

İçme suyu kaynaklarındaki doğal organik maddelerin zenginleştirilmiş koagülasyon yöntemi ile giderilmesi

Vedat UYAK*, İsmail TORÖZ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

İçme suyunda klorlama işlemi süresince, klor doğal organik maddelerle (DOM) reaksiyona girerek trihalometan (THM) ve haloasetik asit (HAA) gibi insan sağlığına zararlı olduğu belirtilen dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ) meydana getirir. Zenginleştirilmiş koagülasyon metodu, sudaki organik maddeyi gidererek içme suyundaki DYÜ oluşumunu azaltan bir arıtma tekniğidir. Bilimsel olarak, organik maddenin koagülasyonla giderilmesi, sudaki DOM'un konsantrasyonuna, DOM'un kimyasal yapısına ve bileşimine, koagülant türüne, koagülant dozuna ve koagülasyon pH'ına bağlıdır. Günümüzde, içme suyu arıtma tesislerinin en önemli problemlerinden biri sudaki DOM'u minimize etme konusunda güçlüklerle karşılaşmalarıdır. Alüminyum sülfat ve demir klorür DOM'u iki genel mekanizma ile giderebilmektedirler. Birinci mekanizmada DOM alüminyum ve demir hidroksit flokları üzerinde adsorbe edilir. İkinci mekanizmada ise çözünmez kompleksler oluşturularak, flokların su ortamından uzaklaştırılması sağlanır. Humik ve fulvik asitler alüminyum hidroksit veya demir hidroksit çökeltisinin oluşumundan önce, çoğu pH şartlarında çok güçlü kuvvetli ligant gibi davranan demir ve alüminyum katyonik türleri ile öncelikle kompleks oluşturmaktadırlar. Bu adsorbsiyon işlemi katılar ile birlikte çözünebilir kompleksleri de içerir. İkinci mekanizma, metal komplekslerinin oluşumu için ligant görevi yapan DOM'un asiditesinden etkilenmektedir. Bu çalışmanın amacı İstanbul'un en önemli yüzeysel su kaynaklarından biri olan Büyükçekmece Gölü suyunda zenginleştirilmiş koagülasyon ile jar testi deneyleri gerçekleştirerek, zenginleştirilmiş koagülasyon prosesinin ÇOK, UV₂₅₄, ve THM oluşum potansiyeli (THMOP) arıtma verimi belirlemeye çalışmaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğal organik maddeler, dezenfeksiyon yan ürünleri, zenginleştirilmiş koagülasyon.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Vedat UYAK. uyakv@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 67 87.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "İstanbul içme suyu kaynaklarında dezenfeksiyon yan ürünleri öncü bileşiklerinin zenginleştirilmiş koagülasyon yöntemi ile giderilmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 10.07.2006 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 20.09.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Removal of natural organic matter from water sources by enhanced coagulation method

Extended abstract

The disinfection of water with chlorine results in formation of disinfection by-products (DBP), such as trihalomethanes (THM) and haloacetic acids (HAA). It has been shown that natural organic matter (NOM) is a likely precursor material for THM and HAA formation. Among DBP found in chlorinated water, THM and HAA have been the focus of particular attention because they are considered potentially carcinogenic. Concerns about health risks associated with DBP have prompted several industrialized countries to establish maximum acceptable levels for THM and HAA concentrations in drinking water. In the United States (US), more stringent DBP regulations have been promulgated, placing limits on THM and HAA. The US Environmental Protection Agency (USEPA) drinking water limits for THM and HAA is 80 µg/L, and 60 µg/L, respectively. Recently most of the European countries regulated THM in their water at the level of 100 µg/L. Further, there has been a 150 µg/L THM limit Turkish Drinking Water Regulation since 2005.

