

Kil Minerallerinin Atık Su Arıtımında Kullanılabilirliği: Kaolinit İle Organik Madde Giderimi

Berna HASÇAKIR

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İnönü Bulvarı, 06531 ANKARA

Deniz DÖLGEN

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kaynaklar Kampüsü, 35160 Buca-İZMİR

Özet

Sunulan çalışmanın amacı kil minerallerinin atıksu arıtımında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Eysel ve endüstriyel atıksu örnekleri ile yürütülen deneysel çalışmalarda rafine dolgu tipi kaolinit (hidrate alüminyum silikat) kullanılarak kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında kaolinit koagülant ve flokülant olarak ayrı ayrı deneyerek optimum dozları belirlenmiş ve yaygın olarak kullanılan alum, kireç, demir üç klorür gibi kimyasallar ile arıtma verimi esas alınarak karşılaştırılmıştır. Organik madde giderimi, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametresine göre belirlenmiştir. Sonuçlar, kaolinitin flokülant olarak kullanılması halinde genelde daha yüksek arıtma verimi elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Eysel atıksu ile yapılan denemelerde koagülant olarak alum, flokülant olarak kaolinit kullanılması durumunda %82 organik madde, %70 askıda katı madde ve %23 yağ-gres giderimi gerçekleşmiştir. Atıksuyun bulanıklığı tamamen giderilmiş, önemli pH değişimi olmamıştır. Endüstriyel atıksu ile yapılan denemelerde koagülant olarak demir üç klorür, flokülant olarak kaolinit kullanılması halinde en yüksek verime ulaşılmıştır. Bu koşullarda %99 organik madde, %83 askıda katı madde ve %85 yağ-gres giderimi gerçekleşmiştir. Endüstriyel atıksu denemelerinde kaolinit koagülant olarak da etkili bulunmuş, %96 KOİ giderimi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Flokülant, kaolinit, kimyasal arıtma, kimyasal oksijen ihtiyacı, koagülant.

Utilization of Clay Minerals in Wastewater Treatment: Organic Matter Removal with Kaolinite

Abstract

The aim of presented study is the investigation of clay minerals utilization in the wastewater treatment. The chemical treatability studies were carried out by the refined packing type kaolinite (hydrate aluminum silicate). By testing kaolinite as coagulant and flocculant separately within the experimental studies, optimum doses were determined, and on the basis of treatment efficiencies, results were compared with the chemicals such as alum, lime and ferric chloride which are widely used. The removal of organic matter was determined according to Chemical Oxygen Demand (COD) parameter. Higher treatment efficiencies were obtained when kaolinite was used as flocculant. For the domestic wastewater, 82% organic matter, 70% suspended solids matter, and 23% oil-grease removals were achieved when alum was used as coagulant and kaolinite was used as flocculant. The turbidity of wastewater was removed completely, and insignificant differences were observed in pH parameter. For industrial wastewater samples, the highest efficiency was obtained when ferric chloride was used as coagulant and kaolinite was used as flocculant. In this case, 99% organic matter, 83% suspended solids matter, and 85% oil-grease removals were obtained. For the industrial wastewater treatment, the usage of kaolinite as coagulant yielded also efficient results, 96% COD removal was obtained.

Keywords: Chemical oxygen demand, chemical treatment, coagulant, flocculant, kaolinite.

GİRİŞ

Kimyasal maddelerle desteklenen arıtma yöntemleri (koagülasyon-flokülasyon, oksidasyon/redüksiyon, flotasyon, vb.) su ve atıksu arıtımında organik madde, katı madde, bulanıklık, ağır metal,

renk giderimi vb. amaçlarla başarıyla uygulanmaktadır (Golob ve ark. 2005). Arıtma verimi giderilecek parametre, kullanılan kimyasal madde, alıkonma süresi, karışım şiddeti gibi faktörlerden etkilenmekte; oluşan çamur miktarı

kimyasal madde türüne göre az veya çok olabilmektedir (Tchobanoglous ve Burton 1991). Biyolojik süreçler ile karşılaştırıldığında işletmeye alma kolaylığının olması, organik maddenin biyolojik mekanizmalarla parçalanamayan kısmının çöktürülerek giderilebilmesi, arıtma veriminin atıksu debisi ve niteliğindeki değişikliklerden fazla etkilenmemesi gibi avantajları özellikle endüstriyel atıksu arıtımında tercih edilmesine sebep olmaktadır (Kim ve ark. 2004). Öte yandan, kimyasal madde kullanımı nedeniyle işletme giderlerinin yüksek olması ve çamur miktarının fazla olması nedeniyle çamur uzaklaştırma işlemlerinin maliyetinin artması en önemli dezavantajları olarak gösterilmektedir (Alpaslan ve ark. 2002). Bu nedenle son yıllarda yapılan araştırmalar kullanılan kimyasal malzemeler üzerine yoğunlaşmakta ve kimyasal madde tüketimini azaltmaya yönelik, maliyeti düşük yeni alternatifler incelenmektedir (Tayim ve Al-yazouri 2005).

