

TÜBİTAK

2006-491
✓

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu
Environment, Atmospherical, Earth and Marine Sciences Research Grant Group

95532

**ÇEŞİTLİ KATYONLARIN AKTİF ÇAMUR
YUMAKLAŞMASINA VE ÇAMURUN KİMYASAL, YÜZEY
KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

PROJE NO: İÇTAG-Ç085

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ

DOÇ.DR. F. DİLEK SANİN

ARAŞTIRMACILAR

AYSUN VATANSEVER

İPEK TURTİN

FADİME KARA

KASIM 2006

ANKARA

ÖNSÖZ

Bu çalışmada aktif çamur işletimi sırasında atıksuda bulunan farklı katyon ve konsantrasyonların biyolojik yumaklaşmaya ve buna bağlı olarak gelişen çamur özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla dört farklı katyonun (potasyum (K^+), sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+})) üç ayrı konsantrasyondaki (5, 10, 20 meq/L) etkileri kimyasal, yüzey kimyasal ve fiziksel analizlerle belirlenmiştir. Buna göre iki değerlikli katyonlar (Ca^{2+} , Mg^{2+}) artan konsantrasyonlarda aktif çamurun çökelme, susuzlaştırılabilme ve yumak oluşturma yeteneğini iyileştirmiş, sodyum iyonların artan konsantrasyonlarda ilavesi ise tam aksi yönde aktif çamurun belirtilen özelliklerini kötüleştirmiştir. Potasyum iyonlarının eklenmesi ise aktif çamurun çökelme özelliğini pozitif yönde etkilerken, çamurun susuzlaştırılabilmesini zorlaştırmıştır. Ayrıca dört katyonun artan konsantrasyonlarda ilavesi hücre dışı polimer konsantrasyonunda da artışa yol açmış ve katyon tipine bağlı olarak farklı polimerlerin sentezini teşvik etmiştir. Kalsiyum iyonları karbohidrat tipi polimerlerin yumak yapısında daha baskın olarak yer almasını sağlarken; magnezyum, potasyum ve sodyum iyonları protein tipi polimerlerin sentezini uyararak bu tip polimerlerin yumak yapısında daha fazla miktarda bulunmasına yol açmışlardır.

Yumaklaşmanın mekanizmalarının anlaşılmasında önemli bulguların ortaya çıkarıldığı bu çalışma TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu tarafından desteklenmiştir. Bu kapsamda TÜBİTAK-ÇAYDAG'a çalışmayı desteklediği için teşekkür etmeyi bir borç biliriz.

ÖZET

Aktif çamur sistemleri günümüzde en yaygın olarak kullanılan biyolojik atıksu arıtma sistemleridir. Bu sistemlerin amacı atıksudaki organiklerin mikroorganizmalar tarafından kullanılarak uzaklaştırılması ve bunu takiben yumaklaşmış mikrobiyal süspansiyonun meydana gelmesidir. Yumaklaşma mikroorganizmaların doğal olarak birleşmeleri ve yumak haline gelmeleri olarak bilinir ve biyolojik atıksu arıtma sistemlerinin başarısı mikroorganizmaların yumak oluşturma yeteneğine bağlıdır. Yumaklaşma ve bunu takiben oluşan çamurun arıtılmış sudan çöktürülerek uzaklaştırılmasını etkileyen mekanizmaların anlaşılması aktif çamur sistemlerinin verimini ve toplam arıtım maliyetini belirleme de önemli rol oynamaktadır. Yumaklaşma farklı yumak bileşenlerinin bir arada tutulmasını sağlayan hücre dışı polimerler (HDP) ve katyonların meydana getirdiği bir matriks ile sağlanmaktadır ve dolayısıyla katyonlar yumak yapısının önemli bir parçası haline gelmektedirler. Bu yüzden bu çalışmanın amacı iki değerlikli katyonlar olan kalsiyum ve magnezyum (Ca ve Mg) ile tek değerlikli katyonlar olan sodyum ve potasyum (Na ve K) iyonlarının aktif çamurun yumaklaşma, çökme ve susuzlaştırma özelliklerine olan etkilerini araştırmaktır. Çalışma özellikle karışık kültür mikroorganizmalarını bu katyonların varlığında büyütürken katyonların HDP sentezine olan etkilerini de görmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla her set için 3 farklı (5, 10 ve 20 meq/L) katyon konsantrasyonunda karışık kültür mikroorganizmaları ve sentetik besi ortamı kullanılarak laboratuvar ölçekli yarı-sürekli aktif çamur reaktörleri işletilmiştir. Aynı zamanda her set için kontrol reaktörü çalıştırılmıştır. 2 L'lik hacime sahip reaktörlerin çamur yaşı 8 gün olarak ayarlanmıştır ve pH'ları 7.7 ± 0.3 civarında tutulmuştur. Aktif çamur reaktörleri kararlı hale ulaşıncaya kadar çalıştırılmışlar ve sonra gerekli kimyasal, yüzey kimyasal ve fiziksel analizler gerçekleştirilmiştir.

Ca ve Mg katyonlarının konsantrasyonunda meydana gelen artış aktif çamurun yumak oluşturma yeteneğini, çökme ve susuzlaştırılabilme özelliklerini iyileştirmiştir. Aynı zamanda reaktörlere iki değerlikli katyonların ilavesi üretilen hücre dışı polimerlerin (HDP) nicelik ve niteliğinde önemli değişikliklere sebep olmuştur. Kalsiyum iyonları karbohidrat tipi polimerlerin üretilmesini teşvik ederek HDP tarafından oluşturulan matriksin yapısında karbohidrat tipi polimerlerin yer almasını sağlarken, magnezyum iyonları protein tipi polimerlerin sentezini uyararak yumak yapısında bu tip polimerlerin karbohidrat tipi polimerlere göre daha yüksek oranda bulunmasını teşvik etmişlerdir. Diğer yandan, sodyum ve potasyum gibi tek değerlikli katyonların artan konsantrasyonlarda ilavesi aktif çamurun susuzlaştırılabilirliğini azaltmıştır. Potasyum iyonları çamurun çökme özelliğinde herhangi bir kötüleşmeye neden olmazken, sodyum iyonlarının artan konsantrasyonlarda eklenmesi çamurun çökme özelliğini bozmuştur. Ayrıca potasyum ve sodyum iyonlarının protein tipi polimerlerin sentezini teşvik ettiği ortaya çıkmıştır ve dolayısıyla yumak yapısında da bu tip polimerlerin daha baskın olarak yer aldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Aktif çamur, hücre dışı polimerler, yumaklaşma, iki ve tek değerlikli katyonlar, susuzlaştırılabilme, çökme

ABSTRACT

Activated sludge systems are the most widely used biological wastewater treatment processes all over the world. The success of biological wastewater treatment is dependent on the flocculation ability of microorganisms and bioflocculation is the natural tendency of microorganisms to aggregate as flocs. It is critical to understand the mechanisms of bioflocculation and its impact on the following solid/liquid separation process since separation by settling is one of the key aspects that determine the efficiency and the overall economy of activated sludge systems. Bioflocculation occurs via extracellular polymeric substances (EPS) and cations by creating a matrix to hold various floc components together so the cations become an important part of the floc structure. Therefore the objective of this study is to investigate the effects of divalent cations as calcium and magnesium (Ca and Mg) and monovalent cations as potassium and sodium (K and Na) on flocculation, settleability and dewaterability of activated sludge. The particular aim is to grow the mixed culture microorganisms in the presence of specific cation so that the effect of cation on the stimulation of EPS production can be seen. In order to achieve this aim, semi-continuous laboratory scale activated sludge reactors were separately operated at concentrations of 5, 10, 20 meq/L of each cation with mixed culture bacteria and fed with synthetic feed medium representing the influent activated sludge systems. Also, a control reactor was operated for each reactor set. The effective volume of the reactors was 2 L with 8 days of sludge residence time (SRT) and pH was kept at 7.7 ± 0.3 . The activated sludge reactors were operated until the reactors reached steady state and then chemical, surface chemical and physical analyses were conducted.

The increase in the concentrations of Ca and Mg led to improvement in flocculation, settling and dewatering properties of the activated sludge. Also, the addition of these divalent cations resulted in significant changes in quality and quantity of produced EPS. For example, where calcium ions seem to induce the production of carbohydrate type polymers and tend to bind them selectively within the EPS matrix, magnesium ions stimulate the synthesis of proteinaceous polymers and are able to bind more protein than carbohydrate in floc structure. On the other hand, monovalent cations, sodium and potassium, decreased the dewaterability especially at increasing cation concentrations. When potassium ions did not cause deterioration in settling characteristics of the activated sludge, the addition of sodium ions with increasing concentration deteriorated the settleability of the sludge. It can be said that potassium and sodium ions tend to induce the synthesis of proteinaceous polymers and to bind more protein than carbohydrate within the floc structure.

Key words

Activated sludge, extracellular polymeric substances, bioflocculation, divalent and monovalent cations, dewaterability, settleability.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
I. GİRİŞ.....	1
II. LİTERATÜRE ÖZETİ.....	2
III. AMAÇ.....	4
IV. KAPSAM.....	5
V. ÇALIŞMA TAKVİMİ.....	5
1. GEREÇ VE YÖNTEM.....	7
1.1. Reaktör İşletimi.....	7
1.2. Kimyasal Analizler.....	8
1.3. Yüzey Kimyasal Analizler.....	10
1.4. Fiziksel Analizler.....	10
2. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	13
2.1. KALSİYUM VE MAGNEZYUM REAKTÖRLERİNİN İŞLETİLMESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	13
2.1.1. Kimyasal Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	24
2.1.2. Yüzey Kimyasal Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	28
2.1.3. Fiziksel Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	30
2.2. POTASYUM REAKTÖRLERİNİN İŞLETİLMESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	33
2.2.1. Kimyasal Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	34
2.2.2. Yüzey Kimyasal Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	38
2.2.3. Fiziksel Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	42
2.3. SODYUM REAKTÖRLERİNİN İŞLETİLMESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	46
2.3.1. Kimyasal Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	48

2.3.2. Yüzey Kimyasal Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	51
2.3.3. Fiziksel Analizlerin Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	55
2.4. TEK VE ÇİFT DEĞERLİKLİ KATYONLARLA YAPILAN	
ÇALIŞMALARIN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	59
2.4.1. Kimyasal Özelliklerin Karşılaştırılması.....	59
2.4.2. Yüzey Kimyasal Özelliklerin Karşılaştırılması.....	61
2.4.3. Fiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması.....	63
3.SONUÇ.....	68
4.YAPILAN ve YAPILMASI DÜŞÜNÜLEN YAYINLAR.....	69
5. MALİ GELİŞMELER.....	70
KAYNAKLAR.....	71

I. GİRİŞ

Aktif çamur sistemleri tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de en sık kullanılan biyolojik atıksu arıtım sistemleridir. İki aşamalı olan bu sistemler atıksudaki organiklerin mikroorganizmalar tarafından oksidasyonu ve bunu takip eden aşamada da arıtılan suyun arıtımı gerçekleştiren mikroorganizmalardan ayrılması prensibi ile çalışır. Bu süreçte mikrobiyal oksidasyon genellikle problemsiz yürürken, çökeltme ile mikroorganizmaların arıtılan sudan ayrılması aşaması kullanılmaya başlandığı 1900’lü yıllardan bu yana sistemin en ‘zayıf halkası’ olarak bilinmekte ve arıtımın sıklıkla başarısızlığına neden olabilmektedir. Çökeltme işleminin başarılı olması biyolojik yumaklaşmaya bağlıdır. Biyolojik yumaklaşmanın gerçekleşmesi ise mikroorganizmalar tarafından üretilen hücre dışı polimerler (HDP) ve bu polimerlerin reaksiyonları sonucu olmaktadır. HDP nin sentezinde ve yumaklaşmadaki etkinliğinde aktif çamur sisteminin işletim koşulları ve mikroorganizmaların fizyolojileri belirleyici olmaktadır. Bu çalışma aktif çamur işletimi sırasında atıksuda bulunan kationların yumaklaşmaya ve buna bağlı olarak gelişen çamur özelliklerine etkilerini araştırmayı hedeflemiştir. Başlangıçta 4 farklı kationun (potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}) ve demir (Fe^{3+})) 3 ayrı konsantrasyondaki (5, 10, 20 meq/L) etkilerinin incelenmesi hedeflenmişti. Ancak demir iyonunun çözünürlüğünün çok düşük olması ve bunun çalışmada sorunlara sebep olacağı gerekçesi ile demir iyonu yerine sodyum iyonu ile çalışılmıştır. Bu kapsamda çalışmada tek değerlikli sodyum ve potasyum (Na ve K) ile çift değerlikli kalsiyum ve magnezyum (Ca ve Mg) kationlarının aktif çamur örneklerinin kimyasal, yüzey kimyasal ve fiziksel özelliklerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle yumaklaşmayı birebir etkiledikleri bilinen HDP ve bileşenleri, çamur elektriksel yükü, ve çamur hidrofobisitesi gibi parametreler ile ayrıca yumaklaşmanın doğrudan

etkilediği çamurun çökelme, filtrelenebilme, viskozite, yumak mukavemeti, bulanıklık gibi özellikleri de incelenerek katyonların sistem üzerinde etkileri belirlenmiştir.

II. LİTERATÜR ÖZETİ

Biyolojik yumaklaşma aktif çamur sistemlerinin verimliliğini etkileyen en önemli olgulardan biridir. Yumaklaşmanın gerçekleşmediği ya da kuvvetli yumakların oluşmadığı sistemlerde biyolojik arıtımın etkinliğinden de söz edilemez. Bu sistemlerde yumak oluşumu gerçekleşmediği için son çöktürme tankında katı-sıvı ayırımı gerçekleşemez ve mikrobiyal parçacıklar çıkış suyu ile sistemi terk ederek, zamanla tam bir başarısızlığa sebep olurlar.

Yumaklaşma, uygun koşullarda doğal olarak gerçekleşen bir süreçtir. Yumaklaşmada etken rol oynayan bileşenler mikroorganizmalar tarafından üretilen ve hücre duvarına yapışık olan hücre dışı polimerlerdir (Pavoni ve diğerleri, 1972). HDP polisakkaritler, proteinler, nükleik asitler ve lipidlerden oluşur (Pavoni ve diğerleri, 1972; Goodwin ve Forster, 1985; Horan ve Eccles, 1986; Frolund ve diğerleri, 1996; Bura ve diğerleri, 1998). Bu polimerik yapı mikroorganizmalar, mikroorganizma ve atıksu kaynaklı çeşitli organik ve inorganik maddelerden oluşan yumak bileşenlerini bir arada tutarken (Keiding ve Nielsen, 1997) çamura elektriksel bir yüzey yükü verir (Morgan ve diğerleri, 1990). Yumaklaşmanın aktif çamur sistemleri üzerindeki etkileri çöktürme işlemi ile sınırlı değildir. Çöktürmeye ek olarak aktif çamurun diğer fiziksel özellikleri de yumak oluşumundan doğrudan etkilenirler (Liao ve diğerleri, 2001; Shin ve diğerleri, 2001). Bunlar arasında çamur filtrelenebilirliği (Bruus ve diğerleri, 1992; Sanin ve Vesilind, 1994), ve çamur viskozitesi (Sanin, 2002) bulunmaktadır. Bu açıdan yumaklaşma mekanizmalarının anlaşılması ve kontrolü ile aktif çamur

sistemlerinde yüksek maliyetlerle çalışan çamur çöktürme, susuzlaştırma ve pompalama gibi mühendislik operasyonlarının da daha iyi kontrol edileceği düşünülmektedir.

Aktif çamur yumak yapısının yaklaşık % 80 ini HDP oluşturmaktadır. Dolayısı ile yumak yapısındaki HDP nin yumak ve çamur karakterini belirlemesi doğaldır. Örneğin yumak yapısındaki polisakkaritler üronik asit bileşenlerinden oluşur (Sutherland, 1990). Üronik asitlerin yapısında ise 5. karbon lokasyonunda karboksil gruplar bulunmaktadır. Aynı şekilde HDP nin protein bileşeni de karboksil gruplar içerir. Aktif çamur yumakları, tipik işletim pH değerlerinde (6-7) karboksilik asitin protonuz halde olması sebebi ile negatif yüke sahiptir. Çamurdaki negatif yüklü bu tip fonksiyonel grupların atıksudaki katyonlar için potansiyel reaksiyon bölgelerini oluşturarak yumaklaşmaya katkıda buldukları düşünülmektedir.

Daha önceki kesikli (batch) reaktör deneylerinde aktif çamura katyonlar anlık olarak ilave edilmiş, çamurun özellikleri incelenmiş ve çalışmalarda katyonların önemli etkileri olduğu gözlenmiştir (Bruus ve diğerleri, 1992, Higgins ve Novak, 1997). Önerilen bu çalışmada anlık katyon ilavesine kıyasla çamur üretimi sırasında katyonların besi ortamında varlığının yumak yapısı oluşur ve büyürken çok daha önemli bir rol oynayacağı hipotezi ileri sürülmektedir. HDP nin katyonların yardımı ile bir ağ gibi örülerek yumaklaşmayı gerçekleştireceğine inanılmaktadır. Bu noktada da farklı katyonların farklı şekillerde davranabileceği düşünülmektedir. Literatürdeki bilgiler de bunu doğrular niteliktedir. Yine kesikli deneylerde tek değerlikli katyonların çift değerlikli katyonlara kıyasla daha kuvvetsiz yumakların oluşumuna sebep oldukları, ayrıca çift değerlikli katyonlardan da kalsiyumun magnezyuma kıyasla daha etkin bir yumaklaştırıcı olduğuna dair bulgular vardır (Bruus ve diğerleri, 1992, Higgins ve Novak, 1997). Özellikle farklı katyonların farklı tip polimerlere bağlanmaları durumunda bunun anlaşılması ve ortaya konması çok önemlidir. Bu konu, uluslararası

literatürde şu an araştırılmakta olan ve anlaşılmaya çalışılan bir konudur. Çalışmanın sonuçları ile böyle bir durumun olup olmadığı ekstrakt edilen polimerin kompozisyonunun incelenmesi ile ortaya konabilecektir.

Ayrıca besi ortamında çeşitli katyonların sürekli bulunması aktif çamur ile arıtılan bazı evsel ve birçok endüstriyel atıksu tesisi için mümkün olan bir durumdur. Özellikle endüstriyel atıksu arıtım sistemlerinde pH ayarı için NaOH/KOH veya Ca(OH)_2 kullanıldığına sıklıkla rastlanmaktadır. Dolayısı ile bu tesislerde yumak ve çamur oluşumu katyonların besi ortamında buldukları bir sistemde gerçekleşmekte, buna bağlı olarak da çamur olumlu ya da olumsuz yönlerde farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Bu çalışmanın sonuçları katyonlar ve onların yumaklaşmaya etkileri sebebi ile oluşan çamur özelliklerindeki farklılıkların algılanması ve daha iyi anlaşılabilmesi açısından faydalı olacaktır.

III. AMAÇ

Bu çalışmanın amacı aktif çamurun çökelme, filtrelenebilme, viskozite gibi fiziksel özelliklerini belirleyen yumaklaşma olayı üzerinde katyonların etkisini araştırmaktır. Bu araştırma, yumaklaşmada önemli rolleri olan HDP nin negatif yüklü fonksiyonel grupları bulunması sebebi ile katyonlarla reaksiyon vererek yumaklaşmaya sebep oldukları hipotezinden yola çıkarak, tek (Na ve K) ve çift (Ca ve Mg) değerlikli katyonların çamur özelliklerine olan etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Katyonların özellikle besi ortamında bulunmalarının önemli etkisi olduğu düşünüldüğünden 4 set reaktör 4 ayrı katyonun olduğu besi ortamlarında çalıştırılmış ve katyon tipi ile katyon konsantrasyonunun çamur özelliklerine olan etkileri belirlenmiştir.

IV. KAPSAM

Çalışmada hedeflenen sonuçlara ulaşmak için 4 ayrı set aktif çamur reaktörü işletilmiştir. Bu reaktör setlerinden her biri ayrı bir katyonun etkisini 3 farklı konsantrasyonda incelemek üzere çalıştırılmıştır. Farklı değerliklere sahip katyonların yumaklaşmadaki rollerinin de farklı olacağı düşünüldüğünden çalışmada iki tek, iki de çift değerlikli katyon seçilmiştir. Literatürdeki bilgilerden de faydalanılarak çalışılacak katyonlar Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ olarak belirlenmiştir. Farklı katyon konsantrasyonlarında işletilen reaktörlerin kararlı hale gelmesi ile çamurun fiziksel, kimyasal ve yüzey kimyasal özellikleri ile ilgili analizler yapılmış ve çalışılan katyonların bu özelliklere etkisi araştırılmıştır.

V. ÇALIŞMA TAKVİMİ

Araştırma projesi önerisinde çalışmanın toplam 2 yıl sürmesi öngörülmüştü. Ancak bir takım aksilikler nedeniyle projeyi tamamlamak için TÜBİTAK tan 6 aylık bir uzatma talebinde bulunulmuş ve bu talebimiz de kabul görmüştür. Daha sonra da TÜBİTAK talebimiz olmaksızın projeye 3 ay daha ek süre tanımıştır.

Çalışmanın ilk 6 ayı literatür çalışmasının tamamlanması, ekipmanların temini, projede çalışacak yüksek lisans öğrencilerinin belirlenmesi ve ilk set reaktörlerin kurulmasına ayrılmıştır. Daha sonraki yaklaşık 2 yıllık süreçte ise 4 set reaktör 4 farklı katyon ile işletilmiştir. Çalışma takvimi şematik olarak da aşağıdaki şekilde verilmektedir.