Aluminum or iron coagulation may remove NOM by two general mechanisms. The first one is adsorption onto aluminum hydroxide [Al(OH)₃] or iron hydroxide [Fe(OH)₃] floc, and the second mechanism is formation of insoluble complexes in a manner analogous to charge neutralization. Generally, the former mechanism is more dominant at a higher coagulant dosages and higher pH values; whereas the later mechanism is relatively more dominant at lower dosages and lower pH conditions. Enhanced coagulation (EC) efficiently removes DBP precursors from source water. The term of EC refers to the modification of the coagulation process to achieve greater DBP precursors treatment. Reduction in the concentration of organic precursors prior to the application of disinfectant could be expected to result in a decrease in DBP formation. The objectives of this study were to evaluate the effect of alum and ferric chloride coagulation dosages on DBP precursors removal. Thus, DOC, ultraviolet absorbance at 254 nm (UV₂₅₄), and the associated reductions in THM formation potential (THMFP) removal in Büyükçekmece water were investigated. The coagulant dosages were ranged from 20 to 160 mg/L,

when treating Büyükçekmece water. It has been found that, at similar coagulant dosages, ferric chloride consistently outperformed alum in terms of DOC removal from raw water. As both coagulants dosages increased further, the reduction in DOC also increased gradually. It was concluded that ferric chloride has the maximum DOC removal capacity of 58% at the dosage of 120 mg/L while 120 mg/L alum treatment resulted in an overall DOC removal 48%. The overall fraction of NOM amenable to coagulation by ferric chloride is greater than for alum. Although other studies show a greater affinity of a fraction of NOM for ferric hydroxide than for aluminum hydroxide, in our study alum flocs adsorbed more DOC substances than ferric flocs. On the other hand, since ferric chloride produces more hydroxide flocs than alum, the overall DOC removal efficiency is found to be high for ferric than alum. UV₂₅₄ is instrumental in identifying the aromatic content of water. Ferric reduced the UV₂₅₄ level to 0.028 cm⁻¹ with the dosage of 120 mg/L, while, 100 mg/L alum coagulation of UV₂₅₄ resulted in an absorbance level of 0.050 cm⁻¹. The percent removal of UV₂₅₄ with ferric chloride and alum was about 79, 62%, respectively. As observed in all the cases, at similar coagulant dosages, ferric chloride consistently outperformed alum for UV₂₅₄ removal. In this study, the UV₂₅₄ material was generally removed to a greater extent than DOC. These results are consistent with literature findings suggesting that aromatic materials are removed more effectively by chemical coagulation than other NOM fractions. The THMFP tests were used to evaluate one aspect of THM formation resulting from precursor removal by EC. Reduction in THMFP is attributed to removal of THM precursors. Thus, the trends in THMFP reduction as a function of ferric chloride and alum dosage are similar to those observed with DOC. It was found that ferric chloride was found to be more effective than alum in terms of THMFP removals. The maximum THMFP removal with ferric chloride coagulation was 71 percent for 120 mg/L ferric chloride dosage, and 50 percent for 120 mg/L alum dosages, respectively. Thus, EC appears to be an effective treatment technique for THMFP removal from Büyükçekmece water in this study. The results showed that at similar coagulant dosages, expresses as dry weight of coagulant, ferric chloride consistently outperformed alum in terms of DOC, UV₂₅₄ and THMFP removals.

Keywords: Natural organic matters, disinfection by-products, enhanced coagulation.

Giriş

İçme suyunun klor ile dezenfeksiyonu trihalometan (THM) ve haloasetik asit (HAA) gibi dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) oluşumuna neden olmaktadır (Rook, 1974, Crozes vd., 1995, Krasner ve Amy, 1995). Dolayısıyla, sudaki doğal organik maddeler (DOM), THM ve HAA oluşumu için olası bir öncü bileşik görevi üstlenmektedir. Klorlanmış içme suyu içinde oluşan DYÜ arasında THM ve HAA'ler 1970'lerden beri en fazla çalışılan ve kanserojen yapabileme özelliği açısından en şüpheli görülen DYÜ türleridir (Crozes vd., 1995, Vrijenhoek vd., 1998). Bazı hayvanlar üzerinde yapılan epidemiolojik çalışmalar, bu bileşiklerin insanlarda kalın bağırsak kanseri, mide kanseri, lenf kanseri gibi hastalıklara yol açtığı sonucunu ortaya çıkartmaktadır (Crozes vd., 1995, Krasner ve Amy, 1995). Bundan dolayı, bu bileşikler yoluyla içme suyu oluşacak sağlık risklerini azaltmak için, gelişmiş ülkelerde özellikle Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde bu iki bileşik için "maksimum kabul edilebilir seviye" diye adlandırılan bazı limitler oluşturulmuştur. ABD'de, Çevre Koruma Ajansı (EPA), THM ve HAA için 80 µg/L ve 60 µg/L limiti getirmiştir (USEPA, 1998). AB ülkelerinde sadece THM için 100 µg/L limiti içme suyu yönetmeliklerinde yerini almıştır (EECD, 1998). Öte yandan AB'ye üye olma noktasındaki ülkemizde, Şubat 2005'te yürürlüğe giren yönetmelikle THM limiti 150 µg/L olarak belirlenmiştir (ITASY, 2005).

