



İçme Suyu Kaynaklarında Konvansiyonel Arıtma yöntemi ile Arsenik Giderimi

The Arsenic Removal in Drinking Water Sources by Conventional Treatment Method

Kadir Özdemir

Bülent Ecevit Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Uzun yıllardan bu yana içme suyu temin edilen yüzey ve yer altı su kaynaklarında arseniğin varlığı içme suyu arıtma tesislerinde karşılaşılan önemli bir sorun olarak güncelliğini korumaktadır. Amerika Birleşik Devletleri (USEPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 1993 yılında yapmış olduğu düzenlemeyle içme sularında izin verilen arsenik miktarını 50 µg/L'den 10 µg/L'e indirmiştir. Ülkemizde de, "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" kapsamında içme ve kullanma sularında 50 µg/L olan arsenik limiti, 2005 yılı itibariyle 10 µg/L olarak değiştirilmiştir. Arsenik standardının 10 µg/L olarak uygulanması, ülkemizde içme suyu temin edilen bazı su kaynaklarının kullanımını da kısıtlamıştır. Bu çalışmada İstanbul ilinin önemli içme suyu kaynaklarından olan Terkos, Büyükçekmece Gölü ve Ömerli Barajından alınan su numunelerine laboratuvar ortamında belirli miktarlarda arsenik dozlaması yapılarak konvansiyonel arıtma prosesleri (koagülasyon +filtrasyon) ile giderilmesi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda Terkos, Büyükçekmece Gölü ve Ömerli Barajı ham sularında en yüksek arsenik gideriminin en yüksek Alüminyum dozunda yapılan koagülasyonla beraber filtrasyon sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir. Başka bir ifade ile; Büyükçekmece Gölü ve Ömerli Barajından alınan yüksek konsantrasyonlu (55 µg/L) arsenik içeren ham su numunelerinde konvansiyonel arıtma sistem ile %95'den daha büyük oranlarda arsenik giderimi, Terkos Gölünden alınan düşük konsantrasyonlu (22 µg/L) arsenik içeren ham su numunelerinde konvansiyonel arıtma sistem ile % 95 oranında arsenik giderimi sağlandığı görülmüştür. Bununla beraber arsenik bakımından problemlilerdeki mevcut içme suyu arıtma tesislerinde konvansiyonel arıtmaya alternatif olarak membran filtrasyon sistemleri, iyon değiştirme ve aktif karbonla adsorpsiyon prosesleri gibi arıtma yöntemleri önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arsenik, Koagülasyon, Filtrasyon, İçme suyu

Abstract

The presence of arsenic in surface and ground water sources has been an important problem for drinking water treatment plants for many years. Due to its adverse health effects on humans, in 1993, the World Health Organization (WHO) lowered the recommended arsenic concentration in drinking water from 50 to 10 µg/L. In turn, the Turkish Ministry of Health (MOH) lowered allowable arsenic levels from 50 µg/L to 10 µg/L in 2005. The implementation of this lowered arsenic standard is also restricted to the use of certain water sources. The objective of this study is to investigate to arsenic removal by conventional treatment processes from raw water samples. Certain amounts of arsenic were dosed to the raw water samples taken from Terkos, Büyükçekmece, and Ömerli Lake which are major drinking water sources for İstanbul, Turkey. The highest arsenic removal occurred using the highest alum dose with coagulation and then filtration processes in raw water samples. In other words, arsenic removal, including for high arsenic concentrations (55 µg/L), reached 95% removal rates or greater using conventional treatment systems. On the other hand, arsenic removal in raw water samples taken from the Terkos Lake reached 95% removal rates using conventional treatment system. Existing water treatment plants can be modified for arsenic removal. The membrane filtration systems, ion exchange, and activated carbon adsorption processes are recommended over conventional treatment systems.

Keywords: Arsenic, Coagulation, Filtration, Drinking water

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: kadir.ozdemir@beun.edu.tr

1. Giriş

Günümüzde olduğu gibi uzun yıllardan bu yana dünyadaki yüzey suyu ve yeraltı suyu gibi önemli içme suyu kaynaklarında arsenik bulunması her zaman önemli bir problem olarak yer almıştır (Smedley ve Kinniburgh 2002, Bissen ve Frimmel 2003). Amerika Birleşik Devletleri (USEPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yapılan epidemiyolojik çalışmalarda özellikle uzun süreli olarak içme sularında belirli miktarlarda arsenik bulunmasının insan sağlığı üzerinde cilt, akciğer ve mesane kanseri gibi zararlı etkilere yol açtığı tespit edilmiştir (Yoshida vd. 2004, Lamm vd. 2004, Karagas vd. 2002, Mukherje vd. 2003, Ali ve Tarafdar 2003, Mazumder 2003, Shrestha vd. 2003).