Sunulan çalışmanın konusu olan kil mineralleri, yüksek iyon değiştirme, absorpsiyon ve kataliz özelliklerinin yanısıra doğal ve düşük maliyetli olması nedeniyle atıksu arıtımında kullanılan doğal malzemelerdendir (Ingram ve ark. 2003). Literatürde farklı bölgelerden çıkartılan kil grubu minerallerin toksik kirleticilerin, pestisit ve herbisitlerin, boyaların ve bazı metal iyonlarının gideriminde etkin biçimde kullanılabileceğine dair çalışmalar bulunmaktadır (Li ve ark. 2003). Sunulan çalışmada piyasada yaygın olarak kullanılan kimyasallara alternatif olarak kil grubu minerallerden kaolinitin koagülant veya flokülant olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kaolinitin koagülant veya flokülant olarak kullanılması ile kimyasal arıtma işlemlerinin en büyük dezavantajı olarak öne sürülen işletme maliyetinin azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca, Devlet Planlama Teşkilatı (Anonymous 2001) ve Maden Tetkik ve Arama Kurumlarının araştırmalarına göre küçümsemeyecek miktarda (100 milyon tonun üzeri) kaolin rezervine sahip ülkemiz için kolay bulunabilir, ucuz ve doğal bir malzemenin (kaolinit) değerlendirilmesiyle kimyasal arıtma işleminin maliyet etkin hale gelmesi, gerek ön arıtma, gerek son arıtma, gerekse de ana arıtma kademesi olarak uygulanabilirliğinin artırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Ham Atıksuyun Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda oluklu mukavva üreti-

minden kaynaklanan proses atık suyunun (endüstriyel atıksu) ve evsel atıksuların koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemleri kullanılarak arıtımı incelenmiştir. Çok tabakalı karton olarak adlandırılan oluklu mukavva tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli miktarlarda tüketilen bir ambalaj malzemesidir. Dayanıklı ve hafif olması gibi avantajları nedeniyle üretimin gün geçtikçe arttığı oluklu mukavva endüstrisinde üretim iki aşamadan oluşmaktadır;

i) oluklu mukavva tabakalarının özel bir yapıştırıcı ile yapıştırılması (oluklu mukavvanın üretimi)

ii) oluklu mukavva üzerine boya baskı işlemlerinin yapılması.

Yukarıda belirtilen işlemlerden kaynaklanan atıksular oluklu mukavvanın birleştirilmesi için kullanılan nişasta bazlı yapıştırıcı ile boya baskı işlemlerinde kullanılan su bazlı boyaları içermektedir. Genel olarak, içerisindeki boya nedeniyle oldukça koyu renkli olup, yüksek organik madde içermektedir.

Sunulan çalışma kapsamında ilk olarak oluklu mukavva üretimi yapan bir işletmeden alınan endüstriyel ve evsel atıksu numunelerinin karakterizasyonu belirlenmiştir. Tablo 1'de ham atıksu numunelerinin karakterizasyonu verilmiştir. İşletmede boya-baskı işlemlerinden kaynaklanan proses atıksuyu endüstriyel; mutfak, tuvalet vb. kaynaklı atıksular ise evsel nitelikli atıksu örneklerini temsil etmek üzere kullanılmıştır. İşletmede boya-baskı işlemlerinde, genel olarak yüksek organik kirlilik içeren, katı maddesi fazla, bulanık, koyu renkli, yağ-gres içeriği yüksek atıksular oluşmaktadır (Hasçakır ve Dölgen 2005). Evsel atıksu tipik değerlere sahip olmakla birlikte zaman zaman normalin üzerinde organik madde içeriği belirlenmiştir (Dölgen ve ark. 2004).

Tablo 1. Deneyisel çalışmalarda kullanılan atıksuların özellikleri. (Hasçakır ve Dölgen 2005, Dölgen ve ark 2004).

Parametre	Birim	Evsel atıksu	Proses atıksuyu
Sıcaklık	°C	25	25
pH		7,1-7,6	7,3-7,4
Bulanıklık	JTU	85-380	50400-170000
Renk	CU	250	104000-352500
KOİ	mg/L	157-5107	12024-56875
TKM	mg/L	692-1164	6064-18456
AKM	mg/L	70-1164	10000-24000
Yağ-Gres	mg/L	44-314	5900-11000
TN	mg/L	104	255-1020
PO ₄ -P	mg/L	9,2	9,5-408

Kaolinitin Özellikleri

DeneySEL çalışmalarda Aksaray bölgesinden temin edilen KD-A hidrate alüminyum silikat tipi kaolinit (Kızıldağ Madencilik, İstanbul) kullanılmış olup, malzemenin özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Kimyasal Arıtılabilirlik Çalışmaları

Kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları Stuart Scientific Flocculator 5W1 marka jar testi aparatı ile gerçekleştirilmiştir. Atıksu örnekleri kimyasal madde dozlandıktan sonra 1 dakika süreyle koagülasyon (karışım hızı 240 devir/dakika), 45 dakika süreyle yumaklaştırma (karışım hızı 24 devir/dakika) sürecine tabi tutulmuş, ardından 45 dakika süreyle sakin koşullarda çöktürme işlemi uygulanmıştır (Peavy ve ark. 1985).