Alüminyum sülfat ve demir klorür koagülanları doğal organik maddeleri (DOM) iki genel mekanizma ile giderebilmektedir. Birinci mekanizmada DOM, alüminyum ve demir hidroksit flokları üzerinde adsorbe edilir. İkinci mekanizmada ise çözünmeyen kompleksler oluşturularak, flokların su ortamından uzaklaştırılması sağlanır (USEPA, 1998, Amirtharaj, 1990). Genellikle, hümik ve fülvik asitler, çoğu pH şartlarında kuvvetli ligand görevi üstlenen demir ve alüminyum katyonik türleri ile kompleks oluştururlar. Daha sonra, adsorbsiyon işlemi vasıtasıyla bu kompleksler katı forma dönüştürülür ve ardından çökeltme işlemi ile bu katı formlar sudan uzaklaştırılır.

Zenginleştirilmiş koagülasyon yöntemi, teknik terminolojide DYÜ öncü bileşikler olarak adlandırılan çözünmüş organik karbon (ÇOK), UV₂₅₄ ve THM oluşum potansiyelinin (THMOP) verimli bir şekilde su kaynağından giderilmesini sağlar (Krasner ve Amy, 1995). Bu yeni yöntemin konvansiyonel koagülasyon prosesinden farkı suya yüksek dozajlarda koagülan ekleyerek yüksek miktarda hidroksit floklarının oluşumunu sağlamaktır. Yani başka bir deyişle, koagülasyon işleminde koagülan dozajında yapılan artışlara verilen addır. İçme suyu klorlama işleminden önce organik öncü bileşiklerin giderilmesi, DYÜ oluşum miktarını doğal olarak azaltmaktadır. Bu çalışmanın amacı, alüminyum sülfat ve demir klorür koagülanları kullanılarak Büyükçekmece su kaynağında DYÜ öncü bileşiklerini temsil eden ÇOK, UV₂₅₄ ve THMOP parametrelerinin artılabileme verimlerinin Jar Testi deneyleri ile belirlenmesidir.

Materyal ve yöntem

Bu çalışmada ele alınan su kaynağı Büyükçekmece deltasında yer alan Büyükçekmece Gölü'dür. Tablo 1'de bu çalışmada kullanılan su numunesine ait kalite parametreleri yer almaktadır. Jar Testi deneyleri sırasında ham su direkt gölden temin edilmiş ve herhangi bir ön arıtma işlemine tabi tutulmamıştır. Ham su numunesi toplandıktan sonra aynı gün içerisinde laboratuvara ulaştırılmış ve oluşması muhtemel biyolojik aktiviteleri engellemek amacıyla karanlıkta ve soğutucuda +4°C'de muhafaza edilmiştir. Jar Testi deneyleri Bird&Phipps marka 6 pedallı Jar Testi aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Jar testlerinde kullanılan beherler 1 litre kapasitelidir. Koagülasyon sırasında beherlere 20 ile 160 mg/L arasında 20 mg/L'lik artışlarda alüminyum sülfat (Al₂(SO₄)₃) ve demir klorür (FeCl₃) eklenmiştir. Jar Testinin karıştırma şartları 2 dakika boyunca 150 rpm'de hızlı karıştırma ve 30 dakika boyunca 30 rpm'de yavaş karıştırma koşullarından oluşmaktadır. Koagülasyondan işleminin ardından beherlerde bulunan su numuneleri 60 dakika boyunca çökeltme işlemine tabi tutulmuş ve ardından üst faz 0.45 µm membran filtreden süzülerek ÇOK UV₂₅₄ ve THMOP çalışmalarını gerçekleştirmek üzere kullanılmıştır.

