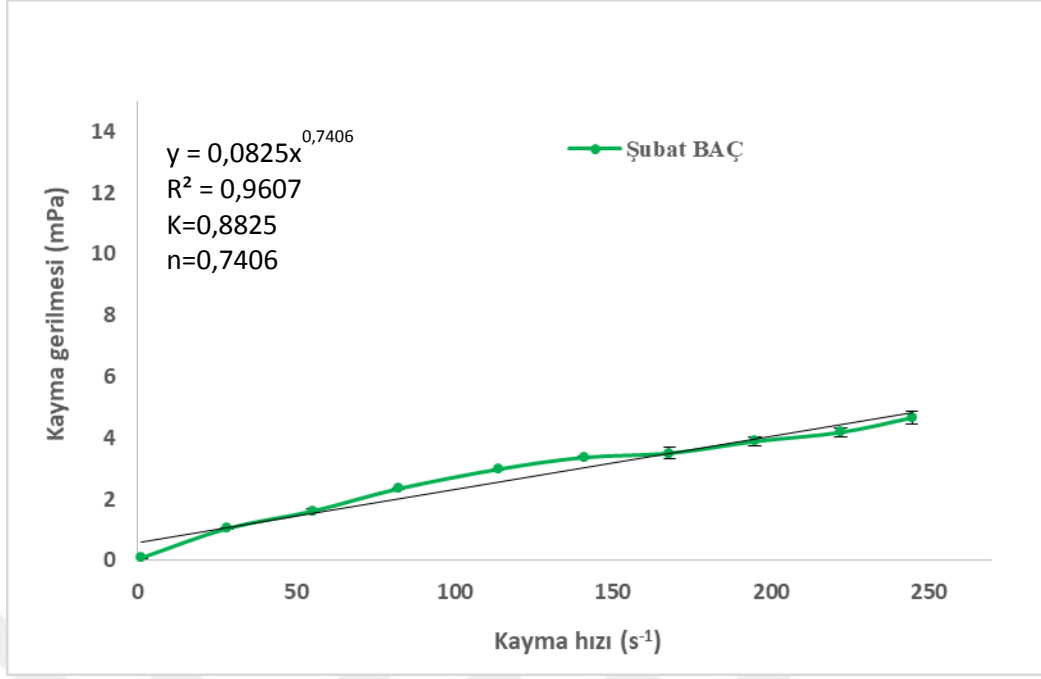
Şekil 0.7. Ekim ayı KAÇ Power Law Model uygunluk reogramı