Analizler

Çöktürme işlemi sonrasında üst kısımdaki artırmış sudan alınan örneklerde kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), pH, bulanıklık, renk ve yağ-gres parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. DeneySEL çalışmalar iki bölümden oluşmuştur. İlk bölümünde kaolinit koagülant olarak kullanılmış ve atıksu örneklerine değişen dozlarda eklenmiştir. Optimum koagülant dozu KOİ parametresi esas alınarak belirlenmiştir. İkinci kısım deneySEL çalışmalarda kaolinit flokülant olarak eklenmiş, verimliliği polielektrolit ile kıyaslanmıştır. Kaolinitin flokülant olarak ilave edildiği deney setlerinde koagülant olarak alum, kireç ve demir üç klorür kullanılmıştır. Deneylerde koagülant dozları 10-1200 mg/L; flokülant dozları ise 2-6 mg/L arasında değişmiştir. Analizlerde pH parametresi NEL pH 890 marka pH metre kullanılarak, bulanıklık ve renk ölçümü HACH DC 144 69 DR marka arazi tipi çanta kullanılarak, AKM, TKM ve yağ-gres analizleri gravimetrik metotla ve KOİ deneyi refluxmetrik

Tablo 2. DeneySEL çalışmalarda kullanılan kaolinitin özellikleri.

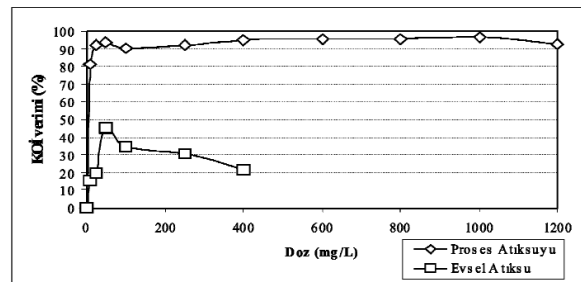
Özellikler	Birim	Ölçülen Değer
SiO ₂	%	≤50.00
Al ₂ O ₃	%	≥30.00
Fe ₂ O ₃	%	≤ 0.50
TiO ₂	%	≤ 0.60
K ₂ O	%	≤ 3.30
CaO+MgO	%	≤ 1.00
Na ₂ O	%	0.15
Kızdırma kaybı (1000 ° C)	-	15
Yüzey Alanı	m ² /g	15 - 25
Dane Boyutu	> 45 μm	% ≤ 0.02
Dağılımı	> 10 μm	% ≤ 1.50
	< 2 μm	% ≥55.00

metotla Standart Metotlara (Anonymous 1992) uygun olarak yapılmıştır.

BULGULAR

DeneySEL çalışmaların ilk aşamasında proses ve evsel atıksu numunelerini en iyi şekilde arıtacak kaolinit dozu belirlenmiştir. Jar testi düzeneği ile yürütülen deneySEL çalışmalarda, boya-baskı işleminden kaynaklanan proses atıksuyunun arıtımı amacıyla 10-1200 mg/L arasında değişen dozlarda kaolinit eklenmiştir. Kaolinitin koagülant olarak eklenmesi durumunda en düşük doz için (10 mg kaolinit/L) KOİ giderim verimi %80 olarak belirlenmiş; KOİ 41575 mg/L'den 7795 mg/L değerine düşmüştür. Kaolinit miktarı arttırıldığında KOİ verimi yükselmiştir. Kaolinit dozu 50 mg/L olduğunda %94 KOİ giderimi elde edilmiş; artırmış suyun KOİ değeri 2487 mg/L olarak ölçülmüştür. Maksimum KOİ giderim verimi 1000 mg/L kaolinit dozunda gerçekleşmiştir. 1000 mg kaolinit/L eklendiğinde atıksuyun KOİ değeri 41575 mg/L'den 1497 mg/L değerine inmiş, verim %96 olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Kaolinit dozları için elde edilen KOİ giderim verimlerinin sunulduğu Şekil 1 incelendiğinde özellikle 400 mg/L ve üzerindeki dozlar için verimin %95 ve üzeri olduğu görülmektedir. Bu koşullarda artırmış suyun KOİ değeri 1500-2000 mg/L arasında değişmektedir. Kaolinitin koagülant olarak kullanıldığı denemelerde pH değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiş, pH 7 civarında en yüksek verime ulaşıldığı ortaya konmuştur (Şekil 2). İzlenen diğer parametrelere ilişkin edinilen sonuçlar ise toplu olarak Şekil 3'te verilmiştir. Maksimum KOİ gideriminin elde edildiği kaolinit dozunda (1000 mg/L) katı madde giderimi fazla etkili bulunmamıştır. Askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu 24000 mg/L seviyesinden 20000 mg/L değerine düşmüş yaklaşık %17 oranında AKM giderimi sağlanmıştır. Bu doz için renk giderimi %64 iken bulanıklık giderimi %70