ÇOK ölçümleri, Standart Metot'larda belirtilen 3510 B nolu Yanma Infrared metoduna göre gerçekleştirilmiştir (APHA, 1998). ÇOK analizleri otomatik bir numune alıcı ile donatılmış Shimadzu TOC-5000 cihazı ile yapılmıştır. Numuneler platinyum oksit katalizörü ile kaplı bir ısıtılmış reaksiyon çemberine enjekte edilmiştir. Ardından numunedeki tüm organik karbon CO₂ gazına dönüştürülmüş ve bu inorganik gaz nondispersif infrared analizörü ile ölçülmüş ve ppm olarak kaydedilmiştir.

UV₂₅₄ absorbans ölçümleri 254 nm dalga boyunda 1 cm'lik kuvars hücreye sahip Shimadzu 1601 marka bir spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerde girişime sebep olabilecek safsızlıklar 0.45 µm membran filtreden süzme işlemi sayesinde elimine edilmiştir. Cihaz ultra saf su kullanılarak sıfırlanmış ve ardından ölçüm hücresi 2 kez numune ile yıkanmış ve daha sonra numune ile ağzına kadar içinde hiç hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Bu işlemin ardından 254 nm'de absorbans değerleri ölçülmüştür.

THMOP testi Standart Metotlarda tanımlanan 5710 B nolu ölçüm metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (APHA, 1998). Bu testin amacı, su kaynağının oluşturabileceği maksimum THM miktarını belirlemektir. Bu kapsamda, su numunelerine 2.5 ml fosfat tampon çözeltisi eklenerek pH'ları 7'ye ayarlanmıştır. Bu işlemin ardından numuneye eklenecek klor miktarı 4 saatlik bir test sonucu belirlenmiş ve ardından hesaplanan klor miktarı numuneye eklenerek, bu numuneler +25 °C'de 7 gün inkubasyona bırakılmıştır. Klorlama reaksiyonları 125 ml'lik teflon kapaklı viallerde gerçekleştirilmiştir. 7 günlük periyodun sonunda numunelerdeki bakiye klor miktarı ölçülerek, numuneler THM ölçümü yapılmak üzere buzdolabına konmuştur.

THM ölçümleri sıvı-sıvı ekstraksiyon yöntemi ile Hewlett Packard marka gaz kromatograf cihazında EPA 551 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir (USEPA, 1990). Su fazındaki THM bileşikleri pentan solventi kullanılarak ekstrakte edilmiş ve ardından 2 ml'lik viallere aktarılmıştır. Bu vialer cihazın oto analizör kısmına yerleştirilmiş ve ar-

dından gaz kromatografa enjekte edilmesi için cihaz kumanda edilmiştir. Kumanda işlemi Chemstation yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süresi toplam 38 dakika olarak kaydedilmiştir. Cihazda detektör olarak mikro elektron yakalayıcı detektör kullanılmış ve numuneler kapiler kolonda (DB-5, 30m*0.32mm I.D.*0.30µm) helyum gazı ile taşınmıştır. Bu metodun minimum tayin limiti 0.1 µg/L'dir.

Tablo 1. Büyükçekmece Gölü ham su kalite parametreleri

Parametre	Birim	Değer
Sıcaklık	°C	14.5
pH	-	8.0
Alkalinite	mg CaCO ₃ /L	130
Bulanıklık	NTU	2.3
ÇOK	mg/L	4.22
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0.131
SUVA	L/mg*m	3.10
THMOP	µg/L	255