Süre (ay)	0	6	18	24	30	33
Hazırlık						
Ca ²⁺ ve Mg ²⁺ deneyleri						
K ⁺ deneyleri						
Na ⁺ deneyleri						
Sonuçların analizi ve rapor yazımı						

Proje çalışmalarında yer alan Aysun Vatansever ve İpek Turtin yüksek lisans tezlerini tamamlamışlar, Fadime Kara da 2006 Sonbahar döneminde tez savunmasını yapmak üzere tezini yazmaktadır.

1. GEREÇ ve YÖNTEM

1.1. Reaktör İşletimi

Çalışmada besi ortamındaki katyonların etkisi 2 litrelik yarı sürekli aktif çamur reaktörlerinde incelenmiştir. 8 günlük çamur yaşı ile replika olarak işletilen reaktörler sentetik besi ortamı ile beslenmiştir. Ayrıca her set için kontrol reaktörü işletilmiştir. Reaktörleri kurmak için gerekli karışık kültür mikroorganizmalar Ankara Büyükşehir Belediyesi evsel atıksu arıtma tesisi ön çökeltme tankından alınan atıksu örneği kullanılarak elde edilmiştir. Reaktörler pH'ları 7.7 ± 0.3 ve sıcaklığı $25 \text{ }^\circ\text{C}$ olacak şekilde işletilmişler ve çözülmüş oksijen konsantrasyonları en az 3 mg/L olacak şekilde hava pompaları ile havalandırılmışlardır. Her katyon seti için 3 konsantrasyon çalışılmıştır. Bu konsantrasyonlar literatürdeki bilgilerden yola çıkılarak $5, 10$ ve 20 meq/L olarak seçilmişlerdir (Higgins ve Novak, 1997; Sanin ve Vesilind, 1996; Novak ve diğerleri, 2003). Katyonlar, belirlenen miktarlarda günlük besi ortamına eklenmiş ve reaktörler kararlı hale ulaşıncaya kadar çalıştırılmıştır. Besi ortamındaki substrat, mikroorganizmalar ve çamur özellikleri üzerinde belirleyici olacağından farklı deney setleri arasında sabit tutularak bu etki minimuma indirmeye çalışılmıştır. Ayrıca peptonun da besi çözeltisi içinde içerilmesi ile farklı büyüme faktörlerinin sisteme verilmesi sağlanmıştır. Reaktörler kararlı hale gelinceye kadar çalıştırılmış, ölçülen Askıda Katı Madde (AKM) ve Uçucu Askıda katı Madde (UAKM) değerlerinin 4-6 gün boyunca aynı değerde olması reaktörlerin kararlı hale ulaştığını göstermiştir. AKM ve UAKM değerleri Standard Metotlar olan 2540D ve 2540E (APHA, 2000) ile belirlenmiştir. Kararlı haldeki aktif çamurun fiziksel, kimyasal ve yüzey kimyasal özelliklerini ölçmek amacı ile 3 seri analiz (kimyasal, yüzey kimyasal ve fiziksel analizler olarak) gerçekleştirilmiştir.

1.2. Kimyasal Analizler

Hücre dışı polimer (HDP) ekstraksiyonu, çamur yapısında yer alan katyon konsantrasyonunun belirlenmesi ve iletkenlik takibi yapılan kimyasal analizlerdir.

Reaktörler kararlı hale ulaştıktan sonra HDP katyon değiştirme reçinesi (CER) kullanılarak karışık kültür mikroorganizmalarından izole edilmiştir. Reaktörlerden elde edilen çamurların UAKM değerleri belirlenmiş, Durmaz ve Sanin (2001) tarafından önerilen 100g CER/g UAKM dozuna göre her reaktör için CER tartımı yapılmıştır. Tartılan reçineler jar test aletinde 1 saat 120 rpm de eklenen fosfat tampon çözelti ile karıştırılarak reçineden kaynaklanacak pozitif yönde katkıların azaltılması amaçlanmıştır. Fosfat tampon çözeltisinin bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir. Tampon ile yıkanan reçineler filtrasyon sisteminden geçirilmiş ve 1 gün oda koşullarında kurumaya bırakılmıştır.

Tablo 1.1. Fosfat tampon çözeltisinin kompozisyonu

Bileşen	Konsantrasyon (mg/L)
NaCl	4
KCl	0.1
KH ₂ PO ₄	0.06
Na ₂ HPO ₄	0.455

Reaktörlerden günlük olarak atılan 250 mL çamurdan 200 mL alınmış ve 3500 rpm de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası üst sıvı kısım uzaklaştırılmış ve katı kısmı jar test beherlerine konulmuştur. Çamur örneklerini içeren beherlerin üzerine o reaktöre ait tartılan reçine ve 200 mL fosfat tampon çözeltisi eklenmiştir. Ayrıca her reaktör için 2 kontrol kullanılmıştır. Bunlardan biri reçine kontrol diğeri çamur kontroldür. Reçine kontrol sadece

reçine içermekte, çamur kontrol reaktörü ise sadece çamur içermektedir. Bu örnekler de aynı şekilde karıştırılmış ve böylece çamurdan ve reçineden gelebilecek herhangi bir katkı belirlenmiş olacaktır. Bu kontrol beherlerinin üzerine de 200 mL tampon çözeltisi eklenmiş ve örnekleri içeren tüm jar test beherleri jar test aletine yerleştirilmiştir. Örnekler 120 rpm de 5 saat ekstraksiyon için karıştırılmış ve 5 saat sonrası yarım saat çökmeleri için bekletilmiştir. Daha sonra beherlerin üst kısmından alınan örnekler 15 dakika 3500 rpm de karıştırılmış ve örneklerin supernatant kısımları karbohidrat ve protein analizleri için kullanılmıştır. Hücre dışı polimerlerin karbohidrat içeriği Fenol-Sülfirik asit metodu (Dubois ve diğerleri, 1956) kullanılarak, protein içeriği ise Lowry metodu (Lowry ve diğerleri, 1951) kullanılarak analiz edilmiştir. Fenol-Sülfirik asit metodu için alginat, Lowry metodu içinse bovin serum albumin referans madde olarak kullanılmıştır. Analizler üçlü seriler halinde gerçekleştirilmiştir.

Yumak yapısında yer alan katyon konsantrasyonunu belirlemek için mikrodalga parçalayıcı (digester) kullanılmıştır. Mikrodalga yardımıyla çamur örneklerinin asitle çürütülmesi prosedürü Özsoy ve diğerleri (2005) tarafından belirtildiği gibi yapılmış ve elde edilen örnekler analiz edilmiştir. Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının ölçümleri atomik absorpsiyon spektrofotometre ile, sodyum ve potasyum iyonlarının ölçümleri ise flame fotometre ile gerçekleştirilmiştir.

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurlar bir diğer kimyasal özellik olan iletkenlik açısından analiz edilmiştir. Aktif çamurların iletkenlikleri reaktörler 2 dakika çöktürüldükten sonra Cyber Scan PC 510 cihazının iletkenlik ölçer probu reaktörlerin içine belli bir seviyeye kadar batırılarak ölçülmüştür.

1.3. Yüzey Kimyasal Analizler

Hidrofobisite ve zeta potasyel yapılan yüzey kimyasal analizlerdir. Reaktörlerden elde edilen aktif çamurların hidrofobik karakterlerini belirlemek amacıyla Rosenberg ve diğerleri(1980) tarafından geliştirilen Mikroorganizmaların Hidrokarbon Faza Tutunma (MATH) testi kullanılmıştır. Bu metoda ait prosedür Durmaz (2001) tarafından belirtildiği gibi uygulanmıştır.

Aktif çamur örnekleri cihazın ölçebileceği aralığı elde etmek için gerekli seyreltmeler yapıldıktan sonra ODTÜ Merkezi Laboratuvar'ında MALVERN Nano ZS90 cihazı kullanılarak yaptırılmıştır.

1.4. Fiziksel Analizler

Aktif çamur örneklerinin susuzlaştırma ve çökeltme ile ilgili özelliklerini etkileyen parametreler fiziksel analizler ile belirlenmiştir.

Çamur Hacim İndeksi (SVI) analizi gerçekleştirilmeden önce çamur örneklerinin AKM değerleri belirlenmiştir. Daha sonra aktif çamur örnekleri 1 L lik dereceli silindire alınmış ve 30 dakika çökmeye bırakılmıştır. Bu süre sonunda çöken çamurun hacmi not edilmiş ve aşağıda verilen formülden SVI hesaplaması yapılmıştır.

$$SVI(mL/g) = \frac{V_{30}(mL/L) * 1000}{AKM(mg/L)}$$

Çökme Hızı (ZSV) üç farklı AKM konsantrasyonunda (AKM, 1.5*AKM ve 2*AKM) belirlenmiştir. Aktif çamur örneklerinin AKM değerleri belirlendikten sonra aktif çamur örnekleri 1 L lik dereceli silindire alınıp 1 saatlik çökmeye bırakılmıştır. Çamur örneklerinin 0.5 cm`ye karşılık gelen her 20 mL lik çöküşüne ait süreler not edilmiştir. Bu prosedür her bir AKM konsantrasyonu için tekrar edilmiştir. Tüm değerler elde edildikten sonra zamana bağlı yükseklik grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerden eğim değeri olarak her bir konsantrasyona ait çökme hızı değerleri elde edilmiş ve bunu takiben üç farklı AKM konsantrasyonuna bağlı ZSV grafikleri çizilmiştir. Bu sayede farklı reaktörlerdeki çökme hızları karşılaştırılabilmiştir.

Viskozite ile konsantrasyon değerleri arasında bir ilişki elde etmek amacıyla her reaktör seti için farklı konsantrasyonlarda katı madde içeren çamur örnekleri hazırlanmış ve viskozite ölçümleri Brookfield LVDVII+ viskometre kullanarak 1.83-73.38 dak⁻¹ arasında değişen 6 farklı kesme hızı için gerçekleştirilmiştir (Sanin, 2002). Daha sonra AKM konsantrasyonuna bağlı viskozite grafikleri çizilmiş ve çamur örnekleri için hesaplamalar yapılmıştır.

Filtrelenebilme (SRF) aktif çamur örneklerinin susuzlaştırma ile ilgili özelliklerini belirlemek için yapılan bir analizdir. Bu analiz Vesilind (1979) tarafından belirtilen prosedür uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Aktif çamur örnekleri 21 in-Hg basınç altında Whatman 40 tipi filtre kağıtlarından süzölmüş ve her 5 mL lik hacimsel aralıkta süre not edilmiştir. Filtre kağıdı üzerinde kalan kek çamurunun konsantrasyonu ise gravimetrik analizlerle belirlenmiştir. Her reaktör için hacme bağlı zaman/hacim grafiğı çizilmiş ve buradan elde edilen eğim değerini de kullanılarak SRF değerleri belirlenmiştir.

Aktif çamur örneklerinin susuzlaştırma yeteneklerini belirlemek için yapılan bir diğer analiz kapiler emme süresinin (CST) metod 2710G (APHA, 2000) uygulanarak ölçülmesidir. CST değerleri Whatman 17 filtre kağıtları kullanarak Type 304 M Capillary Suction Timer aleti ile belirlenmiştir.

Yumak mukavemeti ile ilgili olarak reaktörlerden elde edilen çamur örnekleri 1000 rpm'de 0.5, 2, 4 ve 8 dak. Velp Scientifica Stirrer Type PW ile karıştırıldıktan sonra CST değerleri Type 304 M Capillary Suction Timer ile ölçülmüş, sonra her bir konsantrasyon için karıştırma süresine bağlı CST değerlerinde görülen değişiklikleri içeren bir grafik çizilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen her bir konsantrasyona ait eğim değerleri bulunmuştur çünkü yumak mukavemeti ile elde edilen eğim değerleri arasında ters bir ilişki vardır.

Aktif çamur örnekleri cihazın ölçebileceği aralığı elde etmek için seyreltikten sonra yumak büyüklüğünü belirlemek amacıyla ilgili deneyler ODTÜ Merkezi Laboratuvar'ına Malvern Mastersizer 2000 cihazı kullanılarak yaptırılmıştır.

Aktif çamur örnekleri 1 saat çöktürüldükten sonra üst sıvıdan alınan örnekler bulanıklık analizi için kullanılmıştır. Analizler Hach Turbidimeter 2100N cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Projenin sonuçları dört kısımda tartışılmaktadır. Birinci kısım iki değerlikli katyonlarla ilgili olarak yapılan çalışmaların sonuçlarını içermektedir. Daha sonra potasyum ve sodyum iyonları ile ilgili çalışmalar ayrı ayrı sunulmakta, en son olarak da tek ve çift değerlikli katyonlarla ilgili sonuçlar karşılaştırılmalı olarak tartışılmaktadır. Birinci kısımda kalsiyum ve magnezyum iyonlarının bir arada tartışılmasının nedeni bu kısımda yaşanan çamur şişme problemi ve bu problemten dolayı sonuçların bir arada incelenmesinin daha anlamlı olduğudur. Sonuçlar ifade edilirken iki replika reaktörün ortalaması alınarak ifade edilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda tek ve çift değerlikli katyonlara ait kontrol reaktörlerinden elde edilen değerlerin birbirine yakın olması nedeniyle ayrı olarak tek ve çift değerlikli katyonlarla beslenen reaktörlerin kontrol değerlerinin ortalaması alınmış, böylece elde edilen sonuçlar ortak kontrol değerine göre belirtilmiştir (Yumak mukavemeti analizi hariç).

2.1. KALSİYUM VE MAGNEZYUM REAKTÖRLERİNİN İŞLETİLMESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Çalışmanın ilk kısmında hem kalsiyum hem de magnezyum iyonlarının etkilerinin paralel olarak aynı anda çalışılabileceği düşünülmüş, bu yüzden replikalarla beraber toplam 14 adet 2 litrelik reaktör (3 doz kalsiyum için 6 reaktör, 3 doz magnezyum için 6 reaktör ve 2 tane de kontrol reaktörü) kurulmuştur. Reaktörler aşağıda Tablo 2.1'de gösterilen sentetik besi ortamıyla beslenerek çalıştırılmaya başlanmıştır. Ancak daha sonra besi çözeltisinde bulunan fosfat tampon çözeltilerinin (KH_2PO_4 ve K_2HPO_4) kalsiyum ve magnezyum iyonlarının çökmesine yol açabileceği ve deneylerin sağlıklı yürütülmesini engelleyeceği görüşü ile reaktörler boşaltılmış ve Tris tampon çözeltisi kullanılarak yeniden çalıştırılmaya

başlanmıştır. Bu aşamada besi yerindeki peptonda bulunan fosforun sistemin fosfor ihtiyacını karşılayacağı düşünülmüştür. Tablo 2.2'deki besi yeri kompozisyonu bu yeni durumu yansıtmaktadır. Ayrıca Tablo 2.3'de de reaktörlerdeki kalsiyum ve magnezyum iyon konsantrasyonları özetlenmektedir.

Tablo 2.1. Çalışmada ilk kullanılan sentetik atıksuyun bileşimi

Bileşenler	Konsantrasyon (mg/L)
Glukoz	935
Pepton	200
KH_2PO_4	150
K_2HPO_4	300
NH_4Cl	225
MgCl_2	12.8
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3.75
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3.75
NaHCO_3	180

Tablo 2.2. Reaktörlere beslenen sentetik atık suyun kompozisyonu

Bileşenler	Konsantrasyon (mg/L)
Glukoz	1028
NH_4Cl	225
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3,75
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3,75
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,287
NaHCO_3	180
Pepton	200
Tris (tampon çöz.)	18,15
HCl	27,37

Tablo 2.3. Reaktörlerdeki kalsiyum ve magnezyum miktarları

Reaktörlerdeki konsantrasyonlar	Kalsiyum Reaktörleri	Magnezyum Reaktörleri
Ca = 5 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	R1 ve R2	
Ca = 10 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	R3 ve R4	
Ca = 20 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	R5 ve R6	
Mg = 5 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	.	R1 ve R3
Mg = 5 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	.	R3 ve R4
Mg = 5 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	.	R1 ve R6
Ca = 0,3 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	C1 ve C2 (kontrol reaktörleri)	

Reaktörlerin işletilmeye başlanması ile beraber ciddi bir çamur şişme problemi yaşanmıştır. Bunun temel sebebinin ise fosfor yetersizliği olduğu düşünülmüş ve reaktörlerdeki tek fosfor kaynağı olan peptonun fosfor içeriğinin 0,6 mg/L olduğu belirlenmiştir. Bu koşulda reaktörlerin mikroorganizmaların stokiyometrik ihtiyacı olan KOI/N/P oranının 100/5/1 yerine fosforca kısıtlı bir ortam yaratan 100/5/0,05 olarak çalıştırıldıkları da hesaplarla gösterilmiştir. Bu aşamada reaktörlerin işletimine son verilerek fosforca çok daha zengin bir pepton ile beslenmesi görüşü oluşmuştu. Ancak bundan önce reaktörlerdeki çamurların mikroskop incelemelerinin yapılmasına karar verilmiş, mikroskop incelemeler sonucu ortaya çıkan çok ilginç görüntüler ve bulgular reaktörlerdeki çamurları dökmek yerine bizi bu konuda daha detaylı araştırma yapmaya itmiştir.

Mikroskobik incelemelerde fosfor eksikliğinde çalıştırılan reaktörlerdeki şişme sorununun reaktörlerdeki katyon tipine bağlı olarak önemli şekilde fark ettiği gözlemlendi. Her iki katyonun varlığında da fosfor eksikliğinin bir şişme problemi yarattığı anlaşıldı. Ancak aşağıdaki mikroskop fotoğraflarından da anlaşıldığı gibi reaktörlerde kalsiyumun varlığı veya magnezyumun varlığı çamurun şişme tipini önemli ölçüde etkilemekteydi. Reaktörlerde

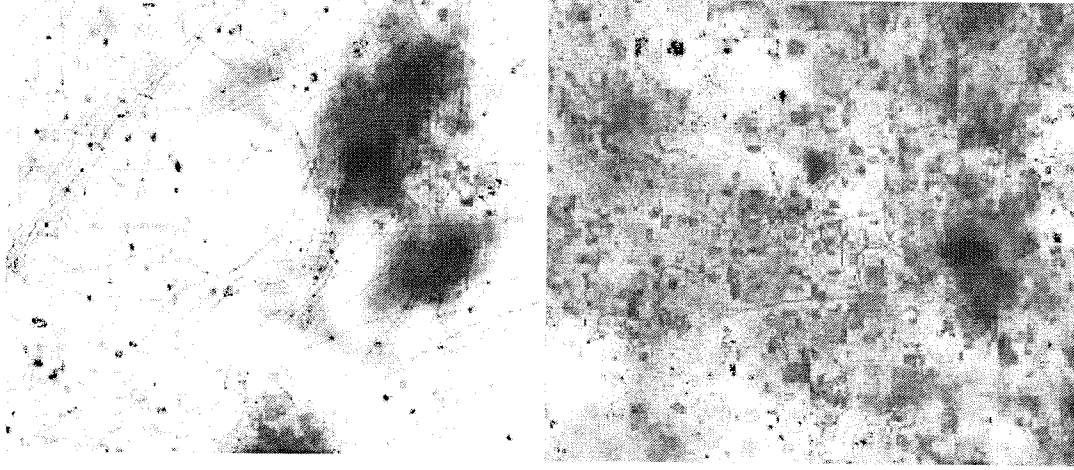
Tablo 2.3. Reaktörlerdeki kalsiyum ve magnezyum miktarları

Reaktörlerdeki konsantrasyonlar	Kalsiyum Reaktörleri	Magnezyum Reaktörleri
Ca = 5 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	R1 ve R2	-
Ca = 10 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	R3 ve R4	-
Ca = 20 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	R5 ve R6	-
Mg = 5 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	-	R1 ve R2
Mg = 5 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	-	R3 ve R4
Mg = 5 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	-	R5 ve R6
Ca = 0,3 meq/L, Mg = 0,3 meq/L	C1 ve C2 (kontrol reaktörleri)	

Reaktörlerin işletilmeye başlanması ile beraber ciddi bir çamur şişme problemi yaşanmıştır. Bunun temel sebebinin ise fosfor yetersizliği olduğu düşünülmüş ve reaktörlerdeki tek fosfor kaynağı olan peptonun fosfor içeriğinin 0,6 mg/L olduğu belirlenmiştir. Bu koşulda reaktörlerin mikroorganizmaların stokiyometrik ihtiyacı olan KOİ/N/P oranının 100/5/1 yerine fosforca kısıtlı bir ortam yaratan 100/5/0,05 olarak çalıştırıldıkları da hesaplarla gösterilmiştir. Bu aşamada reaktörlerin işletimine son verilerek fosforca çok daha zengin bir pepton ile beslenmesi görüşü oluşmuştu. Ancak bundan önce reaktörlerdeki çamurların mikroskop incelemelerinin yapılmasına karar verilmiş, mikroskop incelemeler sonucu ortaya çıkan çok ilginç görüntüler ve bulgular reaktörlerdeki çamurları dökmek yerine bizi bu konuda daha detaylı araştırma yapmaya itmiştir.

Mikroskobik incelemelerde fosfor eksikliğinde çalıştırılan reaktörlerdeki şişme sorununun reaktörlerdeki katyon tipine bağlı olarak önemli şekilde fark ettiği gözlemlendi. Her iki katyonun varlığında da fosfor eksikliğinin bir şişme problemi yarattığı anlaşıldı. Ancak aşağıdaki mikroskop fotoğraflarından da anlaşıldığı gibi reaktörlerde kalsiyumun varlığı veya magnezyumun varlığı çamurun şişme tipini önemli ölçüde etkilemekteydi. Reaktörlerde

kalsiyum olduğu durumlarda çamur şişme tipi viskoz şişme (viscous bulking), magnezyumun olduğu durumlarda ise çamur şişme tipi ipliksi mikroorganizmalardan kaynaklı şişme (filamentous bulking) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Magnezyum (solda) ve kalsiyum (sağda) varlığında yetiştirilen çamurların mikrofotografaları

Bu reaktörlerdeki çamurların analiz sonuçları Tablo 2.4'de verilmekte ve çamur şişme probleminin ne kadar önemli boyutta olduğunu vurgulamaktadır.