Uzun yıllar içme sularında bulunması gereken arsenik konsantrasyonunun maksimum 50 µg/L olarak kabul edilmesine rağmen yakın zamanlarda bilim adamları tarafından yürütülen çalışmalarda 50 µg/L'de kanser riskinin oldukça fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple 1993 yılında USEPA ve WHO tarafından içme suyu kaynaklarındaki bulunması gereken maksimum arsenik konsantrasyonu 10 µg/L değerine kadar indirilmiştir. Ülkemizde 2005 yılına kadar arsenik parametresi ile ilgili uygulanan yasal düzenleme Türk Standartları Enstitüsü'nün İçme ve Kullanma Sularına İlişkin Standartları (TS 266)'dır. Bu standarda göre maksimum arsenik miktarı 50 µg/L'dir. Ancak, gerek WHO, gerekse USEPA tarafından arsenik standartlarına ilişkin yapılan düzenlemeler ülkemizde de 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" kapsamında arsenik parametresinin maksimum konsantrasyonu 10 µg/L olarak açıklanmıştır (Resmi Gazete 25730 2005, Alpaslan vd. 2010).

Yüzey ve yeraltı sularında arsenik genel olarak arsenit (AsO_3^{-3}) ve arsenat (AsO_4^{-3}) formunda bulunmakta olup As(III) ve As(V) olarak gösterilmektedir (Sharma ve Sohn 2009, Avila vd. 2006). As(III) ve As(V) insan bünyesi tarafından etkili bir şekilde adsorplanmaktadır. Özellikle As(III) dokularında birikmesine karşılık As(V) böbrekler ile insan bünyesinden uzaklaştırılmaktadır (Bertolero vd. 1987).

İçme suyu kaynaklarında bulunan arsenik; koagülasyon ve filtrasyon (Gregor 2001, Han vd. 2002, Lee vd. 2003, Yuan vd. 2003) iyon değiştirme, aktif karbonla adsorbsiyon (Zeng 2003, Jay vd. 2004, Kundu ve Gupta 2005, An vd. 2005) ve farklı membran (ters ozmoz ,nanofiltrasyon) (Ning 2002, Gholami vd. 2006) filtrasyon sistemleri gibi arıtma yöntemleri ile giderilmektedir.

Ülkemizde de özellikle son aylarda yapılan araştırmalarda İzmir gibi büyük şehirlerde içme suyu ihtiyacını karşılamak için kullanılan yer altı (kuyu) sularında insan sağlığı açısından kanserojen etkisi olan arsenik konsantrasyonunun 10 µg/L değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda konu ile ilgili yapılan araştırmaların sonuçları ülkemizde içme suyu kaynağı olarak kullanılan yer altı sularında görülen arsenik kirliliğinin mevcut arıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan koagülasyon ve filtrasyon prosesleri gibi konvansiyonel arıtma yöntemleri ile arsenik gideriminin önemini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada farklı dozlarda $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (alum) ve $FeCl_3$ koagulantları kullanılarak gerçekleştirilen koagülasyon ve filtrasyon prosesleri uygulanarak ham sular ve kuyu sularında bulunan arsenik miktarlarındaki giderim verimlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında; Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli ham su numunelerine laboratuvar ortamında düşük ve yüksek konsantrasyonlarda arsenik dozlaması yapılarak farklı dozlarda (20-60 mg/L) Alum ve $FeCl_3$ ilavesi ile koagüle edilmiş ve daha sonra laboratuvar ortamında dizayn edilmiş bir kum filtreden geçirilerek arsenik giderim verimleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan ham su örnekleri İstanbul iline içme suyu temininde kullanılan Büyükçekmece Gölü, Terkos Gölü ve Ömerli Barajından alınmıştır. Ham su numuneleri tekil numuneler gibi toplanarak 20 litrelik hacimli plastik bidonlarla aynı gün İSKİ Su Kalite Kontrol Müdürlüğü Laboratuvarına taşınmıştır. Alınan numuneler deneysel çalışmalarda kullanılmaya kadar +4° C 'de buzdolabında bekletilmiştir.

