

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İÇME SULARINDAN ARSENİK GİDERİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Fatma ÖZDEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Asude ATEŞ

Nisan 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇME SULARINDAN ARSENİK GİDERİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Fatma ÖZDEMİR

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ÇEVRE

Bu tez .. / .. /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Asude ATES
.....
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
.....
Üye

Yrd. Doç. Dr. Şenay ÇETİN
DOĞRUPARMAK
.....
Üye

TEŞEKKÜR

Çalışma konusunun belirlenmesinden sonuçlandırılmasına kadar geçen süre içerisinde değerli önerileri ve eleőtirileri ile beni yönlendiren, maddi, manevi katkılarını ve hoşgörüsünü esirgemeyen, Danıőman Hocam Yrd. Doç.Dr. Asude ATEŞ'e teőekkürü bir borç bilirim.

Ve bana inanan, maddi ve manevi katkılarını benden hiçbir zaman esirgemeyen, tüm çalıőmalarımnda yanımda olan çok değerli AİLEM'e sonsuz teőekkürler.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ARSENİK TANIMI VE İÇME SULARINDAN ARITIMI.....	3
2.1.Arsenik Nedir?.....	3
2.2. Arseniğin Kimyası.....	5
2.3. Arsenik Kaynağı.....	8
2.4. Arseniğin Doğada Bulunma Çeşitleri ve Kullanım Alanları.....	8
2.5. Metabolizma ve Toksikitesi.....	10
2.5.1.Akut arsenik maruziyeti.....	13
2.5.2.Kronik arsenik maruziyeti.....	13
2.5.3. Tedavi.....	14
2.6. Arsenik arıtım teknolojileri.....	14
2.6.1. Pıhtılaştırma ve çökeltme.....	14
2.6.2. Adsorptif madde.....	15
2.6.3. Oksidasyon ve demir ile ortak çökeltme.....	15
2.6.4. Membranlar.....	15
2.6.5. Koagülasyon, filtrasyon ve ultrafiltrasyon.....	16

2.7. Arsenik Arıtımı İçin Türkiye’de Kurulmuş Olan Tesis Örneği.....	17
2.8. Arsenik Arıtımı İçin Fransa’da Kurulmuş Olan Tesis Örneği.....	19
2.9. Alternatif Arsenik Arıtma Sistemleri ve Yöntemleri.....	21
2.9.1. İçme sularından arsenik giderimi için düşük maliyetli solar teknolojiler.....	21
2.9.2. Su kimyasının arseniğin seçimli adsorpsiyonu üzerine etkisini anlama.....	23
2.9.3. İçme suyundan arsenik giderimi: Kullanım noktası (POU), giriş noktası (POE) ve kentsel deneyimler.....	23
2.9.4. Yeni bir hibrit adsorbent ile içme sularından arsenik giderimi.....	26
2.9.5. Hidrate demir oksit bazlı inorganik ve kompozit sorbentlerin arsenik giderimi için kullanımı.....	29
2.9.6. Manyetit kullanarak sulu çözeltilerden arsenik giderimi.....	31
2.9.7. Demir ile stökiyometrik olmayan birlikte çöktürme yöntemi kullanılarak sulu çözeltilerden arsenik giderimi.....	33
2.9.8. Arsenik giderimi için sabit yataklı sorpsiyon prosesleri: Eksikler, uzun dönem çevresel etkiler ve düzeltici tedbirler..	35
2.9.9. Yüksek oranda doğal organik madde (NOM) içeren, bazik, anoksik (Oksijeniz) yeraltı sularında arsenik giderimi – Pannonian Havzası durum çalışması.....	38
2.9.10. Organik madde/kireç taşı/sıfır değerlikli Fe karışımı geçirgen reaktif bariyerler ile yeraltı sularından yerinde arsenik giderimi.....	39
2.9.11. Güvenilir su üretiminde membran süreçler ve arsenik gideriminde kullanılan temel membran prosesleri.....	42
2.9.11.1. Ters ozmos ve nanofiltrasyon.....	43
2.9.11.2. Elektrodializ.....	43
2.9.11.3. Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon.....	44
2.9.11.4. Membran hibrit prosesleri.....	44
2.9.11.5. UF hibrit prosesleri.....	44
2.9.11.6. MF hibrit prosesleri.....	44
2.10. Dünyanın Yeraltı Sularında Arsenik – Nerede Ararsanız Orada	

Arsenik Bulacaksınız.....	45
2.11. İçme Suyu Sistemlerinde Arsenik Giderim Stratejilerinin Değerlendirmesi: İzmir Örneği.....	48
2.11.1. İzmir'in su kaynakları, içme suyu arıtma tesisleri ve izleme çalışmaları.....	50
2.11.1.1. Ağır metal izleme çalışmaları.....	51
2.11.1.2. Göksu ve Sarıkız kuyuları için içme suyu arıtma tesisi (arsenic).....	52
2.11.1.3. Halkapınar kuyuları için içme suyu arıtma tesisi (arsenik).....	53
2.11.1.4. Menemen acil kuyuları için içme suyu arıtma tesisi (arsenik).....	53
2.11.1.5. Şebeke suyunda kurşun ve bakır ölçümleri.....	54
2.11.1.6. Toplam trihalometan ölçümleri ve boromat oluşma potansiyeli.....	54
2.11.1.7. SCADA izleme ve kontrol sistemi.....	55
2.12. Yapılan Literatür Araştırma Sonuçları.....	56
BÖLÜM 3.	
MATERYAL METOD.....	
3.1. Suda Bulunan Arsenik Değerinin Tespiti.....	69
3.2. İçme Suyundan Arsenik Giderim Metodlarının Uygulamaları.....	73
3.2.1. Demir III kullanarak sudan arsenik giderimi.....	73
3.2.1.1. Ön oksidasyon yapılmadan demir III klorür ile çökeltme.....	74
3.2.1.2. Ön oksidasyon yapıldıktan sonra demir III klorür ile çökeltme.....	74
3.2.2. Membran yardımıyla sudan arsenik giderimi.....	75
3.2.3. Arsenik giderim reçinesi ile sudan arsenik giderimi.....	75
3.2.4. Arsenik giderim medyası ile sudan arsenik giderimi.....	76
BÖLÜM 4.	
BULGULAR.....	78

4.1. Demir III Klorür ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları.....	78
4.1.1 Ön oksidasyon yapılmadan demir III klorür ile çökeltilen suyun analiz sonuçları.....	78
4.1.2 Ön oksidasyon yapıldıktan sonra demir III klorür ile çökeltilen suyun analiz sonuçları.....	79
4.2 Membran ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları.....	79
4.3 Arsenik Giderim Reçinesi ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları.....	80
4.4 Bayoxide® E33 Ferrik Oksit Absorptif Medyası ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları.....	81
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
5.1. Yapılan Analiz Sonuçları.....	83
EKLER	87
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İzmir arsenik arıtma tesisinden bir görünüm.....	19
Şekil 2.2 Arsenik arıtma tesisinin farklı açılarından görüntüsü.....	20
Şekil 2.3. Arsenik arıtma tesisinin akım şeması.....	21
Şekil 2.4. Tesisin kurulumundan sonra gözlenen arsenik değişim miktarları.....	21
Şekil 2.5. POU sistemi.....	26
Şekil 2.6. POE sistemi.....	26
Şekil 2.7. PES Arsenik giderim sistemi (Turkey Hills Apartmanları).....	27
Şekil 2.8. Çalışılan sorbentlerin fiziksel görünümleri (aynı büyültme).....	31
Şekil 2.9. Adsorbentlerin pikleri.....	33
Şekil 2.10. Arseniğin karışık yapılarının çökmesi.....	35
Şekil 2.11. Hindistan'ın bir köyündeki arsenik giderim ünitesinin fotoğrafı ve şematik gösterimi.....	37
Şekil-2.12: HAIX görüntüleri a) Orjinal ve 40X büyütülmüş b) TEM görüntüsü...	38
Şekil 2.13. Kolon deneylerindeki As derişimi değerlendirmesi.....	43
Şekil 2.14. Dünyadaki yerel arsenik bölgeleri.....	48
Şekil 3.1. Demir III klorür ile çöktürme.....	64
Şekil 3.2. Membranlı düzeneğin ,membran ve membran dış kabının resmi.....	65
Şekil 3.3. Purolite Ferrix A33E arsenik giderim reçinesi.....	66
Şekil 3.4. Bayoxide® E33 ferrik oksit medyası.....	67

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Arsenik giderme metodlarının karşılaştırılması.....	17
Tablo 2.2. As(III) ve As(V)'in manyetit üzerine adsorpsiyon kapasiteleri (Qmax) ve adsorpsiyon denge sabitleri (K).....	34
Tablo 3.1 . Arsenikli su analiz değerleri.....	62
Tablo 4.1. Membranlı düzenekten geçirilen suyun ve hamsuyun analiz sonuçları...	69
Tablo 4.2. Purolite Ferrix A33E ile teması sağlanan arsenikli suyun analiz sonuçları.....	70
Tablo 4.3. Bayoxide® E33 ile teması sağlanan arsenikli suyun analiz sonuçları.....	71
Tablo 5.1 Yapılan deneyler sonucunda elde edilen su analiz değerleri.....	73

ÖZET

Anahtar kelimeler: Arsenik, membran, reçine, mineral, Demir III Klorür

Arsenik, Dünya Sağlık Örgütü tarafından içme sularındaki en tehlikeli kimyasallardan biri olarak belirlenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından arsenik için içme sularında müsaade edilen maksimum limit 10 µg/L olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu değerin üzerindeki arsenik miktarının limitlerin altına düşürebilmek için bir çok arsenik giderim metodu geliştirilmiştir.

Bu çalışmada içme sularından arsenik giderimi için kullanılan yöntemlerden bazıları olan membran kullanılarak arsenik giderimi, adsorbsiyon metodu ile arsenik giderim reçinesi ve arsenik giderim minerali kullanılarak arsenik giderimi, demir III Klorür kullanılarak çöktürme metodu ile arsenik giderimi yöntemleri denenmiştir.

Suda bulunan arsenik miktarının sınır değerlerin çok üstünde olmadığı ve su arıtma debilerinin düşük olduğu durumlarda, membranlı proseslerin arsenik gideriminde diğer metotlara göre daha etkin olduğu, ondan sonra sırasıyla , arsenik giderim minerali, arsenik giderim reçinesi ve demir III klorür ile çöktürmenin geldiği tespit edilmiştir.

Arseniğin içme sularından uzaklaştırılmasında karşılaşılan önemli bir sorun arseniğin hem As(III) hem de As(V) bileşikleri olarak sularda bulunmasıdır. Arsenitin [As(III)] içme sularından arıtılması arsenata [As(VI)] göre daha zor olduğundan dolayı, ön oksidasyon ile arsenitin arsenata çevrildikten sonra sulardan arıtılmasının daha kolay olduğu tespit edilmiştir.

ARSENIC REMOVAL FROM DRINKING WATER

SUMMARY

Key words: Arsenic, membrane, resin, media, Fe III chloride

The WHO provisional guideline of 10 ppb (0.01 mg/L) has been adopted as the drinking water standard. The arsenic contamination has been acknowledged as a “major public health issue” .

Arsenic removal Technologies are essential to develop economical and effective methods for removing arsenic in order to meet the new Maximum Contaminant Level (MCL) standard (10 mg/l) recommended by the World Health Organization (WHO).

In this work the removal of pentavalent arsenic from synthetic water was studied on laboratory scale by using coagulation and filtration, adsorptive media and resin filtration, membrane filtration.

Oxidation of As(III) to As(V) is usually needed for effective removal of arsenic from drinking water by most treatment methods.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusunun içme suyu ihtiyacını karşılamak için olan talepler, hem yüzey hem de yeraltısuyu kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşturmaktadır. Ülkemiz dahil olmak üzere bir çok ülkede insanlar arsenik içeren yeraltısuları tüketmektedir. Dolayısıyla, içme ve yeraltısularında arsenik kirlenmesi dünya çapında önemli bir sorun olarak çevre ve insan sağlığını ciddi bir şekilde tehdit etmeye devam etmektedir.

Arsenik, ufak dozda kronik maruziyette sistein içeren proteinlerce zengin olan saç, tırnak ve ciltte birikir. Kronik birikme akciğerde olur. Plasentayı kolayca geçerek fetusta birikebilir. Ağızdan alınan akut arsenikle zehirlenmenin başlıca belirtisi mide bulantısı, kusma, ağız ve boğazda yanma ve şiddetli karın ağrılarıdır. Bunu izleyen dolaşım ve kalp yetmezliği birkaç saat içinde ölüme neden olabilmektedir. Arsin gazıyla zehirlenmede en belirgin bozukluklar alyuvarların parçalanması ve böbrekte yıkımlardır. Kronik arsenik zehirlenmesi ise yavaş yavaş güçten düşme, ishal ya da kabızlık, ciltte tümör gelişimi gösterebilen pullanma ve renk değişikliği, felç ve bilinç bulanıklığıyla ortaya çıkan sinir sistemi bozukluğu, yağ dokusunda bozulma, kansızlık ve tırnaklarda tipik çizgiler belirmesiyle tanınabilir. Arseniğin akut toksitesisi ve buna ek olarak arsenikli sulara uzun süreli maruz kalma; potansiyel olarak deri, mesane, akciğer ve böbrek kanserleri gibi birçok ciddi hastalığa neden olmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü tarafından arsenik için içme sularında müsaade edilen maksimum limit 10 µg/L olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak, arsenik maruziyeti gündelik yaşamımızda önemli bir çevresel sorun olup, süregen bir etkilenim söz konusudur. Yeterince fazla maruz kalınan arseniğin akut etkilenimi rahatlıkla fark edilebilir ve kaynağı ortadan kaldırılabilir. Fakat esas sorun düşük dozlarda arsenik maruziyetinin iş işten geçmeden, kanser gibi önemli sağlık sorunları ortaya çıkmadan fark edebilmektir.

Doğal sularda bulunan arseniğin kökeni çoğunlukla jeojeniktir (kayaçların ayrışması, jeotermal aktiviteler vb). Arsenik 200'den fazla mineral bünyesinde bulunmaktadır. Madencilik faaliyetleri ve tarımsal uygulamalarda arsenik içeren herbisitlerin kullanımı ise insan kaynaklı önemli arsenik kaynaklarıdır. Arsenik doğada hem organik hem de anorganik bileşikler şeklinde bulunmaktadır. Anorganik arsenik bileşikleri ise en yaygın olanıdır. Çevrede arsenik yaygın olarak duraylı iki oksidasyon halinde görülmektedir: Arsenat [As(V)] ve arsenit [As(III)].

Aerobik ortamlarda, +5 değerlikli arsenat bileşikleri yaygın arsenik türleridir. Anaerobik ortam koşullarında yeraltı suları genelde arsenit içerir. Arsenit 7'nin üzerindeki pH değerlerinde aerobik sularda kolaylıkla arsenata yükseltgenir. Tam tersine, arsenat düşük pH'larda arsenite indirgenebilir. Arseniğin toksisitesi ve mobilitesi kimyasal türüne ve oksidasyon haline göre değişir. İçme ve yeraltı sularından arsenik giderimi için geliştirilmiş birçok teknoloji mevcuttur. Bu teknolojiler günümüzde ev tipinden, klasik arıtma tesisi ölçeğinde birçok ülkede etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Arseniğin içme ve yeraltı sularında giderimi fizikokimyasal ve aynı zamanda biyolojik teknikler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu tekniklerin bir kısmı suyun yüzeyde arıtılmasını bir kısmı ise yeraltı suyunun yerinde ıslahını kapsamaktadır. Yer yüzeyinde yaygın olarak uygulanan arıtma teknolojileri; adsorpsiyon, iyon değiştirme, çökeltme-beraber çökeltme ve membran filtrasyonudur. Bu teknikler klasik arıtma tesisi ölçeğinde yaygın uygulandığı gibi daha küçük ölçeklerde de (ev tipi gibi) başarıyla uygulanmaktadır. Bu teknolojiler ile maksimum elde edilen arsenik uzaklaştırma oranları %90'nın üzerindedir .

Bu çalışmada, arseniğin sudan giderme yöntemleri olarak kabul edilen yöntemlerin bir kısmı kullanılarak, en ekonomik ve verimli yöntem bulunmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. ARSENİK TANIMI VE SULARDAN ARITIMI

2.1. Arsenik Nedir?

Arsenik, kimyada As sembolü ile gösterilen ve metal ile ametal arasında özelliğe sahip olan bir elementtir. On üçüncü yüzyılda element olarak elde edildi ve özellikleri aydınlatıldı. Atom numarası 33, atom ağırlığı 74,91'dir. Periyodik cetvelin 5A grubunda, fosfor ile antimon arasında olup, ikisinin arasında özellikler gösterir. En çok bulunan mineral arsenopirit, FeS_2FeAs_2 'dir. Tabiatta bulunan diğer bileşikler realgar, As_4S_4 , orpiment As_2S_3 ve arsenikli nikel sülfür, $NiAsS$ 'dir.

Arseniğin üç allotropu mevcuttur. Bunlardan gri arsenik metalik halde bulunur ve kararlıdır. Bunun yoğunluğu büyüktür. Sarı arsenik ametalik halde olup dört atomlu As_4 moleküllerden meydana gelir ve uçucudur. Bu, arsenik buharının ani soğutulması ile elde edilir. Amorf olan siyah arsenik, arsin'in (AsH_3), ısı ile bozunmasından elde edilir. Gri arsenik, ısıyı çok iyi, elektriği ise, bakırın % 5'i kadar iletir. Metalik olan gri arsenik 610 derecede sıvı hale geçmeden katı halden doğrudan buhar haline geçer (süblimleşir). 36 atmosfer basınç altında 814 derecede erir. Özgül ağırlığı $5,7 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Arsenik, 400 derecenin üstünde yanar ve arsenik trioksit, As_4O_6 verir. Kükürt, halogen ve metallerle reaksiyon verir.

Arseniğin oksitleri aşağıdaki gibidir:

1. Arsenik trioksit (As_2O_3). Su ile arsenit asidini, $HAsO_2$ verir. Özgül ağırlığı $3,87 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Alkalilerde çözüldüğünde arsenit tuzlarını verir. Şiddetli zehir olup, 0,06 ile 0,2 gram arası insanı öldürür.
2. Arsenik pentaoksit. Beyaz renktedir. Su ile arsenat asidini, H_3AsO_4 verir. Arsenik, halojenlerle AsX_3 ve AsX_5 şeklinde iki tip bileşik verir.