Tablo 2.4'den de görülebileceği gibi, fosforun yetersiz olduğu koşullarda, bütün reaktörler için, MLSS değerleri çok düşüktür. Bu durum, besi maddesi eksikliğine (yetersiz P) ve bunu takip eden çamur şişmesine bağlanmaktadır. MLSS ve MLVSS değerleri arasında çok küçük bir farkın olduğu gözlenmiştir ki bu da katı maddelerin çoğunun organik olduğunu göstermektedir. Bu önemli nokta çalışılan katyonların yüksek konsantrasyonları nedeniyle inorganik bir çökelek oluşturmadığını göstermememiz açısından gereklidir.

Tablo 2.4. Fosforca yetersiz koşullar altında yapılan analizler ve sonuçları

Analiz	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3	Reaktör 4
Ca konsantrasyonu (meq/L)	5	10	20	0,3
Mg konsantrasyonu (meq/L)	0,9	0,9	0,9	10
KOİ (mg/L) (çamurda)	1415	2080	2630	2260
TKN (mg/L) (çamurda)	10,08	10,08	16	9,5
PO ₄ -P (mg/L)	0,375	0,316	0,191	0,412
MLSS (mg/L)	840	1005	1135	675
Karbohidrat (mg/L)	161,7	100	148	57,94
SVI (mL/g)	1081	1389	308	1036
Karbohidrat (%MLSS)	19,4	10	13	8,6
PO ₄ -P (% MLSS)	0,045	0,031	0,017	0,061

* Reaktör 1, 2 ve 3 kalsiyum reaktörlerini, reaktör 4 ise magnezyum (10 meq/L) reaktörünü göstermektedir. 5 meq/L ve 20 meq/L magnezyum reaktörleri fotoğrafların çekimini takiben kırılmışlardır.

Ortama fosfat tampon çözeltisi eklenmediğinden, peptonun içinde bulunan fosfor miktarı, KOİ/N/P oranını gerektiği miktarı (100/5/1) karşılamaya yetmemiştir. Dolayısıyla aktif çamurun şişme problemine ciddi bir fosfor kısıtlamasının yol açtığı ortadadır. Çamur örneklerinin mikroskop altında incelenmesi şaşırtıcı bir şekilde magnezyum bakımından zengin besi çözeltisiyle beslenen reaktörlerin çamurlarının kalsiyum bakımından zengin çözeltiyle beslenenlerden son derece farklı olduğunu (Şekil 2.1) ortaya çıkarmıştır. Gözlenen etki katyon konsantrasyonundan bağımsız olduğu için Şekil 2.1'de sadece 5 meq/L kalsiyum ve 10 meq/L magnezyum reaktörlerinin mikroskop altında çekilmiş fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflardan da görülebileceği gibi, kalsiyumca zengin besi ortamında gelişen çamurlarda viskoz çamur şişmesi problemi gözlenmekte ve belirgin filamentli yapılara neredeyse hiç rastlanmamaktadır. Diğer yandan, magnezyumca zengin ortamda gelişen

çamurlarda filamentli şişme, çok sayıda iplikli mikroorganizmanın varlığıyla birlikte gözlemlenebilmektedir.

Yüksek karbohidrat oranlarında ortaya çıktığı bilinen viskoz çamur şişmesi durumunu teyit etmek amacıyla çamurdaki karbonhidrat miktarları ölçülmüştür. Eğer filamentsiz çamur şişmesi baskınsa karbonhidrat oranının çamur kompozisyonunun en az %20 si olması beklenmektedir. 1, 2 ve 3 numaralı kalsiyum reaktörlerinin içinden sadece 1. reaktör toplam çamur kütlelerinin %20 oranında karbonhidrata sahiptir. Diğer reaktörler ise %10 ve 13 gibi çok da yüksek olmayan karbohidrat oranlarına sahiptirler. Bu nedenle, viskoz çamur şişmesi problemini esas ispatlayan mikroskopik fotoğraflar olmuştur. Yine de, her zaman %20 oranına ulaşmamakla beraber, magnezyumca zengin ortamda gelişmiş çamurla kıyaslandıklarında, kalsiyumca zengin sentetik atıksuyla beslenen çamurların karbohidrat oranları daha yüksektir. Magnezyumca zengin ortamda gelişen çamur sadece % 8,6 oranında karbohidrat içermektedir. Bu durum, karbohidrat polimerlerinin kalsiyum iyonlarına olan seçiciliğini düşündürmektedir. Benzeri seçicilik önceki yıllarda bazı araştırmacılar tarafından da saptanmıştır. Buna ek olarak mikroorganizmaların büyüme aşamasında besi ortamına eklenen kalsiyum iyonlarının hücre dışı polimer (HDP) üretimini artırıcı bir etki yaptığı düşünülmektedir. Magnezyum iyonlarının varlığı ise HDP üretimiyle ilgili böyle bir etki yapmamaktadır.

İkinci aşama deneyler ilk aşamadaki fiziksel ve kimyasal analizleri takiben yapılmışlardır. Besi çözeltisine eklenen KH_2PO_4 sayesinde reaktör ortamında 100/5/0,5 değerinde bir KOİ/N/P oranı sağlanmıştır. SVI, MLSS ve MLVSS değerleri düzenli olarak kaydedilmiştir. Tablo 2.5 besi ortamına fosfor ilavesini takiben gerçekleştirilen ikinci aşama deneylerin sonuçlarını yansıtmaktadır.

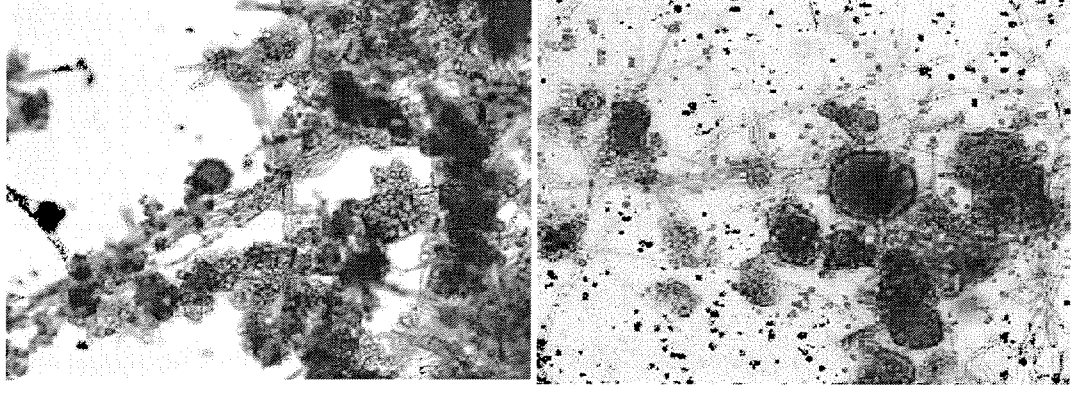
Tablo 2.5. C/N/P oranı 100/5/0,5 iken yapılan analizler ve sonuçları

Analiz	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3	Reaktör 4
Ca konsantrasyonu (meq/L)	5	10	20	0,3
Mg konsantrasyonu (meq/L)	0,9	0,9	0,9	10
PO ₄ -P (mg/L)	2,3	3	2,4	4.1
MLSS (mg/L)	2375	2530	2480	2000
Karbohidrat (mg/L)	146,3	339	239	228,7
SVI (mL/g)	28	38	48	72
Karbohidrat (% MLSS)	6,2	13,4	9,6	11,4
PO ₄ -P (% MLSS)	0,097	0,119	0,097	0,205

* Reaktör 1, 2 ve 3 kalsiyum reaktörlerini, reaktör 4 ise magnezyum (10 meq/L) reaktörünü göstermektedir. 5 meq/L ve 20 meq/L magnezyum reaktörleri fotoğrafların çekimini takiben kırılmışlardır.

İkinci aşama deneylerin sonuçlarından besi ortamındaki fosfor konsantrasyonu yükseltilir yükseltilmez çamurların çökelme özelliklerinin düzeldiği görülmüştür (Tablo 2.5). Şekil 2.2’de 1, 2 ve 3 numaralı reaktörlerde çamurun yumak yapısının tamamıyla değiştiğini ortaya koymaktadır. Yumak yapıları içinde ipliksi mikroorganizmalar gözlenmeye başlanmış ve viskoz çamur şişmesi problemi büyük ölçüde ortadan kalkmıştır.

Magnezyumla beslenen reaktör 4 göz önüne alındığında, Şekil 2.2’den de görülebileceği gibi ipliksi mikroorganizmalar miktarı belirgin bir şekilde azalmıştır. Bu azalmanın sonucu olarak yumaklar birbirlerine kolayca tutunabilmekte, daha büyük yumaklar oluşturarak rahatça çökebilmektedirler. Bu iyileşmenin nedeni sorgulandığında fosfor miktarındaki artış tek neden olarak görülmektedir.



Şekil 2.2. C/N/P oranı 100/5/0,5 iken magnezyum (solda) ve kalsiyum (sağda) varlığında yetiştirilen çamurların mikrofotografı

Reaktöre giren sentetik atıksudaki $PO_4\text{-P}$ konsantrasyonunun artışına paralel olarak toplam çamur kütlesi de artmıştır. Karbohidrat miktarının toplam katı kütlesine (MLSS) oranı 1 ve 3 numaralı reaktörlerde düşmüş ancak 2 ve 4 numaralı reaktörlerde artmıştır. Bu artış için belirgin bir neden bulunamamıştır çünkü besi çözeltilisindeki karbohidrat miktarı bütün reaktörler için ilk aşamada olduğunun aynısıdır. Çamur hacim indeksi verilerinden de anlaşılacağı üzere, 2 ve 4 numaralı reaktörlerdeki bu artış çamurun çökme özellikleri üzerinde olumsuz bir etki yaratmamıştır.

Karbohidrat değerleri ilk aşama analizlerin sonuçlarıyla kıyaslandığında bütün reaktörlerde azalmıştır. Bunun yanı sıra, $PO_4\text{-P}$ miktarları ve yüzdeleri de çok belirgin bir biçimde artmıştır. Çamur hacim indeksi verilerine bakıldığında herhangi bir çamur şişmesi probleminden eser kalmadığı görülebilmektedir. Ancak, hem birinci hem de ikinci aşama deneylerin sonuçları göz önüne alındığında magnezyumla beslenen ve filamentli çamur şişmesi problemi yaşayan reaktörün çamur hacim indeksi değerlerinin hala diğerlerinden daha yüksek olduğu görülebilir. Bunun nedeni bu reaktörün iyileşme sürecinin diğerlerine kıyasla daha yavaş olmasıdır. Sonuç itibarıyla, ikinci aşama deneyler sonuçlandırıldığında, 4 numaralı

reaktörün SVI değerleri, beklenen sınırların içinde olmasına rağmen, diğerlerinden daha yüksektir.

Üçüncü aşama deneyler besi ortamındaki fosfor miktarı 12 mg/L ye, yani stokiyometrik olarak KOİ/N/P değerini 100/5/1 yapmak için gereken değere, yükseltildikten sonra gerçekleştirilmişlerdir. Bu deneylerin sonuçları Tablo 2.6'da verilmektedir.

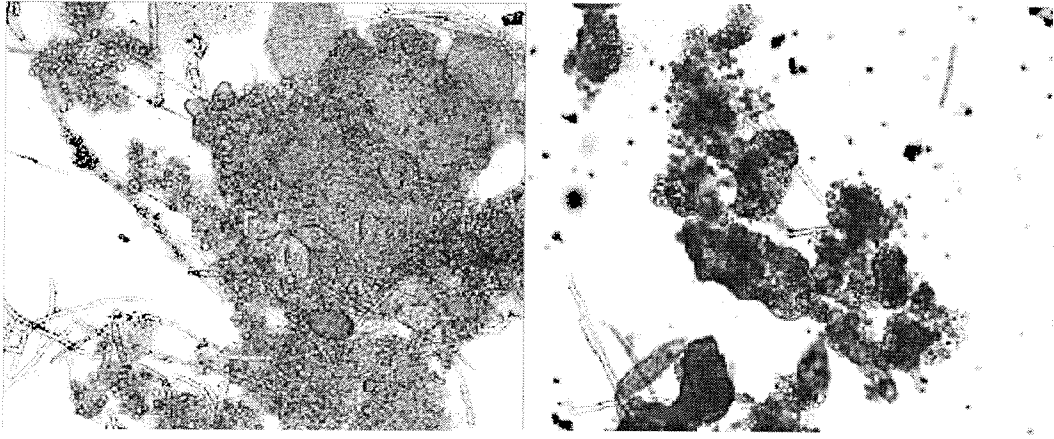
Tablo 2.6. C/N/P oranı 100/5/1 iken yapılan analizler ve sonuçları

Parametre	Reaktör 1	Reaktör 2	Reaktör 3	Reaktör 4
Ca konsantrasyonu (meq/L)	5	10	20	0,3
Mg konsantrasyonu (meq/L)	0,9	0,9	0,9	10
PO ₄ -P (mg/L)	11,4	13	12,1	8,2
MLSS (mg/L)	2530	2830	2740	2710
Karbohidrat (mg/L)	173,5	156,8	100	85,2
SVI (mL/g)	45	40	41	90
Karbohidrat (% MLSS)	6,8	5,5	3,6	3,1
PO ₄ -P (% MLSS)	0,451	0,459	0,442	0,303

* Reaktör 1, 2 ve 3 kalsiyum reaktörlerini, reaktör 4 ise magnezyum (10 meq/L) reaktörünü göstermektedir. 5 meq/L ve 20 meq/L magnezyum reaktörleri fotoğrafların çekimini takiben kırılmışlardır.

Üçüncü aşama için mikroskopik fotoğraflar incelendiğinde ne filamentli ne de filamentsiz çamur şişmesine rastlanmamıştır (Şekil 2.3). Bunların dışında, bazı granül yapılarına rastlanmıştır. Fotoğraflarda rastlanan granüler yapıların literatürde pek çok araştırmacı tarafından bildirilen polifosfat granülleri olduğu düşünülmektedir. Organizmalar bir kez fosfor eksikliği yaşadktan sonra, yeterli miktarda fosforu buldukları zaman bunu polifosfat granülleri şeklinde depolama eğiliminde olmuşlardır. Fosfor miktarı 6 mg/L ve ardından da 12 mg/L'ye yükseltildiğinde bile, her bir reaktör için MLVSS/MLSS oranları hep 0,85 değerinin

üstünde kalmıştır. Bu durum da bir inorganik çökeleğin (fosfat tuzu) olmadığını ve fosforun mikroskopik fotoğraflardan da görüldüğü gibi mikroorganizmaların bünyesinde biriktiğini göstermiştir. Ayrıca Tablo 2.6'daki sonuçlar da reaktörlerdeki iyileşmeyi göstermektedir. Çamur hacim indeksi değerleri normal seyretmekte, MLSS değerleri de istenilen düzeye ulaşmış görünmektedir.



Şekil 2.3. C/N/P oranı 100/5/1 iken magnezyum (solda) ve kalsiyum (sağda) varlığında yetiştirilen çamurların mikrofotografaları

Çalışmalar bu aşamaya ulaştıktan sonra, bu reaktörler sonlandırılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında proje önerisinde verildiği şekilde kalsiyum ve magnezyum ile ilgili çalışmaları yapacak şekilde yeni reaktör setleri kurulmuştur.

Çalışmanın bu kısmında Tablo 2.7'de belirtildiği gibi 3 farklı kalsiyum ve magnezyum dozunun (5, 10, 20 meq/L) çamur özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca her iki kation için kontrol reaktörü de çalıştırılmıştır. Yarı sürekli olarak 8 günlük çamur yaşı ile işletilen reaktörler iki litrelik hacme sahip olup sentetik besi ortamı ile beslenmiştir (Tablo 2.8). Reaktörleri kurmak için gerekli karışık kültür mikroorganizmalar Ankara Büyükşehir

Belediyesi evsel atık su arıtma tesisi ön çökeltme tankından alınan atık su örneği kullanılarak elde edilmiştir. Reaktörlerde gerekli KOİ/N/P oranı fosforca zengin pepton kullanarak 100/5/1 olarak elde edilmiştir. Böylece reaktörlerin azot ve fosforca sınırlı beslenmemeleri garanti edilmiştir. Reaktörler yöntem kısmında belirtildiği şekilde işletilmişlerdir. Kararlı haldeki aktif çamurun fiziksel, kimyasal ve yüzey kimyasal özelliklerini ölçmek amacı ile 3 seri analiz gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.7. Reaktörlerdeki kalsiyum ve magnezyum miktarları

Reaktörlerdeki konsantrasyonlar	Kalsiyum Reaktörleri	Magnezyum Reaktörleri
Ca = 5 meq/L, Mg = 0,9 meq/L	R1	-
Ca = 10 meq/L, Mg = 0,9 meq/L	R2	-
Ca = 20 meq/L, Mg = 0,9 meq/L	R3	-
Mg = 5 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	-	R1
Mg = 10 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	-	R2
Mg = 20 meq/L, Ca = 0,3 meq/L	-	R3
Ca = 0,3 meq/L, Mg = 0,9 meq/L	C1 (kontrol reaktörü)	

Tablo 2.8. Kontrol reaktörlerine beslenen sentetik atık suyun kompozisyonu

Bileşenler	Konsantrasyon (mg/L)
Glukoz	163,54
NH ₄ Cl	225
MgSO ₄ .7H ₂ O	112,5
FeSO ₄ .7H ₂ O	3,75
ZnSO ₄ .7H ₂ O	3,75
MnSO ₄ .7H ₂ O	3,75
NaHCO ₃	180
CaCl ₂ .2H ₂ O	15
Pepton	943
Tris (tampon çöz.)	18,15
HCl	27,37

2.1.1. KİMYASAL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu kısmı mikroorganizmalar tarafından üretilen hücre dışı polimerlerin (HDP) negatif yüklü fonksiyonel grupları ile kalsiyum ve magnezyum katyonlarının reaksiyona girmesi sonucu biyolojik yumaklaşma olayının nasıl değişeceği ve katyon türü ve konsantrasyonunun bu konudaki etkisinin araştırılmasını hedeflemiştir. Çamurlar kararlı hale ulaştıklarında hücre dışı polimerler (HDP) katyon değiştirme reçinesi (CER) kullanılarak karışık kültür mikroorganizmalarından izole edilip bu polimerlerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Hücre dışı polimerlerin karbohidrat içeriği Fenol-Sülfirik asit metodu (Dubois ve diğerleri, 1956) kullanılarak protein içeriği ise Lowry metodu (Lowry ve diğerleri, 1951) kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler üçlü seriler halinde gerçekleştirilmiştir.

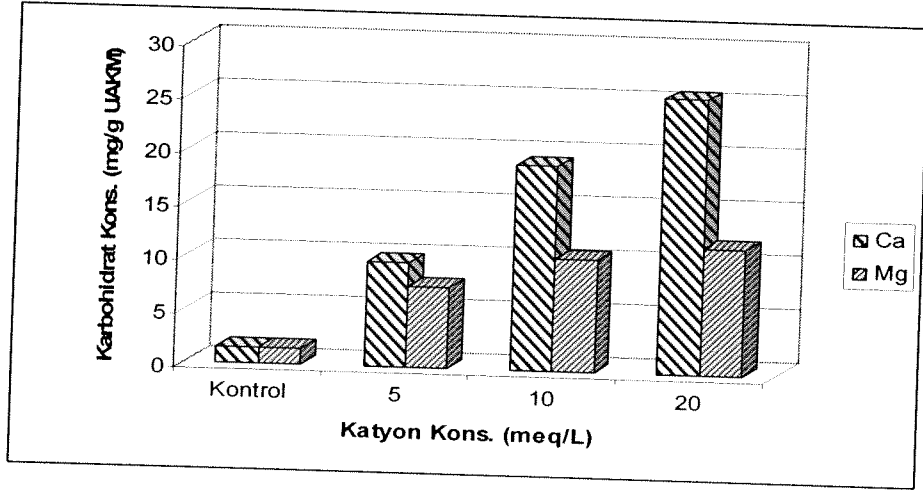
Elde edilen sonuçlara göre; farklı konsantrasyonlarda kalsiyum ve magnezyum iyonları içeren reaktörler kararlı hale ulaştıklarında HDP'lerin kalite ve miktar olarak farklı olduğu belirlenmiştir. Önceki çalışmalarımızdan yola çıkarak 100g CER/g UAKM optimum olarak kabul edilmiş ve HDP ekstraksiyonu bu koşulda yapılmıştır. Tablo 2.9 iyon konsantrasyonu ile toplam HDP miktarı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Buna göre iyon konsantrasyonunda meydana gelen artma HDP miktarında da bir artışa neden olmaktadır.

Reaktörlerdeki HDP'nin bileşenleri incelendiği zaman ilginç bir sonuç ortaya çıkmıştır. Buna göre karbohidrat tipi polimerler kalsiyum reaktörlerinden elde edilen çamur örneklerinde daha yüksek oranda bulunmuştur (Şekil 2.4). Reaktörlerde kalsiyum dozundaki artış karbohidrat polimer miktarında da artışa neden olmuştur. Buna karşın protein tipi polimerler magnezyum reaktörlerinden elde edilen çamur örneklerinde daha baskın olarak yer almıştır (Şekil 2.5). Magnezyum dozundaki artışa bağlı olarak polimerin protein miktarında belirgin bir artış gözlemlenmemiştir.