Koagülasyon için Jar test deneyleri Phipps ve Bind 6 padelli Jar test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Jar test için kullanılan beherler 1 litre hacindedir. Jar test deneylerinde koagülant olarak kullanılan Alum ve $FeCl_3$ dozları 20 ile 60 mg/L arasında değişmektedir. Belirtilen dozlardaki koagülantlar ham su numuneleri doldurulmuş 1 litrelik beherler içine ilave edilmiştir. Çalışmada numunelerin pH'ları 7'ye ayarlanmıştır. Jar test deneylerinde koagülasyon ve flokülasyon işlemleri için cihaz sıra ile 150 rpm hızla 2 dakika hızlı karıştırma daha sonra 35 rpm hızla 20 dakika yavaş karıştırma moduna göre çalıştırılmıştır. Koagülasyon / flokülasyon proseslerinden sonra oluşan flokların çökmesi için ham su numuneleri 60 dakika çöktürmeye bırakılmıştır. 1 saat sonunda arsenik ölçümleri için her bir numune içinde

koruma çözeltisi olarak % 0,5'lik HCl bulunan 50 mL hacmindeki HDPE yapılı numune kaplarına koyulmuştur. Koagülasyon / flokülasyon proseslerinden sonra farklı dozlarda Alum ve FeCl₃ kullanılarak koagüle edilmiş 1L'lik beherler içinde bulunan ham su numuneleri kolon boyu 1,5 m uzunluğunda ve filtre malzemesi olarak tabanı 6,3-10 mm çapında çakıl ve üzerinde 0,8-1,25 mm çapında kum kullanılarak oluşturulan filtreden geçirildikten sonra koagülasyon prosesinde olduğu gibi içinde koruma çözeltisi olarak % 0,5'lik HCl bulunan 50 mL hacmindeki HDPE yapılı numune kaplarına koyularak Standard Metotlar (SM, 2005) 3114 B hidrür - atomik absorpsiyon metoduna göre ICP- OES cihazında arsenik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

Bu çalışmanın ilk bölümünde laboratuvar ortamında 40 µg/ L arsenik dozlaması yapılan Büyükçekmece ve Ömerli ham suları farklı alum ve FeCl₃ dozlarında (20 ile 60 mg/L arasında) koagülasyona tabi tutulduktan sonra ayrıca filtreden geçirilmiştir. Şekil 1'de farklı Alum dozlarında (20-60 mg/L) koagüle edilmiş Ömerli ham suları ve koagülasyon prosesinden sonra filtreden geçirilen ham su numuneleri ile arsenik konsantrasyonları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

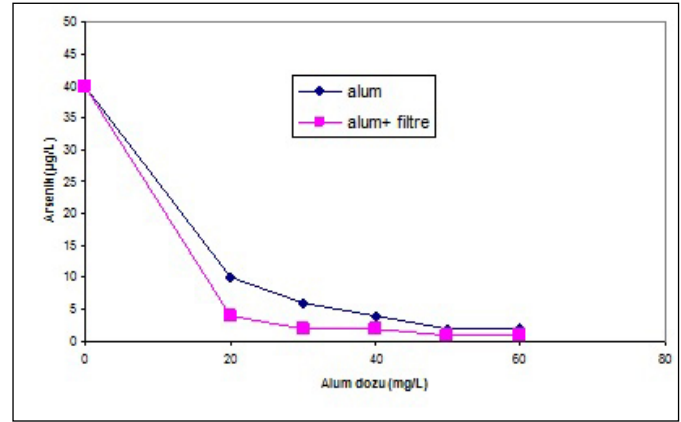
Buna göre 40 µg/ L arsenik içeren Ömerli ham su numunelerinin minimum alum doz ile gerçekleştirilen koagülasyonu neticesinde arsenik konsantrasyonu 10 µg/ L, en yüksek Alum dozu ile koagülasyonu sonucunda ise 6 µg/ L'ye kadar düşmüştür. Başka bir ifade ile; koagülant dozu arttırıldıkça ham sularındaki arsenik konsantrasyonu azalmaktadır. Diğer yandan Şekil 1'den de görüldüğü gibi farklı alum dozlarında koagülasyona tabi tutulmuş ham su numuneleri filtreden geçirildikten sonra daha fazla miktarlarda arsenik giderimi meydana gelmiştir. Örneğin; 20 mg/L alum dozunda koagülasyon sonucu 40 µg/ L arsenik içeren Ömerli ham su numunesindeki arsenik konsantrasyonu 10µg/ L'ye düşerken filtrasyon sonucunda ise 4 µg/ L'ye düşmüştür. Şekil 2'de ise farklı FeCl₃ dozlarında (20-60 mg/L) koagüle edilmiş ham sular ve koagülasyon prosesinden sonra filtreden geçirilen numuneler ile arsenik konsantrasyonları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

20-60 mg/L FeCl₃ dozlarında arsenik içeren Ömerli ham su numunelerinin koagülasyonu ve filtrasyonu sonucundaki arsenik giderim miktarları ile Alum dozlarında koagülasyon ve filtrasyonu sonucundaki arsenik giderim miktarları birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Örneğin; 40 mg/L FeCl₃ dozu ile koagülasyonu sonucunda içeren Ömerli ham su numunelerinde arsenik konsantrasyonu 5 µg/ L'ye,