Arsenat ve arsenit bileşikleri arsenat (AsO_4)³⁻ ve Arsenit (AsO_2) köklerinin çeşitli metallere verdiği bileşiklerdir. Bunlar çeşitli maksatlarla kullanılır. $\text{Na}_3\text{AsO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ bileşiği matbaa mürekkebi, tekstil boyaları ve böcek öldürücü olan kalsiyum ve kurşun arsenatların üretiminde kullanılır. Potasyum dihidrojen arsenat, KH_2AsO_4 sinek kağıdı, böcek öldürücü, tekstil boyamada ve derinin korunmasında kullanılır. Bu maksatlar için sodyum meta arsenit, NaAsO_2 de kullanılır. Bakır arsenitler bir böcek öldürücü olan paris yeşilinde ve bir pigment olan scheele yeşilinde kullanılır.

Arsenik, kükürt ile As_4S_3 ve As_4S_4 (kırmızı arsenik), As_2S_3 (sarı arsenik) ve As_2S_5 verir. Bunlar asidik özellikte olup, kuvvetli bazlarla çözünür. Kırmızı ve sarı arsenik sülfürler pigment olarak kullanılır.

Arseniğin karbon ile yaptığı organik bileşikler bir çok yollarla elde edilebilir. En basit yolu arsenik halojenür ve grignard bileşikleri kullanmaktır. Arseniğin bileşikleri zehirli ve tatsızdır. As_2O_3 dışılıkte kullanılır.

Arsenik mide ve vücudun diğer kısımlarında mahalli (yerel) iltihaplanmalara sebep olur. Arsenik zehirlenmelerine karşı kalsiyum, magnezyum ve demir hidroksitleri kullanıldığı gibi İngiliz tuzu, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ da kullanılır. Bunlar çözünmeyen arsenikleri teşekkül ettirirler. Böylece zehir etkisini yok ederler.

Arsenik zehirlenmesi, çeşitli arsenik bileşiklerinin vücut dokuları ve fonksiyonları üzerindeki zararlı etkileridir. İnsanda arsenik zehirlenmesi, genellikle arsenik -3- oksit (arsenik anhidrit), bakır asetoarsenit, kalsiyum veya kurşun arsenat gibi arsenik bileşikleriyle hazırlanmış böcek ilaçlarının ağız veya teneffüs yoluyla alınmasından meydana gelir. İlaçlı meyve ve sebzelerin yıkanmadan yenmesi de zehirlenmeye yol açacak seviyede arseniğin vücutta birikmesine sebep olabilir.

Arseniğin zehirli etkilerinin, vücuttaki bazı enzimlerle birleşerek hücre metabolizmasına bozucu etkide bulunmasından ileri geldiği zannedilmektedir. Arsenik zehirlenmesi, ya bir kerede alınan yüksek dozda arsenikten (akut zehirlenme)

veya küçük dozlarda ard arda alınmaktan (kronik zehirlenme) kaynaklanır. Akut arsenik zehirlenmesinde ilk iş mideyi yıkamak ve zaman kaybetmeden demir kaprol ilacını almaktır. Arsenik-3- oksit renksiz ve tatsız bir tozdur. Adli tıpta kimyasal araştırma tekniklerinin geliştirilmesine kadar cinayet amacıyla en çok kullanılan zehirlerin başında gelmektedir.

2.2. Arseniğin Kimyası

Arsenik elementlerin periyodik tablosunda, nitrojen ve fosfor ile birlikte 15. sırada yer almaktadır. Yarı metal olarak düşünülür ancak metalik ve metalik olmayan özelliklerin her ikisini de taşır. Kırılgan, saf formda bulunan gri metaldir ancak doğada çoğunlukla diğer metallerle, demir, bakır, gümüş, nikel, oksijen ve sülfürün kombinasyonları ile birlikte bulunur.

Atom numarası 33 ve atomik ağırlığı 74,9'dur. Demir, nikel ve manganezden ağır ancak, gümüş, kurşun ve altından hafiftir. Redoks reaksiyonlarında (İndirgenme-Yükseltgenme Reaksiyonları) -3, 0, +3 ve +5 olmak üzere 4 değerlilik alır ancak en çok inorganik formlarda, bir arsenit veya arsenatın oksijen ile kombinasyonları olduğu zaman +3 ve +5 değerlilik alırlar.

Sembol: As

Atom.numarası: 33

Atom.ağırlığı: 74.9216g/mol

Oda koşullarında (25°C 298 K): Metalik gri katı

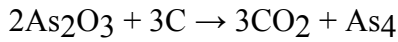
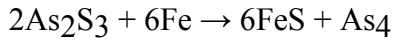
Yarı iletken p-blok elementidir. 1250 yılında ilk kez Albertus Magnus tarafından izole edilmiştir. 1649 yılında Johann Schroeder arseniğin eldesi hakkında iki method yayınladı.

Arsenik ve arsenik içeren mineraller ısıtıldıkları zaman süblimleşirler (katı halden sıvı hale geçmeksizin gaz hale geçmek). Realgar (As_4S_4), orpigment (As_2S_3), arsenolit (As_2O_3), arsenopyrite ($FeAsS$) ve demirli arsenik($FeAs_2$) gibi minerallerinin oksijensiz ortamda ısıtılması ile saf arsenik süblimleşerek elde edilir.

Arsenik buharının 100-200° lik bir yüzeyde soğurulması ile siyah renkli cam gibi amorf bir halde elde edilir.



Sülfür bileşiklerinin ve oksitlerinin indirgenmesi ile elde edilir. Bu reaksiyon sıcakta yapıldığında arsenik süblimleşerek ayrılır.



Yoğunluğu: 5.727 g/ml

Erime noktası: 817°C (1090 K)

Kaynama noktası: 614 °C (887K)

Molar hacmi: 12.95 ml/mol

Mineral sertliği: 3.5

Elektrik iletkenliği (298K): $3.45 \cdot 10^6 \text{ m}^{-1}\text{ohm}^{-1}$

Özgül Isısı: $0.33 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Elektronik konfüğürasyonu: $[\text{Ar}].3d^{10}.4s^2.4p^3$

Kabuk yapısı: 2.8.18.5

Elektronegatiflik: 2.18 (Pauling birimine göre), 2.82 (Sanderson elektronegatifliği)

Atomik yarıçapı: 115 pm (hesaplama 114 pm)

Elektron ilgisi: 78 kJ mol^{-1}

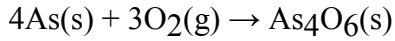
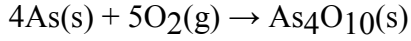
Oksidasyon sayısı: -3, +3, +5

Arseniğin bazı kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- Tunç rengi vermek için
- Organarsin bileşikleri tıp sektöründe ilaç olarak
- Pb-As bileşikleri saçma yapımında
- Transistör yapımında doping ajanı olarak kullanılır.

Arseniğin bazı reaksiyonları aşağıda verilmiştir.

Arsenik kuru ortamda kararlıdır. Zamanla yüzeyi oksitlenmeye başlayınca rengi bronzlaşmaya başlar daha sonra siyaha dönüşür. Isıtıldığından As_4O_6 arsenik trioksite dönüşür. Havada ısıtıldığında arsenik pentaoksit daha doğrusu tetra arsenik dekaoksit oluşturur.



Arsenik havasız ortamda ve normal koşullar altında su ile reaksiyon vermez.

Arsenik AsX_3 ve AsX_5 şeklinde halojenürleri ile reaksiyon verir. Trihalojenürleri ile yaptığı bileşikleri su ile hemen hidroliz olur.

Yükseltgen olmayan seyreltik asitler ile reaksiyon vermez. Nitrik asit ile arsenik asidini oluşturur.

Arseniğin bazı bileşikleri aşağıda verilmiştir:

AsH_3 : Arsenik (III) hidrür: gaz yapıda

As_2H_4 : Arsenik (II) hidrür: gaz yapıda

AsF_3 : Arsenik (III) florür: sıvı yapıda

AsF_5 : Arsenik (V) florür: gaz yapıda

$AsCl_3$: Arsenik (III) klorür: sıvı yapıda

$AsCl_5$: Arsenik (V) klorür

$AsBr_3$: Arsenik (III) bromür: kristal yapıda

AsI_3 : Arsenik (III) iyodür: kristal yapıda, kırmızı

$[AsI_2]_2$: Arsenik (II) iyodür: kristal yapıda, kırmızı

As_2O_3 : Arsenik (III) oksit: kristal yapıda, beyaz

As_2O_5 : Arsenik (V) oksit: katı beyaz

As_2S_3 : Arsenik (III) sülfür: Kristal yapıda, sarı

As_2S_5 : Arsenik (V) sülfür: Katı yapıda, sarı veya kahverengi

As_2Se_3 : Arsenik (III) selenit: Katı yapıda, kahverengi-siyah

As_2Te_3 : Arsenik (III) tellürit: Kristal yapıda, siyah

2.3. Arsenik Kaynağı

Arsenik doğal olarak meydana gelebilen, erozyon aracılığıyla su kaynaklarını kirletebilen ayrıca boya, metal, sabun, ilaç gibi endüstriyel ürünlerin, üretim proseslerinin yan ürünü olarak da doğaya karışabilen bir ağır metaldir. Arsenik topraktaki kayaçlardan, minerallerden, maden filizlerinden aşınarak ve çözünerek doğal yollardan su ortamına geçer. Arseniğin iki kökeni vardır; birincisi endüstriyel atıklardan kaynaklanan atık suyun deşarjı ve atıksuyun su kaynağına (yüzeysel sulara, yeraltı suyuna) sızması ile ya da tarım alanlarında kullanılan böcek öldürücülerden (örneğin bakır asetoarsenit) suya karışır ve su kalitesi bozulur. Kirlenen kaynaktan kullanım suyu (içme suyu) temin edilirse kullanma suyunda kirliliği kaynağına bağlı olarak arsenik gibi, ağır metaller ortaya çıkacaktır. Arsenik doğal olarak da (örn. organik maddelere bağlı ya da element olarak) toprakta bulunabilir ve suyla (yağış ya da sulama suyu etkisi ile) çözülerek su kaynağında arsenik oranının artışına neden olabilir.

Bor madeni yatakları çevresindeki suda arsenik doğal olarak bulunmaktadır ve Türkiye bor madenleri açısından zengin bir ülkedir. Dünya bor yataklarının %70'i Türkiye'de bulunmaktadır, dolayısıyla arsenik oranını sıfıra indirmek mümkün değildir, arsenik olacaktır ama mümkün olan en düşük değerlerde arsenik olmalıdır. Arseniğin iki bilinen formu vardır; Arsenit (Arsenik III) ve arsenat (Arsenik V). 'dır.

2.4. Arseniğin Doğada Bulunma Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Arsenik azot ailesinden metalloid özellik gösteren bir elementtir. Gri ve sarı kristaller halinde iki ayrı biçimde bulunan ve bileşikleri İ.Ö. 4.y.y. dan beri bilinen arsenik, element olarak ancak 17.y.y.' da tanımlanabilmiştir. Yazılı belgelere göre arseniği ilk kez serbest element halinde tanımlayan, 1649 da oksidini taş kömürü ile ısıtarak arsenik elde etmiş olan Alman Eczacı Johann Schroeder'dir. Arsenik bakır, kurşun gibi metallerin eritilmesi ile yan ürün olarak da oluşabilmektedir. Arseniğin bazı biçimleri metale benzemekle birlikte element olarak genellikle ametaller arasında sınıflandırılır. Yumuşak ve sarı arsenikten daha kararlı olan ve doğada daha bol bulunan gri ya da metalsi arsenik kolay kırılır, havada kararır ve hızla yüksek

sıcaklıklara kadar ısıtıldığında süblimleşir; başka bir deyişle erimeksizin doğrudan buhar haline geçer, buhar soğutulduğunda sıvılaşmadan yeniden kristalsi katı biçimine döner. Arseniğin sarı ve griden başka biçimlerine de rastlanmıştır. Arsenik akut toksisitesi kimyasal formuna bağlıdır. Elemental, gaz (arsin), organik ve inorganik formlarda bulunur. Gaz formu en toksik formudur. Doğada en çok bulunan formu inorganik arseniklerden arsenik trioksittir. İnsanlar günlük 300 µg alabilirler. Arsenik ppm'den ppd'ye değişen konsantrasyonlarda toprakta, suda ve canlı organizmalarda bulunur. Arsenik çevrede çok yaygındır. Özellikle (+5) değerlikli bileşikleri toprakta diğer arsenik türlerine oranla daha fazla bulunur. Toprakta 0,1-40 ppm miktarı arasında rastlamak olasıdır. Topraktaki organik maddelere bağlı olarak da bulunan arsenik, organik maddelerin okside olmasıyla suya ve oradan bitkilere geçer. Doğal su kaynakları ve denizlerde değişen oranlarda arsenik bulunmaktadır. Suyun ısısının arttığı yerlerde arsenik oranı da artmaktadır.

Bitkilerdeki arsenik oranı bitkinin bulunduğu coğrafi konum, topraktaki arsenik miktarı ve çevresel etmene bağlı olarak farklılık gösterir. Deniz bitkilerindeki arsenik konsantrasyonu daha yüksektir. Bazı yosun türlerinde bu oran daha da artmaktadır. Deniz ürünlerinde arsenik miktarı tolerans sınırının üstünde olabilir (2.6 ppm). Örneğin morinanın karaciğer yağında, yengeçte ve planktonlarda yüksek oranda arsenik saptanmıştır. Element halinde arseniğin kullanım alanı oldukça kısıtlıdır. Daha çok tüfek saçmalarına yuvarlak biçim vermek için kurşuna element halinde arsenik katılır. Ayrıca tunç kaplamacılığında, fişekçilikte ve bazı alaşımların yüksek sıcaklıklara direncini artırmakta arsenikten yararlanır. As-72, As-74 ve As-76 gibi radyoaktif izotopları ise tıpta tanı yöntemlerinde kullanılır.

Paris yeşili olarak bilinen bakır asetoarsenit uzun yıllar insektisit olarak kullanılmıştır. Kurşun ve kalsiyum arsenat da özellikle tütün ve pamuk tarımında insektisit olarak kullanılmıştır. Çinko ve krom arsenatlar ahşapların korunmasında kullanılmaktadır.

Arsenik bileşikleri özellikle cilde, göze, solunum yollarına irritan etki gösterdiğinden savaş gazı olarak kullanılmıştır. Penisilin keşfine kadar frengi gibi hastalıklara neden olan etkenlerle savaşmak için ilaçlarda da kullanılmıştır.

Geçmişte arsenikle zehirlenmeler intihar ve kasıtlı ölümlerde kullanılırdı. Orta çağda arsenik sözcüğü zehir sözcüğüyle eş anlamdaydı. Renksiz, kokusuz arsenik trioksitin yiyecek ve içeceklerde fark edilmemesi ve zehirlenme belirtilerinin kolera, anemi gibi hastalıklara benzerliği tercih nedeni olmaktaydı. Ancak analitik toksikolojideki zehirlenmenin kimyasal olarak tanımlanabilmesi ve diğer ilaçlarında zehirlenme etkeni olarak kullanılması ile arsenikle zehirlenmeler azalmıştır. Arsenik farklı hastalıkların tedavisinde değişik bileşikler halinde (potassium arsenite, arsenic iodid, arsenic trichloride) ilaç olarak yakın zamana kadar kullanılmıştır. Antibiyotikler bulunmadan önce sifiloz uzun süre tedavisinde kullanılmıştır. Günümüzde tedavi amaçlı kullanılan birçok bileşik ve bitkisel ürün arsenik içermektedir. Tryparsamide bir parazitik protozoanın (*Trypanosoma brucei*) neden olduğu Afrika uyku hastalığının tedavisinde kullanılmaktadır. Retinoic acid akut promyelocytic lösemi tedavisinde kullanılan bir antilösemik ilaçtır. Hindistan'da ayurvedik sistemde arsenik malign kan hastalıkları tedavisinde kullanılmaktadır. Aynı şekilde Çin'de kullanılan bitkisel ilaçlarda tehlikeli miktarlarda arseniğin bulunduğu gösterilmiştir.

2.5. Metabolizma ve Toksikitesi

İnsan etkinliklerinin artışı, aralarında arsenik, cıva, kadmiyum ve kurşun gibi esansiyel olmayan toksik elementlerin de bulunduğu ağır metallerin ve metaloidlerin küresel döngüsünü değiştirmiştir. Sanayi devrimi sonrasında, özellikle de çevre kirliliğinin giderek arttığı 20. yüzyılda toprak, su, hava gibi alıcı ortamların ve bunların bileşkesinde gıdaların ağır metallerle kirlenmesi dünyada canlı yaşamı üzerinde etkili olmaya başlamıştır. Doğada çok bol bulunan arsenik de karmaşık metabolizması ve insanlarda karsinojen etkisiyle bu ağır metaller içinde yer almaktadır.

Arseniğin temel doğal kaynağı kayalardır. Arseniğin bu kaynaklardan salınması ve mobilizasyonu, bu elementin toprakta, suda ve havada farklı biçimlerde bulunmasını olası kılar. Arsenik çevremizde her yerde bulunmakta ve insanlar bu toksik metaloid kaçınılmaz olarak maruz kalmaktadır. Normal ekolojik koşullarda arsenik bio ulaşılabilirlik düzeyi insan sağlığını çok ciddi boyutlarda etkilemez. Çok sayıda insan ürünü arsenik bileşiği tarımda böcekler, parazitler ve yabancı otlarla mücadelede etkin

madde olarak kullanılmakta ve doğada giderek daha çok birikmektedir. Ayrıca, bazı antropolojik etkinliklere bağlı olarak artan doğadaki arsenik konsantrasyonu insanların arsenik maruziyetinde artışla sonuçlanmaktadır. Arseniğin farklı formlarının çözünürlüğü, stabilitesi ve hücresel toksisitesi oldukça farklıdır. Bu yüzden, arseniğin farklı kimyasal formları, özellikle inorganik formu olan arsenat (+5) ve arsenit (+3), onların döngüleri, sürekliliği ve biyolojik ulaşılabilirliği üzerine çalışmalar, insanların arsenik maruziyeti düzeylerini anlamamızı sağlamaktadır.