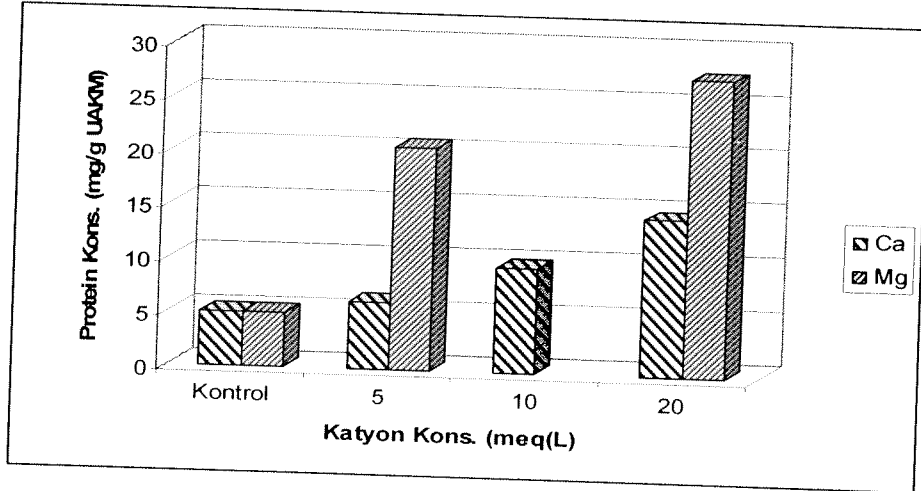
Tablo 2.9. Reaktörlerde bulunan katyon konsantrasyonu ve toplam HDP miktarı

Katyon	Toplam HDP (mg /g UAKM)
Kontrol	7
Ca – 5 meq/L	16
Ca – 10 meq/L	29
Ca – 20 meq/L	40
Mg – 5 meq/L	25
Mg – 10 meq/L*	-
Mg – 20 meq/L	34

*10 meq/L magnezyum reaktörünün protein ölçümünden sağlıklı bir sonuç elde edilememiştir



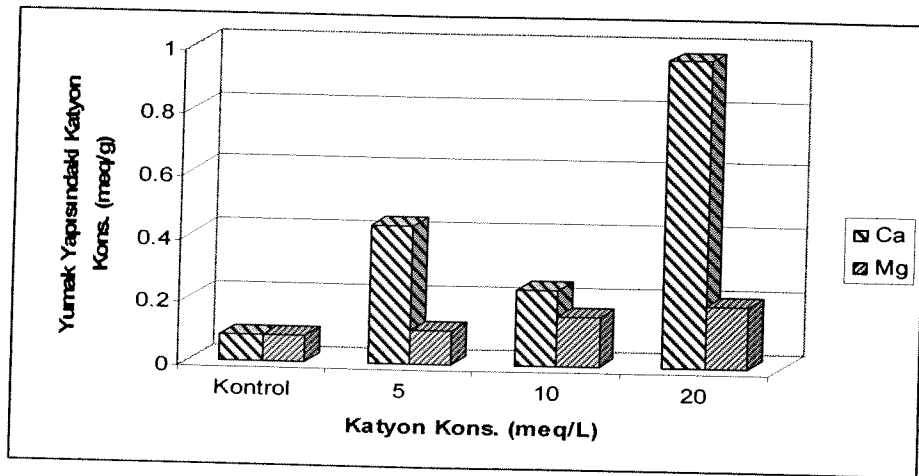
Şekil 2.4. Reaktörlerden elde edilen çamurların yumak yapısında bulunan karbohidrat konsantrasyonları



Şekil 2.5. Reaktörlerden elde edilen çamurların yumak yapısında bulunan protein konsantrasyonları

Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının dozunda meydana gelen artış aynı zamanda çamurun yumak yapısına giren kasyon miktarını da artırmaktadır. Reaktörler kararlı hale ulaştıkları zaman çamur yumaklarından ekstrakt edilen kalsiyum ve magnezyum iyonlarının miktarları Şekil 2.6'da belirtilmiştir. Kalsiyum reaktörlerinin çamur örneklerinde ölçülen kalsiyum iyonu konsantrasyonu, magnezyum reaktörlerinden elde edilen çamur örneklerinde bulunan

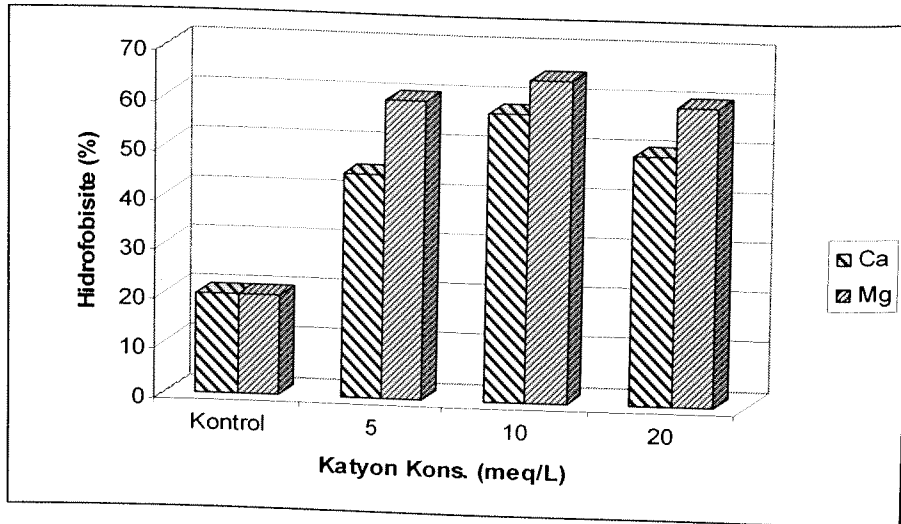
magnezyum iyon konsantrasyonundan daha yüksektir. Örneğin en yüksek kalsiyum dozu (20 meq/L) ile beslenen kalsiyum reaktörlerinde bulunan çamur örneğinde kalsiyum iyonu konsantrasyonu yaklaşık 20mg/g iken en yüksek magnezyum dozu (20 meq/L) ile beslenen magnezyum reaktörlerinden elde edilen çamur örneklerinde magnezyum iyon konsantrasyonu 3 mg/g dır. Bu durum kalsiyum iyonunun hücre dışı polimerlerin karbohidrat içeriğine yüksek afinitesi olan bir ekstrasellüler katyon olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Şekil 2.4’de bu durumu doğrulamaktadır. Kalsiyum reaktörlerinde karbohidrat polimerleri oluştuktan sonra bu polimerler kalsiyum iyonları ile birleşerek yumaklaşmaya yardım etmektedirler. Magnezyum iyonları proteinli polimerlere karşı daha yüksek afiniteye sahiptir ve yumak yapısında bulunan magnezyum iyon miktarı kalsiyum ile karşılaştırıldığında daha azdır.



Şekil 2.6. Çamurun yumak yapısında yer alan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının konsantrasyonları

2.1.2. YÜZEY KİMYASAL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

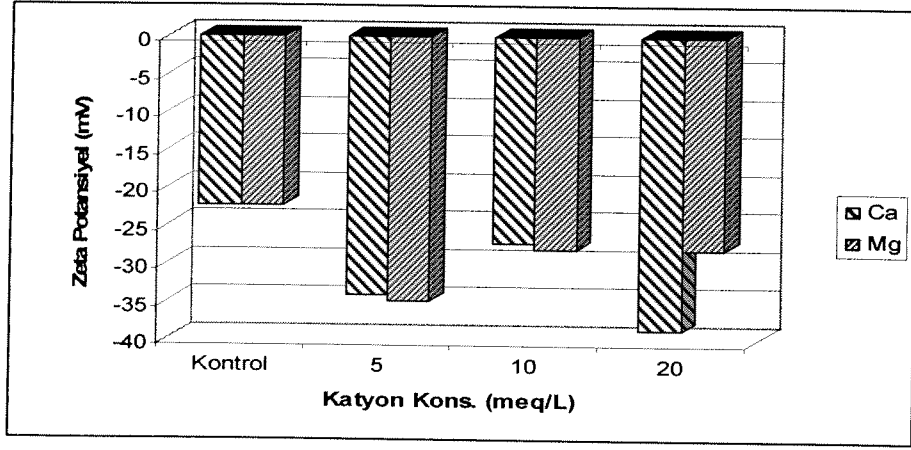
Reaktörlerden elde edilen aktif çamurların hidrofobik karakterlerini ve yüzdeleri belirlemek amacıyla Mikroorganizmaların Hidrokarbon Faza Tutunma (MATH) testi kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda toplam karbohidrat miktarının aktif çamurun hidrofobik karakteri üzerine negatif etkiye sahip olduğu belirlenmişti. Bunun yanı sıra hücre dışı polimerlerin protein içeriğinin aktif çamurun hidrofobik özelliğine zayıf da olsa pozitif bir etki yaptığı gözlemlenmişti. Şekil 2.7'ye göre kalsiyum reaktörlerinden elde edilen çamur örnekleri daha hidrofilik karakter gösterirken magnezyum reaktörlerinden elde edilen örnekler hidrofobik karakter sergilemiştir. Bu durum kalsiyum iyonlarının hücre dışı polimerlerin hidrofilik karbohidrat kısımlarına gösterdiği yüksek afinite özelliği ile de uyumludur. Hidrofobik proteinlere karşı daha yüksek afiniteye sahip olan magnezyum iyonlarıyla elde edilen aktif çamur örnekleri ise daha yüksek hidrofobik karakter göstermektedirler. Genel olarak Şekil 2.7'den anlaşılacağı üzere katyon konsantrasyonu arttıkça hidrofobik özellik de artmıştır.



Şekil 2.7. Katyon konsantrasyonu ile hidrofobisite arasındaki ilişki

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurlar bir diğer yüzey kimyasal özellik olan yüzey yükleri için zeta potansiyel ölçümüyle incelenmiştir. Zeta potansiyel ölçümleri ODTÜ Merkezi Laboratuvar'ında MALVERN Nano ZS90 cihazı kullanılarak yaptırılmıştır.

Zeta potansiyeli çamurun yüzeyindeki elektriksel potansiyelin bir göstergesi olup tanecikler arasındaki itme gücünü belirleyerek yumaklaşmayı etkileyecek bir parametredir. Aktif çamur örnekleri ile ilgili elde edilen sonuçlar Şekil 2.8'de belirtilmiştir. Reaktörlere ait zeta potansiyel değerleri incelendiğinde kalsiyum ve magnezyum reaktörlerinin değerlerinde kontrol reaktörlerine göre bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum toplam HDP miktarında meydana gelen artışla ilişkilidir. Artan HDP miktarı çamur yüzeyine ekstra negatif yük kazandırmakta ve ortama eklenen katyonlar da bu ekstra negatif yükleri tam olarak nötralize edememektedir ve sonuçta aktif çamur örneklerinin zeta potansiyel değerleri artmaktadır. Kalsiyum reaktörlerinde karbohidrat tipi polimerler baskın olduğu için bu polimerler protein tipi polimerlere göre yüzeye daha çok negatif yük kazandırır. Dolayısıyla bu durum 20 meq/L'ye geçildiğinde zeta potansiyel değerinde görülen artmayı açıklamaktadır. Magnezyum reaktörlerinde ise 5 meq/L konsantrasyona sahip reaktörden 10 meq/L reaktöre geçişte zeta potansiyel değeri azalmış ve 20 meq/L'de konsantrasyon artışına rağmen zeta potansiyel değerinde bir değişim söz konusu olmamıştır.



Şekil 2.8. Aktif çamur örneklerinden elde edilen zeta potansiyel değerleri

2.1.3. FİZİKSEL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Reaktörlerden elde edilen aktif çamur örneklerinin çökelme, filtrelenebilme, viskozite ve bulanıklık gibi fiziksel özellikleri yapılan analizler sonucu belirlenmiştir. Tablo 2.10 yapılan tüm fiziksel analizlerin sonuçlarını bir arada göstermektedir.

Viskozite ile konsantrasyon değerleri arasında bir ilişki elde etmek amacıyla reaktör seti için farklı konsantrasyonlarda katı madde içeren çamur örnekleri hazırlanmış ve viskozite ölçümleri $1.83-73.38 \text{ dak}^{-1}$ arasında değişen 6 farklı kesme hızı için gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda reaktörlere katyon ilavesinin kontrol reaktörü ile karşılaştırıldığında belirgin bir viskozite düşüşüne neden olduğu belirlenmiştir. Kontrol reaktöründen 5 meq/L reaktörlere geçildiğinde gözlemlenen belirgin düşüş daha sonraki 10 ve 20 meq/L reaktörlerinde gözlemlenmemiş olup viskozite değerleri yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Bu durum katyon miktarındaki artışın akışkanlığı daha fazla artırmadığını göstermektedir.

Tablo 2.10. Kalsiyum ve magnezyum reaktörlerinden elde edilen aktif çamurun fiziksel özellikleri

Fiziksel özellik	Kontrol Reaktörü	Kalsiyum Reaktörleri (meq/L)			Magnezyum Reaktörleri (meq/L)		
		5	10	20	5	10	20
Çamur hacim indeksi (SVI) (mL/g)	213	72	84	86	66	66	79
Çökelme Hızı (ZSV) (cm/sec)	0.002	0.065	0.057	0.058	0.066	-	0.065
Viskozite (cP)	4.1	2.09	1.9	1.99	2.09	2.16	1.97
Bulanıklık (NTU)	19.5	12.5	13	26.5	23.5	13.5	14
Filtrelenebilirlik (SRF) (m/kg)	$3.6 \cdot 10^{14}$	$8.18 \cdot 10^{13}$	$7.85 \cdot 10^{13}$	$3.8 \cdot 10^{13}$	$2.15 \cdot 10^{14}$	$1.67 \cdot 10^{14}$	$1.33 \cdot 10^{14}$

Aktif çamurun çökme özellikleri çamur hacim indeksi (SVI) ve çökelme hızı (ZSV) ile Standard Methods'a göre ölçülmüştür. Kontrol reaktörlerinin ZSV değerleri 5 meq/L katyon içeren reaktörlerin ZSV değerleri ile karşılaştırıldığında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum katyon konsantrasyonu arttığı zaman çamurun çökelme hızında da bir artış olduğunu göstermektedir. Ancak ZSV değerlerinde meydana gelen bu artış 10 meq/L reaktörlerine ve 20 meq/L reaktörlerine geçişte gözlemlenmemiştir. Magnezyum reaktörlerinin SVI değerlerinin kalsiyum reaktörlerinin SVI değerleri ile kıyaslandığı zaman daha düşük olduğu görülmektedir. Kontrol reaktörünün SVI değeri ise oldukça yüksektir. Katyon konsantrasyonu arttığı zaman reaktörlerde SVI değerlerinin 66-86 ml/g arasında değişmesi çamurun iyi şekilde çökebildiğini göstermektedir. Hücre dışı polimerlerin içerikleri ile SVI değerleri arasında bir ilişki varolduğu düşünülürse karbohidrat konsantrasyonu ile SVI arasında pozitif bir kolerasyon olduğu anlaşılmaktadır.

Aktif çamur örneklerinin susuzlaştırılma özellikleri SRF testi ile belirlenmiştir. Her iki katyon reaktörleri için SRF değerleri katyon ilavesi gerçekleştiği zaman azalmıştır. Ortaya çıkan en önemli sonuç ise SRF değerlerinin magnezyum reaktörleri ile karşılaştırıldığı zaman kalsiyum reaktörlerinde gözlemlenen belirgin azalışıdır. Önceki çalışmalarda da yüksek iki değerlikli katyon konsantrasyonunun aktif çamurun susuzlaştırılma yeteneğine önemli ölçüde katkıda bulunduğu belirlenmiştir (Higgins ve Novak, 1997a; Keiding ve Nielsen, 1997; Jin ve diğerleri, 2004).

Bulanıklık ile ilgili yapılan analizler sonucunda elde edilen değerler normal olarak kabul edilecek kadar düşük değerlerdir.

2.2. POTASYUM REAKTÖRLERİNİN İŞLETİLMESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Araştırma projesinin dördüncü 6 aylık döneminde potasyum iyonlarının besi ortamında farklı konsantrasyonlarda bulunmasının çamur özelliklerine olan etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın bu kısmında Tablo 2.11’de belirtildiği gibi 3 farklı potasyum dozu (5, 10, 20 meq/L) ile çalışılmıştır. Ayrıca bu set için kontrol reaktörleri de işletilmiştir. Yarı sürekli olarak 8 günlük çamur yaşı ile replika olarak işletilen reaktörler iki litrelik hacme sahip olup sentetik besi ortamı ile beslenmiştir (Tablo 2.12). Reaktörler daha önce kalsiyum ve magnezyum iyonları için belirtildiği şekilde kurulmuş ve işletilmişlerdir.

Tablo 2.11. Reaktörlerdeki potasyum konsantrasyonları

Reaktörlerdeki konsantrasyonlar	Potasyum Reaktörleri
K = 0,5 meq/L	C1, C2
K = 5 meq/L	R1, R2
K = 10 meq/L	R3, R4
K = 20 meq/L	R5, R6

Tablo 2.12. Potasyum kontrol reaktörlerine verilen sentetik atık suyun kompozisyonu

Bileşenler	Konsantrasyon (mg/L)
Glukoz	163,54
NH ₄ Cl	225
MgSO ₄ .7H ₂ O	112,5
FeSO ₄ .7H ₂ O	3,75
ZnSO ₄ .7H ₂ O	3,75
MnSO ₄ .7H ₂ O	3,75
NaHCO ₃	180
CaCl ₂ .2H ₂ O	15
Pepton	943
KCl	37,25

2.2.1. KİMYASAL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu kısmı mikroorganizmalar tarafından üretilen hücre dışı polimerlerin (HDP) negatif yüklü fonksiyonel grupları ile potasyum iyonlarının reaksiyona girmesi sonucu biyolojik yumaklaşma olayının nasıl değişeceği ve katyon türü ve konsantrasyonunun HDP üretimine olan etkisinin araştırılmasını hedeflemiştir. Bu amaçla potasyum iyonunun farklı konsantrasyonlarının çamurun özelliklerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; farklı konsantrasyonlarda potasyum iyonları içeren reaktörler kararlı hale ulaştıklarında HDP'nin kalite ve miktar olarak farklı olduğu belirlenmiştir. Önceki çalışmalardan yola çıkarak polimer ekstraksiyonu 100g CER/g UAKM olarak kabul edilen optimum koşulda yapılmıştır (Durmaz ve Sanin, 2001). Tablo 2.13 iyon konsantrasyonu ile toplam HDP miktarı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Verilen değerler replika reaktörlerin ortalaması

alınarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre iyon konsantrasyonunda meydana gelen artma toplam HDP miktarında da bir artışa neden olmaktadır.

Tablo 2.13. Reaktörlerde bulunan potasyum konsantrasyonu ve toplam HDP miktarı

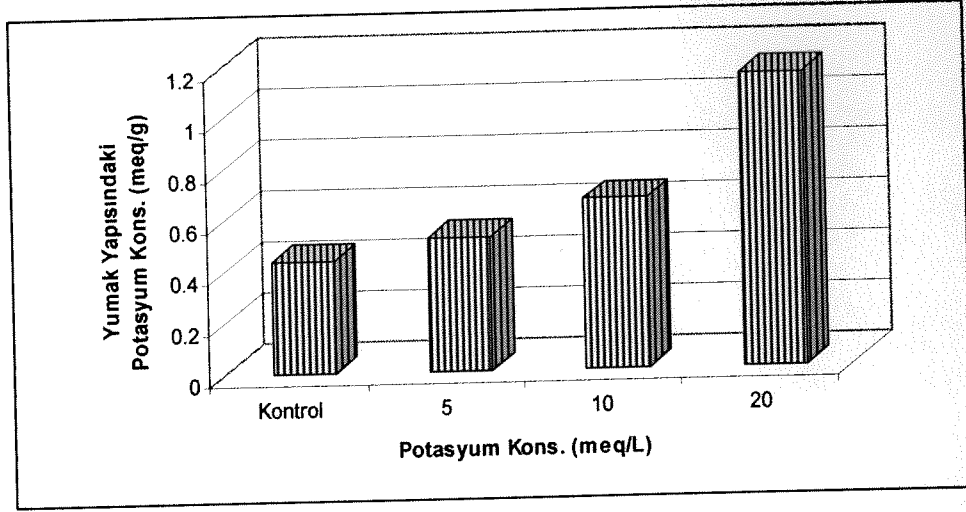
Potasyum Konsantrasyonu	Toplam HDP (mg /g UAKM)
Kontrol-0,5 meq/L	28,20
5 meq/L	32,32
10 meq/L	43
20 meq/L	44,35

Reaktörlerde potasyum dozundaki artış karbohidrat ve protein tipi polimer miktarında düzenli bir artışa neden olmuştur ancak reaktörlerdeki HDP'nin bileşenleri incelendiği zaman protein tipi polimerler karbohidrat tipi polimerlere kıyasla daha yüksek oranda bulunmuştur (Tablo 2.14). Bu durumun protein sentezi sırasında gerçekleşen peptidil transferaz reaksiyonunun potasyum bağımlı bir reaksiyon olmasından dolayı kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ortamda yeterince potasyum iyonunun bulunması protein sentezi mekanizmasını pozitif yönde etkilemekte ve mikroorganizmaların ekstra protein tipi polimer üretmesine neden olmaktadır. Ayrıca bazı mikroorganizmalar da potasyum eksikliğinin protein sentezini negatif yönde etkilediği belirlenmiştir (Alahari ve Apte, 2004).