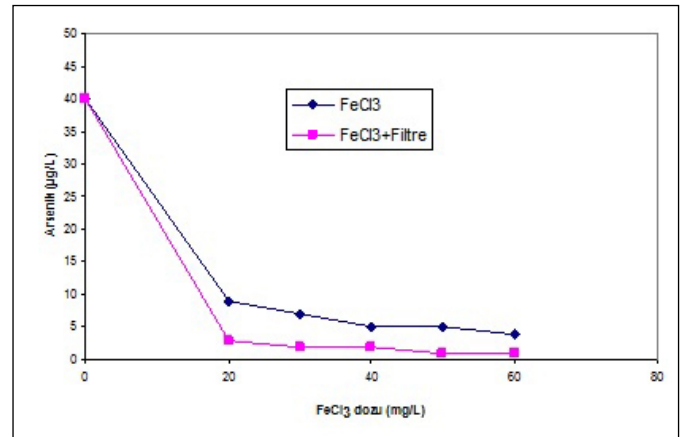
filtrasyon prosesi neticesinde bu değer 2 µg/ L'ye kadar düşmüştür. Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4 'de koagülasyon ve filtrasyon prosesleri ile Ömerli ham sularındaki arsenik giderimi verilmiştir.

Çizelge 1. Ömerli ham sularında farklı alum dozlarında koagülasyon ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

Alum Dozu (mg/L)	Koagülasyon ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	10	75
30	6	85
40	4	90
50	2	95
60	2	95



Şekil 1. Koagülasyon ve filtrasyon prosesleri sonucu Ömerli ham sularında arsenik giderimi.



Şekil 2. Koagülasyon ve filtrasyon prosesleri sonucu Ömerli ham sularında arsenik giderimi.

Çizelge 2. Ömerli ham sularında alum ile koagülasyon sonrası filtre ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

Alum Dozu (mg/L)	Koagülasyon sonrası filtre ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	3	90
30	2	95
40	2	95
50	<2	>95
60	<2	>95

Çizelge 3. Ömerli ham sularında farklı FeCl₃ dozlarında koagülasyon ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

FeCl ₃ Dozu (mg/L)	Koagülasyon ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	9	78
30	7	83
40	5	88
50	5	88
60	4	90

Çizelge 4. Ömerli ham sularında FeCl₃ ile koagülasyon sonrası filtre ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

FeCl ₃ Dozu (mg/L)	Koagülasyon sonrası filtre ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	3	93
30	2	95
40	<2	>95
50	<2	>95
60	<2	>95

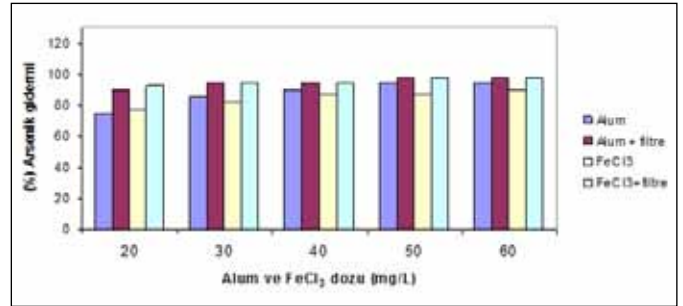
Çizelge 1'den de görüldüğü gibi minimum Alum ve FeCl₃ dozunda (20 mg/L) arsenik giderim verimleri yaklaşık %75 iken 40-60 mg/L dozlarında ise giderim verimi %90 ile %95 arasında değişmektedir. Filtrasyon prosesi neticesinde bu oranlar sıra ile; %75'den %90'a ve %90'dan %98'e kadar

çıkılmaktadır. Şekil 3'de ise Ömerli ham sularında farklı alum ve FeCl₃ dozları ile gerçekleştirilen koagülasyon prosesleri ile filtre sonrası arsenik giderim verimleri dağılımı gösterilmiştir.