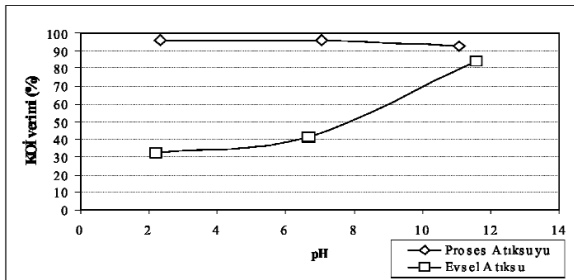
Şekil 1. Değişen kaolinit dozlarında elde edilen KOİ giderimi.



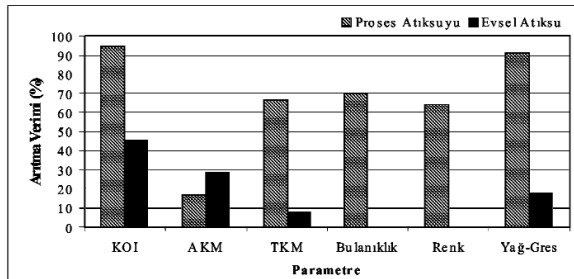
olmuş, yağ-gres ise etkili bir biçimde (%91 oranında) sudan uzaklaştırılabilmektedir.

Evsel atıksu örnekleriyle yapılan çalışmalarda atıksu numunelerine 10-400 mg/L arasında değişen dozlarda kaolinit ilave edilmiştir. Kaolinitin koagülant olarak eklenmesi durumunda KOİ giderimi proses atıksuyundaki kadar yüksek bulunmamıştır. Maksimum KOİ giderimi 50 mg/L kaolinit dozunda elde edilmiştir. Evsel atıksuyun KOİ değeri 157 mg/L'den 86 mg/L mertebesine inmiş, yaklaşık %45 oranında arıtma gerçekleşmiştir (Şekil 1). Kaolinitin etkili olduğu pH aralığının belirlenmesi amacıyla üç ayrı pH değerinde tekrarlanan jar testi denemelerinde alkali koşullarda (pH>10) giderim veriminin arttığı görülmüştür (Şekil 2). Kaolinit ile katı madde giderimi verimli bulunmamıştır. Kaolinit dozunun artması katı madde giderim verimini bir miktar arttırmakla birlikte maksimum toplam katı madde giderimi %26 oranında gerçekleşmiştir (400 mg kaolinit/L dozu için). Maksimum organik madde giderimi esas alınarak tespit edilen optimum kaolinit dozu için (50 mg/L) sadece %8 oranında toplam katı madde giderim verimi elde edilmiş, arıtılmış atıksuyun toplam katı madde konsantrasyonu 636 mg/L değerine düşmüştür. Aynı koşullarda AKM verimi ise %29 olarak belirlenmiştir. Şekil 3'ten de toplu halde görüleceği gibi izlenen diğer parametrelerde

Şekil 2. pH parametresinin KOİ giderimine etkisi.



Şekil 3. Kaolinitin koagülant olarak kullanılması halinde elde edilen arıtma verimleri.



etkili sonuçlar gözlenmemiş, yaklaşık %20 oranında yağ-gres arıtımı olmuştur. Bulanıklık ve renk giderimlerinde ise artış belirlenmiştir.

İkinci aşamada proses ve evsel atıksu numuneleri için kaolinitin flokülant olarak kullanılmasının arıtma verimine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla koagülant olarak alum, demir üç klorür ve kireç, flokülant olarak 2-6 mg/L arasında değişen dozlarda kaolinit ve atıksu örneklerinin alındığı işletmede kullanılan anyonik polielektrolit (Praestol 2540) kullanılmıştır. Proses atıksuyu ile yürütülen deneylerde alum, demir üç klorür ve kireç için optimum dozlar sırasıyla 400, 50, 250 mg/L şeklinde bulunmuştur (Hasçakır ve Dölgen 2005). Evsel atıksu ile yapılan deneylerde ise alum, demir üç klorür ve kireç için optimum dozlar sırasıyla 250, 25, 10 olarak belirlenmiştir (Dölgen ve ark. 2004).