Şekil 0.8. Şubat ayı KAÇ Power Law Model uygunluk reogramı



Şekil 0.9. Ekim ayı BAÇ Power Law Model uygunluk reogramı



Şekil 0.10. Şubat ayı BAÇ Power Law Model uygunluk reogramı

5. SONUÇLAR

Isparta OSB Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi'nin kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma olmak üzere farklı iki proses çıkışından, farklı mevsimlerde alınan çamur numunelerinin reolojik özelliklerinin belirlendiği tez çalışması kapsamında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ekim ayında meyve suyu üretim tesisi kaynaklı atıksuyun arıtma tesisi prosesine dâhil olması nedeniyle, inorganik kirlilik artış göstermiş ve ekim ayı AKM konsantrasyonları şubat ayına göre her iki çamur numunesinde de daha yüksek tespit edilmiştir. Katı madde konsantrasyonları tüm çamur numuneleri için $AKM_{EKİM\ KAÇ} > AKM_{ŞUBAT\ KAÇ} > AKM_{EKİM\ BAÇ} > AKM_{ŞUBAT\ BAÇ}$ 'dir. Özellikle elma suyu üretimi için bahçelerden yere düşmüş düşük kalite elmaların tesise gelmesi ve yıkama proseslerinden kaynaklanan kirliliğin buna sebep olduğu düşünülmektedir.
- Reolojik özelliklerin belirlenmesi ile ilgili çalışmaların sonucu olarak, tüm numuneler için artan kayma hızı ile görünür viskozite değerlerinin azaldığı, kayma geriliminin ise artış gösterdiği tespit edilmiştir. Hem kimyasal hem de biyolojik arıtma çamur numuneleri Newtoniyen olmayan akış özelliğine sahip psödoplastik akış davranışı göstermiştir.
- Çamur numunelerinin sabit bir kayma hızında görünür viskozite değerleri birbiriyle karşılaştırıldığında, artan katı madde konsantrasyonu başlangıç viskozite değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Çamur numunelerinden elde edilen görünür viskozite değerleri $\eta_{KAÇ\ EKİM} > \eta_{KAÇ\ ŞUBAT} > \eta_{BAÇ\ EKİM} > \eta_{BAÇ\ ŞUBAT}$ şeklindedir.
- Çamur numunelerinin reolojik model uygunluğunun belirlenmesi amacıyla Power Law Model parametreleri; K, n ve regresyon katsayıları (R^2), hazırlanan reogramlar ile belirlenmiştir. Bütün numunelerde Power Law Modeli'ne göre akış davranış indeksi (n) 1'den küçük olduğu belirlenmiştir. Katı madde konsantrasyonundaki artışla beraber akışkanlık katsayısı olan K değerinde de artış görülmüş, akış davranış indeksi ise azalmıştır. Çamurların akışkanlık katsayıları $K_{EKİM\ KAÇ} > K_{ŞUBAT\ KAÇ} > K_{EKİM\ BAÇ} > K_{ŞUBAT\ BAÇ}$, akış davranış indeksleri $n_{ŞUBAT\ BAÇ} > n_{EKİM\ BAÇ} > n_{ŞUBAT\ KAÇ} > n_{EKİM\ KAÇ}$

şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca tüm çamur numunelerinin çamur indeksi değerinin 1'den küçük olması ve R^2 katsayıları, Power Law Modeli'nin deneysel reogramlara uygunluğunun oldukça yüksek olduğunu ve arıtma çamurlarının Newtoniyen olmayan akış özelliğine sahip psödoplastik akış davranışı göstermiştir.

- OSB gibi endüstriyel atıksuların arıtıldığı arıtma tesislerinin işletilmesinde giriş atıksuyu parametrelerindeki değişiklikler ve çamur reolojik özellikleri düzenli takip edilmelidir. Mevsimsel değişikliklere göre ön arıtma, kimyasal arıtma gibi proseslere yapılacak yerinde müdahaleler ile viskozite artışları kontrol altına alınabilir. Sonuç olarak çamur iletim hatlarının ve çamur susuzlaştırma gibi proseslerin daha verimli işletilmesi sağlanabilir.
- OSB'lerde meyve suyu üretim tesisi gibi mevsimlik faaliyet gösteren işletmelerin, OSB kanalizasyon hattına atıksu deşarj etmeden önce mutlaka atıksu ön arıtma tesisi kurması ve verimli şekilde işletmesi gerekmektedir. Böylece OSB atıksu arıtma tesisi çamur numunelerinin de viskozite artışları bir nebze önlenir.
- Tez kapsamında elde edilen bulguların atıksu arıtma tesisi projelendirilmesine ve işletilmesine ışık tutacağı düşünülmektedir. Atıksu arıtma tesislerinin verimli işletilebilmesi için arıtma çamurunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Tesis içerisinde çamur çekimi pompaları arıtma çamurunun reolojik özelliklerine göre seçilmelidir. Tesis projelendirme aşamasında, çamur reolojisinde meydana gelebilecek değişmeye karşın çamur iletim hatları kot farkları ve mesafeleri ileride çamur iletimine zarar vermeyecek şekilde tasarlanabilir.
- Tez çalışmasının devamı olarak, giriş atıksuyunda inorganik kirlenmenin artış gösterdiği mevsimlerde kimyasal arıtma prosesinde farklı koagülant maddeler ($FeCl_3$, Al_2SO_4) denenerek çamurun viskozite değişimleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abu-Orf, M. M, Dentel, S. K., 1999. Rheology as Tool For Polymer Dose Assesment and Control. *Journal of Environmental Engineering*, 125(12), 1133-1141.
- Adalı, N., 2014. Organize Sanayi Bölgeleri İçin Atıksu Arıtımında Optimizasyon Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Kavramsal Tasarım Seçeneklerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 169s, İstanbul.
- Akdemir, B. Z., 2006. Kil Su Kolloida Süspansiyonlarının Organik ve İnorganik Dispersantlar Varlığında Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Afyon.
- Alp, Ö., 2005. Atıksuların Arıtılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s, İstanbul.
- APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- Arceivala, S. J, 2002. Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw – Hill Publishing company limited.
- Barnes, H. A., Hutten, J. F., Walters, K., 1989. An İntroduction to Rheology, Rheology Series 3., Elsevier Science, Amsterdam.
- Bartos, P., 1992. Fresh Concrete Properties and Tests. Elsevier Science Publisher, 291s., Amsterdam.
- Battistoni, P., 1997. Pretreatment, measurement execution procedure and waste characteristics in the rheology of sewage sludges and the digested organic fraction of municipal solids wastes. *Water Science and Technology*, 36 (11), 33-41.
- Behn, V.C., 1962. Experimental determination of sludge-flow parameters. *Journal Sanitary Engineering. Division. SA3*, 39–5.
- Bougrier, C., Albasi, C., Delgenès, J.P., Carrère, H., 2006. Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability, *Chemical Engineering and Processing* 45, 711–718.
- Çelik, S., 2013. Anaerobik Batık Membran Bioreaktörlerde Çamur Reolojisinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, Elazığ.