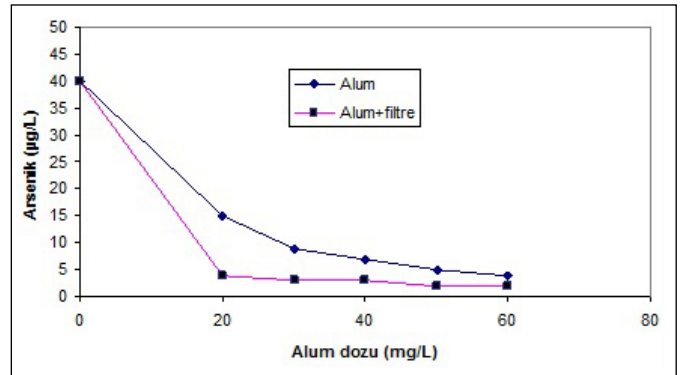
Şekil 3.3'e göre en yüksek arsenik giderimi filtrasyon işleminden sonra gerçekleşmesine karşılık özellikle 30 ve 60 mg/L dozlarında ise FeCl₃ ile karşılaştırıldığında Alum ile yapılan koagülasyon sonucunda arsenik gideriminin daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4 ve Şekil 5'de ise farklı Alum ve FeCl₃ dozlarında (20-60 mg/L) koagüle edilmiş Büyükçekmece ham su numuneleri ile filtrelenmiş su numunelerindeki arsenik konsantrasyonları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

Buna göre minimum Alum ve FeCl₃ dozlarında (20 mg/L) koagülasyon sonucunda Ömerli ham sularına kıyasla Büyükçekmece ham sularında arsenik konsantrasyonu 40 µg/ L'den 5 µg/ L'ye düşmüştür. 40 mg/L alum ve FeCl₃ dozlarında ise sırası ile; 7µg/ L ve 11 µg/ L'ye düşmüştür. Çizelge 5, 6, 7 ve Çizelge 8'de Büyükçekmece ham sularının koagülasyon ve filtrasyon işlemlerinden sonra arsenik konsantrasyonlardaki giderim verimleri verilmektedir. Örneğin; Çizelge 5'de gösterildiği üzere 20 ve 40 mg/L



Şekil 3. Ömerli ham sularında koagülasyon ve filtrasyon prosesleri sonrası arsenik giderim verimleri dağılımı.



Şekil 4. Koagülasyon ve filtrasyon prosesleri sonucu Büyükçekmece ham sularında arsenik giderimi.

alum dozunda arsenik giderim verimleri %63 ve %83 iken; 20 ve 40 mg/L FeCl₃ dozlarında arsenik giderim verimi %60 ve %73'tür. En yüksek arsenik giderimi filtrasyon işlemi sonucunda sağlanmıştır (%95).

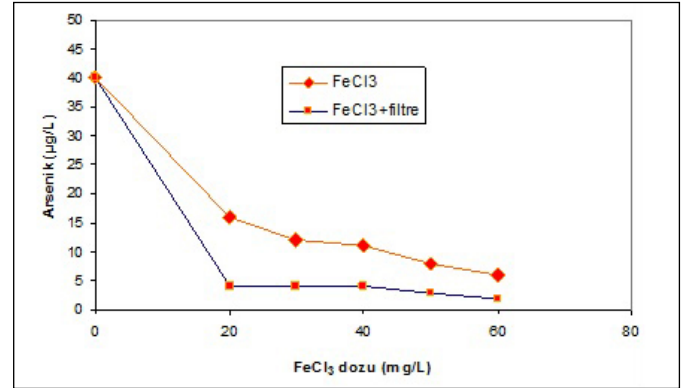
Büyükçekmece ham sularının FeCl₃ ile kıyasla Alum ile koagülasyonu sonucunda arsenik giderim oranının daha fazla olduğunu Çizelge 5 ve Çizelge 7'deki sonuçlar ortaya koymaktadır. Diğer yandan Çizelge 1, Çizelge 2 ve Çizelge 5 ve Çizelge 6'daki sonuçlara göre aynı Alum ve FeCl₃ dozlarında yapılan koagülasyon neticesinde Ömerli ham sularında arsenik gideriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 6'da ise Ömerli ham sularında farklı Alum ve FeCl₃ dozları ile gerçekleştirilen koagülasyon ve filtrasyon sonrası arsenik giderim verimleri gösterilmiştir.

Buna göre Şekil 6'dan Ömerli ham sularındaki arsenik gideriminin 20-60 mg/L arasında alum koagülasyonu

ile beraber filtrasyon prosesi neticesinde gerçekleştiği görülmektedir.

Bu çalışmanın 2.kısımında laboratuvar ortamında düşük konsantrasyonda arsenik dozlaması yapılan (22 µg/ L)



Şekil 5. Koagülasyon ve filtrasyon prosesi sonucu Büyükçekmece ham sularında arsenik giderimi.