Değişik maden cevherlerinin ergitme sürecinde, kömürün yanması sonucunda oluşan toz ve baca gazlarıyla doğaya salınan arsenik toprak ve suyu kirletir. Sonuçta arsenik kirliliği maden işletmelerinden, kömür yakılan termik santralardan, çimento ve birçok başka endüstriyel tesisten kaynaklanarak hem çalışanlar hem de çevrelerinde yaşayanlar için ciddi bir sağlık sorunu olmayı sürdürür.

Eldeki veriler temelinde, toplumda günlük arseniğin alımı, tüketilen gıda ve içecek miktarına bağlı olarak 20 - 300ug/gün arasında değişmektedir. Bu büyük değişim aralığı dünya genelinde gıda tüketim alışkanlıklarının çok farklı olmasına ve özellikle de tüketilen gıdalar içindeki balık ve kabuklu deniz canlılarının oranına bağlıdır. Ayrıca alınan toplam arsenik miktarı, içindeki daha az toksik olan organik arsenik veya daha çok toksik olan inorganik arsenik miktarını yansıtmayacağını da belirtmek gerekir. Eldeki sınırlı verilere göre alınan günlük toplam arsenik miktarının yaklaşık % 25'i inorganik arseniktir.

Kokusuz ve renksiz olan arsenik gastrointestinal sistem, solunum sistemi ve parenteral yollardan absorbe olur. İnorganik arseniğin gastrointestinal absorpsiyon hızı çok yüksektir. En fazla absorpsiyon ince bağırsaktan olur. Sütteki kazein absorpsiyonu azaltır. Solunum yoluyla alınan arsenik %80 sistemik absorpsiyonla sonuçlanır. Arseniğin cilt tarafından sistemik absorpsiyonu çok fazla değildir. Akut alımda en fazla dağılım karaciğer ve böbrekte olur, daha sonra beyindedir.

Arseniğin biyolojik olarak izlenmesi akut ya da kronik arsenik maruziyetinin tanımlanmasında gereklidir. Arsenik başlıca idrarla atılır. İdrardaki total arsenik konsantrasyonu genellikle yakın zamanda arseniğe maruziyetin bir göstergesidir.

İnorganik arseniğin insanlardaki yarı ömrü dört gündür. Kaliforniya ve Nevada da arsenik içeren suların tüketildiği bölgelerde yapılan araştırmalarda alınan arsenik konsantrasyonlarının yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünün idrarla atıldığı saptanmıştır. Absorbe olan organik ve inorganik arseniğin kandaki yarılanma ömrü çok kısadır. Kan oral arsenik maruziyetinde kimyasal analizler için uygun bir biyolojik materyal değildir.

Saç ve tırnak vücudun diğer dokularıyla kıyaslandığında arsenik konsantrasyonunun en yüksek olduğu bölgelerdir. Bunun nedeni bu bölgelerin trivalan arsenikle kolayca bağlanabilen sülfidril (SH) grupları içeren keratine zengin olmasıdır. Saç daha çok inorganik arsenik maruziyetinin ölçülmesinde kullanılır. Saçın biyolojik materyal olarak kullanılmasının dezavantaj olduğu durumlar saçın hava, su, sabun ve şampuanlardan etkilenerek arsenik konsantrasyonlarının değişmesidir.

Tırnaklar günde yaklaşık 0,12 mm büyüdüğünden tek doz arseniğe maruziyetten 100 gün sonra bile tırnakta arsenik bulunabilir. Arseniğin anne sütüne geçerek bebek üzerinde ciddi toksik etki yapabileceği belirtilmektedir. Arsenik kostik özelliğinden dolayı kanserli hastalarda kullanılmıştır. Arsenik içeren tozların solunması arseniğin burun mukoza membranlarını etkileyerek nazal septumu delmesiyle sonuçlanır. Bu etki maruziyetin ilk ya da ikinci haftasında görülür. Topikal maruziyet lokal inflamasyon ve vezikülasyon ile sonuçlanmaktadır. Hassas olan kişilerde kostik olmayan konsantrasyonda bile vezikülasyon ya da folikülitise neden olur.

Farklı yollardan alıcı ortamlara (toprak, su ve hava) verilen arsenik bu ortamlardan etkilenen gıdaların da kirlenmesiyle insanlar tarafından cilt teması ve özellikle solunum ve sindirim yoluyla alınır. Alınan arsenik miktarına, alım süresinin uzunluğuna bağlı olarak farklı sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunlar:

- Kromozom anomaliteleri, gen yapılanmasında dizilim bozukluğu, hücre proliferasyonu
- Cilt hasarı ve ciltte kalınlaşma, saç dökülmesi ve tırnaklarda kırılma
- Kemik iliği etkilenimi ve buna bağlı anemi
- Kalpte ritim bozukluğu
- Kornea ve konjunktiva hasarına bağlı göz sorunları

- Karaciğer ve böbrek işlevlerinde bozulma
- Solunum sistemi harabiyetine bağlı bronşit
- Kılcal damarlarda dolaşımın bozulması sonucu gangren gelişimine kadar giden sorunlar
- Diyabet
- Farklı organ ve sistem kanserleri

2.5.1. Akut arsenik maruziyeti

Belirtiler arseniğin miktarı, alım zamanı ve hastanın yaşı gibi bir çok etmene bağlı etkilenir. En önemli etkiler gastrointestinal ve kardiyak bozukluklardır. Şiddetli karın ağrısı, ağızda metalik tat, boğazda sıkışma, kusma, koleradaki gibi diyare, bacaklarda kasılma, zayıf ve düzensiz nabız, solgun yüz, gözlerde çökme, soğuk ve ıslak bir cilt, konvülziyonlar, felç, kollaps, koma ve ölümlerle sonuçlanabilirler. Akut maruziyette çok az cilt reaksiyonu gözlenmiştir.

2.5.2. Kronik arsenik maruziyeti

Kronik zehirlenme belirtileri iştahsızlık, genel zafiyet, kusma, dişetlerinde kanama, dişetlerinde siyah çizgi, dermatit, hiperkeratozis, şiddetli deri döküntüsü, kolik, nefeste sarımsak kokusu, el ve ayak tırnaklarında açık lekeler en belirgin özelliklerdir.

Kronik arsenik maruziyeti ile cilt kanseri arasında bağlantı olduğu görülmüştür. Altı ile 26 yıl arası fowler solüsyonu verilerek tedavi edilen 262 hastanın %40' ında keratoz ve %8' inde cilt kanseri olduğu saptanmıştır. İçme suyunda yüksek oranda arsenik bulunan Arjantin'in Girdaba Bölgesi'nde yapılan araştırmada herkeste keratodermo bulunmuştur. Ayrıca hastaların büyük bir kısmında hiperhidrozis ve pigment anormallikleri görülmüştür. Özellikle güneş almayan gövde üzerinde 1-10 mm çaplı ve birbiriyle birleşme eğilimli siyah lekeler görülmüştür. Gövdede pigment irregülasyonu ve keratoz kronik arsenik maruziyetinin en önemli göstergesidir.

2.5.3. Tedavi

Mide zaman geçirmeden yıkanmalı, genel tedavi prensipleri yanında karbonhidrat ve proteinden zengin yağdan fakir diyet verilmeli, gerekirse oksijen verilmelidir.

2.6. Arsenik Arıtım Teknolojileri

Arsenik dünyanın her yerinde en geniş çevresel zehirli kimyasal elementlerden biridir. Tayvan, Çin, Arjantin, Şili, Meksika Avrupa'nın bölümleri, ABD ve en dikkat çeken Batı Bengal, Hindistan ve komşu Bangladeş'te yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır.

1980'lerin ortasından beri, milyonlarca insan içme sularında tehlikeli seviyelerde maruz kalmışlardır, böylelikle tüm halk sağlığını etkilediğinden arsenik ile ilgili hastalıkları önleme ve tedavi için, yüksek seviyelerdeki aktiviteleri reddedilmektedir. Yalnız Bangladeş'te 120 milyondan fazla insanın 0,010 ppm'den yüksek seviyelerde maruz kaldığını, daha önceden görülmemiş bir boyutta olası sağlık acil durumunu WHO(ve US EPA) ortaya çıkarmıştır.

Bir arsenik giderim teknolojisini değerlendirmeden önce, detaylı su analiz değerleri ölçülerek , arıtmadan sonra oluşacak suyun karakteri ile ilgili de çalışmalar yapıp , verilerin sağlanması yapılmalıdır. Arsenik giderim metodlarının karşılaştırılması Tablo 2.1 'de verilmiştir.

2.6.1. Pıhtılaştırma ve çökeltme

Pıhtılaştırma ve çökeltme alüminyum veya demir tozları veya kireç yumuşatıcı eklenerek kentsel arıtma tesislerinde genel olarak büyük çapta kısıtlayıcı metotlardır. Bu metotlar büyük oranda kullanıcı eğitimi, devamında kimyasal eklenmesi gerektirir. Bu suyun niteliğini değiştirebilir ve atık ürünler içerebilir.

Pıhtılaştırıcı madde kimyasallarından demirin kullanılması US (United State) EPA (environmental Protection Agency) MCL (max.Contaminant Level) 'de 10 mg/lit'nin

altındaki seviyelerde arsenik indirgeyici olarak daha etkili görülmüştür. Bu teknolojiler kullanıcı müdahalesi gerektirdiğinden, küçük sistemler için uygun değildir.

2.6.2. Adsorptif madde

Gelişmekte olan ülkelerde veya küçük toplumlarda, adsorptif maddeye odaklanılmıştır. Bazı medyalar, belirli bir bölgede bulunan anormal malzemeler ile sınırlıdır. Kurumuş sümbül kökü, hintkeneviri, kırmızı kül, talaş, turuncu atık ve gazete hamuru gibi.

Kömür santralinden çıkan uçucu kül, hatta bununla birlikte uçucu külün kendisi yüksek oranlarda arsenik içerir. Demir birçok başarılı adsorptif medyanın bir ana bileşenidir.

2.6.3. Oksidasyon ve demir ile ortak çökeltme

Yer altı suyunda doğal demir bulunduğu zaman, oksidasyon ve ortak çökeltme, atıkları giderici uygun maliyetli bir filtrasyon ile takip edilir. Fenton reaksiyonunun (demir ve hidrojen peroksit) küçük sistemler için uygun bir metot olduğu ispat edilmiştir. Ortak çökeltme ile oksidasyonda demir Fe^{+2} 'den Fe^{+3} 'e ve arsenik As^{+3} 'den As^{+5} 'e yükseltgenir ve sudan filtrelenirler. Demir ile arsenik arasındaki oran 20:1 olmalıdır. Oksidant klor, ozon ve potasyum permanganat içerir; oksijen yalnız demir için yeterli olurken, arseniği oksitleyemez.

2.6.4. Membranlar

Membranlar arsenik giderme için kanıtlanmış bir metottur. Reverse osmos ve nanofiltrasyonun her ikisi de kanıtlanmış metotlardır. Pıhtılaştırma kimyasalları ile ham suyun uygun ön arıtması, ön filtrasyon ve sertliği giderme yöntemleriyle membran performansı artırılabilir. Membranlar çok pahalı olabilmelerine rağmen çok küçük sistemler için uygun maliyetli bir çözüm olabilir.

2.6.5. Koagülasyon, filtrasyon ve ultrafiltrasyon

Koagülasyon ve filtrasyon, askıda katıları ve koloidal haldeki katıları sudan uzaklaştırmak için birçok su arıtma sistemlerinde yer alan geleneksel bir metottur. Suya koagülant eklenerek su içinde koloidal partiküllerin bir araya gelme kabiliyetini artırır. Flokülasyon sırasında, negatif yüklü iyonik mikro partiküller koagülanta doğru çekilir ve birbirine tutunurlar, floklara bağlanan arsenik çökeltmeyle veya filtrasyonla sudan uzaklaştırmaktadır. Böylece arseniğin % 90 giderimi başarıyla sağlanmış olur.

Tablo 2.1. Arsenik giderme metodlarının karşılaştırılması

YÖNTEM	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI	
Yükseltgeme çöktürme	Hava ile yükseltgeme	basit, düşük maliyet, organik ve inorganik yapılar yükseltgenebilir	As (V) uzaklaştırılmasında etkilidir
	Kimyasal ile yükseltgeme	basit, hızlı, az kalıntı	pH ve yükseltgenmenin hassas takibi
Koagülasyon filtrasyon	Alum koagülasyon	uzun ömürlü, düşük yatırım maliyeti, basit işletim, geniş pH aralığında çalışma imkanı	toksik atıklar, düşük verim, ön yükseltgenme gerekliliği
	Demir koagülasyon	alümin koagülasyona göre daha verimli	orta derecede verim, sedimentasyon ve filtrasyon gerekliliği
	Kireçle yumuşatma	ticari kimyasallar mevcut	pH ayarlaması
Sorption ve iyon değiş-tokuş	Etkin alümina	yaygın ticari ürünleri mevcut	beş rejenerasyon adımı sonrasında yenisi ile değiştirilmeli
	Demir temelli tutucular	ucuz, rejenerasyon gerektirmez, hem As (III) hem de As (V) uzaklaştırılmasında etkilidir.	standart değildir. toksik atık oluşturabilir.
	İyon değiştirici reçineler	özel geliştirilen ürünlerle seçiciliği yüksek	As yüksek yatırım maliyeti, rejenerasyon ihtiyacı
Membran	Nanofiltrasyon	yüksek uzaklaştırma verimi	yüksek yatırım ve işletim maliyeti
	Ters ozmoz	oksik atık oluşturmaz	yüksek yatırım ve işletim maliyeti
	Electrodializ	As dışındaki kirleticileri de uzaklaştırabilir	toksik atık oluşturur

2.7. Arsenik Arıtımı için Türkiye’de Kurulmuş Tesis Örneği

Nüfus artışı ve hızlı şehirleşme ile birleşen global ısınma dünyanın her yerinde su kaynakları üzerindeki yükü arttırmaktadır. Giderek düşen yer altı su seviyeleri de su içindeki zararlı mineral ve kimyasalları daha belirgin kılmaktadır. Bilindiği gibi

İzmir ve civarındaki yeraltı sularında bulunan arsenik seviyeleri zamanla tehlikeli sınırları zorlamaya başladığında İZSU teknik çözüm arayışlarına yönelmiştir.

Bu amaçla 2007 yılı itibariyle arsenik seviyelerinin düzenli olarak izlenmesi başlatılmış ve sonuçta Büyükşehir Belediyesince Göksu-Sarıköz kuyularından üretilen ham suyun arsenik arıtımı için Ağustos 2008’de ihale açılmıştır.

İzmir şehrinin tüm su kullanımının %60 ila %70’i yer altı sularından (geri kalan, %30 ila %40 barajlardan) karşılandığı için kurulması gereken arsenik arıtma tesisi kapasitesinin 3000 litre/saniye olması gerektiği tespit edilmiştir. Halk sağlığını ilk elden ilgilendiren bu arıtma tesisinin en emin ve en kısa sürede bertaraf edilmesi acil ve öncelikli bir konu olarak ele alınmıştır.

Yapımı fiilen Ağustos 2008’de başlanan tesisin ilk etabı 120 günde tamamlanarak, Ocak 2009’da devreye alınmıştır.Şekil 2.1 ‘de İzmir arsenik arıtma tesisinden bir görünüm verilmiştir.

Kapasite itibariyle dünyadaki en büyük arsenik arıtma tesisi olan bu projenin başarıyla tamamlanması önemli bir başarı olarak kabul edilmektedir. Tesisin ihale bedeli 10 milyon €, kapasitesi ise 259,000 m³ /gün olup, çevreye hiçbir atık su bırakmayan ileri bir teknolojiyle çalışmaktadır. Kullanılan proses (multi-layer filtration) ve kullanılan özel mineral Culligan® patentlidir.

İlk etabın işletmeye alınmasını müteakip İzmir’de toplanan “Güvenli Su Üretimi” konulu milletlerarası kongrede dünyanın ileri gelen uzman ve akademisyenleri tesisin teknolojisi ve kapasitesi ile ilgili hayranlıklarını dile getirmişlerdir.

İçme suyundaki arsenik oranının kabul edilebilir üst limiti Avrupa ve ABD normlarına göre 10 mikrogram/litre 'dir. Bu mevsimde İzmir'de kuyulardan elde edilen ham suyun arsenik seviyesi 80 ila 100 mikrogram/litre'dir. İç Anadolu'nun bazı havzalarında bu oran çok daha yüksek olup, Türkiye' deki maksimum değerler 180-200 mikrogram / litre 'ye kadar çıkabilmektedir. Uygulanan yöntemle sorun en verimli ve ekonomik yöntemle çözülmektedir.

Sistemin çalışma şekli aşağıda anlatılmıştır:

Kuyulardan gelen hamsu, arıtma tesisinde ön klorlamadan geçtikten sonra demir 3 klorür enjekte edilir. Ardından özel mineral içeren multi medya filtrelerinden geçirilerek arsenikten arındırılır. Çıkış suyu son klorlama yapıldıktan sonra sisteme verilir. Tesis filtre binası, hamsu deposu ve pompa istasyonu, ters yıkama suyu tankları bölümlerinden oluşmaktadır. Filtre binasının içinde 128 adet filtre tankı yer almaktadır.