Tablo 2.14. Sodyum reaktörlerinden elde edilen HDP’de karbohidrat ve protein konsantrasyonları

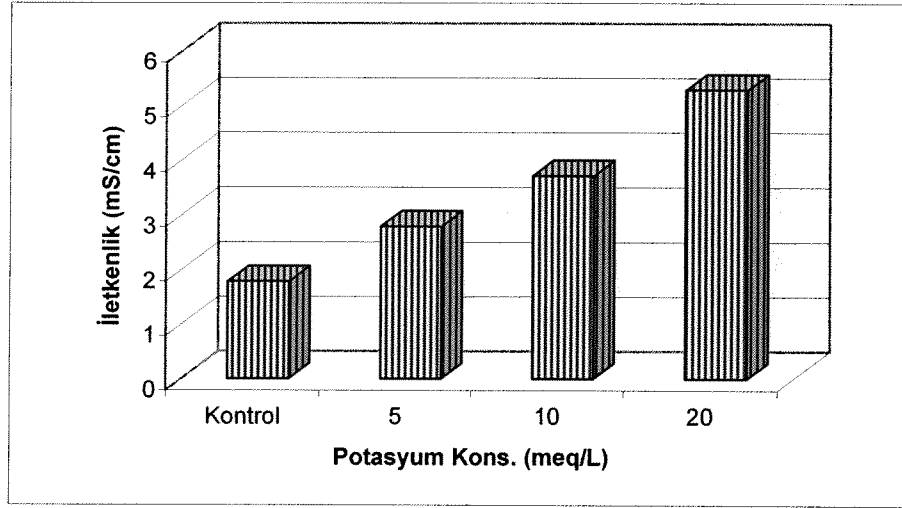
Katyon	Karbohidrat konsantrasyonu (mg/gUAKM)	Protein konsantrasyonu (mg/gUAKM)
Kontrol-0,5 meq/L	8,96	19,24
K ⁺ – 5 meq/L	13,62	18,7
K ⁺ – 10 meq/L	17,8	25,2
K ⁺ – 20 meq/L	18,6	25,75

Bulgulara göre potasyum iyonlarının dozunda meydana gelen artış aynı zamanda çamurun yumak yapısına giren katyon miktarını da artırmaktadır. Reaktörler kararlı hale ulaştıkları zaman çamur yumaklarından asitle çürütme ile ekstrakt edilen potasyum iyonlarının miktarları Şekil 2.9’da belirtilmiştir. Bu durum potasyum iyonunun hücre içi bir katyon olması ile açıklanabilir. Potasyum iyonu hücre için önemli iyonlardan biridir ve hücrenin toplam kuru ağırlığının % 1-2 sini oluşturmaktadır. Ayrıca potasyumun hücrede birkaç enzim için kofaktör olarak iş görmesinin yanı sıra osmotik basıncın ayarlanmasında etkin olarak görev alan bir iyondur. Ortamın osmotik basıncında meydana gelen artış potasyum iyonlarının hücre içine pompalanmasına neden olmaktadır ve dolayısıyla hücre içi bir iyon olan potasyum hücre içinde depolanarak yumak yapısında yer almaktadır.



Şekil 2.9. Çamurun yumak yapısında yer alan potasyum iyonlarının konsantrasyonları

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurlar bir diğer kimyasal özellik olan iletkenlik açısından analiz edilmiştir. Şekil 2.10'da gösterildiği gibi reaktörlerin içindeki potasyum konsantrasyonu arttıkça aktif çamur örneklerinin iletkenlik değerlerinde de bir artış gözlemlenmiştir. İletkenlik reaktörlerin içerisinde toplam çözülmüş tuz miktarının bir ölçütü olarak kabul edilir. Bu nedenle katyon ilavesi arttıkça ortamda çözülmüş tuz miktarı artmakta ve dolayısıyla iletkenlik değerlerinde artma gözlemlenmektedir. Beklendiği şekilde en yüksek artış 10 meq/L den 20 meq/L lik konsantrasyonu içeren reaktöre geçişte görülmüştür.



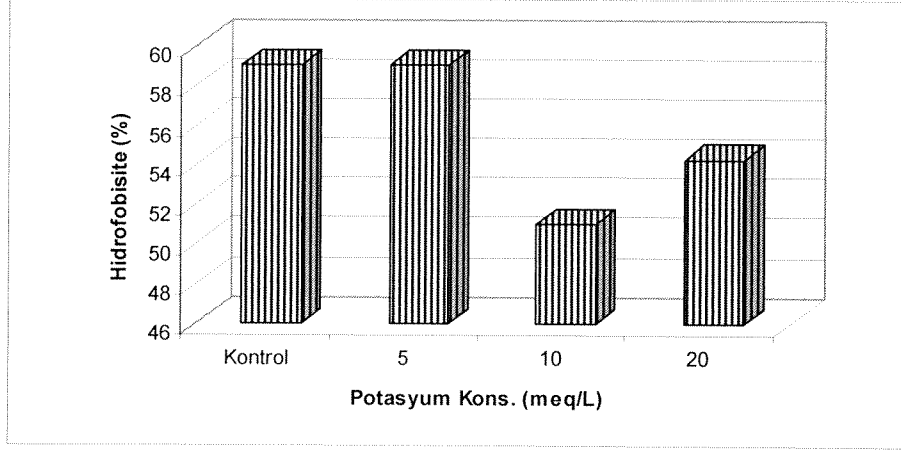
Şekil 2.10. Reaktörlerinden elde edilen aktif çamurların potasyum konsantrasyonuna bağlı iletkenlik değerleri

2.2.2. YÜZEY KİMYASAL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurların hidrofobisite ve zeta potansiyel olmak üzere iki yüzey kimyasal özelliği incelenmiştir. Aktif çamurun hidrofobik karakterlerini belirlemek amacıyla Mikroorganizmaların Hidrokarbon Faza Tutunma (MATH) testi kullanılmıştır. Bu test ile belirlenen sonuçlar Şekil 2.11’de gösterilmiştir.

Grafikten anlaşılacağı üzere kontrol reaktörü ile diğer reaktörler karşılaştırıldığında % hidrofobisite değerinde belirgin bir azalma gözlemlenmektedir. Kontrol reaktöründen 5 meq/L reaktöre geçildiğinde hidrofobisite değerinde fark edilir bir değişim görülmemiştir. Farklı konsantrasyonlara sahip reaktörler kendi aralarında karşılaştırıldığında 5 meq/L’den 10 meq/L’ye geçişte belirgin bir azalma göze çarparken, 10 meq/L’den 20 meq/L’ye geçişte küçük bir artışa rağmen kontrol reaktörü ile karşılaştırıldığında belirgin bir azalma olduğu

ortaya çıkmaktadır. Bu durum potasyum iyonu konsantrasyonunda meydana gelen artışın çamurun hidrofobik özelliğinde bir azalmaya neden olduğunu göstermektedir



Şekil 2.11. Potasyum konsantrasyonu ile hidrofobisite arasındaki ilişki

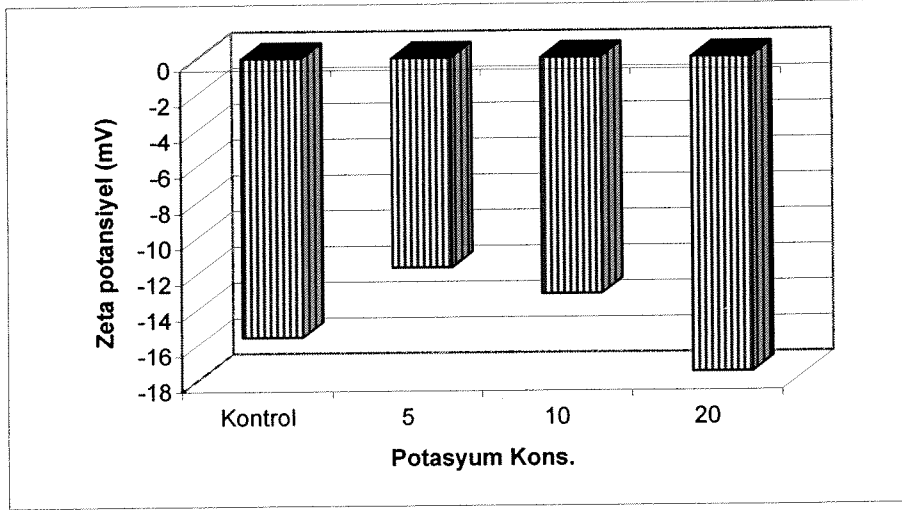
Aktif çamurların hidrofobik özellikleri hakkında bir değerlendirme yapmak için ayrıca protein/karbohidrat oranı da dikkate alınabilir çünkü çamurun hidrofobisitesi karbohidrat tipi polimerlerin hidrofilik özellikleri ile protein tipi polimerlerin hidrofobik özelliklerinin etkileşimleri ile belirlenmektedir. Reaktörlerden elde edilen aktif çamurların protein/karbohidrat oranları Tablo 2.15’de belirtilmiştir.

Tablo 2.15. Potasyum reaktörlerinden elde edilen çamurlarda bulunan protein/karbohidrat oranları

Potasyum Konsantrasyonu (meq/L)	Kontrol	5	10	20
Protein/Karbohidrat oranı	2,14	1,37	1,41	1,38

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere protein/karbohidrat oranında meydana gelen azalma aktif çamurun hidrofobisitesini azaltmaktadır. Diğer bir ifadeyle bu oranda meydana gelen azalma çamurun hidrofobik karakteri üzerinde negatif etkiye sahiptir. Kontrol reaktörü ile farklı katyon konsantrasyonuna sahip diğer reaktörler karşılaştırıldığında bu azalma açık bir şekilde görülmektedir. Ancak 5 meq/L'den sonra katyon konsantrasyonunda meydana gelen artış protein/karbohidrat oranına bir etkide bulunmamıştır. Genel olarak çamurun protein içeriğinde meydana gelen artış çamurun hidrofobik karakterine pozitif yönde etkide bulunurken, karbohidrat içeriğinde meydana gelen artış negatif yönde etkide bulunmaktadır. Bu ifade birçok çalışma tarafından da doğrulanmıştır (Jorand ve diğerleri, 1998; Liao ve diğerleri, 2001; Durmaz ve Sanin, 2003; Sesay ve Sanin, 2004). Bu çalışmada potasyum iyon konsantrasyonu arttıkça reaktörlerin içinde karbohidrat tipi polimerler protein tipi polimerlere oranla daha baskın hale gelmekte ve protein/karbohidrat oranı azalmaktadır. Protein/karbohidrat oranında meydana gelen bu azalma da çamurun hidrofobisitesini azaltmaktadır.

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurlar bir diğer yüzey kimyasal özellik olan zeta potansiyel açısından incelenmiştir. Zeta potansiyel çamurun yüzeyindeki elektriksel potansiyelin bir göstergesi olup tanecikler arasındaki itme gücünü belirleyerek yumaklaşmayı etkileyecek bir parametredir. Aktif çamur örnekleri ile ilgili elde edilen sonuçlar Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. Potasyum varlığında aktif çamur örneklerinden elde edilen zeta potansiyel değerleri

Kontrol reaktörü ile karşılaştırıldığında 5 ve 10 meq/L reaktörlerinin zeta potansiyel değerlerinde azalma meydana gelmesine rağmen, 3 farklı konsantrasyona sahip reaktörler kendi aralarında karşılaştırıldığında bir artma söz konusudur. Zeta potansiyel değerinde meydana gelen artma aktif çamurun yumak oluşturma yeteneğini negatif yönde etkilemektedir. Başka bir ifadeyle düşük zeta potansiyel değerine sahip olan çamur örnekleri taşıdıkları benzer yükler ve buna bağlı itme kuvveti düşük olduğu için iyi yumaklaşma özelliği gösterirken, yüksek zeta potansiyel değerine sahip aktif çamur örneklerinin yumaklaşma kabiliyeti zayıflamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre ortamdaki potasyum konsantrasyonunda meydana gelen artışa bağlı olarak zeta potansiyel değeri artmaktadır ve bu bulgunun da çamurun yumak kalitesini bozduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda çamur örneklerinin protein/karbohidrat oranları da bu sonuçları doğrular niteliktedir (Tablo 2.15). Protein/karbohidrat oranında meydana gelen azalma karbohidrat miktarında görece meydana gelen artışı göstermektedir ve bu da daha çok negatif yüzey yükünün ortamda bulunması

anlamına gelmektedir. Dolayısıyla ekstra negatif yük zeta potansiyel değerinde artışa yol açmaktadır.

2.2.3. FİZİKSEL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Potasyum iyon konsantrasyonu ile aktif çamur örneklerinin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla viskozite, çökelme, filtrelenebilme ve bulanıklık ile ilgili analizler yapılmış ve ortalama yumak boyutu ölçülmüştür. Tablo 2.16 yapılan fiziksel analizlerle ilgili sonuçları göstermektedir.

Yumak büyüklüğü ile ilgili değerler dikkate alındığında kontrol reaktöründen 5 meq/L'lik reaktöre geçişte yumak büyüklük değerinde bir artma gözlemlenirken 5 meq/L lik reaktörden 10 ve 20 meq/L lik konsantrasyonlara sahip reaktörlere geçişte bir azalma söz konusudur. Farklı potasyum konsantrasyonlarına sahip bu 3 reaktör kendi aralarında karşılaştırıldığında belirgin bir küçülme göze çarpmaktadır. Sonuçlardan öyle anlaşılmaktadır ki 0,5 meq/L potasyum konsantrasyonu çok düşüktür ve yumaklaşmaya yardım edebilecek bir konsantrasyon değildir. Potasyum iyonu 5 meq/L'ye artırıldığında yüzey yükleri az da olsa nötralize edilmekte (bakınız yüzey yükü analizleri) yumaklaşma bir miktar iyileşmektedir. Yumak boyutundaki artış bunun bir göstergesidir. Ancak daha da artan potasyum iyon konsantrasyonları yumakların gittikçe küçülmesine sebep olmuştur. Bu bulguyu artan potasyum iyonlarının yumak içindeki kalsiyum/magnezyum gibi çift değerlikli katyonları iyon değiştirme ile dışarı çıkarması ve yumak yapısını parçalaması ile açıklayabiliriz. Benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da bulunmuştur (Bruus ve diğerleri, 1992).

Tablo 2.16. Potasyum reaktörlerinden elde edilen aktif çamurun fiziksel özellikleri

K⁺ Konsantrasyonu(meq/L)	Kontrol	5	10	20
Fiziksel Özellik				
Çamur Hacim İndeksi (SVI) (mL/g)	85,97	112,6	100,2	93,6
Çökme Hızı (ZSV) (3500 mg/L MLSS) (cm/sec)	0,041	0,040	0,047	0,034
Viskozite (5000 mg/L MLSS) (cP)	4,7	4,03	3,05	3,69
Bulanıklık (NTU)	23,2	20,5	31,5	34,5
Filtrelenebilme (SRF) (m/kg)	1,46*10 ¹⁴	2,78*10 ¹⁴	4,08*10 ¹⁴	3,50*10 ¹⁴
Kapiler Emme Süresi (CST) (sec)	6,8	7,2	7,3	6,3
Yumak büyüklüğü (µm)	125,32	179,41	131,92	101,91
Yumak mukavemeti	0,46	5,2	4,4	3,2

Potasyum konsantrasyonu arttıkça SVI değerlerinde bir azalma gözlemlenmektedir. Potasyum iyonunun artan konsantrasyonlarda ilavesi aktif çamurun çökme özelliğini az bir miktarda iyileştirmektedir. Yapılan önceki çalışmalarda potasyum iyonu ilavesinin çamurun çökme özelliğini pozitif yönde etkilediği belirtilmiştir (Murthy ve Novak, 1998). Ayrıca literatürde SVI değerleri 120 mL/g'dan düşük olan aktif çamur örneklerinin iyi çökebildiği belirtilmiştir (Jenkins ve diğerleri, 1993). Dolayısıyla bu çalışmada SVI değerleri bu durumu doğrular niteliktedir. Ancak önceki kısımlarda kalsiyum/magnezyum gibi çift değerlikli katyonlar için ölçülen SVI değerleri 66-86 mL/g arasında yer almıştır ve bu değerler çamurun iyi şekilde çökebildiğini göstermektedir fakat potasyum için belirlenen SVI değerleri bu aralık arasında yer almamaktadır. Bu nedenle potasyum konsantrasyonundaki artış pozitif bir etkiye neden olmakla beraber çift değerlikli katyonlar kadar iyi bir çökme sağlayamamaktadır. Aktif çamur örneklerinin çökme hızı (ZSV) değerleri dikkate alındığında artan potasyum

konsantrasyonunun genel olarak çökelme hızında 20 meq/L'ye geçişte bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Bu durumun potasyum iyonunun tek değerlikli bir katyon olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Potasyum artan konsantrasyona bağlı olarak yumak yapısında yer alan iki ve üç değerlikli katyonlar ile yer değiştirmekte ve bu da yumak yapısının kötüleşmesine yol açıp, çamurun çökelme yeteneğini negatif olarak etkilemekte ve çökelmeyi zorlaştırmaktadır. Bu durum yumak büyüklüğünde görülen azalma ile de doğrulanmaktadır. Yumak boyutunda meydana gelen küçülme küçük yumak yapılarının oluşması anlamına gelmektedir ve bu da aktif çamur örneklerinin çökelme kabiliyetini azaltmaktadır.

Viskozite analizleri kesme hızı 1.83-73.38 dak^{-1} arasında değişen 6 farklı değer için yapılmıştır. Kontrol reaktörü ile diğer farklı konsantrasyonlara sahip reaktörler karşılaştırıldığında viskozitede bir düşüş gözlemlenmiştir. Ancak 10 meq/L konsantrasyona sahip reaktörden 20 meq/L'lik reaktöre geçişte az bir artış göze çarpmaktadır. Bu sonuçların tümünü elde edilen çamurların benzer akışkanlığa sahip oldukları şeklinde değerlendirmek mümkündür.

Tablo 2.16'dan görüldüğü gibi besi çözeltilisine potasyum ilavesinde meydana gelen artışa paralel olarak çamurun bulanıklık değerinde de bir artış gözlemlenmiştir. Bulanıklık parametresinde görülen bu artma potasyum ilavesinin çamurun yumak oluşturma kapasitesini ve yapısını bozduğu için meydana geldiği düşünülmektedir. Bu da yumak boyutu ve gittikçe artan HDP miktarına bağlı bir gelişme olabilir.

Aktif çamur örneklerinin filtrelenebilme özelliğini belirlemek amacıyla SRF ve CST analizleri yapılmıştır. SRF sonuçları dikkate alındığında potasyum iyonunun ortama ilavesi aktif

çamurun susuzlaştırma özelliğini negatif olarak etkilemektedir. Kontrol reaktörü ile diğer 3 farklı konsantrasyonda potasyum içeren reaktörler karşılaştırıldığında SRF değerinde bir artış olduğu belirlenmiştir. Ancak reaktörler kendi aralarında mukayese edildiğinde 5 meq/L'den 10 meq/L'ye geçişte gözlemlenen artış 10 meq/L'den 20 meq/L'ye geçişte gözlemlenmemiştir fakat kontrol reaktörü ile kıyaslandığında 20 meq/L lik konsantrasyona sahip reaktörde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Aynı durum CST sonuçlarında da gözlemlenmiştir. Kontrol reaktörü ile diğer 3 reaktör karşılaştırıldığında CST değerinde bir artış belirlenmiştir. SRF ve CST değerlerinde meydana gelen artma aktif çamurun susuzlaştırılabilme özelliğini kötüleştirdiğini göstermektedir. Bu durumda ortama potasyum iyonunun ilavesi aktif çamurun yapısını bozmakta ve susuzlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Gerek SRF gerek CST sonuçları HDP miktarı ve hidrofobisite sonuçları ile beraber incelenirse, polimerin protein/karbohidrat miktarı yükseldikçe ve buna paralel hidrofobisitesi arttıkça çamurun da daha kolay susuzlaştırılabildiği görülmektedir. Ölçülen bu dört parametre de son derece uyumlu ve paralel bir sonuç göstermektedir. Susuzlaştırma ile protein/karbohidrat oranı arasındaki benzer ilişki daha önceki çalışmalarımızda gösterilmişti (Durmaz ve Sanin, 2003; Sesay ve Sanin, 2004).

Yumak mukavemeti ile ilgili olarak değerlendirme yapmak için önceden belirtildiği gibi reaktörlerden elde edilen çamur örnekleri 1000 rpm'de 0.5, 2, 4 ve 8 dak. Velp Scientifica Stirrer Type PW ile karıştırıldıktan sonra CST değerleri Type 304 M Capillary Suction Timer ile ölçülmüş, sonra her bir konsantrasyon için karıştırma süresine bağlı CST değerlerinde görülen değişiklikleri içeren bir grafik çizilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen her bir konsantrasyona ait eğim değerleri Tablo 2.16'da verilmiştir. Kontrol reaktörünün eğim değeri ile farklı potasyum konsantrasyonlarına sahip reaktörlerin eğim değerleri karşılaştırıldığında meydana gelen bu artış potasyumun artan konsantrasyonuna bağlı olarak yumakların daha

kırılgan bir hal almasıyla birlikte CST değerlerinde karıştırma ile görülen artmadan kaynaklanmaktadır. Bu durumda yumak mukavemeti ile elde edilen eğim değerleri arasında ters bir ilişki vardır. Buna göre reaktörlerden elde edilen aktif çamur örneklerinin yumak mukavemeti artan potasyum konsantrasyonu ile giderek azalmakta ve aktif çamurun yumak yapısı daha kolay parçalanır hale gelmektedir. Düşük potasyum konsantrasyonlarında elde edilen çamur örnekleri farklı sürelerde belli bir karıştırma hızı ile karıştırıldığında aktif çamurun yumak mukavemeti daha yüksek iken, yüksek potasyum konsantrasyonlarında aktif çamurun yumak mukavemeti giderek zayıflamaktadır. Bu durumda potasyum iyonunun artan konsantrasyonlarda ilavesi aktif çamurun yapısını kötüleştirmektedir.