Proses suyu ile yapılan çalışmalarda kaolinitin flokülant olarak etkinliği alum, demir üç klorür ve kireç için ayrı ayrı belirlenmiş; ayrıca polielektrolit ile karşılaştırılmıştır. En yüksek KOİ giderimi alum (400 mg/L) + kaolinit (4 mg/L) ve demir üç klorür (50 mg/L) + kaolinit (4 mg/L) uygulamalarında elde edilmiştir. Özellikle kaolinit demir üç klorür ile birlikte kullanıldığında hemen hemen %100 arıtım sağlanmıştır. Bu koşullarda AKM giderimi de daha etkili bulunmuştur (%83). Bulanıklık, renk gibi parametrelerin giderimi %35-40 mertebelerinde gerçekleşmiştir. Kireç ile kaolinit kullanımı sonucunda çok iyi sonuçlar elde edilmemiş, ancak %60-70 aralığında KOİ, AKM, Yağ-gres arıtımı elde edilebilmiştir. Bulanıklık ve renk giderimi verimli bulunmamıştır. Kaolinite alternatif olarak anyonik polielektrolit kullanılması durumunda KOİ giderimi bakımından benzer sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek KOİ verimi demir üç klorür (50 mg/L) + a.polielektrolit (2 mg/L) ile sağlanmıştır (%98). Alum (400 mg/L) + a.polielektrolit (8 mg/L) ve kireç (250 mg/L) + a.polielektrolit (8 mg/L) uygulamalarında sırasıyla %96, %63 KOİ arıtımı gerçekleşmiştir. Ancak, kaolinit ile karşılaştırıldığında polielektrolit kullanılması yağ-gres dışında fazla etkisinin bulunmadığı görülmektedir (Şekil 4 ve 5). Özellikle alum ile beraber kullanılması halinde AKM miktarında artış görülürken, demir üç klorür ile birlikte uygulandığında AKM verimi azalmıştır.

Evsel atıksu örneklerinin arıtımında ise kaolinitin flokülant olarak kullanılması arıtma verimini arttırmıştır. Optimum dozlar alum, demir

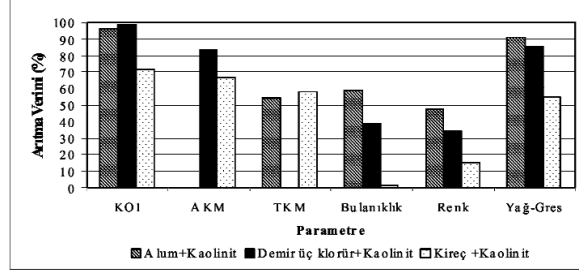
üç klorür ve kireç için 4 mg/L olarak belirlenmiştir. En yüksek KOİ giderimi alum (250 mg/L) + kaolinit (4 mg/L) uygulamasından (%82) elde edilmiştir. Bunu sırasıyla demir üç klorür (25 mg/L) + kaolinit (4 mg/L) ile kireç (10 mg/L) + kaolinit (4 mg/L) izlemektedir. Alum + kaolinit yağ-gres dışında diğer izlenen parametreler bakımından da diğer koagülantlara kıyasla etkili olmuştur. Özellikle bulanıklık tümüyle, renk ise %90'a yakın oranda giderilmiştir. Kaolinite alternatif olarak kullanılan polielektrolit ile de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Polielektrolit için optimum dozlar alum, demir üç klorür ve kireç için değişmemiş, 4 mg/L olarak belirlenmiştir. En yüksek KOİ verimi alum + polielektrolit uygulamasında gerçekleşmiştir (%75), bunu demir üç klorür ile kireç izlemiştir. AKM giderimi bakımından alum ile beraber polielektrolit veya kaolinit kullanılmasının bir etkisi belirlenmemiştir. Ancak, demir üç klorür ve kireç ile polielektrolit kullanılması halinde kaolinite oranla AKM veriminde azalma görülmüştür. İzlenen diğer kirlilik parametreleri bakımından da kaolinite alternatif polielektrolit kullanılmasının farklı bir etkisi gerçekleşmemiştir (Şekil 6-7).

TARTIŞMA

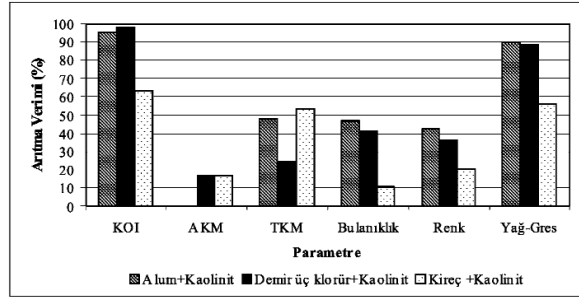
Sunulan çalışmada kil grubu minerallerinden kaolinitin koagülant ve flokülant olarak atıksuların arıtılmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kacha ve ark. (2003), Zemaitaitiene ve ark. (2003) ve Song ve ark. (2004) tarafından inorganik koagülantlar ve sentetik flokülantlar ile yapılan kimyasal arıtılabilirlik çalışmalarının devamı niteliğindeki araştırmadan elde edilen sonuçlar kaolinitin çevre mühendisliği uygulamalarında kullanımının artırılmasını desteklemiştir.