Çizelge 5. Büyükçekmece ham sularında farklı alum dozlarında koagülasyon ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

Alum Dozu (mg/L)	Koagülasyon ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	15	63
30	9	78
40	7	83
50	5	88
60	4	90

Çizelge 6. Koagüle edilmiş Büyükçekmece ham su numunelerinin filtrasyonu sonucunda arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

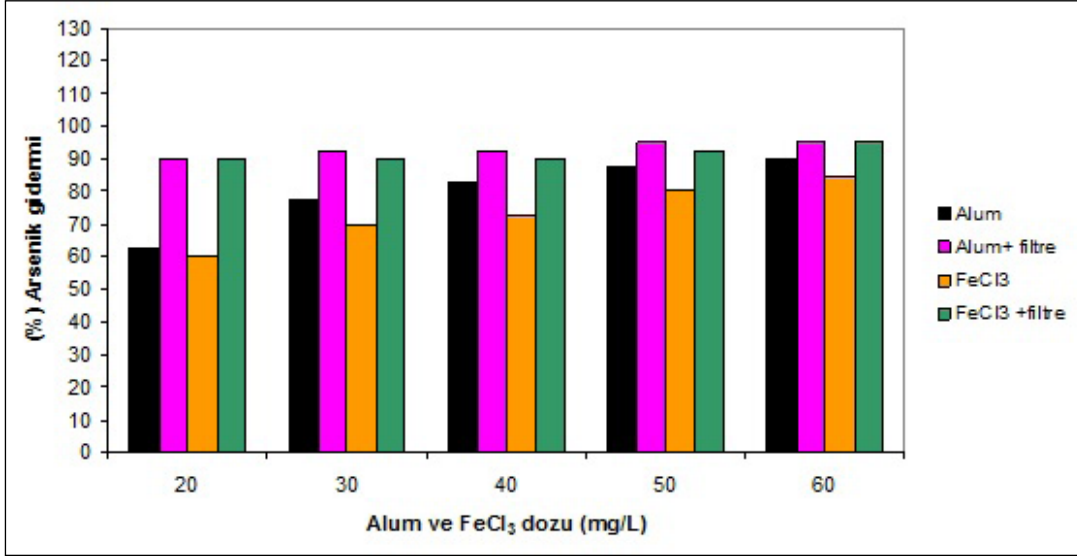
Alum Dozu (mg/L)	Koagülasyon sonrası filtre ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	4	90
30	3	93
40	3	93
50	2	95
60	2	95

Çizelge 7. Büyükçekmece ham sularında farklı FeCl₃ dozlarında koagülasyon ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

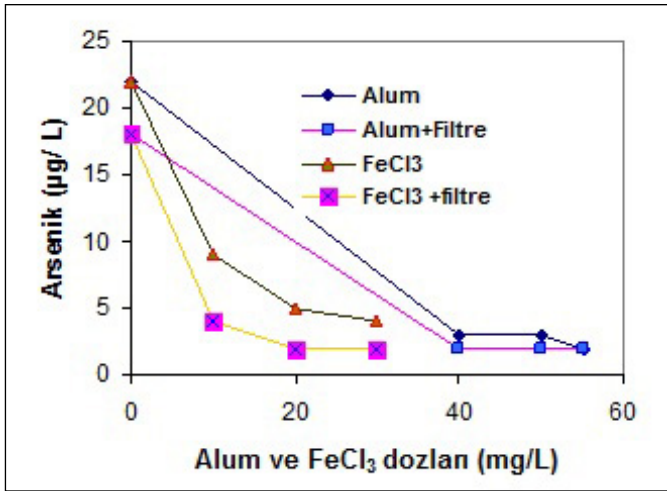
FeCl ₃ Dozu (mg/L)	Koagülasyon ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	16	60
30	12	70
40	11	73
50	8	80
60	6	85

Çizelge 8. Koagüle edilmiş Büyükçekmece ham su numunelerinin filtrasyonu sonucunda arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

FeCl ₃ Dozu (mg/L)	Koagülasyon sonrası filtre ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	40	
20	3	90
30	2	90
40	2	90
50	<2	>95
60	<2	>95



Şekil 6. Ömerli ham sularında koagülasyon ve filtrasyon prosesleri sonrası arsenik giderim verimleri dağılımı.



Şekil 7. Koagülasyon ve filtrasyon prosesleri sonucu Terkos ham sularında arsenik giderimi.