2.3. SODYUM REAKTÖRLERİNİN İŞLETİLMESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Çalışmanın uzatılan beşinci altı aylık döneminden önceki kısmında potasyum iyonlarının etkisi çalışılmıştır. Araştırma projesinin uzatılan 6 aylık döneminde sodyum iyonlarının besi ortamında farklı konsantrasyonlarda bulunmasının çamur özelliklerine olan etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın bu kısmında Tablo 2.17'de belirtildiği gibi 3 farklı sodyum dozu (5, 10, 20 meq/L) ve bir de kontrol dozu çalışılmıştır. Reaktörler daha önce belirtilen şekilde kurulmuş ve işletilmiştir. Tablo 2.18 kontrol reaktörlerine verilen sentetik besi ortamının bileşenlerini göstermektedir.

Tablo 2.17. Reaktörlerdeki sodyum konsantrasyonları

Reaktörlerdeki konsantrasyonlar	Sodyum Reaktörleri
$\text{Na}^+ = 0,5 \text{ meq/L}$	C1, C2
$\text{Na}^+ = 5 \text{ meq/L}$	R1, R2
$\text{Na}^+ = 10 \text{ meq/L}$	R3, R4
$\text{Na}^+ = 20 \text{ meq/L}$	R5, R6

Tablo 2.18. Sodyum kontrol reaktörlerine verilen sentetik atık suyun kompozisyonu

Bileşenler	Konsantrasyon (mg/L)
Glukoz	163,54
NH_4Cl	225
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	112,5
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3,75
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3,75
$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3,75
NaHCO_3	180
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15
Pepton	943
KCl	37,25

Reaktörlerde gerekli KOI/N/P oranı fosforca zengin pepton kullanarak daha önce de belirtildiği gibi 100/5/1 olarak ayarlanmıştır. Kararlı haldeki aktif çamurun fiziksel, kimyasal ve yüzey kimyasal özelliklerini ölçmek amacı ile 3 seri analiz (kimyasal, yüzey kimyasal ve fiziksel analizler olarak) gerçekleştirilmiştir. Bunların sonuçları sıra ile aşağıda tartışılmaktadır.

2.3.1. KİMYASAL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Elde edilen sonuçlara göre; farklı konsantrasyonlarda sodyum iyonları içeren reaktörler kararlı hale ulaştıklarında HDP' lerin kalite ve miktar olarak farklı olduğu belirlenmiştir. Tablo 2.19 iyon konsantrasyonu ile toplam HDP miktarı arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Bu sonuçlara göre iyon konsantrasyonunda meydana gelen artma toplam HDP miktarında da çok az bir artışa neden olmaktadır (20 meq/L hariç).

Tablo 2.19. Reaktörlerde bulunan sodyum konsantrasyonu ve toplam HDP miktarı

Sodyum Konsantrasyonu	Toplam HDP (mg /g UAKM)
Kontrol-0,5 meq/L	28,20
5 meq/L	37,37
10 meq/L	42,47
20 meq/L	37,04

Reaktörlerde sodyum dozundaki artış 10 meq/L konsantrasyonuna sahip reaktöre kadar protein tipi polimer miktarında düzenli bir artışa yol açmıştır ancak 10 meq/L lik reaktörden 20 meq/L lik reaktöre geçişte ise protein miktarında çok az bir düşüş gözlemlenmiştir (Tablo 2.20). Reaktörlerde üretilen protein ve karbohidrat tipi polimer konsantrasyonları dikkate alındığında sodyum iyonu konsantrasyonundaki artış karbohidrat tipi polimer konsantrasyonunun 3-5 katı protein tipi polimer sentezlenmesine yol açmıştır. Bu durum sodyum iyonlarının protein sentezini pozitif yönde etkilediğini ve yumak yapısında protein tipi polimerlerin daha fazla yer aldığını ortaya koymaktadır. Literatür sodyum iyonlarının bazı

bakterilerde ATP sentezi (Dimroth, 1997); aminoasit, vitamin gibi içine alınması (Wilson ve Ding, 2001); pH homeostazi (Krulwic hareket organı kamçı için itici gücün sağlanması (Yorimitsu ve Ho olaylarda etkin rol aldığını ortaya koymuştur. Ortamda yeterince so hücre içine özellikle aminoasitlerin sodyum iyonlarının yardımı ile sağlamakta ve dolayısıyla yumak yapısında protein tipi polimer almasına neden olmaktadır.

Tablo 2.20. Sodyum reaktörlerden elde edilen HDP’de karb konsantrasyonları

Katyon	Karbohidrat konsantrasyonu (mg/gUAKM)	P
Kontrol- 0,5 meq/L	8,96	
Na ⁺ – 5 meq/L	10,91	
Na ⁺ – 10 meq/L	10,37	
Na ⁺ – 20 meq/L	6,17	

Bulgulara göre sodyum iyonlarının dozunda meydana gelen artış yumak yapısına giren katyon miktarını da artırmaktadır. Reaktörl zaman çamur yumaklarından asitle çürütme ile ekstrakt edilen sody

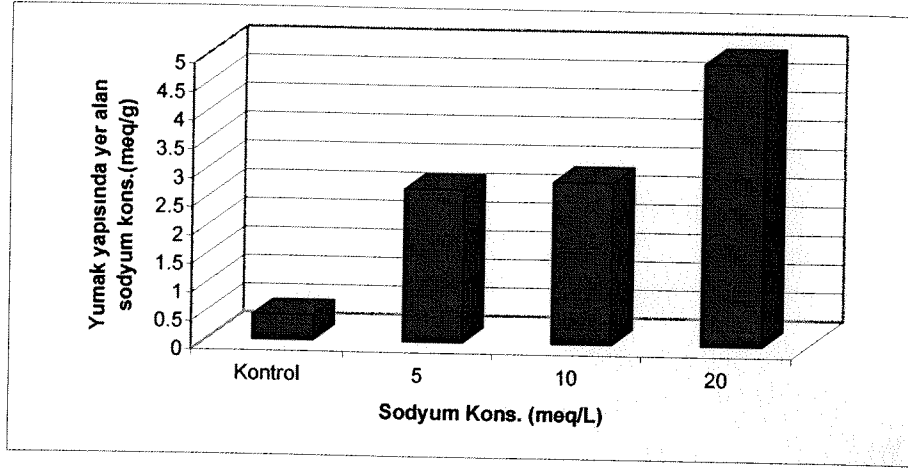
bakterilerde ATP sentezi (Dimroth, 1997); aminoasit, vitamin gibi besin maddelerinin hücre içine alınması (Wilson ve Ding, 2001); pH homeostazi (Krulwich ve diğerleri, 2001) ve hareket organı kamçı için itici gücün sağlanması (Yorimitsu ve Homma, 2001) gibi hücrel olaylarda etkin rol aldığını ortaya koymuştur. Ortamda yeterince sodyum iyonunun bulunması hücre içine özellikle aminoasitlerin sodyum iyonlarının yardımı ile simport olarak alınmasını sağlamakta ve dolayısıyla yumak yapısında protein tipi polimerlerin fazla miktarda yer almasına neden olmaktadır.

Tablo 2.20. Sodyum reaktörlerden elde edilen HDP’de karbohidrat ve protein konsantrasyonları

Katyon	Karbohidrat konsantrasyonu (mg/gUAKM)	Protein konsantrasyonu (mg/gUAKM)
Kontrol- 0,5 meq/L	8,96	19,24
Na ⁺ – 5 meq/L	10,91	26,46
Na ⁺ – 10 meq/L	10,37	32,1
Na ⁺ – 20 meq/L	6,17	30,87

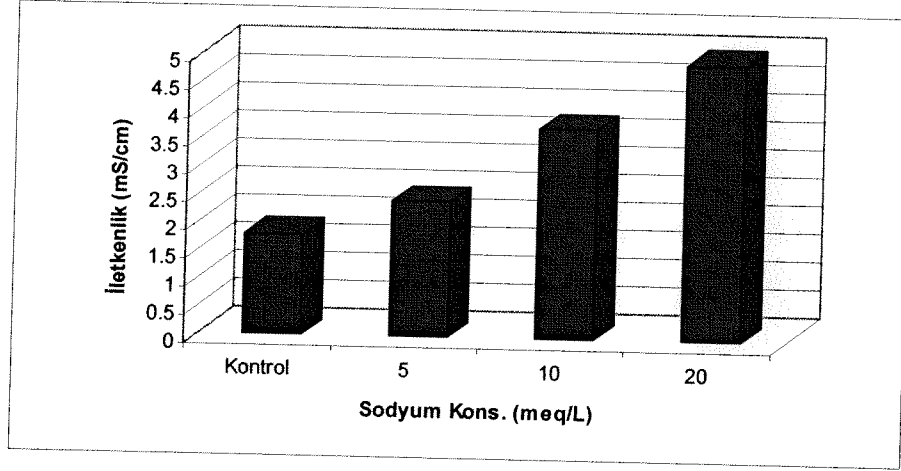
Bulgulara göre sodyum iyonlarının dozunda meydana gelen artış aynı zamanda çamurun yumak yapısına giren katyon miktarını da artırmaktadır. Reaktörler kararlı hale ulaştıkları zaman çamur yumaklarından asitle çürütme ile ekstrakt edilen sodyum iyonlarının miktarları Şekil 2.13’de belirtilmiştir. Yumak yapısına giren sodyum miktarındaki en yüksek artış 10 meq/L dan 20 meq/L konsantrasyona sahip reaktöre geçişte gözlenmiştir. Bunun nedeni artan sodyum konsantrasyonuna paralel olarak yumak yapısında yer alan iki değerlikli katyonların tamamına yakınının sodyum katyonlarıyla yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, önceden de belirtildiği gibi sodyum iyonları basit şeker, aminoasit, vitamin gibi besin

maddelerinin hücre içine taşınmasında ve hücre içinde pH dengesinin sağlanmasında etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle ortama verilen besin maddeleri hücre içine alınırken sodyum iyonları da hücre içine taşınmakta ve bu durum özellikle hücre içinde sodyum iyon konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla besi ortamında artan sodyum konsantrasyonuna bağlı olarak sodyum iyonları simport taşıma yoluyla hücre içine girmekte ve yumak yapısında yerini almaktadır.



Şekil 2.13. Çamurun yumak yapısında yer alan sodyum iyonlarının konsantrasyonları

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurlar bir diğer kimyasal özellik olan iletkenlik açısından analiz edilmiştir. Şekil 2.14'de gösterildiği gibi reaktörlerin içindeki sodyum konsantrasyonu arttıkça aktif çamur örneklerinin iletkenlik değerlerinde de bir artış gözlemlenmiştir. İletkenlik reaktörlerin içerisinde toplam çözülmüş tuz miktarının bir ölçütü olarak kabul edilir. Bu nedenle katyon ilavesi arttıkça ortamda çözülmüş tuz miktarı da artmakta ve dolayısıyla iletkenlik değerlerinde artış gözlemlenmektedir.



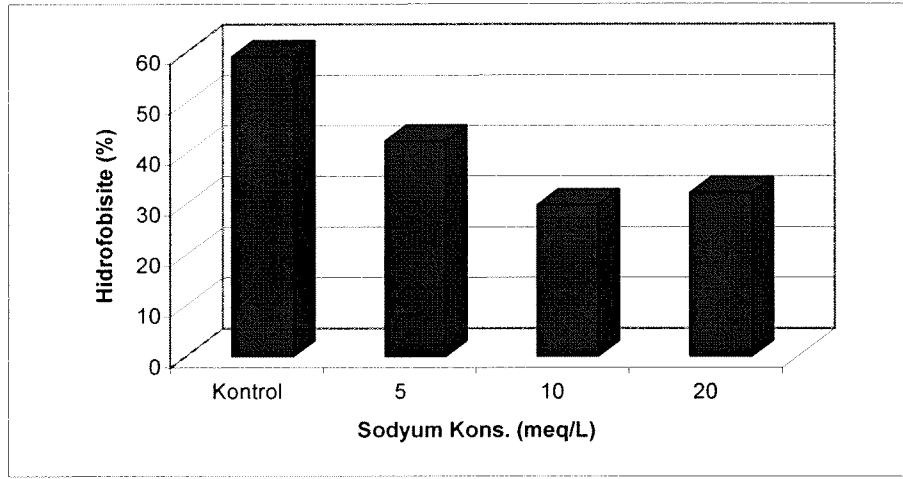
Şekil 2.14. Reaktörlerinden elde edilen aktif çamurların sodyum konsantrasyonuna bağlı iletkenlik değerleri

2.3.2. YÜZEY KİMYASAL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurların hidrofobisite ve zeta potansiyel olmak üzere iki yüzey kimyasal özelliği incelenmiştir. Aktif çamurun hidrofobik karakterlerini belirlemek amacıyla Mikroorganizmaların Hidrokarbon Faza Tutunma (MATH) testi kullanılmıştır. Bu test ile belirlenen sonuçlar Şekil 2.15’de gösterilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere kontrol reaktörü ile diğer reaktörler karşılaştırıldığında % hidrofobisite değerinde belirgin bir azalma gözlemlenmektedir. Farklı konsantrasyonlara sahip reaktörler kendi aralarında karşılaştırıldığında 5 meq/L’den 10 meq/L’ye geçişte belirgin bir azalma göze çarparken, 10 meq/L’den 20 meq/L’ye geçişte küçük bir artışa rağmen kontrol reaktörü ile karşılaştırıldığında belirgin bir azalma olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum sodyum iyonu konsantrasyonunda meydana gelen artışın çamurun hidrofobik özelliğinde bir azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Literatürde protein tipi polimerlerin hidrofobisiteye pozitif etkisi olduğu bildirilmiştir (Urbain ve diğerleri, 1993; Liao ve diğerleri, 2001) ancak çalışmanın

sodyum iyonları ile ilgili bu kısımda artan protein tipi polimer konsantrasyonu hidrofobisite değerinde görece bir azalmaya yol açmıştır.

Aktif çamurların hidrofobik özellikleri hakkında daha iyi bir değerlendirme yapmak için ayrıca karbohidrat/protein oranı da dikkate alınmalıdır çünkü çamurun hidrofobisitesi karbohidrat tipi polimerlerin hidrofilik özellikleri ile protein tipi polimerlerin hidrofobik özelliklerinin etkileşimleri ile belirlenmektedir. Bu nedenle reaktörlerden elde edilen aktif çamurların protein/karbohidrat oranları hesaplanmış ve Tablo 2.21’de belirtilmiştir.



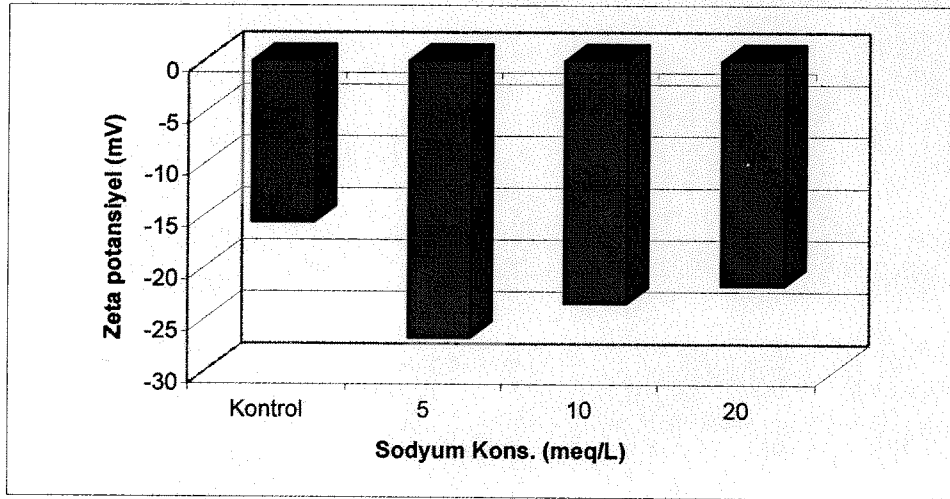
Şekil 2.15. Sodyum konsantrasyonu ile hidrofobisite arasındaki ilişki

Tablo 2.21. Sodyum reaktörlerinden elde edilen çamurlarda bulunan protein/karbohidrat oranları

Sodyum Konsantrasyonu (meq/L)	Kontrol	5	10	20
Protein/Karbohidrat oranı	2,1	2,4	3,1	5,0

Tablo 2.21'den de anlaşılacağı üzere protein/karbohidrat oranında meydana gelen artma aktif çamurun hidrofobisitesini azaltmaktadır. Kontrol reaktörü ile farklı kation konsantrasyonuna sahip diğer reaktörlerin hidrofobisite değerleri karşılaştırıldığında hidrofobisitedeki azalma açık bir şekilde görülmektedir. Kontrol reaktöründen 5 meq/L'ye geçişte oranda çok büyük bir değişim görülmezken, 10 meq/L ve 20 meq/L reaktörlere geçişte oranda belirgin bir artma göze çarpmaktadır. Bu çalışmada sodyum kation konsantrasyonu arttıkça reaktörlerin içinde protein tipi polimerler daha baskın hale gelmekte ve protein/karbohidrat oranını artırmaktadır. Oranda meydana gelen bu artmada genel olarak çamurun hidrofobisitesini azaltmaktadır. Bu durum diğer kation çalışmalarında elde edilen sonuçlarla ters düşmektedir.

Reaktörlerden elde edilen aktif çamurlar bir diğer yüzey kimyasal özellik olan zeta potansiyel açısından incelenmiştir. Aktif çamur örnekleri ile ilgili elde edilen sonuçlar Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Sodyum varlığında aktif çamur örneklerinden elde edilen zeta potansiyel değerleri

Kontrol reaktörü ile 3 farklı sodyum konsantrasyonuna sahip reaktörler karşılaştırıldığında zeta potansiyel değerlerinde artma söz konusudur. Ancak kontrolden sonra sodyum konsantrasyonunda meydana gelen artış zeta potansiyel değerinde bir azalmaya yol açmıştır. Sodyum iyonları yüzeydeki negatif yükleri bir ölçüde nötralize etmekte ve zeta potansiyel değerinde bir düşüşe neden olmaktadır. Ayrıca yumak yapısına negatif yüzey yükü sağlayan karbohidrat tipi polimerlerin miktarında meydana gelen azalmada (Tablo 2.20) zeta potansiyel değerinde görülen bu azalmaya katkıda bulunmuştur. Protein/karbohidrat oranında meydana gelen artma karbohidrat miktarında meydana gelen azalmayı göstermektedir (Tablo 2.21) ve bu da daha az negatif yüzey yükünün ortamda bulunması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla negatif yükte meydana gelen azalma zeta potansiyel değerinde de azalmaya yol açmaktadır. Zeta potansiyel değerinde meydana gelen azalma aktif çamurun yumak oluşturma yeteneğini pozitif yönde etkilemektedir. Ancak elde edilen bu değerler yüksek zeta potansiyel değerleridir ve çamurun yumak oluşturmalarını zorlaştırmaktadır çünkü zeta potansiyel değerleri negatif değer olarak büyüdükçe çamurun çökelme yeteneği de giderek azalmakta ve aktif çamur örneklerinin yumaklaşma kabiliyeti zayıflatılmaktadır. Sonuç olarak ortamdaki sodyum konsantrasyonunda meydana gelen artışa bağlı olarak zeta potansiyel değeri azalmakta ve bu aktif çamur örneklerinin yumak oluşturma kabiliyetini artırmaktadır ancak elde edilen değerlerin yüksek olması beklenen yumaklaşma yeteneğini negatif yönde etkilemektedir.

2.3.3. FİZİKSEL ANALİZLERİN SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sodyum iyon konsantrasyonu ile aktif çamur örneklerinin fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla viskozite, çökeltme, filtrelenebilme ve bulanıklık ile ilgili analizler yapılmış ve ortalama yumak boyutu ölçülmüştür. Tablo 2.22 yapılan fiziksel analizlerle ilgili sonuçları göstermektedir.

Yumak büyüklüğü ile ilgili değerler dikkate alındığında reaktörlere artan konsantrasyonlarda sodyum ilavesi yumak boyutunda bir artışa yol açmıştır (Tablo 2.22). Belirli bir boyuta kadar yumak büyüklüğünde meydana gelen artış çökeltme üzerinde pozitif etkiye sahiptir. Yumakların boyutundaki artma yumaklaşmayı kolaylaştırmakta dolayısıyla aktif çamur örneklerinin çökeltme yeteneğini hızlandırmaktadır. Reaktörlerin SVI değerleri dikkate alındığında 10 ve 20 meq/L konsantrasyonlara sahip reaktörlerde yumak boyutunda artışa rağmen çamurun çökeltme yeteneği kötüleşmektedir.. Sonuçlardan öyle anlaşılmaktadır ki sodyum iyonlarının artan konsantrasyonu 5 meq/L'ye kadar yumak boyutunu pozitif yönde etkilemekte bu konsantrasyondan sonra sodyum miktarındaki artış yumak içindeki kalsiyum/magnezyum gibi çift değerlikli katyonların yumak dışına çıkmasına yol açmakta ve yumak boyutunda büyüme meydana gelse bile iki değerlikli katyonlardan yoksun olarak oluşan yumakların kırılabilir ve zayıf oldukları düşünülmektedir. Dolayısıyla artan konsantrasyonlarda sodyum ilavesi yumak boyutunun artmasına neden olmasına rağmen yumakların yapısını bozmaktadır.