- Davulcu, B., 2012. Haşhaş Tohumu Ezmesinin Reolojik Özellikleri. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Denizli.
- Dentel, K. S., 1997. Evaluation and Role of Rheological Properties in Sludge Management. *Water Science Technology*, 36(11), 1-8.
- Dentel, S. K., Abu-Orf, M. M., Walker, C. A., 2000. Optimization of Slurry Flocculation and Dewatering Based on Electrokinetic and Rheological Phenomena. *Chemical Engineering Journal*. 80, 65-72.
- Dindar, E., 2008. Arıtma Çamuru Verilen Tarım Topraklarında Solucan Aktivitesinin Azot Formlarına ve Toprak Enzim Aktivitesine Etkisi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 139 s.
- Dinger, D. R., 2002. Rheology for Ceramst. Dinger Ceramic Consulting Services.
- Eastman, J. A., Ferguson, J. G., 1981. Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 53, 352.
- Erkekkadeş, E., 2014. Susuzlaştırılmış Arıtma Çamurlarının enerjisinden Faydalanabilirliğin Araştırılması ve Nihai Bertarafı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 139 s.
- Eroğlu, V., 1991. Su Tasfiyesi, İTÜ Yayınlarından, 3. Baskı, 312 s, İstanbul.
- Eshtiaghi, N., Markis, F., Yap, S. D., Baudez, J. C., Slatter, P., 2013. Rheological Characterisation of Municipal Sludge. *Water Research*, 47:49-510.
- Filibeli, A., 1998. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İkinci Baskı, No:255, İzmir.
- Filibeli, A., 2002. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No 255, 28s İzmir.
- Filibeli, A., Kaynak, E.G., 2006. Arıtma Çamuru Miktarının Azaltılması ve Özelliklerinin İyileştirilmesi Amacıyla Yapılan Ön İşlemler. *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, İtü Yayınları, 16 (1-3), 3-12.
- Günalp, G., 2016. Batık Membran Biyoreaktör Sisteminde Aktif Çamur Reolojisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, İstanbul.
- Hasar, H., Kinaci, C., Ünlü, A., Toğrul, H., İpek, U., 2004. Rheological properties of activated sludge in a SBR. *Biochemical Engineering Journal*, 20, 1-6.
- Hiemenz, P. C., Rajagopalan, R., 1997. Principles of Colloid and Surface Chemistry (3rd edn.) Marcel Dekker, Inc., 650 pp., New York.