Terkos ham su numuneleri üç farklı alum (40, 50 ve 55 mg/L) ve FeCl₃ (10, 20, 30 mg/L) dozlarında koagülasyona tabi tutulduktan sonra filtrelenmiştir. Şekil 7'de 20 µg/L konsantrasyonunda arsenik içeren Terkos ham suları farklı alum (40, 50 ve 55 mg/L) ve FeCl₃ (10, 20 ve 30 mg/L) dozlarında koagülasyona tabi tutulan Terkos ham suları ve koagülasyondan sonra filtreden geçirilen ham su numuneleri ile arsenik konsantrasyonları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

Şekil 7'den de görüldüğü gibi koagülasyon prosesi ile arsenik miktarları 40 mg/L Alum dozunda 3 µg/L ve 30 mg/L FeCl₃ dozunda 4 µg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Çizelge 9 ile Çizelge 12 arasında ise düşük konsantrasyonlarda Terkos ham sularında koagülasyon

ve filtrasyon prosesleri ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri verilmiştir. Buna göre düşük arsenik konsantrasyonuna (22 µg/L) sahip Terkos ham su numunelerinin koagülasyonu neticesinde en yüksek arsenik giderimi en yüksek koagülant dozunda elde edilmiştir. Başak bir ifade ile; en yüksek Alum dozunda (55 µg/L) arsenik giderimi %91'den daha büyük oranlarda arsenik giderimi gerçekleşirken, en yüksek FeCl₃ dozunda ise %82 arsenik giderimi gerçekleşmiştir (Çizelge 9-11). Diğer yandan, alum koagülasyonu neticesinde filtre edilmiş su numunelerinde en yüksek arsenik giderimi %95, FeCl₃ koagülasyonu neticesinde filtre edilmiş su numunelerinde en yüksek arsenik gideriminin %90 olduğu görülmüştür (Çizelge 10-12).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Terkos, Büyükçekmece ve Ömerli ham su numunelerine laboratuvar ortamında düşük ve yüksek konsantrasyonlarda arsenik dozlaması yapılarak konvansiyonel arıtma yöntemi ile arsenik giderim verimleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda TSE-266, USEPA ve WHO tarafından içme suyu kaynaklarındaki bulunması gereken maksimum arsenik konsantrasyonu olan 10 µg/L konsantrasyon değerinin altında arsenik konsantrasyonlarına kadar inilmiştir. Büyükçekmece Gölü ve Ömerli Barajından alınan yüksek konsantrasyonlu (55 µg/L) arsenik içeren ham su numunelerinde konvansiyonel arıtma sistem ile (koagülasyon + filtre) ile %95'den daha büyük oranlarda arsenik giderimi gerçekleşmiştir. Diğer yandan Terkos Gölünden alınan düşük konsantrasyonlu (22 µg/L) arsenik içeren ham su numunelerinde konvansiyonel arıtma sistem

Çizelge 9. Düşük konsantrasyonlarda Terkos ham sularında farklı alum dozlarında koagülasyon ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

Alum Dozu (mg/L)	Koagülasyon ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	22	
40	3	86
50	3	86
55	2	91

Çizelge 11. Düşük konsantrasyonlarda Terkos ham sularında farklı FeCl₃ dozlarında koagülasyon ile arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

FeCl ₃ Dozu (mg/L)	Koagülasyon ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	22	
10	9	59
20	5	77
30	4	82

ile (koagülasyon + filtre) ile maksimum % 95 oranında arsenik giderimi sağlandığı görülmüştür. Bundan sonra içme suyu kaynaklarından arsenik giderimi için yapılacak çalışmalarda özellikle Ultrafiltrasyon, Ters osmoz gibi membran filtrasyon sistemleri veya granüler aktif karbonla adsorpsiyon prosesleri gibi alternatif arıtma yöntemleri kullanılarak elde edilen giderim verimlerinin konvansiyonel arıtma ile karşılaştırılmasına yönelik yapılacak araştırmaların konu ile ilgili ulusal ve uluslararası bilimsel çalışmalara önemli katkı sunacağı düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- Ali, M., Tarafdar, SA. 2003.** Arsenic in drinking water and in scalp hair by EDXRF: A Major recent health hazard in bangladesh. *J. Radio. Nuc. Chem.*, 256: 297-305.
- Alpaslan, MN., Dölgen, D., Boyacıoğlu, H., Sarptaş, H. 2010.** İçme suyundan kimyasal yöntemlerle arsenik giderimi. *İtü dergisi/e su kirlenmesi kontrolü.*, 20(1): 15-25.
- An, B., Steinwinder, T.R., Zhao, D. 2005.** Selective removal of arsenate from drinking water using a polymeric ligand exchanger. *Wat. Res.*, 39: 4993-5004.
- Bertolero, F., Pozzi, G., Sabbioni, E., Saffiotti, U. 1987.** Cellular Uptake and Metabolic Reduction of Pentavalent to Trivalent Arsenic as Determinants of Cytotoxicity and Morphological Transformation. *Carcinogenesis*, 8(6): 803-808.