Tablo 2.22. Sodyum reaktörlerinden elde edilen aktif çamurun fiziksel özellikleri

Na⁺ Konsantrasyonu(meq/L)	Kontrol	5	10	20
Fiziksel Özellik				
Çamur Hacim İndeksi (SVI) (mL/g)	85,97	105,5	150,1	132,6
Çökme Hızı (ZSV) (3500 mg/L MLSS) (cm/s)	0,041	0,026	0,009	0,014
Viskozite (5000 mg/L MLSS) (cP)	4,7	5,96	7,35	6,36
Bulanıklık (NTU)	23,2	28,7	15,05	19,69
Filtrelenebilme (SRF) (m/kg)	$1,46 \cdot 10^{14}$	$1,15 \cdot 10^{15}$	$2,15 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{15}$
Kapiler Emme Süresi (CST) (s)	6,8	18,95	24,2	22,5
Yumak büyüklüğü (μ m)	125,32	119,8	129,1	169,4
Yumak mukavemeti	4,6	5,2	4,4	3,2

Reaktörlerden elde edilen aktif çamur örneklerinin çökme özellikleri çamur hacim indeksi (SVI) ve çökme hızı (ZSV) ile ilgili analizler yapılarak belirlenmiştir (Tablo 2.22). Sodyum konsantrasyonu arttıkça SVI değerlerinde 10 meq/L konsantrasyona sahip reaktöre kadar artış gözlemlenmiştir. 10 meq/L'den 20 meq/L'lik reaktöre geçişte ise bir azalma gözlemlenmiştir ancak farklı konsantrasyona sahip sodyum reaktörleri ile kontrol reaktörü karşılaştırıldığında belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Dolayısıyla sodyum iyonunun artan konsantrasyonlarda ilavesi aktif çamurun çökme özelliğini negatif yönde etkilemektedir. Sodyum iyonunun aktif çamur üzerine etkilerini araştıran önceki çalışmalarda bu durumu doğrular niteliktedir (Higgins ve Novak, 1997a; Sobek ve Higgins, 2002). Ayrıca literatürde SVI değerleri 120 mL/g'dan düşük olan aktif çamur örneklerinin iyi çökebildiği ve bu değerlerin üzerindeki çamur örneklerinin ise çökme yeteneğinin giderek kötüleştiği belirtilmiştir (Jenkins ve diğerleri, 1993). Bu çalışmadaki SVI değerleri incelendiğinde 5 meq/L'den

itibaren reaktörlere sodyum ilavesinin çamurların yumak yapısında deformasyonlara yol açtığı ve çökme yeteneğini kötüleştirdiği ortaya çıkmaktadır. Aktif çamur örneklerinin çökme hızı değerleri dikkate alındığında artan sodyum konsantrasyonunun genel olarak çökme hızında bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Sodyum iyonu konsantrasyonundaki artış yumak yapısının stabilizasyonunda rol oynayan iki ve üç değerlikli katyonların yumak yapısından iyon değiştirme mekanizması ile uzaklaşmasına neden olmakta ve bu da çamurun yumak yapısını bozarak çamurun çökmesini zorlaştırmaktadır.

Viskozite analizleri kesme hızı $1.83-73.38 \text{ dak}^{-1}$ arasında değişen 6 farklı değer için yapılmıştır. Kontrol reaktörü ile diğer farklı konsantrasyonlara sahip sodyum reaktörleri karşılaştırıldığında sodyum reaktörlerinin viskozite değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Ancak 10 meq/L konsantrasyona sahip reaktörden 20 meq/L'lik reaktöre geçiş de az bir düşüş göze çarpmaktadır. Sonuçlar dikkate alındığında viskozite değerlerinde meydana gelen artış çamur örneklerinin pompalanmasını zorlaştırmaktadır.

Tablo 2.22'de görüldüğü gibi besi çözeltilisine sodyum ilavesinde meydana gelen artış çamurun bulanıklık değerinde bir düşüşe yol açmıştır. Kontrol reaktöründen 5 meq/L reaktöre geçişte bulanıklık değerinde bir artış gözlemlenirken, 10 ve 20 meq/L sodyum konsantrasyonlarına sahip reaktörlere ait bulanıklık değerlerinde bir azalma göze çarpmaktadır. Bu durum 10 ve 20 meq/L'lik reaktörlerin yüksek SVI değerlerinden kaynaklanmaktadır. Çamur örnekleri bulanıklık analizi için 1 saatlik çökmeye bırakıldığında yüksek SVI değerlerine sahip reaktörlerde supernatant kısımda berrak bir bölge oluşmuştur. Bu durum bulanıklık parametresinde görülen bu azalmanın çamurun tam çökmemesi olarak bilinen çamur şişmesi benzeri bir olaydan kaynaklandığını ortaya çıkarmaktadır. Sodyum ilavesi çamurun yumak oluşturma kapasitesini ve yapısını bozmaktadır. Böylece çamurun

etkin bir şekilde çökmesini engellemekte ve belli bir düzeydeki çamur şişmesi ile de berrak bir üst sıvının oluşmasına yol açmaktadır.

Aktif çamur örneklerinin filtrelenebilme özelliğini belirlemek amacıyla SRF ve CST analizleri yapılmıştır. SRF sonuçları dikkate alındığında sodyum iyonunun ortama ilavesi aktif çamurun susuzlaştırma özelliğini negatif olarak etkilemektedir. Kontrol reaktörü ile diğer 3 farklı konsantrasyonda sodyum içeren reaktörler karşılaştırıldığında SRF değerinde bir artış olduğu belirlenmiştir. Ancak reaktörler kendi aralarında mukayese edildiğinde 5 meq/L'den 10 meq/L'ye geçişte gözlemlenen artış 10 meq/L'den 20 meq/L'ye geçişte gözlemlenmemiştir fakat kontrol reaktörü ile kıyaslandığında 20 meq/L lik konsantrasyona sahip reaktörde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Aynı durum CST sonuçlarında da gözlemlenmiştir. Kontrol reaktörü ile diğer 3 reaktör karşılaştırıldığında CST değerinde bir artış belirlenmiştir. SRF ve CST değerlerinde meydana gelen artma aktif çamurun susuzlaştırılabilme özelliğini kötüleştirmektedir. Bu durumda ortama sodyum katyonu ilavesi aktif çamurun yapısını bozmakta ve susuzlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum literatürde yapılan önceki çalışmaları da doğrular niteliktedir (Higgins ve Novak, 1997b; Sobek ve Higgins, 2002).

Yumak mukavemeti ile ilgili olarak değerlendirme yapmak için önceden belirtildiği gibi reaktörlerden elde edilen çamur örnekleri 1000 rpm'de 0.5, 2, 4 ve 8 dak. karıştırıldıktan sonra CST değerleri ölçülmüş, sonra her bir konsantrasyon için karıştırma süresine bağlı CST değerlerinde görülen değişiklikleri içeren bir grafik çizilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen her bir konsantrasyona ait eğim değerleri Tablo 2.22'de verilmiştir. Kontrol reaktörünün eğim değeri ile farklı sodyum konsantrasyonlarına sahip reaktörlerin eğim değerleri karşılaştırıldığında kontrol reaktöründen 5 meq/L'lik reaktöre geçişte bir artma söz konusu iken, artan sodyum konsantrasyonuna bağlı olarak eğim değerlerinde bir düşüş göze

çarpılmaktadır. Yapılan çalışmalar yumak mukavemeti ile elde edilen eğim değerleri arasında ters bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre reaktörlerden elde edilen aktif çamur örneklerinin yumak mukavemeti artan sodyum konsantrasyonuyla giderek artmaktadır ancak elde edilen eğim değerleri oldukça yüksektir. Bunun anlamı sodyum miktarında meydana gelen artma yumak yapısını bozmakta ve yumakların daha kırılabilir hale gelmesine yol açmaktadır. Bu da yüksek CST değerleri ile doğrulanmaktadır. Bu durumda yumak mukavemetinde meydana gelen artışa rağmen yüksek eğim değerlerinden dolayı aktif çamurun yumak yapısı daha kolay parçalanır hale gelmekte ve bu da çamurun susuzlaştırma özelliğini negatif yönde etkilemektedir.

2.4. TEK VE ÇİFT DEĞERLİKLİ KATYONLARLA YAPILAN ÇALIŞMALARIN SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Projede belirtildiği üzere tek (Na ve K) ve iki değerlikli (Ca ve Mg) iyonların çamurun fiziksel, kimyasal ve yüzey kimyasal özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Bu sonuçlar aşağıda belirtilen başlıklar altında birbiri ile mukayese edilmiş ve yapılan çalışmanın bir nevi özeti şeklinde sunulmuştur.

2.4.1. Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması

Tüm reaktörlerin sonuçları bir arada incelendiğinde her katyonun artan konsantrasyonlarda ilavesi toplam HDP miktarında da artışa yol açmıştır ve en yüksek HDP değerleri en yüksek katyon dozlarının ilavesinde elde edilmiştir (Sodyum 20 meq/L hariç). HDP'nin bileşenleri karbohidrat ve protein tipi polimerler dikkate alındığında katyon türüne göre farklı

polimerlerin baskın hale geldiği gözlemlenmiştir. Kalsiyum reaktörlerinde karbohidrat tipi polimerler baskın iken; magnezyum, potasyum ve sodyum reaktörlerinde protein tipi polimerlerin dominant olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda kalsiyum iyonlarının karbohidrat tipi polimerleri bağlama eğiliminde olup bu tip polimerlerin üretimini teşvik ettiği ortaya çıkmaktadır ve dolayısıyla yumak yapısında da bu tip polimerlerin daha baskın olarak yer aldığı görülmektedir. Diğer taraftan magnezyum, potasyum ve sodyum iyonları protein tipi polimerlerin sentezlenmesini aktive etmekte ve dolayısıyla yumak yapısında bu tip polimerleri daha fazla bağladıkları anlaşılmaktadır. Sonuç olarak katyon türü ve konsantrasyonu üretilen HDP bileşenlerinden hangisinin baskın olacağını belirlemektedir.

Bulgulara göre reaktörlere ilave edilen katyonların dozunda meydana gelen artış aynı zamanda çamurun yumak yapısına giren katyon miktarını da artırmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde kalsiyum iyonlarının yumak yapısında en az yer alan iyon olduğu görülmektedir. Magnezyum ve potasyum iyonları hücre içi iyonlardır ve reaktörlere ilave edilen katyon konsantrasyonları arttıkça yumak yapısına giren magnezyum ve potasyum katyonlarının miktarı da artmaktadır. Ancak potasyum iyonları hücrede osmotik basıncı dengelediğinden hücrede daha fazla yer almıştır. Yumak yapısında en yüksek konsantrasyonda yer alan sodyum iyonları basit şeker, aminoasit, vitamin gibi besin maddelerinin hücre içine taşınmasında ve hücre içinde pH dengesinin sağlanmasında etkin rol oynamaktadır. Bu nedenle ortama verilen besin maddeleri hücre içine alınırken sodyum iyonları da hücre içine simport taşıma ile alınmaktadır. Dolayısıyla yumak yapısında en yüksek konsantrasyonda yer alan iyon olmaktadır.

Aktif çamur örneklerinin iletkenlik ölçümlerinin yapılması her bir katyon için hedeflenmişti. Ancak ölçümleri yapmak için gerekli olan cihazın (Cyber Scan PC 510) temin edilmesinde meydana gelen gecikmeden dolayı kalsiyum ve magnezyum reaktörlerine ait iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilememiştir. Bu kısımda sadece sodyum ve potasyum reaktörlerine ait iletkenlik değerleri tartışılacaktır. Katyon ilavesi arttıkça ortamda çözünmüş tuz miktarı artmakta ve dolayısıyla iletkenlik değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Potasyum reaktörlerinde sodyum reaktörlerine göre iletkenlik değerlerinin bir miktar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak değerler benzer konsantrasyonlar için benzer boyutta olmuştur.

2.4.2. Yüzey Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması

Çalışmada reaktörlerden elde edilen aktif çamurların hidrofobisite ve zeta potansiyel olmak üzere iki yüzey kimyasal özelliği incelenmiştir.

Kalsiyum ve magnezyum reaktörlerinin hidrofobisite değerleri kontrol reaktörü ile karşılaştırıldığında belirgin bir artış göze çarpmaktadır. Kalsiyum reaktörlerinden elde edilen çamur örnekleri daha hidrofilik karakter gösterirken magnezyum reaktörlerinden elde edilen örnekler hidrofobik karakter sergilemiştir. Ancak kalsiyum reaktörlerinde karbohidrat tipi polimerler baskın olmasına rağmen çamurun hidrofobik karakterinin çok değişmediği görülmektedir. Ayrıca sodyum reaktörlerinde de protein tipi polimerler baskın olmasına rağmen çamurun hidrofobisitesi azalmaktadır. Bu bilgiler ışığında çamurun hidrofobik karakterini literatürde bazı çalışmalarda (Urbain ve diğerleri, 1993; Jorand ve diğerleri, 1998; Liao ve diğerleri, 2001) belirtildiği gibi sadece protein tipi polimerler belirlememekte, protein ve karbohidrat tipi polimerler arasındaki etkileşimler ve katyon tipi de bu sonucun ortaya

çıkmasında rol oynamaktadır. Sonuçlar göstermektedir ki kalsiyum ve magnezyum iyonları hidrofobisitenin artmasına yol açarken, sodyum ve potasyum gibi tek değerlikli iyonlar çamurun hidrofobisitenin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum hidrofobisite ile çamurun çökme özelliği arasındaki ilişkiyi de doğrulamaktadır. Aktif çamur örneklerinin hidrofobik karakterinde meydana gelen azalma çamurun çökme yeteneğini de kötüleştirmektedir. Bu durumda yüksek hidrofobisite değerlerine sahip kalsiyum ve magnezyum reaktörlerine ait çamurlar iyi çökmektedirler. Potasyum reaktörlerinin de hidrofobisite değerleri çift değerlikli katyonların çamur örneklerinin değerlerine yakın olduğu için potasyum reaktörlerinin aktif çamur örnekleri de sodyum reaktörlerine kıyasla daha iyi bir çökme yeteneği sergilemektedir.

Reaktörlere ait zeta potansiyel değerleri incelendiğinde Ca ve Mg reaktörlerinin değerlerinde kontrol reaktörlerine göre bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum toplam HDP miktarında meydana gelen artışla ilişkilidir. Artan HDP miktarı çamur yüzeyine ekstra negatif yük kazandırmakta ve ortama eklenen katyonlar da bu ekstra negatif yükü tam olarak nötralize edememektedir ve sonuçta aktif çamur örneklerinin zeta potansiyel değerleri artmaktadır. Kalsiyum reaktörlerinde karbohidrat tipi polimerler baskın olduğu için bu polimerler protein tipi polimerlere göre yüzeye daha çok negatif yük kazandırır. Potasyum reaktörleri incelendiğinde 10 meq/L'ye kadar eklenen potasyum iyonları negatif yüklerin bir kısmını nötralize ederek zeta potansiyel değerini düşürmesine rağmen 20 meq/L konsantrasyona sahip reaktöre geçildiğinde potasyum iyonları HDP'deki artıştan kaynaklanan negatif yükleri nötralize edememiştir. Sodyum reaktörlerine bakıldığında kontrol reaktörü ile mukayese edildiğinde zeta potansiyel değerlerinde bir artma söz konusudur. Farklı sodyum konsantrasyonları ile beslenen reaktörler kendi aralarında karşılaştırıldığında zeta potansiyel değerlerinde bir azalma göze çarpmaktadır. Bu durum sodyum reaktörlerinde yüksek miktarda

üretilen protein tipi polimerlerin ve potasyum iyonlarının pozitif yük katkısından kaynaklanmaktadır.

2.4.3. Fiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması

İlk değerlendirilen fiziksel özellik çamur çökmesi olmuştur. Katyon türü ve konsantrasyonu farklı SVI değerlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kalsiyum ve magnezyum reaktörlerinin SVI değerleri kontrol reaktörleri ile karşılaştırıldığında SVI değerlerinde gözle görülür seviyede bir iyileşme meydana gelmiştir ve değerler literatürde iyi çökebilen çamur örnekleri için kabul edilen aralıkta (75-120 mL/g) yer almaktadır. Bu durum çift değerlikli katyonların ilavesinin çamurun SVI değerleri üzerinde pozitif etkiye sahip olduğunu ve aktif çamurun daha iyi çökebildiğini ortaya çıkarmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürü doğrular niteliktedir (Higgins ve Novak, 1997b; Murthy ve diğerleri, 1998; Sobeck ve Higgins, 2002). Artan konsantrasyonlarda potasyum ilavesi yapılan reaktörler ile kontrol reaktörü karşılaştırıldığında SVI değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir ancak elde edilen sonuçlar iyi çökme özelliği gösteren aralıkta (75-120 mL/g) yer almaktadır. Dolayısıyla potasyum iyonları aktif çamur örneklerinin çökme yeteneğini pozitif yönde etkilemektedir. Diğer yandan potasyum gibi tek değerlikli bir katyon olan sodyumun artan konsantrasyonlarda ilavesi çamurun çökme yeteneğini kötüleştirmiştir. Bu durum sodyum iyonlarının yumak yapısında yer alan iki değerlikli katyonları iyon değiştirme mekanizması ile yumak yapısından uzaklaştırmasından kaynaklanmaktadır. İki değerlikli katyonların yumak yapısından ayrılması yumak yapısını bozmakta ve çökme özelliğini negatif yönde etkilemektedir.

Kalsiyum ve magnezyum reaktörlerinin ZSV değerleri dikkate alındığında kontrol reaktöründen 5 meq/L'ye geçişte belirgin bir artış söz konusudur ve diğer reaktörler kontrol

reaktörü ile karşılaştırıldığında ZSV değerlerinde bir artma göze çarpmaktadır. Tek değerlikli katyonların, Na^+ ve K^+ , reaktörlerinin ZSV değerleri kontrol reaktörü ile mukayese edildiğinde ZSV değerlerinde belirgin bir düşüş gözlemlenmektedir. Bu durumda kalsiyum ve magnezyum iyonlarının çökeltme hızında artışa neden olması çamurun daha iyi çökmesine bağlanmaktadır ve bu da SVI değerleri ile doğrulanmaktadır. Diğer yandan potasyum ve sodyum iyonları aktif çamur örneklerinin çökeltme hızını azaltmaktadır. Özellikle sodyum iyonları çamur örnekleri üzerinde daha fazla negatif etkiye neden olmaktadır. Sonuç olarak tek değerlikli iyonlar aktif çamurun çökeltme hızını yavaşlatarak çamurun çökmesini zorlaştırırken, çift değerlikli iyonlar aktif çamurun çökeltme hızını arttırmakta ve çamurun çökmesini kolaylaştırmaktadır.

Bulanıklık ile ilgili elde edilen sonuçlar incelendiğinde bulanıklık değerleri kabul edilebilir aralıkta yer almaktadır. Potasyum iyonları artan konsantrasyona bağlı olarak 1 saatlik çökme sonrası en bulanık supernatantların oluşmasına yol açmışlardır. Sodyum iyonlarının etkisinin incelendiği reaktörlere ait bulanıklık değerleri incelendiğinde 10 ve 20 meq/L'lik reaktörlerde bulanıklık değerlerinde artış beklenmesine rağmen bir düşüş gözlenmiştir. Bu reaktörlere ait SVI değerleri incelendiğinde elde edilen SVI değerlerinin 120 mL/g değerinin üstünde olduğu ve çamur şişmesi benzeri olayların gerçekleştiği düşünülmüştür.

Bu durumda çamur şişmesini çağrıştıran durumların oluşması çökeltme sonrası üst sıvının berraklaşmasına yol açmaktadır. Dolayısıyla 10 ve 20 meq/L için elde edilen bulanıklık değerleri bu tür bir gelişme sonucunda ortaya çıktığı düşünülmektedir. Çift değerlikli katyonlar için elde edilen değerler ise düşüktür ve kabul edilebilir aralıkta yer almaktadır.

Aktif çamur örneklerinin farklı katyon ve konsantrasyonlarda beslenmesinin susuzlaştırma özelliğine olan etkisi filtrelenebilme (SRF) ve kapiler emme süresi (CST) ölçümleri ile belirlenmiştir. Kalsiyum ve magnezyum iyonlarının artan konsantrasyonlarda reaktörlere ilavesi SRF değerinde azalmaya neden olmuştur. SRF değerlerinde meydana gelen azalma çamurun daha kolay filtrelenebilmesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla iki değerlikli katyonlar yumak yapısını sağlamlaştırmakta ve böylece aktif çamur örneklerinin susuzlaştırılma yeteneğini artırmaktadırlar. Potasyum reaktörlerinin SRF değerleri kontrol reaktörü ile mukayese edildiğinde bir artış söz konusudur dolayısıyla aktif çamur örneklerinin filtrelenebilmesi potasyum iyonlarının artan konsantrasyonlarda ilavesi sonucunda zorlaşmaktadır. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere sodyum iyonları çamur örneklerinin filtrelenebilme yeteneğini kötüleştirmektedir. Tek değerlikli potasyuma göre sodyum iyonlarının bu kötüleştirici etkisi yumak yapısında meydana gelen bozulmalardan kaynaklanmaktadır. Sodyum iyonları daha fazla miktarda iki değerlikli katyonu yumak yapısından uzaklaştırarak yumak yapısını zayıflatmakta ve deformasyonlara yol açmaktadır. Oluşan zayıf yumaklar filtrelerin gözeneklerini tıkayarak çamurun susuzlaştırılmasını engellemektedir. Sodyumun bu etkisi literatürde yapılan çalışmalarla da doğrulanmıştır. Kapiler emme süresi ölçümleri için gerekli olan Type 304 M Capillary Suction Timer cihazının kalsiyum ve magnezyum reaktörlerinin işletimi sırasında temin edilememesinden dolayı CST ölçümleri yalnızca sodyum ve potasyum reaktörleri için gerçekleştirilmiştir. Sodyum ve potasyum reaktörlerine ait CST değerleri SRF ile belirlenen sonuçları doğrular niteliktedir. Potasyum iyonlarının ilavesi CST değerlerinde belirgin bir değişime yol açmamıştır. Kontrol reaktörü ile diğer 3 reaktör karşılaştırıldığında CST değerinde az bir artış belirlenmiştir. Sodyum reaktörlerine ait CST değerleri incelendiğinde kontrol reaktörüne göre keskin bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Sonuç olarak sodyum iyonları aktif çamurun susuzlaştırma kabiliyetini önemli ölçüde zorlaştırmaktadır.