- İller Bankası Genel Müdürlüğü, 1989. Atık su arıtma tesisleri proses, işletme, bakım el kitabı, İller Bankası, U.N.D.P ve W.H.O İşbirliği, TUR/89/01/14; Sempozyum Kitabı, Ankara.
- İşçi, S., 2006. Arıtma Çamurlarının Özellikleri ve Arazide Değerlendirme İmkanlarının Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 115 s, Ankara,
- Kalkan, F. C., 2010, Arıtma Çamurlarında Reolojik Karakterizasyonun Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Isparta.
- Kestioğlu K., 2001. Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı yayın no:174, Bursa.
- Kryłów M., Fryźlewicz-Kozak, B., 2007. Rheological Properties Of Wastewater Sludge, Integration and optimisation of urban sanitation systems. E. Plaza, E. Levlin, (Editors) Trita Lwr. Report, 3018s.
- Köseoğlu, H., 2011. Kimyasal Eklentiler ile Membran Biyoreaktör Proseslerinde Tıkanma Kontrolü. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, 183s, Isparta.
- Kurath, S. F., Larson, W. S., 1990. Capillary viscometry on a rheologically complex coating color. Tappi Journal, 73(9), 235-241.
- Lokumcu, F., 2000. Tahinin Reolojik Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, İstanbul.
- Lotito, V., Spinosa, L., Mininni, G., Antonacci, R., 1997. The rheology of sewage sludge at different steps of treatment. Water Science and Technology, 36 (11), 79-85.
- Mezger, 2006. The Rheology Handbook: For Users of Rotational and Oscillatory Rheometers. 2nd Edition, 299 s, Vincentz Network GmbH & Co KG., Hannover, Germany.
- Moeller, G., Torres, L. G., 1997. Rheological characterization of primary and secondary sludges treated by both aerobic and anaerobic digestion. Bioresource Technology. 61 207-211.
- Mori, M., Seyssiecq, I., Roche, N., 2006. Rheological Measurements of Sewage Sludge for Various Solids Concentrations and Geometry. Process Biochemistry, 41(7), 1656-1662.
- Muslu, Y., 1985. Su Temini ve Çevre Sağlığı. İTÜ Yayınlarından, Cilt II, 744 s. İstanbul.
- Muslu, Y., 1994. Kullanılmış suların arıtılması, İTÜ Yayınları, 1535, İstanbul.
- Muslu, Y., 1996. Atıksuların Arıtılması. İTÜ Yayınlarından, Cilt I, 429 s. İstanbul.

- Öztürk, İ., Timur, H., Kokan, U., 2005. Atıksu Arıtımının Esasları Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü. Atıksu Arıtımının Esasları, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 459s. İstanbul.
- Proff, E.A., Lohmann, J.H., 1997. Rheological characterization of liquid sewage sludges (in German). 44 (9), 1615.
- Rosenberger, S., Kubin, K., Kraume, M., 2002. Rheology of activated sludge in membrane bioreactors. Engineering in Life Sciences, 2 (9), 269–274.
- Qasim, S. R., 1999. Wastewater Treatment Plants, Planning, Design, and Operation, Technomic publication. 2nd Edition, New York, 1128s.
- Sanin, F. D., 2002. Effect of solution physical chemistry on the rheological properties of activated sludge. ISSN 0378-4738 Water SA Vol. 28 No. 2.
- Slatter, P. T., 1997. The rheological characterisation of sludges, Wat. Sci. Tech., 36 (11), 9-18.
- Şimşek, K., 2019. Endüstriyel Atıksu Arıtımında Mikroalg Kullanımı. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Bornova, İzmir.
- Terashima, M., Goel, R., Komatsu, K., Yasui, H., Takahashi, H., Li, Y.Y., Noke, T., 2009. CFD simulation of mixing in anaerobic digesters. Bioresource Technology 100 (7), 2228-2233.
- Toprak, H. 2006. Aktif Çamur Sürecinin Tasarım Uygulamaları, Cilt 1, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Ün, H., 2007. İnternet Sitesi: http://hun.pamukkale.edu.tr/ders_notlari/malzeme_bilgisi/Malzeme_ders_6_Reoloji.pdf. Erişim Tarihi: 15.12.2019.
- Wu, X. H., Wang, F., Sun, D. X., Yang, W. H., 2011. Rheology and flow characteristic of urban untreated sewage for cooling and heating source. Experimental Thermal and Fluid Science, 35(4), 612-617.
- Yasui H., Shibata M., 1994. An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process. Water Science and Technology, 30, 9, 11-20.
- Yen, P. S., Chen, L. C., Chien, C. Y., Wu, R. M., Lee, D. J., 2002. Network strength and dewaterability of flocculated activated sludge. Water Research, 36 (3), 539–550.
- Yılmaz, R., 2007. Viskoz Malzemelerin Akışı Ve Modellenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 154s, İstanbul.