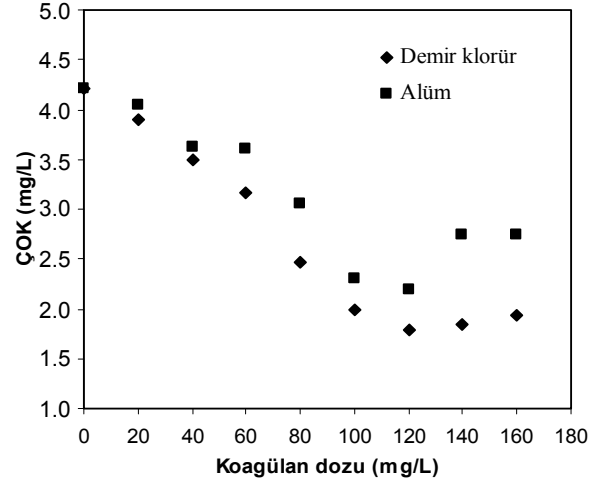
Deneyel çalışma sonuçları

Koagülan dozajının ÇOK giderimi üzerindeki etkisi

Büyükçekmece su kaynağında yapılan Jar Testi deneyleri sonucu elde edilen veriler alüminyum ve demir klorür koagülanlarının organik öncü bileşikleri arıtılabilirliği açısından karşılaştırılmıştır. Şekil 1'de 20-160 mg/L koagülan dozaj aralığında, demir klorür ve alüminyumun ÇOK giderme performansı gösterilmektedir. Aynı koagülan dozajlarında, demir klorürün alüminden daha fazla ÇOK giderdiği belirlenmiştir (Şekil 1). Demir klorürün maksimum ÇOK giderme yüzdesi 120 mg/L dozajda % 58 olurken, alüminyumun 120 mg/L dozajda % 48 ÇOK giderebilmiştir. Bu sonuçlar, koagülasyonla giderilebilen DOM fraksiyonlarının demir klorürle alümine nazaran daha etkin bir şekilde giderildiğini göstermiştir. Diğer yandan, literatürde bu fraksiyonların alüminyum hidroksit floklarından ziyade, demir hidroksit floklarına daha fazla ilgi gösterdiği belirtilmiş ve bu iki koagülan arasındaki ÇOK giderme veriminin hidroksit floklarının adsorpsiyon kapasitelerinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Fakat bu çalışmada literatürde belirtilen-

lerin tersine, Büyükçekmece suyunda alüminyum hidroksit floklarının demir hidroksit floklarından % 16 daha fazla miktarda ÇOK adsorpladığı tespit edilmiştir. Diğer yandan, demir klorür koagülanı alüme nazaran daha fazla alkalinite tükettiğinden ve dolayısıyla daha fazla miktarda hidroksit floğu oluşturduğundan dolayı, demir klorürle yapılan koagülasyon çalışması alümden daha fazla miktarda ÇOK giderimine sebep olmuştur. Crozes ve arkadaşları demir hidroksit flokları üzerinde, alüminyum hidroksit floklarına nazaran daha fazla aktif uç bulunduğunu ve demir hidroksit floklarının alüminyum hidroksit floklarına göre ortalama 2 kat daha fazla pozitif yük taşıdığını göstermişlerdir (Crozes vd., 1995, Krasner ve Amy, 1995). 1 mg demir klorür 0.55 mg/L CaCO₃ alkalinite tüketirken, 1 mg alüm 0.45 mg/L CaCO₃ alkalinite tüketmektedir (Ebeling vd, 2003). Crozes ve arkadaşları aynı dozajlarda demir klorürün suda alümden 2 kat daha fazla miktarda hidroksit oluşturduğunu belirtmişlerdir (Crozes vd., 1995). Sonuç olarak, aynı koagülan dozajlarında, elde edilen pH değeri demir klorür için daha düşüktür. Literatürde de belirtildiği gibi, düşük pH değerleri humik maddelerin protonlaşmasını ve koagülan türlerinin pozitif yüklerini artırmaktadır (Edwards ve Benjamin, 1997). Bu iki olayda suyun koagülan ihtiyacını azaltmakta ve organik yapıların koagülan hidroksitleri üzerinde adsorpsiyonunu sağlamaktadır. Öte yandan, demir klorür çözeltisi içindeki yüksek miktardaki aktif metal konsantrasyonu ve yüksek moleküler ağırlığa sahip demirden dolayı, aynı koagülan dozajlarında, demir klorür alüme göre suda daha fazla hidroksit floğu oluşturmaktadır (Bottero, 1989). Sonuç olarak, demir klorür koagülanının Büyükçekmece suyunda zenginleştirilmiş koagülasyon uygulaması için en uygun koagülan olduğu deneysel verilerle belirlenmiştir. Demir klorür, düşük miktarda çamur oluşumu, düşük pH değerlerine kolay inebilme kabiliyeti ve yüksek miktarda DOM giderebilme özelliğinden dolayı su arıtımında büyük avantajlar sağlamaktadır. Zenginleştirilmiş koagülasyon uygulamasının öncelikli hedefi yeteri miktarda ÇOK giderimi yaparak, oksidasyon ve dezenfeksiyon işlemlerinde gerekli klor miktarının kullanılabilmesine olanak sağlamak ve içme su-

yu şebekesinde oluşacak THM miktarlarını minimize etmektir.