Şekil 2.1. İzmir arsenik arıtma tesisinden bir görünüm

2.8. Arsenik Arıtımı İçin Fransa'da Kurulmuş Tesis Örneği

Kullanılan yöntem FeOOH ile kaplı filtre üzerinde adsorbsiyon yöntemidir. Filtrasyon malzemesi olarak GEH(Granular Eisen Hydroxyde) minerali kullanılmaktadır. Tesisin farklı açılardan görüntüsü Şekil 2.2' de verilmiştir. Sistemi besleyen ham sulardaki miktarlar aşağıdaki gibidir :

As : 160 - 200 $\mu\text{g/l}$

Sb : 6 - 9 $\mu\text{g/l}$

Tesisin akım şeması Şekil 2.3' de verilmiştir. Tesisin özellikleri aşağıdaki gibidir:

Kapasite: 36 m^3/saat

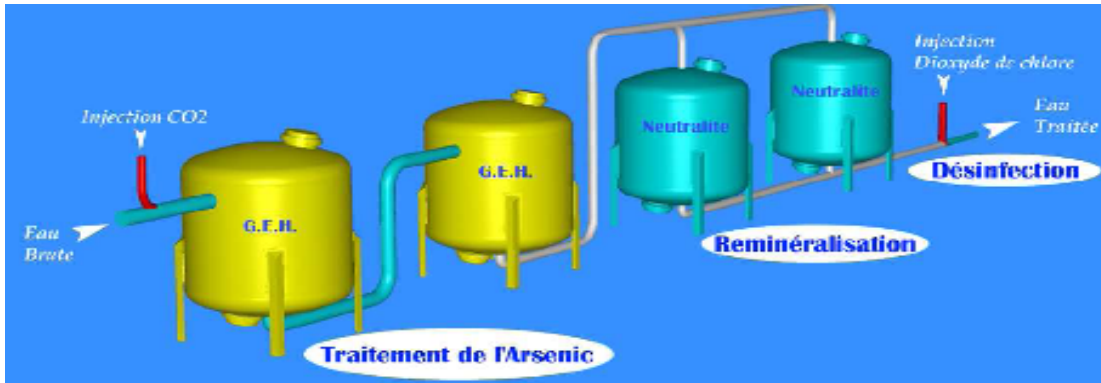
Amaç: Arsenik ve Antimon oranı $< 5 \mu\text{g/l}$

Ağ: Arsenik arıtımı ve nötralizasyon

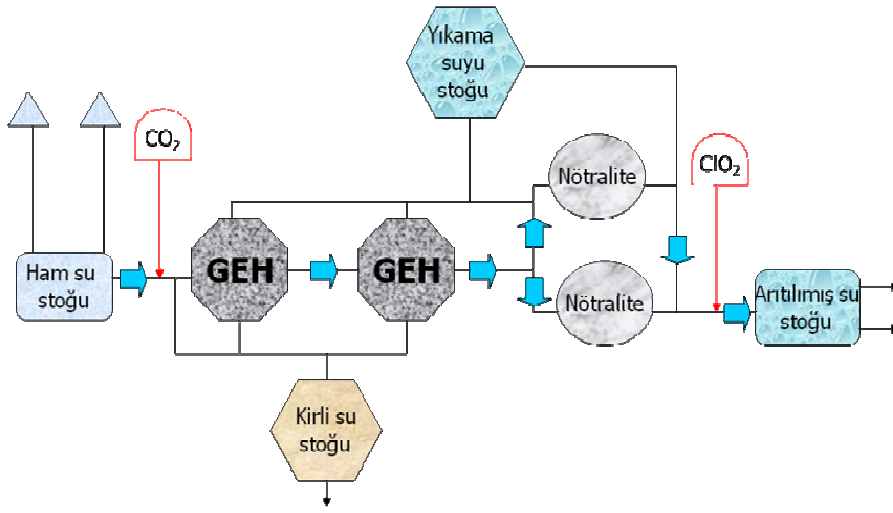
Kurulumun en başındaki filtre ve en sondaki filtre (9 m^3 GEH)

İnşaa 2003: 236 520 $\text{m}^3/\text{yıl}$ için 505 000 euro

Malzemelerin değiştirilmesi ve tasfiye maliyeti : 0,134 euro/ m^3

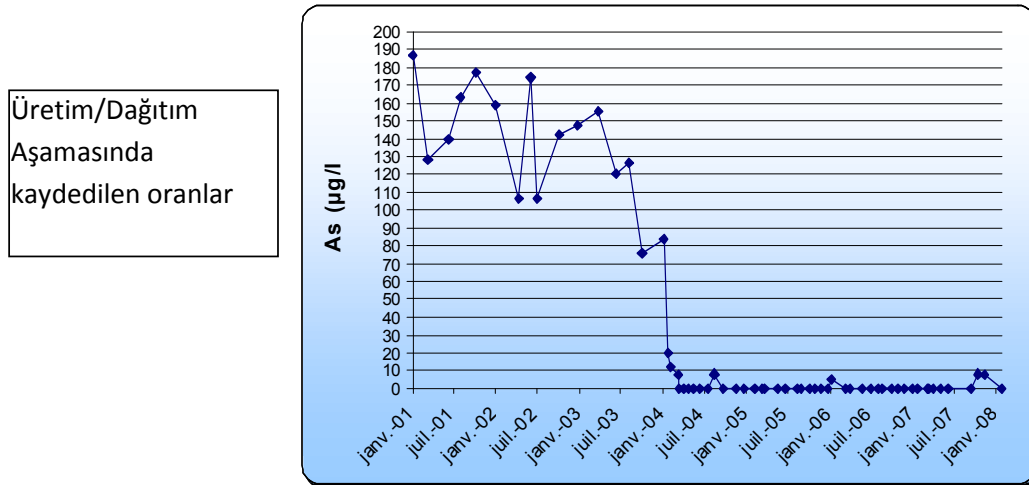


Şekil 2.2. Arsenik arıtma tesisinin farklı açılardan görüntüsü



Şekil 2.3. Arsenik arıtma tesisinin akım şeması

Tesisin çalışması ve arıtılmış suyun dağıtımı esnasında, sudaki arsenik miktarını kontrol altına almak için belli zamanlarda arsenik ölçümleri yapılmış ve kaydedilmiştir. Tesisin kurulumundan sonra gözlenen arsenik değişim miktarları Şekil 2.4 ' de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tesisin kurulumundan sonra gözlenen arsenik değişim miktarları

Tesisin faaliyete geçmesinden sonraki azami oran: 8 µg/l

Haftalık 6 saatlik bakım (1 kişi)

Filtrelerin hafta bir yıkanması

Filtrenin her yıl değişimi (dönüşümlü)

2.9. Alternatif Arsenik Arıtma Sistemleri ve Yöntemleri

Arsenik artımı için kullanılan yaygın metodlar olmakla birlikte bunların yanında henüz kullanımı yaygınlaşmamış ve duyulmamış alternatif olarak kullanılan arıtma metodları da bulunmaktadır. Bunların bazıları aşağıda geniş olarak açıklanmıştır.

2.9.1. İçme sularından arsenik giderimi için düşük maliyetli solar teknolojiler

Arjantin'deki Chacopampean Ovası, yeraltı sularındaki, içme suyu standartlarının zorunluluklarını (Besin Arjantin Kodu ve WHO limiti: 10 µg/L) fazlasıyla aşan yüksek arsenik derişimleriyle dünya üzerindeki en geniş alanlardan birini teşkil etmektedir. Bu durum özellikle, düşük kaliteli su, yoksulluk ve yetersiz beslenmenin çok sayıda HACRE (Kronik Endemik Bölgesel Hidroarsenizm, İspanyolca Hidroarsenicismo Cronico Regional Endomic) vakalarına yol açtığı kırsal ve kentsel alanların dışındaki bölgelerde daha ciddidir.

Bu çalışmada, heterojen fotokataliz (HP) ve sıfır değerlikli demire (ZVI) dayanan basit ve ucuz solar teknolojiler ile yeraltı sularından plastik şişeler içinde arsenik giderimi deneylerinin sonuçları verilmiştir.

HP su detoksifikasyonu için TiO₂ kullanan ileri bir oksidasyon teknolojisidir. UV ışınları(Güneş ışınları da dahil olmak üzere) altında organik ve anorganik kirleticileri daha az zararlı ve daha kolay giderilebilen bileşiklere çeviren hidroksil ve süperoksit radikalleri gibi aktif yükseltgeyici türler meydana gelmektedir.

PET şişeler (600 mL) laboratuvarımız tarafından geliştirilen prosedüre göre içten bir TiO₂ tabakası ile kaplanmıştır. Şişelere arsenik çözeltileri (250 mL, [As]₀= 1000 µg/L-1) doldurulmuş ve bir parça galvanize edilmemiş ambalaj teli (6 g/L-1) eklenmiştir. Daha sonra şişeler 6 saat boyunca güneş ya da yapay UV ışınlarına maruz bırakılmıştır. Karanlıkta 24 saat bekletildikten sonra %80'den fazla bir arsenik giderimi elde edilmiştir. Arjantin'in Chacopampean Ovası'ndan (Santiago del Estero Vilayeti) alınan As derişimleri 900-1800 µg/L-1 arasında değişen gerçek kuyu

sularıyla yapılan deneyler %95 As giderimi sonucunu vermiştir.

Sıfır değerlikli demir (ZVI) teknolojisi demirin element formunda kullanılmasına dayanır. Deneylerimizde, demir ambalaj teli ve demir yünü (6 gL⁻¹) 250 mL sentetik arsenik çözeltisi ([As]₀= 1000 µgL⁻¹) içeren plastik şişelere (600 mL) koyulmuştur. Karanlıkta veya UV ışını altındaki temas periyodunun ardından As giderimi ölçülmüştür. Demir yünü 2 saatte tam bir As giderimine ulaşırken, tel kullanıldığında aynı sürede sadece %30'luk bir giderim elde edilmesi ile demir yününün telden daha iyi bir demir materyali olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat 24 saat karanlıkta bekletildikten sonra iki materyal de tam As giderimi sağlamıştır. UV ışınlarının giderim verimini arttırdığı ispat edilmiştir. Tucumán Vilayeti'nin (NW, Arjantin) kuyu suları ile güneş ışınları (800 µW cm⁻²) altında 6 saat boyunca yapılan ve ardından 24 saat karanlıkta bekletme ile devam eden testler tatmin edici bir As giderimi (%70) ile sonuçlanmıştır. Daha uzun veya daha şiddetli ışınlamalar şüphesiz tam As giderimi verecektir. Ticari nano boyutlu NanoFe® demir partikülleri de As(V) giderimi ([As]₀= 1000 µgL⁻¹) için test edilmiştir. Giderim hızlı olmuş ve 150 dakikalık bir temas ile %90'dan fazla bir giderim elde etmek için çok düşük miktarda (0,05 gL⁻¹) demir gerekmiştir. Bu miktarın ambalaj teli veya demir yünü kullanırken gerekenin yüzde biri kadar olması NanoFe®'nin sadece yüksek yüzey alanından dolayı değil, aynı zamanda yüksek kendine özgü aktivitesinden ötürü de üstün bir As giderimi gücüne sahip olduğunu göstermektedir. UV ışınları giderim verimini önemli ölçüde arttırmıştır. Karanlıkta hümik asitlerin arsenik giderimini engellemesine rağmen, bu bileşikler verimi UV ışınları altında fazlasıyla arttırmıştır. As ile kirlenmiş Tucumán yer altı suları ile elde edilen ön hazırlık sonuçları da rapor edilmiştir. UV ışınları altında (5000 µW cm⁻²) NanoFe® eklenmesi (3 saat) As içeriğini sınırlayıcı yönetmeliklerin (<10 µgL⁻¹) altına çekmiştir. Az miktarda demir kullanılmasından ötürü, NZVI prosesinde üretilen atık miktarı önemli derecede düşüktür; ayrıca, floklar manyetik teknikler ile ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Bu durum iki önemli teknolojik avantaj sağlamaktadır.

2.9.2. Su kimyasının arseniğin seçimli adsorpsiyonu üzerine etkisini anlama

Dünya üzerinde yer altı sularında arsenik kirliliği yaygındır ve güvenilir içme suyu sağlamak için etkili uygulamalara gereksinimi ile giderek büyüyen bir sorundur. Adsorplayıcı ortamlar diğer kalite özelliklerini (Bang et al, 2005) değiştirmeden arseniğin tespit edilemeyen düzeylere (Rubel, 2003) kadar oldukça uygun maliyetli giderimini sağlayabilmektedir. İyon değişimi, koagülasyon-filtrasyon ve ters osmoz gibi diğer teknolojiler ile karşılaştırıldığında seçimli adsorpsiyon çok kolay bir işlem ve atık boşaltım idaresi sunmaktadır. Bu nedenle bu yöntem endüstri alanları için olduğu gibi gelişmekte olan küçük ve orta ölçekli sistemler için de oldukça uygundur. Dow Water Solutions uzun süre boyunca etkili ve dayanıklı olan arsenik giderimi çözümleri geliştirmek için devlete bağlı olmayan yerel organizasyonlar ile işbirliği yapmaktadır.

TiO₂'ye dayanan yeni ürünler, tek yataklı ortamlardan yan geçişli ve karıştırmalı çoklu tanklara kadar çeşitli sistem düzenlemelerinde kullanılabilir. ADSORBIATM GTOTM adsorpsiyon ortamının performansı, ortam ömrü, su bileşiminin etkisi, pH, silika ve anyonik kirlilikler ile yarışma (Vance ve Onifer, 2007) yönlerinden açıklanacaktır.

Diğer seçici ortamlar ve geniş çapta yapılmış kolon çalışmaları ve arazi deneyimlerinden alınmış örnekler ile karşılaştırmalar yapılmaktadır.

2.9.3. İçme suyundan arsenik giderimi: Kullanım noktası (POU), giriş noktası (POE) ve kentsel deneyimler

Basit, az bakım gerektiren tek musluk için kullanılan su kullanım noktasında kurulan (POU) ve tüm ev ya da küçük sitelerin su arıtımı için tasarlanmış suyun giriş noktalarında kurulan arıtım sistemleri (POE) arsenik derişimini şu an ABD'deki içme suyu arsenik limiti olan 10 µg/L'nin altında tutmakta oldukça etkilidir. 2005 Kasım'ından bu yana kurulan SolmeteX arsenik giderim sistemleri ArsenXnp giderim ortamı için dizayn edilmiştir. NSF/ANSI 61 sertifikalı bu ortam içine sulu

demir oksit aşılınmış polimer boncuklardan oluşmaktadır. Lehigh Üniversitesi'nde Profesör Arup Sengupta'nın yaptığı çalışmaya dayanarak SolmeteX tarafından geliştirilmiş ve Purolite firması ortaklığında piyasaya sürülmüştür. Hızlı reaksiyon ve üstün fiziksel dayanıklılık gibi avantajları, bu sistemleri minimum bakım ihtiyacı ve kullanım kolaylığının aranan esas nitelikler olduğu durumlarda ideal seçim haline getirmektedir.

Çoğu SolmeteX sistemi New England bölgesinde, ABD'nin kuzeydoğu bölgesinde kurulmuştur. Bu bölümde, nüfusun % 40' ından fazlası içme suyu kaynağı olarak özel kuyuları kullanmaktadır ve yeraltı sularındaki yüksek miktarda arsenikten etkilenmiş geniş coğrafi alanlar bulunmaktadır. Genellikle karşılaşılan arsenik seviyesi 50 µg/L' nin altındadır, fakat dikkate değer sayıda kuyu 100 µg/L'den yüksek düzeyde arsenik içermektedir. SolmeteX laboratuvarı tarafından bugüne kadar bulunan en yüksek arsenik derişimi Epping, New Hampshire'da özel bir kuyuda bulunmuş olan 447 µg/L' dir.

SolmeteX POU ve POE sistemleri Şekil 2.5. ve Şekil 2.6'da gösterilmektedir. POU sistemleri tek bir kolonda 4.5 litre giderim ortamı içermektedir ve dakikada 2 galona (7.6 litre) kadar bir su akışına muamele etmek üzere dizayn edilmiştir. ABD'de tek bir muslukta ortalama su kullanımının kişi başına günde sadece 10.9 galon (41.2 litre) olduğu düşünülürse, suyun kimyasına dayanarak birkaç yıllık bir kullanım ömrü beklenebilmektedir. Standart POE sistemi her tankın 1 ayak küp (28.3 litre) giderim ortamı içerdiği bir lead-lag cihazdır ve dakikada 10 galon'a (38 litre) kadar akışlar için dizayn edilmiştir. Lead-lag dizayn, kolonlar arasında suyun gözlemlenebilmesini sağlamak, sistemden hala arsenikten arınmış su elde edilirken arsenik maksimum kirlilik seviyesine ulaşmaya kadar lead tankındaki giderim ortamının kullanılabilceğini kesinleştirmek için seçilmiştir.



Şekil 2.5. POU sistemi



Şekil 2.6. POE sistemi

POE ve POU sistemlerinin ömürleri, suyun pH' ı, arsenik konsantrasyonu, arseniğin oksidasyon basamağı, su kullanımı ve rekabet halindeki türler (örn: silika, fosfat) gibi birtakım faktörlere bağlıdır. Bugüne kadar en uzun ömürlü POE sistemi yaklaşık 3 yıllık bir dönemde lead kolonunda alınan suda arseniğe rastlamadan 287.264 galon (1087300 litre) suyu arıtmıştır. Bu sürede verilen pH' ı 6.8 olan sudaki arsenik miktarı 15-17 ppb arasında değişmiştir.

Daha geniş çaptaki uygulamalar için, SolmeteX dakikada 300 galonluk akışlara uygun olacak şekilde dizayn edilmiş bir dizi Pre-Engineered Sistemleri (PES) geliştirmiştir. Bu sistemler de lead-lag dizayn kullanmaktadır ve minimum bakım gerektiren, atık üretmeyen sağlam ve basit bir sistemin gerekli olduğu kat mülkiyeti kompleksleri ya da küçük iskan geliştirmeleri gibi uygulamalar için tasarlanmıştır. Bir örnek Şekil 2.7 'de gösterilmektedir. Bu sistem Haziran 2007'de Doğu Granby, Connecticut'da Turkey Hills Apartmanları'na kurulmuştur ve dakikada 50 galonluk (190 litre) bir su akışını arıtmak üzere tasarlanmıştır. İlk giderim ortamı değişimi (tank başına 11 ayak küp (311 litre)) Ağustos 2008'de lead kolonundan sonra 10 $\mu\text{g/L}$ 'den fazla arseniğe rastlanınca gerçekleştirilmiştir (kolona giren suyun arsenik derişimi 12-18 $\mu\text{g/L}$ 'dir). Sistem giderim ortamında basınç artışı olmadan, geri yıkama ve minimum bakım gerektirmeden 14 ay boyunca sorunsuz çalışmıştır.



Şekil 2.7. PES arsenik giderim sistemi (Turkey Hills apartmanları)

2.9.4. Yeni bir hibrit adsorbent ile içme sularından arsenik giderimi

İçme suyu kaynaklarındaki arsenik kirliliği insan sağlığı açısından büyük bir sorun haline gelmiştir. Sulardaki arsenik kirliliği, doğal kaynaklardan (jeolojik erozyon) geldiği gibi, insan kaynaklı bazı aktivitelerden de (örn: madencilik, atık su boşaltımı) yer altı sularını kirletmektedir. Bazı bölgelerde arsenik derişimi 1500 ppb'ye ulaşmaktadır. Arseniğin insan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme suyu kaynaklarında maksimum kirlilik seviyesini 10 ppb olarak tavsiye etmektedir.