Yıldız, Ş., Yılmaz, E., Ölmez, E., 2009. Eysel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri. Türkiye'de Atık Yönetim Sempozyumu, 15-17 Haziran, İstanbul, 1-8.

Yorulmaz, İ., 2016. Arıtma Tesislerinde İşletme Problemleri. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Aksaray.



EKLER

Ek A. Şubat ayına ait KAÇ viskozite değerleri

| Dönüş Hızı (RPM) | Kayma Hızı (s ⁻¹) | Görünür Viskozite (mPa.s) |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1 | 1,22 | 2356,70 |
| 1,50 | 1,83 | 746,73 |
| 3 | 3,67 | 644,26 |
| 6 | 7,34 | 509,40 |
| 12 | 14,68 | 436,55 |
| 30 | 36,69 | 336,36 |
| 60 | 73,38 | 78,59 |
| 100 | 122,30 | 263,93 |
| 150 | 183,45 | 245,75 |
| 200 | 244,60 | 228,46 |

Ek B. Ekim ayı KAÇ viskozite değerleri

| Dönüş Hızı (RPM) | Kayma Hızı (s ⁻¹) | Görünür Viskozite (mPa.s) |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1 | 1,22 | 3512,24 |
| 1,50 | 1,83 | 1260,19 |
| 3 | 3,67 | 1040,96 |
| 6 | 7,34 | 820,47 |
| 12 | 14,68 | 70,54 |
| 30 | 36,69 | 554,28 |
| 60 | 73,38 | 475,75 |
| 100 | 122,30 | 398,08 |
| 150 | 183,45 | 372,66 |
| 200 | 244,60 | 335,55 |

Ek C. Şubat ayı BAÇ viskozite değerleri

| Dönüş Hızı (RPM) | Kayma Hızı (s⁻¹) | Görünür Viskozite (mPa.s) |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 1,22 | 535,95 |
| 1,50 | 1,83 | 199,00 |
| 3 | 3,67 | 156,97 |
| 6 | 7,34 | 152,94 |
| 12 | 14,68 | 146,43 |
| 30 | 36,69 | 132,58 |
| 60 | 73,38 | 115,15 |
| 100 | 122,30 | 109,73 |
| 150 | 183,45 | 103,40 |
| 200 | 244,60 | 102,47 |

Ek C. Ekim Ayı BAÇ viskozite değerleri

| Dönüş Hızı (RPM) | Kayma Hızı (s⁻¹) | Görünür Viskozite (mPa.s) |
|-------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 1,22 | 999,78 |
| 1,50 | 1,83 | 368,93 |
| 3 | 3,67 | 306,77 |
| 6 | 7,34 | 239,14 |
| 12 | 14,68 | 224,19 |
| 30 | 36,69 | 185,67 |
| 60 | 73,38 | 172,03 |
| 100 | 122,30 | 158,82 |
| 150 | 183,45 | 128,43 |
| 200 | 244,60 | 124,72 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Barış VURAL
Doğum Yeri ve Yılı : İskenderun/1991
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : barisvuralll@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : İskenderun Cumhuriyet Anadolu Lisesi 2008
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği 2016

Mesleki Deneyim

İz Çevre Müşavirlik Mühendislik Geri Kazanım Sistemleri Kimya İnşaat San. Ve Tic. Ltd. Şti. (Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi Laboratuvar Sorumlusu. 2017 - 2018)

NLF Mühendislik San. Ve Tic. Ltd. Şti. (Isparta Süleyman Demirel Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi İşletilmesi,. 2018 – devam ediyor)

Yayınlar

1 -Vural B., Coskun, S., 2018. Industrial wastewater treatment plant operation problems and solution proposals; example of Isparta Suleyman Demirel Organized Industrial District. 1st International Potable Water and Wastewater Symposium. Afyonkarahisar. Turkey