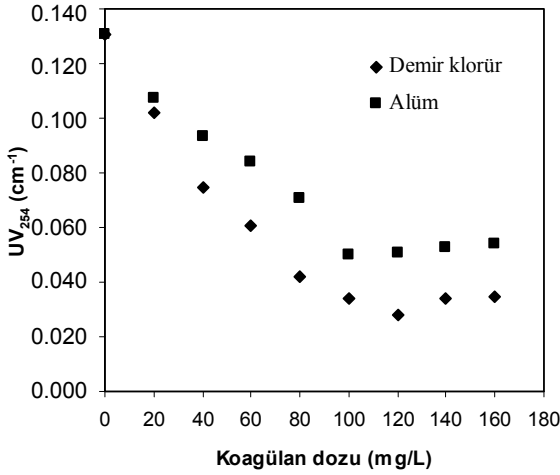
Şekil 1. Demir klorür ve alüminyum sülfat ile ÇOK giderimi

Koagülan dozajının UV₂₅₄ giderimi üzerindeki etkisi

UV₂₅₄ absorbans değeri suyun aromatik içeriğini tanımlanmasında kullanılan bir parametredir. Şekil 2 farklı dozajlardaki demir klorür ve alüm koagülasyonunda elde edilen UV₂₅₄ seviyelerini göstermektedir. Demir klorür 120 mg/L dozaj ile UV₂₅₄ seviyesini 0.028 cm⁻¹'e düşürürken, 100 mg/L'lik alüm koagülasyonu aromatik maddelerin UV₂₅₄ absorbans miktarını 0.050cm⁻¹'ye indirmiştir. Jar Testi çalışmalarında elde edilen maksimum UV₂₅₄ arıtma verimi 120 mg/L demir klorür ve 100 mg/L alüm için sırasıyla %79 ve %62'dir. ÇOK giderimine benzer olarak, UV₂₅₄ gideriminin aynı koagülan dozlarında, demir klorür ile alüme göre daha fazla giderildiği tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu çalışmada UV₂₅₄ oluşturan yapılar ÇOK'u oluşturan yapılara göre daha fazla miktarda giderilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla demir klorür ve alüm koagülasyonu ile elde edilen ÇOK ve UV₂₅₄ arıtma verimleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü gibi, UV₂₅₄'ün giderim miktarı ÇOK'un giderim miktarından daha fazladır. Bu sonuçlar aromatik maddelerin koagülasyon prosesinde diğer DOM fraksiyonlarına nazaran daha etkin şekilde giderildiğini

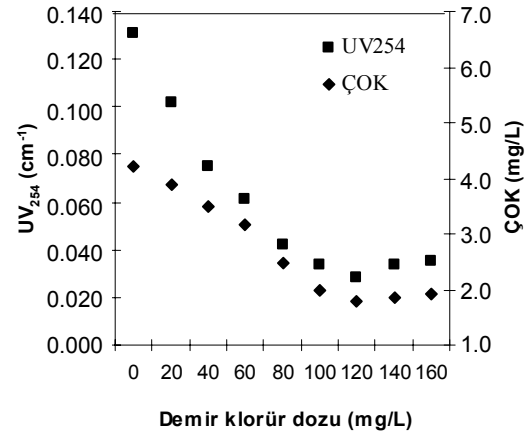
göstermektedir (Edwards ve Benjamin, 1997, Crosby, 1983). Aromatik maddeler THM oluşumunu artıran organik yapılar olduğu için, içme suyu arıtma tesisinde etkin bir şekilde giderilmeleri gerekmektedir.