Bu çalışmanın amacı yeni bir adsorplayıcı materyal olan Lewatit® FO 36'nın (Şekil 2.8. c) sudan arsenik giderme potansiyelini incelemektir. Burada ilgilenecek noktalar denge ve çalışma kapasitesi, diğer bileşenlerin arsenik alımına etkileri ve rejenere edilebilirliktir.

Lewatit® FO 36 2008 yılında LANXESS tarafından üretilmiş yeni bir adsorplayıcı materyaldir. Gözeneklerinde nano ölçekli FeO(OH) tabakası içeren, makroporoz, eş boyutlu küçük boncuklar şeklindeki, zayıf bazik anyon değiştirici bir reçineden oluşmaktadır. Demir içeriği kuru ağırlık başına %15 civarındadır. İki farklı fazdan oluştuğu için bu tip bir adsorbent bir hibrit adsorplayıcı olarak belirtilebilir.

Arsenat (As(V)) ve arsenitin (As(III)) demir oksit yüzeylere adsorplanması kısmen kompleks bir prosestir. Basitleştirilerek, adsorpsiyonun demir oksit fazı yüzeyindeki OH- gruplarının arsenat ve arsenit ile etkileşimi sonucu meydana geldiği düşünülebilir. Adsorpsiyon yüzey kompleksinin alkali şartlar altında hidrolizi ile ters çevrilebilir.

Arseniğin Lewatit® FO 36 üzerine adsorpsiyon davranışını karakterize etmek için bazı denemeler yapılmıştır. Denemeler iki farklı yöntemi kapsamaktadır; karıştırma testleri şeklinde statik adsorpsiyon deneyleri ve adsorplayıcının bir sabit yatakta uygulandığı dinamik akış adsorpsiyon testi.

Araştırmanın ilk bölümünde çözeltideki arsenik derişiminin bir fonksiyonu olarak adsorplayıcı maddenin spesifik tutma özelliğini belirten bir adsorpsiyon izotermi elde etmek için karıştırma testleri yapılmıştır. Çözeltide arsenat (As(V)) dışında hiçbir iyon bulunmamaktadır. Sonuçlar, arseniğin adsorplayıcı tarafından tutulmasının çözeltideki derişimin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Derişimin arttırılmasıyla adsorplayıcının arseniği tutması artmaktadır. İzoterm verileri Freundlich şemasından ziyade Langmuir şemasına uygunluk göstermiştir. Özellikle içme suyu uygulamalarını ilgilendiren 0.01 – 0.1 ppm derişim aralığında, spesifik arsenik alımı litre adsorbent başına 2 – 10 g arsenik (As) aralığındadır.

Araştırmanın ikinci bölümünde, Lewatit® FO 36 reçinesinin 0.1 litrelik sabit yatakta uygulandığı filtrasyon testleri gerçekleştirilmiştir. 100 µL arsenik (As(V)) içeren su sabit yaktan 20 – 30 BV/L'lik spesifik akış hızları ile pompalanmıştır. Filtrenin çıkışından örnekler alınmış ve salıverme/adsorbent eğrisi oluşturulmuştur. Bu test farklı adsorbent materyali örnekleriyle tekrarlandığı gibi, diğer iyonlar göz önüne alınarak farklı bileşimlerdeki sular ile de tekrarlanmıştır.

Arsenat dışında iyon içermeyen sulardaki arsenik alımının belirgin düzeyde yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. En sonuncu üretim alanımızda çalışma kapasitesi yaklaşık 9 g/L iken, pilot reaktörden elde edilen ürün için bu değer 5.5 g/L olarak belirlendi. Bu sonuçlar teknik ürünün kalitesinin pilot reaktörden elde edilen ürünün kalitesinden de iyi olduğunu göstermektedir.

Matriks olarak çeşme suyunu kullandığımız filtrasyon testlerinde çalışma kapasitesi demineralize su ile gerçekleştirilen test ile karşılaştırıldığında %65 daha düşük bulundu. Açıkça suyun içeriği arsenik alımını oldukça etkilemektedir.

Arsenik alımında yabancı iyonların etkilerini gidermek için birçok statik adsorpsiyon testi yapılmıştır. Burada reçine 24 saat boyunca arsenik dışında spesifik miktarlarda farklı derişim aralıklarında yabancı iyon içeren çözeltiler ile karıştırılmıştır. Yabancı iyonlar varlığındaki arsenik alımı ile yabancı iyonların olmadığı durumdaki arsenik alımı farkı belirlemek için karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

- NaCl, Na₂SO₄ gibi nötral tuzlar arsenik alımını etkilememektedir.
- pH 4 – pH 9 aralığında ve başka karşit iyonun bulunmadığı durumlarda arsenik giderimi üzerine herhangi bir etki tespit edilmemiştir.
- Fosfat, silikat ve karbonat varlığında arsenik alımı azalmıştır.
- Bu etki belli bir derişim ile başlamakta ve yabancı iyon derişiminin artmasıyla artmaktadır.
- Yüksek derişimlerde arsenik alımı kör örnekle karşılaştırıldığında %50'den fazla azalmaktadır.
- Yabancı iyonların arsenic alımına karşı etkisi, HPO₄²⁻ >HSiO₃⁻ >HCO₃⁻ sırasına göre dir.
- İyonların negatif etkisi, arseniğin molüne karşı başlangıç çözeltilisindeki yabancı iyonların molünün moleküler oranı, x, ile başlamaktadır: HPO₄²⁻ : x = 0.5, HSiO₃⁻ : x = 1.0, HCO₃⁻ : x = 100
- Yabancı iyonların etkilerinin pH etkileri ile ayarlanabildiği görülmektedir. Örn: Silikatın nötralden alkali koşullara doğru gidildikçe arsenik alımını azalttığı görülmüştür. Zayıf asidik koşullarda (pH = 3.5) silikatın herhangi bir etkisi bulunmamıştır.

Araştırmanın bir sonraki aşamasında pilot çalışmalardan elde edilen arazi testleri verileri değerlendirilmiştir. Arazi çalışma kapasitesi ve suyun içeriği bir önceki kısımda bulunanlar ile karşılaştırılmıştır. Bazı arazi koşullarında çalışma

kapasitelerinin beklenenden yüksek olduğu görülmüştür. Yabancı iyonların yarışma etkileri laboratuvar çalışmalarındaki kadar daha azdır. Ayrıca başka bir yerde laboratuvar testleri ve arazi testlerinin uyumlu hale getirilmesinin zorlukları da rapor edilmiştir. Bu durum arseniğin adsorpsiyon prosesinin %100 anlaşılmadığını ve daha fazla temel araştırma gerektiğini göstermektedir.

Sonraki çalışma reçinenin rejenerasyonu üzerine yapılmıştır. Prensipte olarak arsenik reçineden alkali bir çözelti ile %80'den fazla seviyede ayrılabilir. Rejenerasyon sonrasında reçine yine arseniği kabul edilebilir bir sızıntı düzeyi ile adsorplayabilmektedir, fakat orijinal adsorpsiyon kapasitesinin bir kısmını kaybetmektedir.

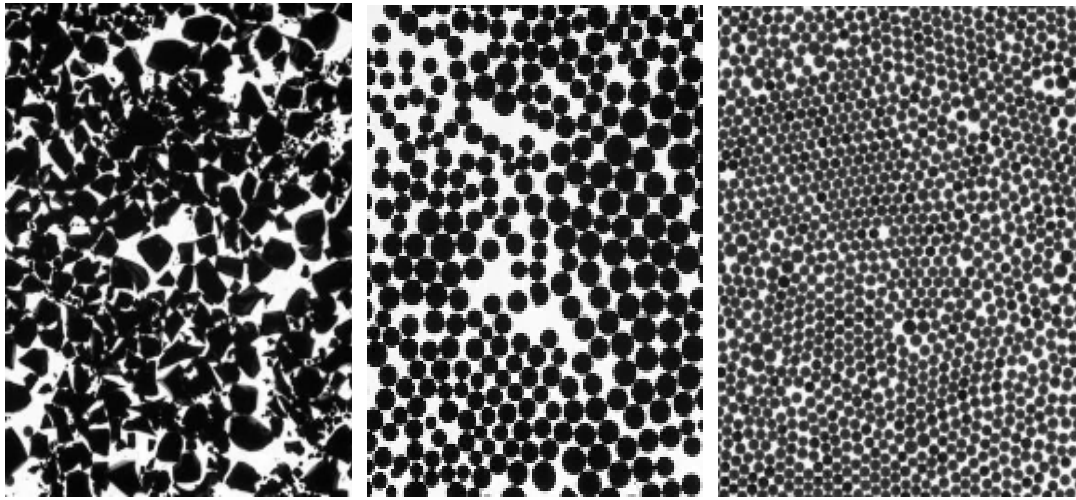
2.9.5. Hidrate demir oksit bazlı inorganik ve kompozit sorbentlerin arsenik giderimi için kullanımı

İçme sularından arsenik giderilmesi birçok bölgede önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bangladeş'in çok iyi bilinen sorununu saymazsak, arsenik kirliliği arsenik içeren madenlerin oluşumu ile birçok bölgelerde bulunabilir. Kirliliğin diğer bir kaynağı, arsenik içeriği yüksek olan linyit kömürünün kullanılmasıdır. İzolasyonu iyi olmayan uçucu kül depolarından meydana gelen kaçaklar da geniş alanları kirletebilir. Diğer faktörde eser analitik yöntemlerin bulunması ve bu yöntemlerle yetkililerin şimdiye kadar bilinmeyen kontaminasyonları örtmemek için içme sularını rutin olarak taramasıdır. Bu yüzden seçimli olarak arsenik giderebilen uygun teknolojilere gereksinim artmaktadır.

Demir ve alüminyum tuzları kullanılarak gerçekleştirilen berraklaştırma (koagülasyon) sürecinde arsenik gideriminin gerçekleştiği bilinmektedir. Buna rağmen berraklaştırma ve bu yöntemin bir çeşidi olan elektrokoagülasyon önemli oranda kontrol gerektiren karmaşık prosesler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden, granüllü demir (III) oksidin basit kolon uygulamaları daha tercih edilen bir yöntemdir.

GEH markası adı altında üretilen (Şekil 2.8. a) granüllü demir (III) oksit büyük

ölçüde incelenmiştir. Bu yapı sadece arsenik için kullanılmamakta, arsenik dışında antimon, vanadyum, molibden, selenyum, berilyum için de kullanılmaktadır. Bu sorbentin tek dezavantajı mekanik kararlılığıdır. Kolon proseslerinde uzun süreli kullanımlar için sorbent taneciklerinin büyüklüğü önemlidir. Meydana gelen aşınma ve bozunma (dezentegrasyon) kolonda basınç düşmesine neden olmaktadır. Granüle sorbentlerin bu özelliklerini geliştirmek için immobilize edilmiş demir (III) oksit ile yüklü polimerik iyon değiştiricileri temel alan kompozit sorbentler geliştirilmiştir ve bu reçineler ticari olarak piyasada bulunmaktadır.



a) GEH

b) Purolite Arsen Xnp

c) Lewatit FO 36

Şekil 2.8. Çalışılan sorbentlerin fiziksel görünüşleri (aynı büyültme)

Bu çalışmada demir(III) oksit esaslı arsenik seçimli sorbentlerden bazıları incelenmiştir. GEH kompozit sorbenti, Purolite Arsen Xnp (Şekil 2.8.b) ve Lewatit FO 36 anyon değiştirici olarak kullanılan kompozit sorbentlerle karşılaştırılmıştır. Sorbentlerin granülometrik analizleri eleme ve görüntü analizleriyle yapılmıştır. Bu iki yöntemin sonuçları iyi uyum göstermiştir.

Çalışılan sorbentlerin kolondaki basınç düşmeleri ölçülmüştür. Süpriz bir şekilde , GEH sorbentinin yüzeyindeki basınç düşmesi (ince taneciklerin giderilmesi için yapılan geri yıkamadan sonra) Lewatit FO 36 sorbentinden daha düşük değerde elde edilmiştir. Bu sonuç Lewatit FO 36 sorbentinin tanecik boyutunun (~300 mm) oldukça küçük olmasına bağlanabilir.

Daha geniş tanecik boyut dağılımı gösteren Arsen Xnp (400-1000 mm) sorbentinde

basınç düşmesi en azdır. Polimerik sorbentlerdeki demir(III) oksit içeriği termogravimetri (TG) yöntemiyle ölçülmüştür.

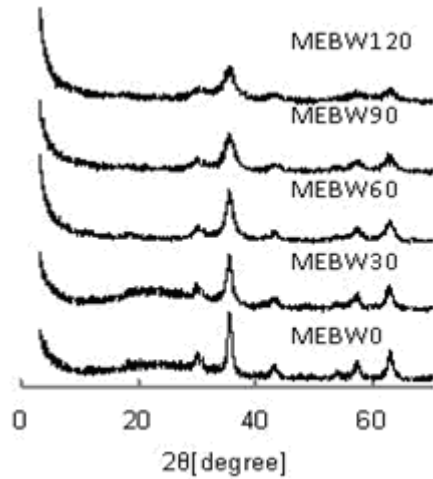
Sorbentlerin As(V) salıverme kapasiteleri demir(III) oksit içeriğiyle ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Anyon değiştirici esaslı komposit sorbentler ilginç sinerjik etki göstermektedirler. Demir (III) oksit içeriğine bağlı olarak belirlenen salıverme kapasiteleri, GEH komposit sorbenti ile Arsen Xnp sorbenti için benzer özellikler gösterirken, Lewatit FO36 komposit sorbenti için daha büyük değerdedir. Çalışılan sorbentler seçimli olarak arsenik (V) iyonlarını gidermektedir.

2.9.6. Manyetit kullanarak sulu çözeltilerden arsenik giderimi

Doğal sulardaki arsenik dünya çapında sorunlara yol açmaktadır. Arsenik kirliliği Hindistan, Bangladeş, Vietnam, Arjantin, A.B.D. ve Japonya gibi çeşitli ülkelerde rapor edilmiştir. Arsenik derişimi bu ülkelerde Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından kabul edilmiş düzey olan 0.01 mg/dm³'ten yüksek bulunmuştur. Koagulasyon, çöktürme, adsorpsiyon ve membran filtrasyonu gibi çeşitli teknolojiler sulardan arsenik giderimi için kullanılmıştır. Koagulasyon ve çöktürme yöntemleri kolaydır, fakat büyük hacimli ıslakçamur üretmektedir. Adsorpsiyon, Hindistan ve Bangladeş gibi üçüncü dünya ülkeleri için iyi bir maliyet ile etkin bir alternatif yöntem olarak belirlenmiştir. Manyetitin As(III) ve As(V)'i adsorpladığı saptanmıştır; özellikle As(III) etkili bir şekilde adsorplanmaktadır. Genelde amorf yapıdaki demir oksitler zararlı anyonların gideriminde kristal yapıdakilerden çok daha etkilidirler. Yüksek spesifik yüzey alanı da arsenik giderimi için önemli bir özelliktir. Son zamanlarda manyetit, çöktürme, sol-jel ve hidrotermal solvotermal yöntemleri ile geliştirilmektedir. Çöktürme yöntemi ucuz tuz kullanımı ve kolaylığı ile çekici bir yöntemdir. Dahası çöktürmenin tepkime koşulları çeşitli amaçlara göre ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada manyetit düşük dielektrik sabitli çözücü ve/veya sulu çözeltide hazırlanmıştır. 1-bütanol düşük dielektrik sabitli çözücü olarak tepkime ortamı olarak kullanılmıştır. Dielektrik özelliklerinin etkisi çözeltideki 1-bütanol/su mol oranları değiştirilerek hazırlanan manyetitin karakteristik özellikleri ile incelenmiştir. Ayrıca manyetit kullanılarak arseniğin adsorpsiyon davranışı da 303 K'de gözlemlenmiştir.

Adsorbent 1.05:2:7: (136.3 – x) :x (x= 0, 30, 60, 90, 120) molar oranında Fe(II), Fe(III), etilendiamin, su ve 1-bütanol kullanılarak hazırlanmıştır. Tepkime 333K’de gerçekleştirilmiştir. Çökelek bir mıknatıs kullanılarak ayrılmış ve %50’lik sulu etanol çözeltisi ile ardarda yıkanmıştır ve en sonunda da dondurularak kurutulmuştur. Adsorbent MEBW120 olarak adlandırılmıştır.

Hazırlanan adsorbent toz X-ışını Difraktometresi (XRD) ile karakterize edilmiştir. Sonuç Şekil 2.9’ da gösterilmektedir. Bütün XRD pikleri manyetit için JSPDS dosya No: 319-0629 ile uyumludur. 1-bütanol kullanılmadan hazırlanan MEBW0’ın difraksiyon pikleri bütün manyetitler arasında en keskin olanları vermektedir ve 1-bütanol/su oranı arttıkça XRD piklerinin şiddeti azalmaktadır. Bu sonuç sulu çözeltide manyetitin kristal büyümesinin 1-bütanolün varlığı ile magnetitin hazırlanma prosesi süresince engellendiğini önermektedir.



Şekil 2.9. Adsorbentlerin pikleri

Adsorbentlerin spesifik yüzey alanı 77K’de N₂ adsorpsiyon izotermi kullanılarak BET yöntemi ile ölçülmüştür. MEBW0, 30, 60, 90 ve 120’nin spesifik alanları sırasıyla 96.8, 133, 173, 173 ve 245 m²/g’dır. Bu sonuçlar ile spesifik yüzey alanı 1-bütanol/su oranı arttırılarak arttırılmıştır. Bu durum spesifik yüzey alanındaki ve kristal yapıdaki değişimin çözücünün dielektrik sabitinin değişmesi ile oluştuğunu önermektedir. As(III) ve As(V) için adsorpsiyon izotermi deneyleri 303K’de başlangıç derişimleri değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi (Q_{max}) ve adsorpsiyon denge sabiti (K) aşağıdaki düzenlenmiş Langmuir eşitliği ile

belirlenmiştir:

$$C_{eq}/q = C_{eq}/Q_{max} + 1/Q_{max} K \quad (1)$$

q : adsorplanmış arsenik miktarı [mmol/g]

C_{eq} : arseniğin denge derişimidir [mmol/dm³].