Evsel atıksuyun kaolinit kullanılarak kimyasal arıtımı neticesinde yaklaşık %45 oranında KOİ giderimi gerçekleşmiştir. Optimum kaolinit dozu 50 mg/L olarak belirlenmiştir. Literatürde evsel atıksuların kimyasal arıtımına ilişkin çalışmalara bakıldığında alum, demir tuzları veya kireç kullanılması durumunda maksimum %30-55 oranında KOİ giderimi elde edilebileceği ifade edilmektedir (Alpaslan ve ark. 1997; Dölgen ve ark. 2004). Bu verilere göre kaolinit diğer koagülantlar ile karşılaştırıldığında KOİ giderimi bakımından önemli farklılık göstermemiştir. Kaolinit katı madde giderimi bakımından ise verimli bulunmamıştır. Kaolinit dozunun artması katı madde giderim verimini bir miktar arttırmakla birlikte maksimum

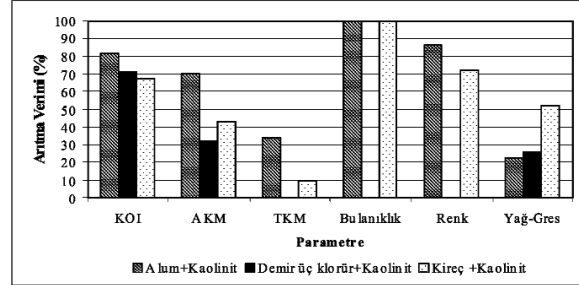
Şekil 4. Proses atıksuyunun arıtımında kaolinitin flokülant olarak kullanılması halinde elde edilen arıtma verimleri.



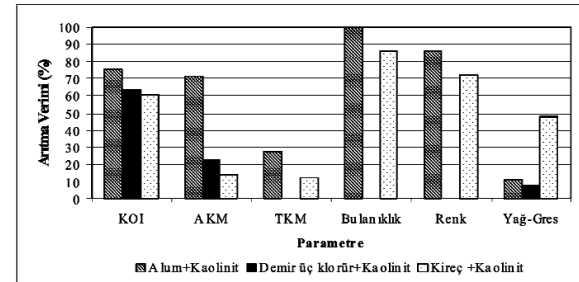
Şekil 5. Proses atıksuyunun arıtımında polielektrolitin flokülant olarak kullanılması halinde elde edilen arıtma verimleri.



Şekil 6. Evsel atıksuyun arıtımında kaolinitin flokülant olarak kullanılması halinde elde edilen arıtma verimleri.



Şekil 7. Evsel atıksuyun arıtımında polielektrolitin flokülant olarak kullanılması halinde elde edilen arıtma verimleri.



AKM verimi %29 olarak belirlenmiştir. Öte yandan, kaolinitin flokülant olarak alum, demir üç klorür, kireç gibi koagülantlar ile birlikte kullanılması verimi arttırmıştır. Bu koşullarda en yüksek KOİ giderimi kaolinitin alum ile birlikte uygulanmasıyla elde edilmiştir. Bu çalışmada KOİ gideriminin yanı sıra AKM, bulanıklık ve renk giderimi daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, kaolinit sentetik polielektrolit ile karşılaştırıldığında daha verimli olmuştur. Bilindiği gibi evsel atıksuların arıtımında en iyi sonuçlar biyolojik arıtma neticesinde alınmaktadır (Guyer 1998, Aiyuk ve ark. 2004). Bu nedenle evsel atıksu ile yapılan kimyasal arıtılabilirlik çalışmaları sonucunda çok etkili giderim verimlerine ulaşılmaması beklenen bir sonuç olmuştur. Bununla birlikte, kaolinitin flokülant olarak kullanılmasının verimliliği artırması bu yöntemin küçük ölçekli evsel nitelikli atıksular için kullanılabilceğini ortaya koymaktadır.

Oluklu mukavva endüstrisi boya-baskı işlemlerinden kaynaklanan proses atıksuyunun arıtımında kaolinit koagülant olarak etkili bulunmuştur. Farklı kaolinit dozları için elde edilen KOİ giderim verimleri incelendiğinde özellikle 400-1200 mg/L arasındaki dozlar için verimin %95 ve üzeri olduğu görülmektedir. Maksimum KOİ giderimi 1000 mg/L dozunda elde edilmiş olmakla birlikte, 400 mg/L'in üzerindeki dozlar için verimin %95-96 arasında değiştiği, önemli farklılıklar göstermediği göz önüne alındığında optimum kaolinit dozunun 400 mg/L olarak seçilmesi uygun olarak değerlendirilmiştir. Kaolinitin koagülant olarak eklenmesi durumunda KOİ veriminin yüksek bulunup, buna karşın katı madde gideriminin düşük olması elektriksel çift tabakanın sıkıştırılmak suretiyle tanecik stabilizasyonunun sağlanması ve demir tuzları oluşturarak çökelmelerinin yerine adsorpsiyon ile yük nötralizasyonunun sağlandığı şeklinde yorumlanmıştır. Bu halde, atıksudaki çözünmüş formdaki kirlilikler malzemenin yüzeyinde tutunmak suretiyle KOİ giderimi sağlarken, koloidal ve askıda formdaki kirliliklerin çöktürülmesi mümkün olamamış ve etkili bir katı madde ayırımı gerçekleşmemiştir. Öte yandan, işletmede boya-baskı işlemlerinde kullanılan su bazlı boyalardan kaynaklanan renk, kaolinit ile %70'e varan oranlarda giderilebilmiştir. Katı madde gideriminin yüksek olmadığı halde %70 oranında renk giderimi sağlanabilmesi kaolinitin adsorptif özelliklerinin yüksek olması açıklamasını desteklemektedir. Bu