Çizelge 10. Düşük konsantrasyonlarda koagüle edilmiş Terkos ham suların filtrasyonu sonucunda arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

Alum Dozu (mg/L)	Koagülasyon sonrası filtre ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
40	2	91
50	<2	95
55	<2	95

Çizelge 12. Düşük konsantrasyonlarda koagüle edilmiş Terkos ham suların filtrasyonu sonucunda arsenik konsantrasyonlarında meydana gelen değişim ve giderim yüzdeleri.

FeCl ₃ Dozu (mg/L)	Koagülasyon sonrası filtre ile giderim	
	Arsenik (µg/L)	Arsenik giderimi (%)
0	22	
10	4	82
20	2	90
30	2	90

- Bissen, M., Frimmel, FH. 2003.** Arsenic – a review. Part II: Oxidation of arsenic and its removal in water treatment. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, 31: 97-107.
- Chanda, CR., Saha, KC., Chakraborti, D. 2003.** Neuropathy in arsenic toxicity from groundwater arsenic contamination in West Bengal. *India. J. Env. Sci. Health.*, 1: 165-183.
- Gholami, MM., Mokhtari, MA., Aameri, A., Fard, MRA. 2006.** Application of reverse osmosis technology for arsenic removal from drinking Water. *Desalination*, 200: 725-727.
- Gregor, J. 2001.** Arsenic removal during conventional aluminium-based drinking water Treatment. *Wat. Res.*, 35: 1659-1664.
- Han, B., Runnells, T., Zimbron, J., Wickramasinghe, R. 2002.** Arsenic removal from drinking water by flocculation and microfiltration. *Desalination*, 145: 293-298.
- Jay, J.A., Blute, N.K., Hemond, H.F., Durant, J.L. 2004.** Arsenic-sulfides confound anion exchange resin speciation of aqueous aarsenic. *Wat. Res.*, 38: 1155-1158.
- Karagas, M.R., Stukel, T.A., Tosteson, T.D. 2002.** Assessment of Cancer Risk and Environmental levels of arsenic in New Hampshire. *Int. J. Hyg. Env. Health.*, 205: 85-94.
- Kundu, S., Gupta, AK. 2005.** Analysis and modeling of fixed bed column operations on As(V) removal by adsorption onto Iron Oxide-coated Cement (IOCC). *J. Coll. Int. Sci.*, 290: 52-60.

- Lamm, S.H., Engel, A., Kruse, MB., Feinleib, M., Byrd, DM., Lai, S., Wilson, R. 2004.** Arsenic in drinking water and bladder cancer mortality in the US: an analysis based on 133 US countries and thirty years of observation. *J. Occup. Environ. Med.*, 46: 298-306.
- Lee, Y., Um, I., Yoon, J. 2003.** Arsenic(III) Oxidation by iron(VI) (Ferrate) and subsequent removal of arsenic(V) by iron(III) coagulation. *Env. Sci. Tech.*, 37: 5750-5756.
- Mazumder, DNG. 2003.** Chronic Arsenic toxicity: clinical features, epidemiology, and Treatment: Experience in West Bengal. *J. Env. Sci. Health.*, 1: 141-163.
- Mukherje, SC., Rahman, MM., Chowdhury, UK., Sengupta, MK., Lodh, D., Chanda, Ning, RY. 2002.** Arsenic removal by reverse osmosis. *Desalination*, 143: 237-241.
- Resmi Gazete. 2005.** İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik. T.C. Sağlık Bakanlığı, Sayı 25730.
- Sharma, VK., Sohn, M. 2009.** Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation. *Environment International*, 35:743-759.
- Shrestha, RR., Shrestha, MP., Upadhyay, NP., Pradhan, R., Khadka, R., Maskey, A., Maharjan, M., Tuladhar, S., Dahal, BM., Shrestha, K. 2003.** Groundwater arsenic contamination, its health impact and mitigation program in Nepal. *J. Env. Sci. Health.*, 1: 185-200.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. 2002.** A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem.*, 17: 517-568.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).** American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF).
- U.S. EPA. 2002.** Arsenic treatment technologies for soil, waste, and water, U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati.
- WHO, 1993.** Guidelines for drinking-water Quality. World Health Organization. Genova.
- Yoshida, T., Yamanchi, H., Jun, GF. 2004.** Chronic health effect in people exposed to arsenic via the drinking water: dose-response relationship in review. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 198: 243-252.
- Yuan, T., Luo, Q., Hu, J., Ong, S., Ng, W. 2003.** A study on arsenic removal from household drinking water, *J. Env. Sci. Health.*, A38: 1731-1744.
- Zeng, L. 2003.** A Method for preparing silicacontaining iron(III) oxide adsorbents for arsenic removal. *Wat. Res.*, 37: 4351-4358.