Bu sonuçlar Langmuir eşitliği (eşitlik 1), kullanılarak analiz edilmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi ve denge adsorpsiyon sabiti değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir. As(III) ve As(V)'in MEBW0 ile adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 0,557 ve 0,339 mmol/g'dır. MEBW120 As(III) ve As(V)'in adsorpsiyon kapasitelerinde belirgin bir artış göstermiştir. Arseniğin adsorpsiyon kapasitesinin, kristal manyetitten amorf faza geçiş ve spesifik yüzey alanındaki artış ile arttığı düşünülmektedir. 1-bütanol ile hazırlanan manyetit As(III) ve As(V)'in sudan gideriminde başarılı olarak uygulanmıştır.

Tablo 2.2. As(III) ve As(V)'in manyetit üzerine adsorpsiyon kapasiteleri (Q_{max}) ve adsorpsiyon denge sabitleri (K)

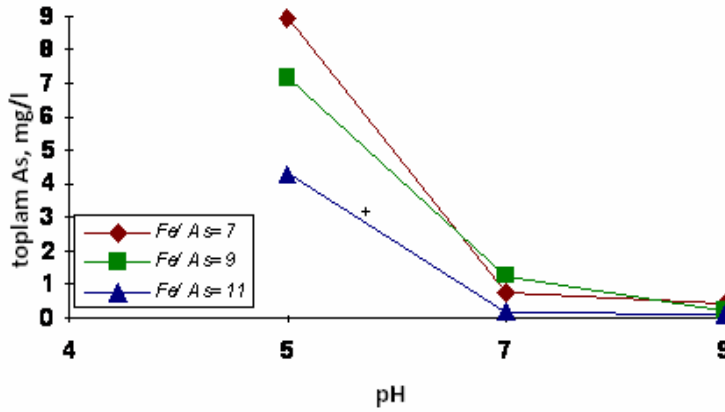
Adsorbentler	As(III)	As(V)		
	Q _{max} [mmol/g]	K[dm ³ /mol]	Q _{max} [mmol/g]	K [dm ³ /mol]
MEBW0	0.557	10.1	0.339	37.9
MEBW60	0.781	12.0	0.483	28.9
MEBW120	0.962	13.2	0.556	30.1

2.9.7. Demir ile stökiyometrik olmayan birlikte çöktürme yöntemi kullanılarak sulu çözeltilerden arsenik giderimi

İkinci dereceden hareketli bir program kullanılarak ferrik sülfat ile arseniğin çöktürülme verimi üzerine Fe(III)/As mol oranının, pH'ın ve arseniğin başlangıç derişiminin etkileri incelenmiştir. As(V)'in çöktürülmesinin optimum koşullarının pH'ın 5'te ve Fe(III)/As mol oranının 6'da olduğu gösterilmiştir. Optimum koşullarda çözeltilerde kalan arsenik derişimi 0,050 mg/L'nin altında olduğu

belirtmiştir. Çözünürlük testleri arsenik ve demir ile en düşük çözünürlüklü çökeleklerin pH=5 ve Fe(III)/As(V) mol oranının, 6 : 8 olduğu zaman elde edildiğini göstermiştir.

As(III)'ün çöktürülmesi durumunda, optimum koşullar daha yüksek Fe(III)/As(III) mol oranı ve çöktürme pH'ına ($pH_{opt} = 9$ ve mol oranı Fe(III)/As(III) = 11) kayar. Elde edilen ferrik-arsenit çökeleği ferrik-arsenattan daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Arseniğin karışmış formlarının çökmesi süresince çözeltide kalan en düşük arsenik derişimi mol oranı Fe(III)/Astop = 11 ve pH = 9 olduğu zaman elde edilmiştir, (Şekil 2.10). Arseniğin karışmış formlarının çökmesi için gereken Fe(III)/Astop = 11 ve pH = 9 optimum koşullarında elde edilmiş çökelekler arseniğe doğru düşük çözünürlükleri ile karakterize edilmektedirler. Kimyasal bileşim ve ferrik demir-arsenik çökeleklerinin çözünürlüğü arasındaki bağıllığı bulmak için bir deneme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak As(III), As(V) ve bunların karışık yapıları için As çökmesinin optimum koşulları arasındaki farkı açıklamayı amaçlayan bir mekanizma önerilmiştir.



Şekil 2.10. Arseniğin karışık yapılarının çökmesi

2–9 yıllık 20 ferrik-arsenik çökeleği ile pH = 3, 5, 7 ve 9'da gerçekleştirilen çözünürlük testleri, arseniğin iyonik formundan bağımsız olarak en düşük çözünürlüğün pH 5'te yapılan liç işleminde gözlemlendiğini göstermektedir. Liç pH'ı 5 iken çökeleğin çözünürlüğü 9 yıl boyunca değişmemiştir. Bu veriler uzun biriktirme dönemleri boyunca ferrik-arsenik çökeleklerinin yüksek kararlılığı ile ilgili önceki sonuçlarımızı doğrulamaktadır.

Arsenik kirliliği bulunan göl suları ve göl tortuları ile göl suyu pH'ı ($\text{pH} = 7.3$) düzeltilmeden yapılan deneylerde mol oranı 7.8'de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 'ün çökmesi geriye çok az arsenik kalmasına yol açar. Ayrıca kalsiyum-arsenat tortusunda bulunan arseniğin, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ eklenmesi ile süren kararlı durumu mol oranı $\text{Fe/As} = 10$ 'da incelenmiştir. Tortuda sabitlenen arsenik 3168 saatlik sürede su fazına sızmamıştır.

2.9.8. Arsenik giderimi için sabit yataklı sorpsiyon prosesleri: Eksikler, uzun dönem çevresel etkiler ve düzeltici tedbirler

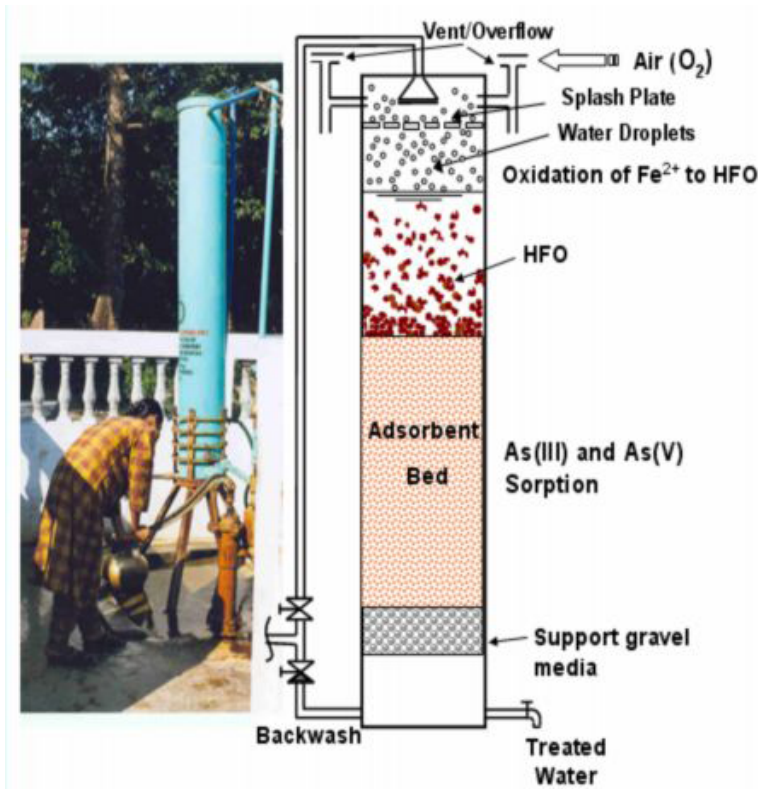
Karakteristik açıdan bağlantılı olmayan iki önemli olay geçtiğimiz on yıl boyunca arseniği medyada birçok defa manşetlere taşımıştır. Önce, Amerika Birleşik Devletleri'nde içme sularında arseniğin maksimum kirlilik seviyesi 50'den 10 mikrogram/l'ye düşürülmüştür. Sonuç olarak ABD'de yaklaşık 5000 komününin yeraltı sularından arsenik giderimi için düzeltici açıdan harekete geçmesi gerekliliği doğmuştur. İkinci olarak, Hindistan Yarımadası'nda, özellikle Bangladeş ve Hindistan'ın doğu kesiminde, yeraltı kaynaklarından alınan içme suları 70 milyondan fazla insanın etkilendiği yaygın zehirlenme durumunun sorumlusu olmuştur. İki olayda da doğal jeokimyasal toprak sızıntıları yeraltı sularının arsenik tarafından kirlenmesinden sorumludur.

Sabit yataklı sorpsiyon prosesleri, hem Amerika Birleşik Devletleri hem de Hindistan Yarımadası'nda arsenik giderimi için en geçerli arıtım seçeneklerinden biri olarak ortaya çıkmıştır, çünkü bu prosesler işlevsel açıdan basit, nispeten ucuz ve kirlilik içeren yeraltı sularındaki arsenik derişimi dalgalanmalarına karşı uygundur. Hindistan'ın bir köyündeki arsenik giderim ünitesi Şekil 2.11.'de gösterilmiştir.

Geçtiğimiz on yıl süresince, Asya ve Kuzey Amerika'da arsenik giderimi için sorpsiyon prosesini kapsamlı biçimde inceledik. Gelecekteki çevresel krizi ve uzun vadede sağlık etkilerini engellemek için, şu an çalışılan sorpsiyon prosesleri aşağıdaki kritik sorunları çözmelidir:

1. Boyutları ve fiziksel-kimyasal özellikleri değişse de, demir oksit, alüminyum oksit, titanyum oksit veya zirkonyum oksit granülleri neredeyse bütün kirlenmiş

bölgelerde arseniğe seçimli sorbentlerdir. Bu anorganik oksit materyalleri yüksek arsenik seçiciliklerine rağmen, mekanik güç ve uzun sabit yataklı işlemler için yıpranmaya karşı dayanıklılıktan yoksundur. Bu materyaller zamanla kırıntılar oluşturmakta ve basınç kaybını arttırmakta, bu nedenle de sık sık geri yıkama ihtiyacı doğurmaktadır. Geri yıkama süresince yüksek derişimde arsenik içeren parçacıklar rutin olarak kanalizasyonlara ya da doğal su yataklarına boşaltılmaktadırlar.



Şekil 2.11. Hindistan'ın bir köyündeki arsenik giderim ünitesinin fotoğrafı ve şematik gösterimi

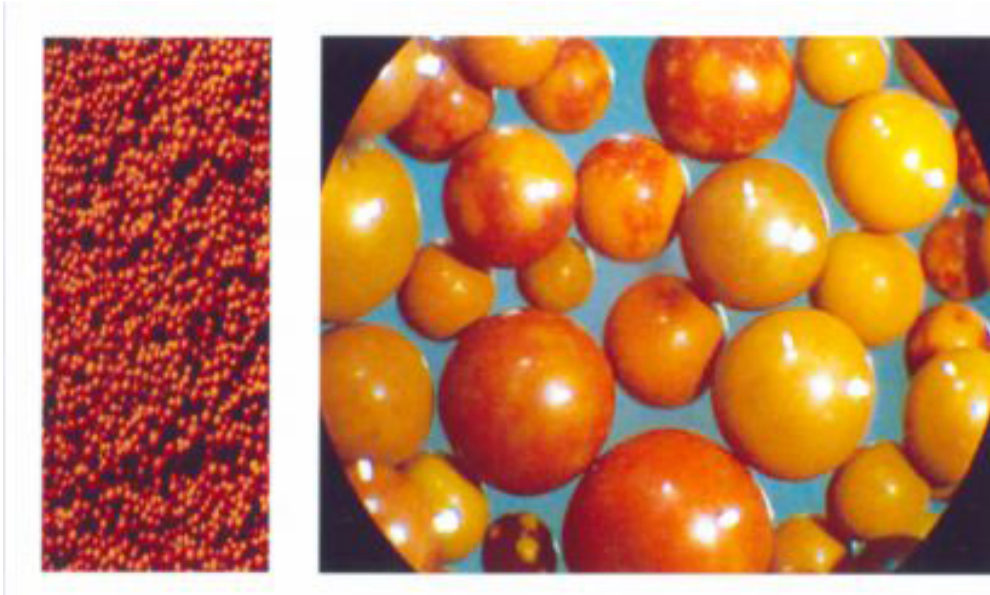
2. Anorganik sorbentler ayrıca kimyasal açıdan kararsızdırlar, dolayısıyla kimyasal rejenerasyon ve yeniden kullanım için uygun değildirler. Tek kullanımdan sonra atılmak zorundadırlar. Atığın rejenerasyonu ve konsantre edilmesi gibi bir şans olmadığı için arsenik yüklü atığın hacmi oldukça büyüktür. Bu problem özellikle geniş çöp depolama ve zararlı atık alanları olmayan bölgeler için oldukça kritiktir.

3. Arsenik yüklü anorganik sorbentler TCLP (Toksosite Karakteristik Sızma Prosedürü) testini geçmelerine rağmen, daha önce birçok çalışmada gösterildiği gibi, boşaltım alanlarının anoksik koşullarında arseniği bolca sızdırmaktadır. Ayrıca uzun dönem sürdürülebilirlik için geleneksel atık alanlarına boşaltım sistemine alternatif

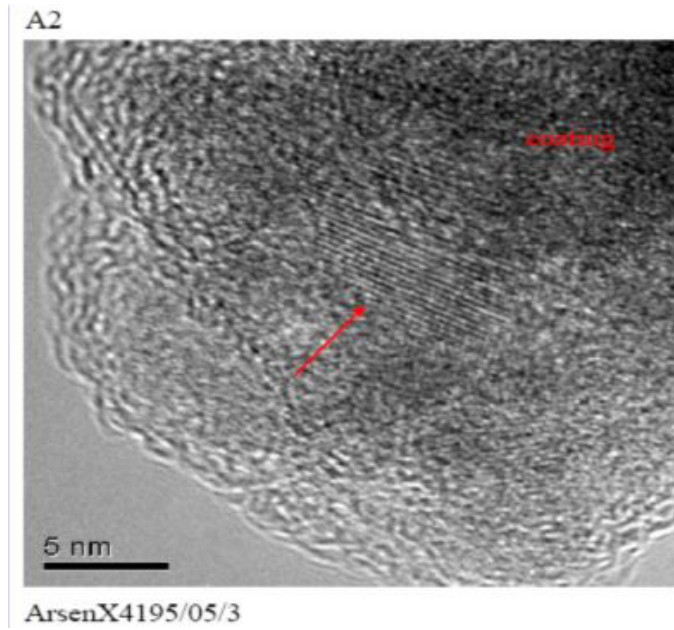
sistemler bulunmalıdır.

Araştırma çalışmamız geçtiğimiz on yıl boyunca arseniğe seçimli, rejenere edilebilen ve birçok döngü için yeniden kullanılabilen, dayanıklı, polimer bazlı bir hibrit anyon değiştiricinin (HAIX) (Şekil 2.12) geliştirilmesi ve ticarileştirilmesinde yol gösterici olmuştur. Bu yeni polimerik materyalin kullanımı kırıntı oluşumunun azaltılması, proses süresince geri yıkama gereksiniminin ortadan kaldırılması, başarılı rejenerasyon basamakları ile atılabilecek arsenik yüklü çamurun hacminin büyük ölçüde azaltılması gibi eksikliklerin fazlasıyla üstesinden gelebilmektedir. Ayrıca Hindistan Yarımadası'nda şu anda devam eden çalışmamız arsenik yüklü atığın minimum arsenik sızıntısı ile en iyi kısmen yükseltgeyici ortamlarda muhafaza edilebileceğini açıkça göstermektedir.

(a)



(b)



Şekil 2.12. HAIX görüntüleri a) Orjinal ve 40X büyütülmüş b) TEM görüntüsü

2.9.9. Yüksek oranda doğal organik madde (NOM) içeren, bazik, anoksik (Oksijeniz) yeraltı sularında arsenik giderimi – Pannonian Havzası durum çalışması

Pannonian Havzası'nda birçok topluluk içme suyu kaynağı olarak yeraltı sularını kullanmaktadır. Uygun bir arıtım teknolojisi araştırmak için Kuzey Banat'taki (Sırp Cumhuriyeti) birçok derin kuyu suyu karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu sular anoksiktir (oksijensiz), yüksek baziklik ve aşırı miktarda arsenik, doğal organik madde (NOM) ve diğer sakıncalı bileşenlere sahiptir.

Günümüze kadar, yerel kurumlar arseniğin organik kompleks halinde çözündüğünü ve bu sebeple de toksik olmadığını zannetmekteydiler. Bu durum düzenli örnek korunumunun ve IC-ICP/MS ile arsenik türlemesinin bu iddianın doğrulanmasında uygun bir yöntem olmadığını gösterdi. Bunun sebebi de örneğin taşınması sırasında arsenik türlerinin hızlı değişimidir. Bu nedenle su örneklerinin korunması için uygun olabilecek yöntemler dikkatle incelendi ve ek olarak örnek alma yerlerinde ölçümler yapıldı. Sonuç olarak oldukça toksik olan arsenat(III)'ün Kuzey Banat yeraltı

sularında baskın olduğu kanısına varılabilmektedir. Anyon değiştirici reçineler ile geleneksel yerinde trleme işlemleri bu durumu kanıtlamak için yeterli değildir. Bu sebeple arsenik-sülfür türlerini (tiyoarsenatlar) veren arsenat(III) ile hidrojen sülfürün spesifik tepkimesinden faydalanılan yeni bir yöntem geliştirildi.

Flokülasyon/ sedimentasyon ile ve ters osmoz (RO) yöntemi ile arsenik giderimi örnek alma yerinde küçük ölçekte araştırıldı. Prensipde her iki yöntemin de arsenik giderimi için uygun olduğu görüldü. En umut verici yükseltgeyici olan permanganat ile n yükseltgeme iki durumda da esastır. Yeraltı sularının bütün kimyası göz önüne alınınca, kamu kullanımı için içme suyu üretiminde kompleks bir teknolojiye ihtiyaç vardır. En çok sorun çıkaran bileşenler doğal organik maddelerken (NOM), bazı yeraltı suyu kaynakları 2 mg/l'ye kadar bor da (Sırıp Cumhuriyeti içme suyu standardı: 0.3 mg/l) içermektedir. Bu nedenle arıtım prosesi yüksek dozda kimyasallar ile flokülasyon ve iyon değişim yada ters osmoz sistemlerini içermelidir. Dahası üretilen suyun korozyon özellikleri ayarlanmalıdır. Sonuçta elde edilen çok basamaklı proses hem yüksek alıştırma fiyatları (toplamda 0.4-0.9 €/m³) sebebiyle hem de %15-30'luk atık su miktarı (hamsu ekstraksiyonuna dayanır) göz önüne alındığında kritik bir prosestir. Diğer etmenler arasında, en sonucusu kullanılan yeraltı su havzasının yavaş geri doldurumu ile sorun yaratmaktadır. Sonuç olarak, ek bir içme suyu kaynağı olarak Tisza Nehri'ndeki bank (kıyı) sznts özütlemesi projede uygulanmıştır.