sonuçlar Joo ve ark. (2005)'nin reaktif boyaların renklerinin gideriminde inorganik koagülantlar ile yaptıkları çalışmalarla da uyum göstermektedir.

Kaolinit, flokülant olarak kullanılması durumunda KOİ giderim verimini arttırmıştır. Literatürde kaolinitin flokülant olarak kullanıldığı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Goldberg 2002, Ghosh ve ark. 2002, Osborne ve ark. 2002). Kaolinitin flokülant olarak kullanılması durumunda en başarılı sonuçlar demir üç klorür ile yapılan çalışmalarda elde edilmiştir. Kaolinit demir üç klorür ile birlikte kullanıldığında (50 mg demir üç klorür/L + 4 mg kaolinit/L) %98,5 KOİ, %83 AKM ve %85 Yağ-gres giderimi gerçekleşmiştir. Daha yüksek katı madde giderimi sağlanması metal tuzlarının oluşarak çökelmeleri, adsorpsiyon mekanizması ve kaolinitin tanecikler arasında köprü vazifesi görerek stabilizasyon sağlanması şeklinde yorumlanmıştır. Öte yandan, koagülant olarak demir üç klorür kullanılması renk giderim veriminin (%39) azalmasına neden olmuştur. Kaolinite alternatif olarak sentetik polielektrolit kullanılması durumunda KOİ giderim verimi çok az artarak %98 olmuş, ancak katı madde giderimi daha verimli bulunmamıştır. Bu durumda maliyet faktörü de göz önüne alındığında kaolinitin doğal bir malzeme olması nedeniyle sentetik polielektrolite kıyasla daha ucuz olmasından, kaolinitin kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Bu anlayışla çalışma kapsamında kullanılan kimyasal maddelerin birim fiyatları esas alınarak maliyetleri kestirilmiştir. Yukarıda belirtildiği üzere evsel atıksuyun kimyasal arıtımında koagülant olarak kaolinit, kireç veya demir üç klorürün kullanılması verim üzerinde önemli farklılıklar yaratmamıştır. Optimum dozlardan yola çıkarak yapılan hesaplara göre birim maliyetler kaolin, kireç ve demir üç klorür için sırasıyla 0,025 YTL/m³, 0,08 YTL/m³ ve 0,225 YTL/m³ olarak belirlenmiştir. Kaolinitin flokülant olarak kullanılması durumunda en verimli uygulama alum + kaolinit ile elde edilmiştir. Bu durumda 1 m³ atıksuyun arıtımı için kullanılacak alum ve kaolinitin maliyeti 1,202 YTL'dir. Kaolinit yerine sentetik polielektrolit kullanılması birim maliyeti 1,222 YTL mertebesine yükseltmiştir. Koagülantlar proses atıksuyu arıtımında oldukça etkili bulunmuş, %90'ın üzerinde arıtma elde edilmiştir. Kireç en düşük maliyetli malzeme olarak belirlenmiştir (0,02 YTL/m³). Kaolinit kullanılması durumunda 1 m³ atıksuyun

arıtımı için 0,2 YTL'lik maliyet oluşmaktadır. Alüminyum ve demir üç klorür ise daha yüksek maliyetli bulunmuşlardır. Kaolinit flokülant olarak demir üç klorür ile birlikte kullanıldığında en başarılı neticeler elde edilmiştir. Bu halde birim maliyet 0,452 YTL/m³ olarak belirlenmiştir. Kaolinit yerine polielektrolit kullanıldığında ise birim maliyet artmıştır (0,461 YTL/m³).

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Madencilik Özel İhtisas Komisyonunun endüstriyel hammaddelere ilişkin raporunda (Anonymous 1995) ülkemizin kaolinit rezervleri bakımından zengin olduğu; rezervlerin büyük oranda seramik, çimento, kağıt sanayi alanlarında değerlendirildiği belirtilmektedir. Öte yandan, doğal ve kolay temin edilebilir malzemelerin arıtmanın çeşitli kademelerinde kullanımı, çevresel etkileri ve arıtma maliyetlerine olumlu etkilerinden dolayı