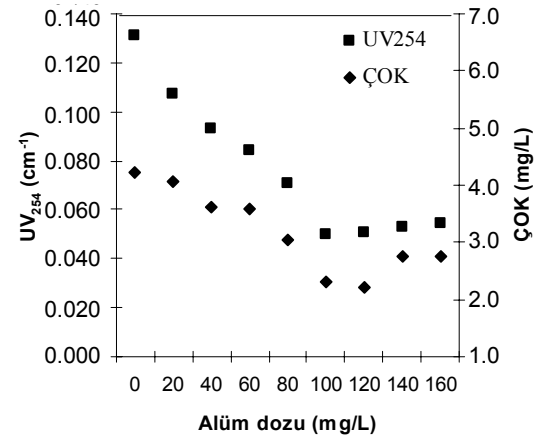
Şekil 2. Demir klorür ve alüminyum sülfat ile UV₂₅₄ giderimi

Koagülan dozajının THMOP giderimi üzerindeki etkisi

THMOP testi zenginleştirilmiş koagülasyon yöntemi ile giderimi yapılan DYÜ öncü bileşiklerinin arıtma veriminin belirlenmesine kullanılan bir parametredir. Şekil 5'te zenginleştirilmiş koagülasyon uygulaması ile elde edilen THMOP arıtma verimleri gösterilmektedir. THMOP miktarındaki azalma THM öncü bileşiklerinin gideriminin bir göstergesidir. Demir klorür ve alüm koagülasyonunun bir fonksiyonu olarak, THMOP miktarındaki azalma eğilimi, ÇOK için elde edilen arıtma verimi ile benzerlik göstermektedir. Şekil 5 demir klorür ve alüm koagülanları ile elde edilen THMOP miktarındaki azalma eğrisini göstermektedir. Jar Testi sonuçları THMOP gideriminde demir klorürün alümden daha etkin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada elde edilen maksimum THMOP giderimi 120 mg/L'lik demir klorür için % 71 ve 120 mg/L'lik alüm için % 50'dir. Bu sonuçlar, zenginleştirilmiş koagülasyon metodunun Büyükçekmece göl suyundan THMOP arıtımında çok etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Demir klorür koagülasyonunda ÇOK ve UV₂₅₄ giderim performansının karşılaştırılması

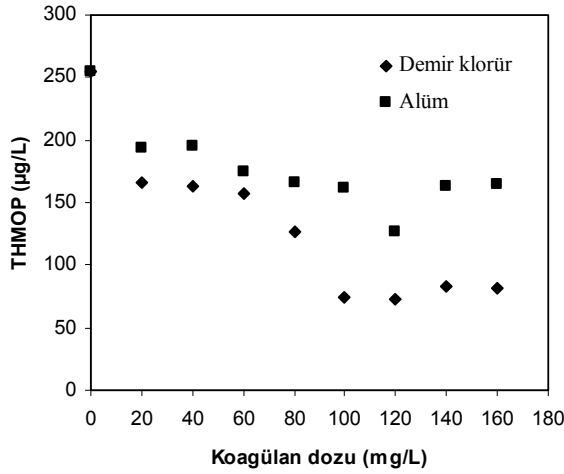


Şekil 4. Alüminyum sülfat koagülasyonunda ÇOK ve UV₂₅₄ giderim performansının karşılaştırılması

Diğer yandan, demir klorür ve alüm ile yapılan Jar Testi deneylerinde, THMOP arıtma veriminin ÇOK arıtma veriminden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, yüksek miktarda THMOP arıtma verimi direkt olarak ÇOK arıtma verimi ile ilgilidir. THMOP'nin demir klorür ile alüme göre daha fazla miktarda giderilmesinin en temel nedeni, DOM fraksiyonlarının alüminyum hidroksit komplekslerine nazaran, demir hidroksit komplekslerine daha fazla miktarda ilgi göstermesinden kaynaklanmaktadır (Bottero, 1989).