2.9.10. Organik madde/kireç taşı/sıfır değerlikli Fe karışımı geçirgen reaktif bariyerler ile yeraltı sularından yerinde arsenik giderimi

Asit madeni sızıntısı (AMD) jeo-çevresel alanlarda oldukça önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Bunlar kaya artıkları ve tortu havuzlarında pirit ve diğer metal sülfür minerallerinin kimyasal ve biyolojik yükseltgenmeleri ile oluşmaktadır. AMD ile kirlenme uygunsuz boşaltım, çöplük sızıntılarını ve tesadüfi dökme gibi durumlardan kaynaklanmaktadır. Doğal ekosistemler üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı AMD'yi rehabilite etmek ve ekolojik zararı en aza indirmek oldukça ilgi çekmektedir. AMD muamelesi için kullanılan şu anki yöntemler, geleneksel olarak metallerin hidroksitler ve sülfürler şeklinde çökmesini engellemek için alkali bir

reaktif ya da sülfür eklenmesini içeren dışarıdan kimyasal uygulamaları için toplamayı içermektedir.

Asit maden sızıntısı yerinde biyo-arıtımı, geçirgen reaktif bariyerler en geçerli teknik olarak, son yıllarda biyoteknoloji alanında dikkatleri üzerinde toplamaktadır. Bir geçirgen reaktif bariyer (PRB), kirletilmiş suyun boyunca akarken arıtıldığı fiziko-kimyasal ve/veya biyolojik proseslerin oluşumunu sağlayabilecek uygun bir reaktif materyalin yeraltı suyu havzasına yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Bu sebeple pasif bir uygulamadır, yani, bir defa yerleştirildiğinde uzun zaman aralığında az bakım gerektirmektedir. Bu teknoloji klorlu çözücüler için sıkça kullanılsa da, anorganik kirleticiler için sadece birkaç çalışma vardır.

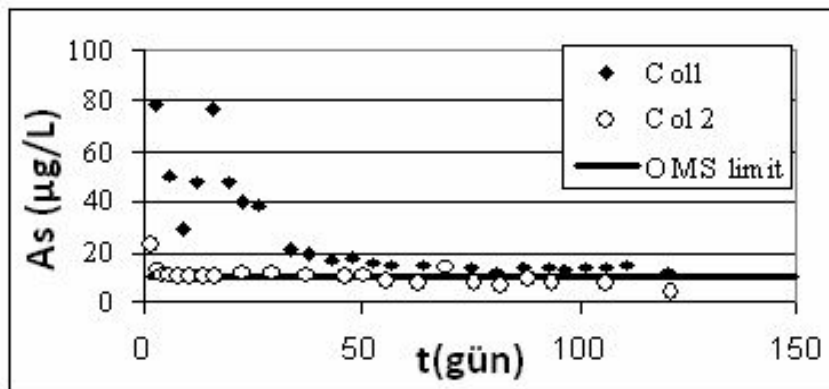
AMD biyo-arıtımında kullanılan PRB materyalleri bakteriyel aktiviteyi desteklemek ve devam ettirmek için bir SRB kaynağı ve bir organik substrat içermektedir. İkinci bileşen toplam biyo-arıtım performansı için belirleyici etmendir. Ek olarak önerilen materyaller kireç taşı (pH'ı nötralize etmek ve bakteriyel aktiviteyi kolaylaştırmak için), demir (SRB için yardımcı elektron verici olarak ve indirgen koşulları ve hidrojen üretimini kolaylaştırmak için) ve silika kum ya da çakıldır (hidrodinamik amaçlar için geçirgenliği arttırmak için).

Bu çalışmanın amacı AMD arıtımı için PRB kullanımında kireç taşı kentsel organik gübre karışımlarının potansiyelinin yüksek akış hızlarında (>0.1 m/d) belirlenmesidir. Kentsel gübrenin yanında, kireç taşı ve tercihen sıfır değerlikli demir içeren değişik karışımlar yüksek miktarda sülfat, metaller ve As gibi ametalik türleri içeren asidik suların arıtımında laboratuvar ve arazi denemeleri açısından değerlendirilmiştir. Denemeler boyunca arıtılmış suyun kontrolü yapılmıştır. Denemelerin sonunda çökelekler SEM, EDS ve XRD analizleri için uzaklaştırılmış ve kolonlardan biri için katı parçalama ve sıralı özütme işlemleri kimyasal analizler için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar suların metallerden ve asitlikten arındığını göstermektedir, fakat, kimyasal ve morfolojik analizler basit organik karbon bileşiklerinin eklenmediği durumda metal gideriminin öncelikle biyojenik sülfür üretimine göre olmadığını göstermektedir.

Metaller dikkate alınarak farklı karışımların uygulanması ile Fe, Zn, Al, Cu, Cd ve As'nin başlangıç derişimlerinin %99'undan fazlası giderilmiştir. Bunun yerine, metal giderimipH düşüşüne, yani, metal (oksi)hidroksitler ve karbonatların çökmesine bağlanabilmektedir ve giderim yeterli sülfat giderimi tespit edilemediği için biyogenik sülfürün çökmesi sebebi ile gerçekleşmemektedir. Bu çökelekler diğer metalleri de adsorplayabilmiştir. Organik maddelere adsorpsiyon da metal giderimine bir ölçüde katkıda bulunmuştur. Ayrıca sıfır değerlikli demir bulunduğu zaman bakır sementasyonu oluşmuştur. Bu çalışmada incelenen kentsel gübrenin yüksek akış hızlarında sürekli SRB aktivitesini desteklemek için yetersiz bir karbon kaynağı olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Metal gideriminin gerçekleştiği mekanizmalar daha çok pH düşüşü ile ilişkilendirilebilir. Nötral pH'da Fe, Al, S ve O'dan meydana gelmiş kristaller şeklinde çöken bir amorf demir (oksi)hidroksit çökeleği kaplayıcı bir tabaka biçiminde oluşmaktadır. Bu çökelek metaller ve arsenik için kuvvetli bir ikincil adsorpsiyon fazı şeklinde davranmaktadır.

Sıfır değerlikli demir içeren kolon deneylerinde ölçülen değerlerin bütün deney boyunca WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından belirlenmiş limit seviyesinden düşük olduğu As giderimi için ayrıntılı değerlendirme Şekil 2.13'de verilmiştir. Kolon 1 çalışmasında (sıfır değerlikli demir içermiyor) işlemin ilk 40 gününde As değerleri sürekli 20 ppb'nin üstünde ve 40. günün sonrasındaki As değerleri sürekli 20 ile 10 ppb arasında ölçülmüştür.



Şekil 2.13. Kolon deneylerindeki As derişimi değerlendirme

2.9.11. Güvenilir su üretiminde membran süreçler ve arsenik gideriminde kullanılan temel membran prosesleri

Prof Drioli, dersine genellikle şu sözlerle başlar: ‘Membran işlemleri proses mühendisliğinde olgunlaşmakta olan bir teknoloji olarak kabul edilirken son zamanlarda membran bilimi ve mühendisliği olağanüstü gelişim göstermektedir. Bununla birlikte, membran biliminin ve teknolojisinin gelecekte farklı endüstriyel sektörler için önemi giderek artan rol oynayacağı beklenmektedir.’ Sözlerine şunları ekler: ‘Buna rağmen, membran mühendisliği hâlâ çocukluk dönemini yaşamaktadır.’ Bu yaklaşım bu sunumun ana temasını oluşturmaktadır.

Günümüzde membran süreçlerini neden bu kadar çok önemsiyoruz? Belki de bilinen diğer ayırma yöntemlerini kullanmak daha iyidir? Proses mühendisleri kariyerlerinde bu tip sorularla karşılaşmak zorunda kalabilir. Ayrıca, bilindiği gibi membran teknolojileri bazı avantajlara sahiptir: işletim kolaylığı, uzaktan kontrol imkanı, ölçeklendirmede kolaylık, kurulumunda esneklik. Diğer taraftan bazı dezavantajlar söz konusudur: enerji tüketimi, atık üretimi, yüksek maliyet ve değişikliklere karşı insanın doğal olarak gösterdiği uyum sorunu.

Bu kongrenin ‘arsenik türlerinin gideriminde kullanılabilir etkili teknolojik yöntemlerin araştırılması’ adlı gizlenmiş altbaşlığı göz önünde bulundurularak, bu sunumda güvenilir su üretiminde kullanılabilir membran yöntemleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Burada yüzey ve yeraltı sularında iki temel arsenik türünün (arsenat, As(V) ve arsenit, As(III)) bulunduğu yeniden vurgulanmalıdır. Bu türlerin iyonlarına ayrılma özellikleri, hangi tür membran prosesin etkili olacağı konusunda fikir vermektedir. $4 < \text{pH} < 10$ aralığındaki suda, As(III) doğal formunu alırken, As(V) türleri negatif yüklü hale geçer. Bu özellik, As(V)’in etkili olarak giderilmesini sağlar.

Sudaki zehirli türlerin giderilmesi için kullanılan membran yöntemlerine ilişkin iki tür yaklaşım söz konusudur: doğrudan membran prosesleri ve membran hibrit prosesleri. Bunlardan ilki temel membran kullanımını içerirken diğeri arseniğin sorpsiyonla tutulmasını ve oluşan komplekslerin de membran ile ayrılmasını kapsar.

2.9.11.1. Ters osmos ve nanofiltrasyon

Bu iki yöntem öncelikli olarak acı su ve deniz suyunu arıtmak için kullanılır. Suyun geçirgen polimer bir membrandan geçebilmesini sağlayacak yüksek bir basınca ihtiyaç vardır. Bununla birlikte sudaki kirliliklerin büyük bir bölümü membran tarafından alıkonulur. RO ve NF ile arsenik giderimine ilişkin birçok makale bulmak mümkündür. Bunların hepsi US-EPA raporuyla aynı paralellikte olup As gideriminde her iki yöntemin de etkili olduğu belirtilmektedir. Pilot ölçekli çalışmalar arsenik gideriminin %40 ile %90 aralığında olduğunu göstermektedir. Ticarî RO/NF sistemlerinin kullanıldığı pilot ölçekli işletmelerin olduğuna yönelik de bazı bilgiler bulunmaktadır. Yapılan testlerde şu önemli ilişki gösterilmektedir: As(V), As(III)'den daha iyi giderilmektedir. Bu gözlem; iyonların, iyon halde olmayan türlerine göre daha iyi giderildiğini doğrulamaktadır. Bu nedenle, ayırma verimi çözelti pH'ını arttırarak geliştirilebilir. RO/NF proseslerinin avantajlarının yanısıra, yüksek maliyet ve düşük su geri kazanımı gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Deniz suyu arıtımına ilişkin literatür verilerine göre arıtılmış suyun metreküp fiyatı 0.5\$ ile 1.0\$ arasında değişmektedir. Enerji tüketimi toplam maliyetin %40'ını oluşturduğunda fiyat varyasyonu, uygulama alanındaki elektrik maliyetini çok iyi yansıtmaktadır. RO/NF sistemlerinin ikinci bir dezavantajı ise düşük su geri kazanım yüzdeleridir. Genellikle bu değer %40 ile %50 arasında tutulur. Bunun anlamı, arıtılan suyun hacimsel olarak yarısının membranlardan geçmesi diğer yarısının ise alıkonulmasıdır. Arsenik gideriminin gerçekleştiği pilot işletmelerde bu geri kazanım değeri daha düşüktür. Bu değer %15-20 seviyelerinde olduğu bilinmektedir. Yukarıda bahsi geçen konuların kapsamında, US-EPA RO/NF teknolojisinin evsel uygulamalarda kullanılmasını önerir (kullanım noktası – point of use POU, veya giriş noktası – point of entry POE).

2.9.11.2. Elektrodializ

Elektrodializ (ED), membran ünitesinde doğru akım (DC) elektriksel alanının uygulanması prensibine dayanır. İyonların yarı geçirgen membranlardan konsantre bölgeye geçişi sağlanır, böylece iyonlarından giderilmiş seyreltik tuz çözeltisi elde edilir. Bu tanım aynı zamanda ED'in iyonik türleri giderdiğini belirtir. Bu proses

düşük iyon derişimlerinde etkili olmadığı için arsenik giderimi ancak %80'e kadar gerçekleştirilmektedir. Buna ek olarak, yüksek elektrik enerjisi maliyeti bu yöntemin arsenik giderimi için yaygın bir şekilde kullanılmasını engeller.

2.9.11.3. Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon

Membran gözenek boyutu dikkate alındığında bu yöntemler arsenik giderimi için kullanışlı değildir. Fakat membran filtrasyon yöntemleri diğer birçok türün derişimini düşürdüğünden avantaj sağlamaktadır. Örneğin; UF membranları Giardia gibi bakterileri ve virüsleri %99.9 oranında giderir. Bazı durumlarda, filtrasyon negatif yüklü gözenekli membranlarla gerçekleştirildiğinde UF sistemleri, yüksek süzüntü akışı, yüksek geri kazanım hızı, düşük kirlilik indeksi ve arsenik türlerinin kısmen etkin bir düzeyde giderilmesi gibi avantajlara sahiptir.

2.9.11.4. Membran hibrit prosesleri

Bu kategorideki hibrit sistemler iki tür prosesi içerir: Arsenik türlerinin arseniğe duyarlı bileşenler tarafından sorpsiyonu ve bu türlerin daha sonra membran filtrasyon ile ayrılması. Arsenik gideriminde hibrit sistemler iki kategoriye ayrılabilir: UF prosesler ve MF prosesler.

2.9.11.5. UF hibrit prosesleri

Bu alt grupta iki tür proses bulunur: misel oluşumlu ultrafiltrasyon (micellary enhanced ultrafiltration) ve polimer oluşumlu ultrafiltrasyon (polymer enhanced ultrafiltration). İlk durumda, miseller (5-10 cmc) arsenik türlerini çözünür hale getirerek membran tarafından alıkonulmasını sağlar. İkinci durumda ise, suda çözünebilen polimerler arseniği bağlarlar.

2.9.11.6. MF hibrit prosesleri

Mikrofiltrasyon membran sistemi, suya demir klorür gibi demir bazlı koagulantların eklenmesiyle arsenik giderimini sağlar. As(V) negatif yüklüdür ve pozitif yüklü

demir hidroksit partikülleri tarafından adsorplanır. Oluşan kompleksler daha sonra mikrofiltrasyon ile alıkonulur. Sistemin yapısının basit olması ve yüksek akı geri kazanım indeksi başlıca avantajlardır. Membran pazarında kolayca bulunabilen daldırılmış membran sistemleri uzun vadeli çalışabilme imkanı ve arsenik türlerinin hava ile oksidasyonunu sağlamaktadır.

Membran yöntemlerini içeren bu kısa araştırma, bu konuyla ilgili tüm seçenekleri içermemektedir. Ancak bize, membran bilimi ve teknolojisinin sanayi sektöründe kullanılabilirliğini ve çok büyük bir uygulama alanı olduğunu anlatmaktadır. Ayrıca membran biliminin henüz hala gelişmekte olduğunu ve membran hibrit proseslerinin esasen bu rekabette olduğunu göstermektedir.

2.10. Dünyanın Yeraltı Sularında Arsenik – Nerede Ararsanız Orada Arsenik Bulacaksınız

Halk sağlığı üzerine zararlı etkilerinin 1917 yılından beri tanımlandığı Arjantin’de, yeraltı sularında arseniğin ortaya çıkması bir asır öncesinde bilinmekteydi. Buna rağmen, arseniğin dünyanın ilgilendiği bir problem olması son yarım yüzyıl öncesine dayanmaktadır. Bu durum UNICEF’in, Bangladeş’deki kırsal nüfusa mikropsuz içme suyu sağlamak için, yüzey ve yağmur suları yerine içme suyu olarak sığ su tabakalarından oluşan yeraltı su kaynaklarını kullanmaya yönelik geliştirdiği programın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Ancak yeraltı sularının kalitesi arsenik açısından test edilmemişti ve nüfusunun büyük bir kısmının on yıl süreyle bu suları kullanmasıyla suların zehirli etkileri ortaya çıkmıştır. Bu durum yeraltı sularındaki arseniğin bilimsel çevrelerin ve kamuoyunun ilgilendiği bir konu haline geldiği ve pekçok iyileştirme yöntemlerinin geliştirildiği ve denendiği Hindistan, komşu Batı Bengal ve Bangladeş’deki arsenik sorununun hafifletilmesi için büyüyen uluslararası yardım çabalarının başlangıcı olmuştur. Birkaç on yıldan bu yana yeraltı sularının ve az miktardaki yüzey sularının yerel arsenik ile kirlenmiş olması Meksika, Peru, Tayvan ve Şili gibi ülkelerde ve Avrupa kıtasındaki bazı küçük bölgelerde bilinmektedir. Ancak son zamanlara kadar arsenik sorununun bu ülkelerle sınırlı olduğu düşünülmekteydi. Dünyanın her yerinde keşfedilen pek çok yeni problemler bunun doğru olmadığını göstermektedir. Nikaragua 1996, Chhattisgarh (Hindistan)

1999, Bolivia 2001, Nepal 2001, Tayland 2001, Vietnam 2001, Bihar (Hindistan)2002, Uttar Pradesh (Hindistan) 2003, Jharkhand (Hindistan) 2004, Assam (Hindistan) 2004, Myanmar 2004, El Salvador 2005, Ekvator 2005, Honduras 2006, Baja Kaliforniya State, Meksika 2006, Manipur 2007, Kamboçya 2004 ve son zamanlarda Izmir ve çevresi (Türkiye) bunlara örnek gösterilebilir. Dünyadaki yerel arsenik bölgeleri Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Dünyadaki yerel arsenik bölgeleri

Dünyanın birçok bölgesinde içme suyu kaynaklarındaki arseniğin her yerde bulunma varlığını göz önünde tutarsak ve her yıl arsenikten etkilenmiş yeni bölgelerin keşfedildiğini düşünürsek, pek çok ülkede hala yerine getirilmemiş gereksinim olarak karşımıza çıkan ve su otoriteleri tarafından arseniğin bir parametre olarak standart içme suyu kalite analizlerine eklenmesi büyük önem taşımaktadır. Nikaragua örneğine bakıldığında, oradaki durumun bir ihmâl sonucu ortaya çıktığı aşikardır. Burada ulusal su firmaları El Zapote’de halka temiz içme suyu sağlamak için 1994 yılında bir kuyu açmıştır. Ancak birkaç on yıl öncesinde, Bangladeş’de su kaynakları arsenik açısından analize edilmemişti ve bunun neticesinde nüfusun iki yıl süresince yüksek arsenik derişiminden (1320 $\mu\text{g}/\text{l}$) dolayı iki yıl boyunca zehirlenmesi ortaya çıkmıştır (Barragne 2004; Espinoza & Bundschuh 2009). Benzer ihmâl diğer pek çok ülkelerde gözlenebilir. Bu durum, problemin daha önce incelendiği bölgelerden bilgi ve deneyim değiş tokuşunun gerçekleştirilmesini ve problem üzerinde ortak global yaklaşımın geliştirilmesini garanti etmektedir. Şimdiye dek tehlikeli derişimlere sahip olmasına rağmen, güvenilir arsenik seviyesine sahip ülkelerde toksik arsenik

miktarına maruz kalan nüfustaki artış içme suları için arsenik değerinin 10 µg/l'e uyarlanmasından dolayı ölçümlerin gerekliliğini zorunlu kılmıştır. Bu yeni arsenik limit değeri yakın geçmişte Nikaragua, Şili ve Arjantin'da uygulanmış ve Avrupa Birliğine giriş yapmıştır. Diğer ülkelerde bu ülkeleri takip edeceklerdir. Eğer su ve diğer ürünlerde arsenik için belirlenmiş olan 10 µg/l limit değeri uygulanmıyorsa bile, mallarının ihracatını (gıda endüstrisi ve tarımsal ürünleri) sürdürmek için bu limit değerin pek çok endüstri kurumu tarafından benimsenmesi ve ilgili kuruluşların turizm endüstrilerini de riske sokmamaları gerekmektedir.