Farklı katyonlarla beslenen reaktörlerin viskozite değerlerini karşılaştırmak için sabit bir MLSS (5000mg/L) değeri seçilmiştir. Kalsiyum ve magnezyum reaktörleri kontrol reaktörü ile mukayese edildiğinde viskozite değerlerinde bir azalma elde edilmiştir. Aynı şekilde potasyum reaktörlerinin viskozite değerlerinde kontrol reaktörüne göre bir düşüş söz konusudur ancak kalsiyum ve magnezyum reaktörlerinin değerleriyle kıyaslandığında elde edilen değerlerin yüksek olduğu görülmektedir. Viskozitedeki en yüksek artışın sodyum ilavesi ile gerçekleştiği ortaya çıkmaktadır. Viskozite değerlerinde meydana gelen artma aktif çamurun pompalanmasını zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla kalsiyum ve magnezyum iyonlarının ilavesi ile çamurun pompalanması kolaylaşırken, sodyum iyonlarının ilavesi ile giderek zorlaşacağı düşünülmektedir. Potasyum iyonlarının artan konsantrasyonlarda ilavesi pompalama işlemi üzerinde pozitif etkiye sahip olmasına rağmen kalsiyum ve magnezyum reaktörleri ile kıyaslandığında bu işlemi zorlaştırdığı görülmektedir.

Yumak büyüklüğü aktif çamur örneklerinin yapısını etkileyen önemli bir parametre olduğu ve analiz edilmesi gerektiğine proje devam ederken karar verilmiş ancak analizler sadece tek değerlikli katyonlar için gerçekleştirilebilmiştir. Yumak büyüklüğü ile ilgili değerler dikkate alındığında potasyum reaktörlerinde kontrol reaktöründen 5 meq/L'ye geçişte belirgin bir artış söz konusu iken, 10 ve 20 meq/L konsantrasyonlara sahip reaktörlere geçildiğinde ise yumak büyüklüğünde bir azalma görülmektedir. 5 meq/L'de meydana gelen bu artış SVI değerinde artma ve ZSV değerinde ise azalmaya yol açmıştır. 10 ve 20 meq/L lik reaktörlerde ise yumak boyutundaki küçülme ZSV ve SVI değerlerinde iyileşme sağlamıştır. Sodyum reaktörlerinde ise benzer şekilde yumak büyüklüğünde meydana gelen artma çamurun çökme özelliklerini negatif yönde etkilemektedir. Sonuçlar dikkatli bir şekilde incelendiğinde belirli bir boyuta kadar yumak boyutundaki büyümenin aktif çamurun çökme yeteneğine pozitif yönde etkide bulunurken, belli bir değerden sonra tam tersi yönde etkide

bulunduğunu ortaya çıkarmaktadır. Sonuçlar bu çıkarım doğrultusunda incelendiğinde kontrol reaktöründen 5 meq/L'ye geçişte yumak büyüklüğü 179 μm 'ye kadar artmış bu da çamurun çökmesini negatif yönde etkilemiştir. Bunun sebebinin yumak ile su arasında çökelmeye karşı oluşan resistans olduğu düşünülmüştür. 10 ve 20 meq/L'ye geçişte ise yumak büyüklüğü değerleri 5 meq/L'ye göre azalmış ve 100 μm 'ye yaklaşması da çökme üzerinde pozitif etkiye yol açmıştır. Diğer yandan farklı sodyum konsantrasyonlarına sahip 3 reaktör kendi aralarında karşılaştırıldığında yumak büyüklüğünde meydana gelen artışa ZSV değerlerindeki düşme ve SVI değerlerinde meydana gelen artma eşlik etmiştir. 5 meq/L'de yumak büyüklüğünün 100-120 μm arasında olması pozitif etki yaratırken bu konsantrasyondan sodyum miktarındaki artış yumak içindeki kalsiyum/magnezyum gibi çift değerlikli katyonların yumak dışına çıkmasına yol açmakta ve yumak boyutunda büyüme meydana gelse bile iki değerlikli katyonlardan yoksun olarak oluşan yumakların kırılabilir ve zayıf oldukları düşünülmektedir. Dolayısıyla artan konsantrasyonlarda sodyum ilavesi yumak boyutunun artmasına neden olmasına rağmen yumakların yapısını bozmaktadır.

Yumak mukavemeti ile ilgili olarak değerlendirme yapmak için önceden belirtildiği gibi reaktörlerden elde edilen çamur örnekleri 1000 rpm'de 0.5, 2, 4 ve 8 dak. karıştırıldıktan sonra CST değerleri ölçülmüş, sonra her bir konsantrasyon için karıştırma süresine bağlı CST değerlerinde görülen değişiklikleri içeren bir grafik çizilmiştir. Ancak önceden de belirtildiği gibi CST aletinin temin edilmesinin gecikmesi nedeniyle bu analizler sadece sodyum ve potasyum iyonları için gerçekleştirilebilmiştir. Yumak mukavemeti ile elde edilen eğim değerleri arasında ters bir ilişki vardır. Bu durumda reaktörlerden elde edilen aktif çamur örneklerinin yumak mukavemeti artan potasyum konsantrasyonuyla giderek azalmakta ve aktif çamurun yumak yapısı daha kolay parçalanır hale gelmektedir. Sodyum reaktörlerinde ise kontrol reaktöründen 5 meq/L'lik reaktöre geçişte bir artma söz konusu iken, artan sodyum

konsantrasyonuna baęlı olarak eęim deęerlerinde bir dūşūş gōze çarpmaktadır ancak elde edilen eęim deęerleri potasyum reaktōrlerinin deęerleri ile kıyaslandığında oldukça yūksektir. Bunun anlamı sodyum miktarında meydana gelen artma yumak yapısını bozmakta ve yumakların daha kırılğan hale gelmesine yol açmaktadır. Bu da yūyüksek CST deęerleri ile doęrulanmaktadır.

3. SONUÇ

Atıksu arıtımında aktif çamur sistemleri 1900'lū yılların başından beri ۆzellikle evsel atıksu ve 'evsel nitelikli' endūstriyel atıksu arıtımı için neredeyse tek alternatif olarak kullanılmaktadır. ökelmeyi çok yakından ilgilendirmesi nedeni ile gūnümüzde üzerinde çalışılan konulardan bir tanesi HDP'nin reaksiyonları ve yumaklaşmaya sebep olan mekanizmalardır. Bu alışma bu noktada farklı katyon tiplerinin ve katyon konsantrasyonlarının bu reaksiyonlardaki ۆnemini ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Bulgulara gōre, katyon tipine gōre farklı HDP bileşenlerinin sentezlenmesi aktive edilmekte, aynı Őekilde artan katyon konsantrasyonuna bağlı olarak ۆretilen polimerlerin miktarı da değişmektedir ki bu da ۆzellikle yumaklaşma olayında belirleyici olmaktadır. Çalışmada incelenen katyonların çamur arıtım maliyetinin yarısına yakınına oluşturan susuzlaştırma işlemine de etkilediği ortaya çıkarılmıştır. İki değerlikli katyonlar, kalsiyum ve magnezyum, aktif çamurun yumaklaşma, susuzlaştırma ve çökme ۆzelliklerini iyileştirirken, sodyum ve potasyum gibi tek değerlikli katyonlardan potasyum iyonlarının aktif çamur ۆrneklerinin ökeme ۆzellięine pozitif yōnde katkıda bulunurken, susuzlaştırma ۆzerinde negatif etkiye sahip olduğu gōsterilmiřtir. Sodyum iyonları ile ilgili analizler ise sodyum iyonlarının çamurun çökme yeteneğini kōtūleřtirdięini ve susuzlaştırma işlemine zorlaştırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca ۆzellikle endūstriyel atıksu arıtım sistemlerinde pH ayarı için NaOH/KOH

kullanıldığına sıklıkla rastlanmaktadır. Dolayısı ile bu tesislerde yaptığımız çalışmalar doğrultusunda pH ayarı için tek değerlikli iyonların tuzlarının kullanılması yerine çift değerlikli katyonların tuzlarının yani $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$ kullanılması durumunda arıtım sistemlerinin daha verimli çalışacağı sonucunu ortaya koymaktadır.

4. YAPILAN VE YAPILMASI DÜŞÜNÜLEN YAYINLAR

ULUSLARARASI MAKALELER

1. Turtin, İ.; Vatansever, A. and Sanin, F.D. (2006). Phosphorus Deficiency and Sludge Bulking. *Environmental Technology*, **27**, 613-621
2. Sanin, F.D.; Vatansever, A.; Turtin, İ.; Kara, F.; Durmaz, B. and Sesay, M.L. (2006). Operational Conditions of Activated Sludge: Influence on Flocculation and Dewaterability. *Drying Technology*, **24**, 1297-1306

SUNULMUŞ ULUSAL TEBLİĞLER

1. Vatansever, A, Turtin, I ve Sanin, F. D. “Bioflocculation of Activated Sludge in Relation to Calcium and Magnesium Concentrations” 1. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, İzmir (tebliğ uluslararası katılımlı oturumda İngilizce olarak sunuldu).
2. Turtin, I, Vatansever, A, ve Sanin, F. D. “Phosphorus Deficiency and Sludge Bulking Problem” 1. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, İzmir.

ULUSLARARASI KONFERANSLARDA SUNULMAK ÜZERE HAKEM DEĞERLENDİRMESİNDE OLAN TEBLİĞLER

1. Kara, F., Gürakan C. G., ve Sanin F. D. “Monovalent Cations and their Influence on Activated Sludge Floc Structure” IWA Specialist Conference Moving Forward Wastewater Biosolids Sustainability’de sunulmak üzere, 24-27 Haziran 2007, Moncton, Kanada.

2. Vatansever, A., Kara, F., Turtin, I ve Sanin, F. D. "Effect of Cation Type and Concentration on Bioflocculation and Settling Properties of Activated Sludge" IWA Specialist Conference Facing Sludge Diversities: Challenges, Risks and Opportunities'de sunulmak üzere, 28-30 Mart 2007, Antalya, Türkiye.

5. MALİ GELİŞMELER

Proje bütçesinden bu dönemde sadece sarf kaleminden harcama yapılmış olup tutarı 2.000 YTL dir. Projede şimdiye kadar sağlanan bütçeden toplam 15.714 YTL kullanılmış olup, aşağıda belirtilen kalemlerde kalan para ise Tübitak'a geri döndürülmüştür.

Teçhizat	3069,74 YTL
Sarf	288,38 YTL
Hizmet	1480,80 YTL
Toplam	4.838,92 YTL

KAYNAKLAR

Alahari, A. and Apte, S. K. (2004). A Novel Potassium Deficiency-Induced Stimulon in *Anabaena torulosa*. *J. Biosci.*, **29**, 153-161.

APHA (2000). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th Edition. American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environment Federation, Washington, D.C.

Bruus, J. H., Nielsen, P. H. and Keiding, K. (1992). On the Stability of Activated Sludge Floccs with Implications to Dewatering. *Wat. Res.*, **26** (12), 1597-1604.

Bura, R., Cheung M., Liao, B., Finlayson, J., Lee, B. C., Droppo, I. G., Leppard, G. G., and Liss S. N. (1998). Composition of Extracellular Polymeric Substances in the Activated Sludge Flocc Matrix. *Wat. Sci. Tech.*, **37** (4-5), 325-333

Dimroth, P. (1997). Primary Sodium Ion Translocating Enzymes. *Biochim. Biophys. Acta* **1318**, 11-51.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers P. A. and Smith F.(1956). Colorimetric Method for the Determination of Sugar and Related Substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350-356

Durmaz B. (2001). Effect of Carbon to Nitrogen Ratio on the Composition of Microbial Extracellular Polymers in Activated Sludge. M. Sc. Dissertation., Dept. of Environmental Eng. Middle East Technical University, Turkey

Durmaz, B. and Sanin, F. D. (2001). Effect of Carbon to Nitrogen Ratio on the Composition of Microbial Extracellular Polymers in Activated Sludge. *Wat. Sci. Tech.*, **44** (1), 221-229.

Durmaz, B. and Sanin, F. D. (2003). Effect of Carbon to Nitrogen Ratio on the Physical and Chemical Properties of Activated Sludge. *Env. Tech.*, **24**, 1331-1340

Frolund, B., Palmigren, R., Keding, K. and Nielsen, P. H. (1996). Extraction of Extracellular Polymers from Activated Sludge Using a Cation Exchange Resin. *Wat. Res.*, **30**, 1749-1758

Goodwin, J. A. S. and Forster, C. F. (1985). A Further Examination into the Composition of Activated Sludge Surfaces In Relation to Their Settlement Characteristics. *Wat. Res.*, **19** (4), 527-533

Higgins, M. J. and Novak, J. T. (1997a). The Effect of Cations on the Settling nad Dewatering of Activated Sludge: Laboratory Results. *Wat. Environ. Res.*, **69**, 215-224

Higgins, M. J. and Novak, J. T. (1997b). Dewatering and Settling of Activated Sludges: The Case for Using Cation Analysis. *Wat. Environ. Res.*, **69**, 225-232

Horan, N. J., and Eccles, C. R. (1986). Purification and Characterization of Extracellular Polysaccharide from Activated Sludges. *Wat. Res.*, **20** (11), 1427-1432

- Jenkins, D., Richard M. G., and Daigger G. T. (1993). Eds., *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*, 2nd ed., Lewis Publishers, Boca Raton, London, Tokyo, pp. 11-13.
- Jin, B., Wilen, B., and Lant, P. (2004). Impacts of Morphological, Physical and Chemical Properties of Sludge Flocs on Dewaterability of Activated Sludge. *Chem. Eng. J.*, **95**, 221-234
- Jorand, F., Boue-Bigne, F., Block, J.C. and Urbain, V. (1998). Hydrophobic/Hydrophilic Properties of Activated Sludge Exopolymeric Substances. *Wat. Sci. Tech.*, **37** (4-5), 307-315.
- Keiding, K. and Nielsen, P. H. (1997). Desorption of Organic Macromolecules from Activated Sludge: Effect of Ionic Composition. *Wat. Res.*, **31** (7), 1665-1672
- Krulwich, T. A., Ito, M. and Guffanti, A. (2001). The Na(+)-Dependence of Alkaliphily in *Bacillus*. *Biochim. Biophys. Acta*, **1505**, 158-168.
- Liao, B. Q., Allen, D. G., Droppo, I. G., Leppard, G. G. and Liss, S. N. (2001). Surface Properties of Sludge and Their Role in Bioflocculation and Settleability. *Wat. Res.*, **35** (2), 339-350.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., Randall, R. J. (1951). Protein Measurement with Folin Fenol Reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-275
- Morgan, J. W., Forster C. F., and Evison, L. (1990). A Comparative Study of the Nature of Biopolymers Extracted from Anaerobic and Activated Sludges. *Wat. Res.*, **24** (6), 743-750
- Murthy, S. N. and Novak, J. T. (1998). Effects of Potassium Ion on Sludge Settling, Dewatering and Effluent Properties. *Wat. Sci. Tech.*, **37** (4-5), 317-324.
- Murthy, S. N., Novak, J. T. and De Haas R. D.(1998). Monitoring Cations to Predict and Improve Activated Sludge Settling and Dewatering Properties of Industrial Wastewaters. *Wat. Sci. Tech.*, **38** (3), 119-126
- Novak, J. T., Sadler, M. H. and Sudhir, N. M. (2003). Mechanisms of Floc Destruction during Aerobic and Anaerobic Digestion and the Effect of Conditioning and Dewatering of Biosolids. *Wat. Res.*, **37**, 3136-3144
- Özsoy, G., Dilek, F. B., and Sanin, F. D. (2005). 'Development a Technique for Extraction of Heavy Metals from Sludge Using a Microwave Digestion System' presented at the 1st National Sludge Symposium, İzmir, March 23-25, 2005
- Pavoni, J. L., Tenney, M.W. and Echelberger, W. F. (1972). Bacterial Exocellular Polymers and Biological Flocculation. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, **44**, 414-431
- Rosenberg, M., Gutnick, D. And Rosenberg E. (1980). Adherence of Bacteria to Hydrocarbons: A Simple Method for Measuring Cell Surface Hydrophobicity. *FEMS Microbial Letters*, **9**, 29-33

- Sanin, F. D. and Vesilind P. A. (1994). Effects of Centrifugation on the Removal of Extracellular Polymers and Physical Properties of Activated Sludge. *Wat. Sci. Tech.*, **30** (8), 117-127
- Sanin, F. D. and Vesilind P. A. (1996). Synthetic Sludge: A Physical/Chemical Model in Understanding Bioflocculation. *Wat. Environ. Res.*, **68** (2), 927-933
- Sanin, F. D. (2002). Effect of Solution Physical Chemistry on the Rheological Properties of the Activated Sludge. *Water SA*, **28** (2), 207-211
- Sesay, M. L. and Sanin, F. D. (2004). An Investigation of Activated Sludge Floc Structure in Relation to Solids Retention Time. *J. Residual Sci. And Tech.*, **1** (2), 125.
- Shin, H. S., Kang, S. T., and Nam S. Y. (2001). Effect of Carbohydrate and Protein in the EPS on Sludge Settling Characteristics. *Wat. Sci. Tech.*, **43** (6), 193-196
- Sobeck, D. C., and Higgins M. J. (2002). Examination of Three Theories for Mechanisms of Cation-Induced Flocculation. *Wat. Res.*, **36**, 527-538
- Sutherland, I. W. *Biotechnology of microbial exopolysaccharides*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- Urbain, V., Block, J. C. and Manem, J. (1993). Bioflocculation in Activated Sludge: An Analytical Approach. *Wat. Res.*, **27** (5), 829-838
- Vesilind, P. A. (1979). *Treatment and Disposal of Wastewater Sludge*. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor.
- Wilson, T. H. and Ding, P. Z. (2001). Sodium-Substrate Cotransport in Bacteria. *Biochim. Biophys. Acta*, **1505**, 121-130.
- Yorimitsu, T. and Homma, M. (2001). Na(+)-driven flagellar motor of Vibrio. *Biochim. Biophys. Acta*, **1505**, 82-93.

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu: İÇTAG-Ç085
Proje Başlığı: Çeşitli Katyonların Aktif Çamur Yumaklaşmasına ve Çamurun Kimyasal, Yüzeysel Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Doç. Dr. F. Dilek Sanin (yürütücü) Aysun Vatansever (araştırmacı) İpek Turtin (araştırmacı) Fadime Kara (araştırmacı)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İnönü Bulvarı 06531, Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK Atatürk Bulvarı No: 221 06100 Kavaklıdere/ANKARA
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1/1/2004 – 31/09/2006
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada aktif çamur işletimi sırasında atıksuda bulunan farklı katyon ve konsantrasyonların biyolojik yumaklaşmaya ve buna bağlı olarak gelişen çamur özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla dört farklı katyonun (potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum) üç ayrı konsantrasyondaki (5, 10, 20 meq/L) etkileri kimyasal, yüzeysel kimyasal ve fiziksel analizlerle belirlenmiştir. Buna göre Ca^{2+} ve Mg^{2+} artan konsantrasyonlarda aktif çamurun çökeltme, susuzlaştırılabilir ve yumak oluşturma yeteneğini iyileştirmiş, Na^+ ise belirtilen özellikleri kötüleştirmiştir. K^+ çökeltme özelliğini bozmazken, aktif çamurun susuzlaştırılmasını zorlaştırmıştır.
Anahtar Kelimeler: Aktif çamur, katyon, biyolojik yumaklaşma, çökeltme, susuzlaştırılabilir.
Projeden Kaynaklanan Yayınlar: ULUSLARARASI MAKALELER <ol style="list-style-type: none">1. Turtin, İ.; Vatansever, A. and Sanin, F.D. (2006). Phosphorus Deficiency and Sludge Bulking. <i>Environmental Technology</i>, 27, 613-6212. Sanin, F.D.; Vatansever, A.; Turtin, İ.; Kara, F.; Durmaz, B. and Sesay, M.L. (2006). Operational Conditions of Activated Sludge: Influence on Flocculation and Dewaterability. <i>Drying Technology</i>, 24, 1297-1306 SUNULMUŞ ULUSAL TEBLİĞLER <ol style="list-style-type: none">1. Vatansever, A, Turtin, İ ve Sanin, F. D. "Bioflocculation of Activated Sludge in Relation to Calcium and Magnesium Concentrations" 1. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, İzmir (tebliğ uluslararası katılımlı oturumda İngilizce olarak sunuldu).2. Turtin, İ, Vatansever, A, ve Sanin, F. D. "Phosphorus Deficiency and Sludge Bulking Problem" 1. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, İzmir. SUNUMA KABUL EDİLEN ULUSLARARASI TEBLİĞLER <ol style="list-style-type: none">1. Vatansever, A, Kara, F. , Turtin İ. and Sanin, F. D. "Effect of Cation Type and Concentration on Bioflocculation and Settling Properties of Activated Sludge" Facing Sludge Diversities: Challenges, Risks and Opportunities, 28-30 March 2007, Antalya2. Kara, F., Gürakan, C. and Sanin, F.D. "Monovalent Cations and Their Influence on Activated Sludge Floc Structure", Moving Forward, Wastewater Biosolids Sustainability: Technical, Managerial, and Public Synergy, 24 - 27 June 2007, Moncton, Canada.
Bilim Dalı: Çevre Bilimleri ve Mühendisliği
Doçentlik B. Dalı Kodu: 903