Sonuçlar

Bu çalışmada, İstanbul'un önemli içme suyu kaynaklarından biri olan Büyükçekmece suyunda



Şekil 5. Demir klorür ve alüminyum sülfat ile THMOP giderimi

bir seri Jar Testi deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde zenginleştirilmiş kagülasyon metodu kullanılarak, ham sudan DYÜ öncü bileşiklerini temsil eden ÇOK, UV₂₅₄ ve THMOP parametrelerinin artırılabilirliği araştırılmıştır. Koagulan olarak demir klorür ve alüminyum sülfat kullanılmıştır. Zenginleştirilmiş koagülasyon arıtma tekniğinin amacı sudaki ÇOK miktarını azaltarak, içme suyu şebekesindeki THM konsantrasyonu kontrol etmek ve azaltmaktır. Jar Testi çalışmalarından elde edilen sonuçlar, zenginleştirilmiş koagülasyon yöntemi ile Büyükçekmece göl suyundan etkin bir şekilde DYÜ öncü bileşiklerinin giderildiğini göstermiştir. Deneysel çalışma sonuçları, aynı koagulan dozlarında, demir klorürün alüminyum sülfata göre daha fazla miktarda ÇOK, UV₂₅₄ ve THMOP giderdiğini işaret etmiştir. 120 mg/L demir klorür ile ÇOK, UV₂₅₄ ve THMOP giderimi sırasıyla % 58, 79 ve 71 civarında olurken, 120 mg/L alüm koagulanı ÇOK, UV₂₅₄ ve THMOP'yi sırasıyla % 48, 62 ve 50 oranında gidermiştir. Bu çalışmada UV₂₅₄ ve THMOP genelde ÇOK'dan daha yüksek miktarda giderilmiştir.

Semboller

DOM	:Doğal organik madde
THM	:Trihalometan
HAA	:Haloasetik asit
DYÜ	:Dezenfeksiyon yan ürünleri
ÇOK	:Çözünmüş organik karbon

UV ₂₅₄	:Ultraviyole absorbans
THMOP	:THM oluşum potansiyeli
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
AB	:Avrupa Birliği
EPA	:ABD Çevre Koruma Ajansı

Kaynaklar

- Amirtharaj, A., (1990). Coagulation processes. Destabilization, mixing, and flocculation, In: *AWWA, Water Quality & Treatment* 6th ed., Pontious, F.W. (ed.), McGraw-Hill, New York.
- APHA., (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th Ed., Washington D.C.
- Bottero, J.Y., (1989). Aluminum and iron (III) chemistry, *Advances In Chemical Series*, 219-425.
- Crosby, S.A., (1983). Surface areas and porosities of Fe (III) and Fe (II) derived oxyhydroxides, *Environmental Science and Technology*, 17, 12, 709.
- Crozes, G., White, P., ve Marshall, M., (1995). Enhanced coagulation: it's effect on NOM removal and chemical costs. *Journal of American Water Works Association*, **87**, 78-89.
- Ebeling, J.M., Philip, L.S., Sarah, R.O., ve Steven, T.S., (2003). Evaluation of chemical coagulation/flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquatic Engineering*, **29**, 23-42.
- Edwards, M. ve Benjamin, M.M., (1997). Predicting DOC removal during enhanced coagulation, *Journal of American Water Works Association*, **89**, 78- 95.
- EECD (European Economic Community Directive), (1997). Amended proposal for a council directive concerning the quality of water intended for human consumption-common position, In: *Proceedings of the Council of the European Union*, Directive 80/778/EEC, Com (97) 228 final 95/0010 SYN, Brussels.
- İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği (İTASY), (2005). *T.C. Sağlık Bakanlığı*, Resmi Gazete, No: 25730, Ankara.
- Krasner, S.W., ve Amy, G., (1995). Jar-test evaluations of enhanced coagulation, *Journal of American Water Works Association*, **87**, 93-107.
- Rook, J., (1974). Formation of haloforms during chlorination of natural water, *Journal of American Water Works Association*, **23**, 234-240.
- USEPA, (1990). Determination of chlorination disinfection by-products and chlorinated solvents in

- drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection, *Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development*, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- USEPA, (1998). National primary drinking water regulations: *Disinfectants and Disinfection By-products*: Final Rule, 40 CFR part 9. 141 and 142.
- Vrijenhoek, E.M., Childress, A.M., Elimelech, M., Tanaka, T.S., ve Beuhler, M.D., (1998). Removing particles and THM precursors by enhanced coagulation, *Journal of American Water Works Association*, **90**, 139-150.