yaygınlaşmaktadır (Bratskaya ve ark. 2002, Roussy ve ark. 2004). Bu çalışma ile arıtma performansı oldukça yüksek olan kaolinitin, atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan koagülant ve flokülantlara alternatif bir malzeme olabileceği ortaya konmuştur. Kaolinit ile yapılan arıtılabilirlik çalışmalarından olumlu sonuçların elde edilmiş olması malzemenin çevre mühendisliği uygulamalarında kullanımının artırılmasını ve bu alanda yürütülecek araştırmaların genişletilerek sürdürülmesini desteklemektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Araştırma İnceleme Fonu tarafından desteklenen 03.KB.FEN.050 no'lu proje kapsamında yapılmıştır. Verdiği destek nedeniyle Dokuz Eylül Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aiyuk S, Amoako J, Raskin L, Haandel A, Verstraet W (2004) Removal of carbon and nutrients from domestic wastewater using a low investment, integrated treatment concept. *Water Research* 38, 3031-3042.
- Alpaslan MN, Dolgen D, Akyarlı A (2002) Liquid waste management strategies for coastal areas. *Water Science and Technology* 46, 8, 169-175.
- Alpaslan N, Dolgen D, Hacaloglu F, Catalkaya D (1997) Evsel atıksuların kireç ile arıtılması. In: Çevre Korumasında Kireç Semineri, 17-18 Ağustos 1997, Sakarya, 42-50.
- Anonymous (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th Edition, American Public Health Association (APHA), Baltimore.
- Anonymous (1995) T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Madencilik ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu. Seramik-Refrakt.-Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu Cilt - 2, Yayın No: DPT: 2418 - ÖİK: 477, Ankara.
- Anonymous (2001) T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu. Toprak Sanayi Hammaddeleri (Çimento Hammaddeleri) Çalışma Grubu Raporu. Yayın No: DPT:2614-ÖİK:625, Ankara.
- Bratskaya SY, Avramenko VA, Sukhoverkhov SV, Schwarz S (2002) Flocculation of humic substances and their derivatives with chitosan. *Colloid Journal* 64, 6, 681-685.
- Dölgen D, Haşçakır B, Akkuş M (2004) Kil Minerallerinin Çevre Mühendisliği Uygulamaları: Evsel Atıksu ile Yapılan Denemeler. In: V. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 5-8 Ekim 2004, Bolu, 96-102.
- Ghosh G, Bhattacharyya KG (2002) Adsorption of methylene blue on kaolinite. *Applied Clay Science* 20, 295-300.
- Goldberg S (2002) Competitive adsorption of arsenate and arsenite on oxides and clay minerals. *Soil Science Society of America Journal* 66, 413-421.
- Golob V, Vinder A, Simonic M (2005) Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents. *Dyes and Pigments* 67, 93-97.
- Guyer HH (1998) Industrial Processes and Waste Stream Management. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Haşçakır B, Dölgen D (2005) Oluklu Mukavva Endüstrisi Boya-Baskı İşlemlerinden Kaynaklanan Atıksuların Kimyasal Arıtımı. In: 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Ulusal Çevre Politikaları ve Temiz Üretim, 24 Kasım 2005, İstanbul, 248-255.
- Ingram DS, Vince-Prue D, Gregory PJ (2003) Science and The Garden The Scientific Basis of Horticultural Practice. Blackwell Science Ltd., Oxford.

- Joo DJ, Shin WS, Choi SJ, Kim MC, Han MH, Ha TW, Kim YH (2005) Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. *Dyes and Pigments* 73, 59-64.
- Kacha S, Derriche Z, Elmaleh S (2003) Equilibrium and kinetics of color removal from dye solutions with bentonite and polyaluminium hydroxide. *Water Environment Research* 75, 1, 15-20.
- Kim TH, Park C, Shin EB, Kim S (2004) Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride. *Desalination* 161, 1, 49-58.
- Li H, Sheng G, Teppen BJ, Johnston CT, Boyd SA (2003) Sorption and desorption of pesticides by clay minerals and humic acid-clay complexes. *Soil Science Society of America Journal* 67, 122-131.
- Osborne B, McCabe R, Holder J, Richardson S (2002) Sorption of caesium and strontium by clay minerals. *ESPR-Environmental Science and Pollution Research* 3, 80-81.
- Peavy HS, Rowe DR, Tchobanoglous G (1985) *Environmental Engineering*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Roussy J, Chastellan P, Vooren M, Guibal E (2005) Treatment of ink-containing wastewater by coagulation/ flocculation using biopolymers. *Water SA* 31, 3, 369-376.
- Song Z, Williams CJ, Edyvean RGJ (2004) Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. *Desalination* 164, 249-259.
- Tayim HA, Al-Yazouri AH (2005) Industrial wastewater treatment using local natural soil in Abu Dhabi, U.A.E. *American Journal of Environmental Sciences* 1, 3, 190-193.
- Tchobanoglous G, Burton FL (1991) *Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Zemaitaitiene RJ, Zlobaite E, Klimaviciute R, Zemaitaitis A (2003) The role of anionic substances in removal of textile dyes from solutions using cationic flocculant. *Colloid Surface* 214, 1-3, 37-47.