Pek çok su taşıyıcılarda arsenik hareketliliğinin temel mekanizmaları hidrojeolojik, hidrojeokimyasal jeolojik ve jeomorfolojik koşullara bağlı olarak belirlenebilmektedir. As hareketliliği 1) arsenik kaynakları (As taşıyan kayaların liç edilmesi, ikincil arsenik minerallerinin çözünmeleri, arsenikçe zengin jeotermal suların içe akış/karıştırılması), 2) Bengal delta su taşıyıcıları (e.g., von Brömssen *et al.* 2007; Hasan *et al.* 2007) ve Latin Amerikanın farklı bölgeleri (e.g. Bundschuh *et al.* 2004, 2009, Bhattacharya *et al.* 2006, Espinoza & Bundschuh 2009) için tipik olan yeraltı sularında aşırı derecede heterojen yatay ve dikey arsenik dağılımıyla sonuçlanan bölgesel ya da kısmi spesifik hidrojeokimyasal koşullarla yönetilmektedir. İki temel su taşıyıcı indirgeyici ve yükseltgeyici olarak ayırt edilebilir. Bangladeş'deki gibi çözülmüş arsenik büyük oranda indirgeyici su kaynaklarıyla ilgilidir (Arsenik organik maddelerle tepkimeye girerek sediment tanecikleri üzerinde kaplayıcı olarak bulunan amorf Fe(III) oksihidroksitler varlığındaki indirgeyici çözeltiye doğru hareketlendirilir). Genellikle (jeotermal olmayan) arsenikçe zengin su taşıyıcılarında, yükseltgeyici ortam etkili olmaktadır. Chaco-Pampean'da (Arjantin) yeraltı sularındaki arsenik dağılımını temel olarak kontrol etmek için hidrojeokimyasal yöntemler kullanılmaktadır (Bundschuh *et al.*, 2004, 2009; Bhattacharya *et al.*, 2006). Arsenikçe zengin sıcak su kaynaklarının yaygın özellikleri volkanik kül/camlı kül renkli toprak tipli sedimentlerin ve yüksek pH ve EC değerleriyle (yeraltı suyunun artan kalış süresi ve iyon değişimi ile ilgili) Na-HCO₃ tipli yeraltı sularının varlığını içermektedir. Düşük derişimde çözülmüş arsenik, nötral pH'larda Ca-HCO₃ içerikli yeraltı sularının yeraldığı bölgelerde bulunmaktadır.

Bangladeş'deki son çalışmalar redoks koşulları ve yeraltı su bileşiminin sediment rengi ile bağlantılı olduğunu ortaya çıkarmaktadır(von Brömssen et al. 2007). Siyah renkli sedimentlerden ekstrakte edilen yeraltı suları daha fazla indirgenmiş durumdayken, bu rengi takip eden grimsi ve kırmızı sedimentlerden elde edilen yeraltı suları daha az indirgenme göstermektedir. Sonuç olarak, daha az oranda indirgenmiş beyaz, grimsi ve kırmızı sedimentlerden özütlenen yeraltı sularında ne Fe ne de As yüksek değerlerde bulunmaktadır. Eğer taşınan bu özellik renkli alanlarda gözlemlenen yerel jeolojik koşullarla doğrulanırsa, güvenli su taşıyıcılarının hedeflenmesinde kullanılabilir. Yüksek performanslı adsorpsiyon teknikleri ve membranlarla arsenik içeren suların arıtılmasına ilişkin olarak, son zamanlarda içme ve endüstriyel suların yenilikçi yöntemlerle arıtılması yönünde teknoloji ortaklığı için Avrupa Birliği tarafından destekli Asya-Avrupa ortak projesi üzerinde çalışılmaktadır .

2.11. İçme Suyu Sistemlerinde Arsenik Giderim Stratejilerinin Değerlendirmesi: İzmir Örneği

Su kaynaklarının arsenik içermesi dünyada sık karşılaşılan bir sorundur. Arsenik topraktaki kayalardan, minerallerden, maden filizlerinden aşınarak ve çözünerek doğal yollardan su ortamına geçer. Bunun dışında çeşitli endüstriyel işletmeler, tarımsal uygulamalar ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan atıksuların, yeterli arıtma işlemlerinden geçirilmeden alıcı ortama verilmeleri, arsenik kirliliğinin ortaya çıkmasına ve artmasına neden olur. ABD, Latin Amerika, Kanada, Çin, Bangladeş, Hindistan, Japonya, Vietnam, Macaristan, Romanya gibi pek çok ülkede içme sularında doğal veya insan kaynaklı arsenik kirliliği görülmektedir. Arsenik kirliliği sağlık bakımından önemli riskler oluşturmaktadır, dolayısıyla içme suyunda izin verilebilen maksimum seviyeler yasal düzenlemelerle ortaya konmuş ve zaman içinde sıkılaştırılmıştır. Son durum olarak, Dünya Sağlık Örgütü ve Amerikan Çevre Koruma Teşkilatı oluşabilecek riskleri asgari düzeye indirmek için izin verilen maksimum arsenik konsantrasyonunu, Şubat 2002 tarihinde 10 µg/l olarak açıklanmış ve gereken önlemlerin alınması için Ocak 2006 tarihine kadar zaman verilmiştir.

İçme suyundaki yüksek arsenik konsantrasyonu (riski) iki şekilde azaltılabilir: (1) Kirilenmemiş veya az kirli kaynakların kullanılması, yüksek arsenik içeriğine sahip kuyuların terk edilip daha düşük olanlara yönelinmesi; (2) Kullanım öncesi arseniğin uzaklaştırılması (arıtma). Birinci seçenekte önerilen yeni kaynakların geliştirilmesi ve mevcut sistemde düzenlemeler yaparak arsenik içeriği düşük kaynakların kullanımı birçok nedenle mümkün veya kolay olmayabilir. Bu durumda, mevcut kaynaklardaki arseniğin arıtılması daha gerçekçi ve uygulanabilir bir seçenek olarak görülmektedir. Bunların dışında, arıtma ihtiyacını ortadan kaldırmak amacıyla paçallama işlemi (iki veya daha fazla kaynağın şebeke öncesinde karıştırılması) yapılarak su dağıtım şebekesine verilen su içindeki arsenik konsantrasyonu azaltılabilir, böylelikle mevsimsel veya pik dönemlerdeki ihtiyacın karşılanması mümkün olabilir.

Arsenik arıtma teknolojileri kuyu başı ve merkezi arıtma olarak gruplandırılır. Kuyu başı arıtma seçeneğinde her kuyuda veya yakınında bir arıtma tesisi kurulur. Çok sayıda sorunlu kuyunun olması halinde, aynı sayıda arıtma ünitesi teşkil edilmesi gereklidir. Bu durumda, arsenikli suların ortak bir arıtma tesisine iletilmesi ve merkezi olarak arıtılması daha ekonomik olabilmektedir. Bu iki seçeneğe ilaveten, binalarda veya evlerde “tezgah altı” olarak isimlendirilen paket arıtma sistemleri ile arsenik arıtımı sağlanabilir.

Türkiye, özellikle son dönemlerde arsenik problemiyle uğraşan bir ülke durumundadır. Sağlık Bakanlığı tarafından 2005 yılında ilan edilen standartlar ile izin verilebilir maksimum arsenik konsantrasyonu 50 µg/l'den 10 µg/l değerine indirilmiştir. Yeni standartlar 2008 Şubat ayından itibaren uygulanmaya başlamıştır. Bu düzenlemeye göre, daha önce kullanılmakta olan çok sayıda kaynak (kuyu) arsenik bakımından kirli durumuna düşmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği etkisiyle yaşanan kuraklık koşulları arsenik konsantrasyonlarının artmasına neden olmuştur. Bu durum bazı bölgelerde arsenikten kaynaklanan sorunları tetiklemiştir. Arseniğin teknik, sosyal ve politik problemlere neden olduğu bölgelerden birisi İzmir'dir. İzmir kentinde arsenikten kaynaklanan sorunlar, su temini ve iletiminden sorumlu kuruluş (İZSU) tarafından “kriz yönetimi” anlayışı ile alınmış ve farklı seçenekler ve boyutlarıyla giderilmeye çalışılmıştır.

İZSU teknik bakımından farklı dönemlerde su kaynaklarının değiştirilmesi, kaynakların paçallanması ve arıtma tesisi yapılması gibi farklı stratejiler uygulamıştır. Bildiride bu faaliyetler özetlenerek, yapılmakta olan arıtma tesisleri detaylı olarak tanıtılmıştır. Arseniğin azaltılmasına yönelik alınan önlemler arasında, ilk olarak güneyde bulunan arsenik içeriği çok düşük olan yüzeysel suların tümüyle kente verilmesi sağlanmıştır (Tahtalı barajından temin edilen su tüm kente dağıtılmıştır). Ancak bu seçenek mevsimin (yaz) ve kuraklığın da etkisiyle uzun süreli bir çözüm yaratamadığı için, ikinci aşamada Güzelhisar (Aliağa) Barajından alınan arsenik içermeyen su ile Menemen kuyularından alınan arsenikli su karıştırılarak (paçallama) verilmiş, böylelikle arsenik içeriğinin düşürülmesi sağlanmıştır. Ancak bu seçeneğin de uzun süreli ve radikal bir çözüm getirmeyeceği kanaatine varılarak Sarıkız ve Göksu kuyuları için arsenik arıtma tesisi kurulmasına karar verilmiş ve çalışmalara başlanmıştır. Bu amaçla planlanan Çullu su arıtma tesisinin kapasitesi 3 m³/s olup, arıtma sistemi olarak oksidasyon işlemi takiben filtrasyon uygulanmaktadır. Diğer merkezi arıtma tesisleri Halkapınar ve Menemen kaynaklarında kurulmaktadır. Her iki tesiste uygulanacak arıtma yöntemi Çullu'da yapılan sisteme benzemektedir. Sadece kullanılan filtre malzemesi farklılık göstermektedir. Bildiride arıtma süreçlerine ilişkin daha ayrıntılı bilgilere yer verilmekte, ayrıca arsenik gideriminde uygulanan arıtma seçeneklerine ilişkin geniş bir literatür değerlendirmesi de yer almaktadır.

2.11.1. İzmir'in su kaynakları, içme suyu arıtma tesisleri ve izleme çalışmaları

İzmir kenti metropol alanında içme ve kullanma suyu olarak 2007 yılı verilerine göre yıllık toplam 201.357.705 m³ su üretilmiş olup % 64,62 oranında yeraltısuyu ve % 35,38 oranında yüzeysel su kaynakları kullanılmıştır. Yeraltı suyu kaynakları; Sarıkız derin kuyuları, Göksu derin kuyuları, Menemen derin kuyuları, Halkapınar derin kuyuları ve Pınarbaşı derin kuyularıdır. Yüzeysel su kaynakları ise Tahtalı Barajı ve Balçova Cengiz Saran Barajıdır.

Bu su kaynaklarının gerek çevresel faktörler, gerek küresel ısınma sebebiyle su miktarlarının düşmesi sonucunda su kalitelerinin olumsuz etkilenmesi riskine karşın sürekli izleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu izleme çalışmalarının eksenleri; kaynaklarda ağır metal konsantrasyonlarında değişimler, suyun dezenfeksiyonu

sonucunda (klorlama/ozonlama ile) toplam trihalometan veya toplam brom oluşum potansiyeli ile şebekede korozyon sonucu kurşun ve bakır konsantrasyonlarındaki değişimlerdir. Bu kapsamda yerinde numuneler alınarak laboratuvarlarda analizler yapılmaktadır. Ayrıca, mevcut uzaktan izleme ve kumanda sistemi ile (SCADA) suyun kalitesi bakiye klor, bulanıklık, pH ve iletkenlik açısından sürekli monitörlerden izlenmekte ve kaydedilmektedir.

2.11.1.1. Ağır metal izleme çalışmaları

Ülkemizde yürürlükte olan mevzuatlardan; TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (revize tarihi 29 Nisan 2005) arsenik limit değeri 50 mikrogram/litreden 10 mikrogram/litre'ye düşürülmüştür. 17 Şubat 2005'de ilk kez yayımlanarak yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelikte 10 mikrogram/litre olarak belirlenmiştir. Halen yürürlükte olan Gıda Maddelerinin ve Umumi Sağlığı İlgilendiren Eşya ve Levazımın Hususi Vasıflarını Gösteren Tüzük Madde 425'e göre ise arsenik değeri maksimum litrede 50 mikrogram'dır.

Söz konusu bu su kaynakları periyodik olarak su kalitesi açısından izlenmiş ve 2003, 2004, 2005 ve 2006 yıllarında İzmir'e verilen içme ve kullanma suyunda yönetmelikte belirlenen değerlere ilişkin hiçbir olumsuzluk yaşanmamıştır. İdaremiz arsenik değerlerindeki artışı Mayıs 2007 dönemi itibarı ile tespit etmiştir. Bunun üzerine, öncelikle teknik olarak doğru çözümler ortaya konulabilmesi ve iyi projelendirme yapılabilmesi için gerekli olan ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik Madde:12'de öngörüldüğü şekilde en az bir yıllık periyotta arsenik değerlerinin salınımı izlenmiştir. Çünkü Türkiye'de henüz bu kapasitede (3000 lt/sn) bir arsenik arıtma tesisi uygulaması yapılmamıştır.

2007 'de tespit edildikten sonra Kamu İhale Kanunu açısından gerekli çalışmalar başlatılmış ve Teknik Şartnamesi tamamlanmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü ile Nisan 2008'de sözleşme imzalanarak kuyulardaki arsenik artışının nedenleri, arsenik değerlerinin izlenmesi ve arıtma teknolojilerine ilişkin bilimsel çözümler araştırılmaya başlanmıştır. 2/4 20.06 2008 tarihinde İnsani

Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik Madde:12 ye istinaden 3 yıllık muafiyet talep edilmiş ancak Sağlık Bakanlığı tarafından olumsuz cevap verilmiştir.

Artışın sürekli olduğunun tespiti üzerine; İZSU Genel Müdürlüğü aşağıdaki teknik çalışmaları yapmıştır.

- Arsenik değerinde artış görülen kuyular kapatılmış ve kullanmamıştır.
- Kente kesintisiz su vermeye devam edebilmek için Güzelhisar Barajı'ndan artırılmış su temin etmiştir.
- Tahtalı ve Balçova barajından su üretim miktarı, normal değerlerinden üç katına yükseltmiştir. Şebekede yüzeysel su ile yeraltı suyunun iyi bir şekilde harmanlanması sağlanmış olup; arsenik değeri seyreltme yoluyla 10 mikrogram/litre civarında tutulmuştur. - Kentte 4 farklı bölgede toplam 25 kuyu açılması ve ilave 1200 lt/sn ilave su temini için çalışmalara başlamıştır.
- Arsenik giderimine yönelik olarak Göksu-Sarıköz, Halkapınar ve Menemen kuyularında arıtma tesisi kurmak üzere ihale kararları alınmış ve ihale çalışmaları sonuçlandırılmıştır.

2.11.1.2. Göksu ve Sarıkız kuyuları için içme suyu arıtma tesisi (arsenik)

Sözleşme Tarihi- Bitiş tarihi: 11.08.2008- 08.04.2009

Dizayn değerleri aşağıdaki gibidir:

Debi : 3000 lt/sn

Kurulu güç : 2000 kVA

Proses tanımı : Ön klorlama, demir üç klorür ile koagülasyon, basınçlı filtrasyon

Ham su deposu : 2500 m³

Pompa sayısı : 10 (8 asıl, 2 yedek)

Filtre tank sayısı : 32 grup (30 asıl, 2 yedek)(1 grupta 4 tank, toplam filtre tankı 128)

Artırılmış su deposu : 5000 m³ (mevcut)

2.11.1.3. Halkapınar kuyuları için içme suyu arıtma tesisi (arsenik)

Sözleşme Tarihi- Bitiş tarihi: 25.08.2008- 21.01.2009

Dizayn kriterleri

Debi : 1000 lt/sn

Kurulu güç : 800 kVA

Proses tanımı : Ön klorlama, demir üç klorür ile koagülasyon, basınçlı filtrasyon

Ham su deposu : (mevcut)

Pompa sayısı : 6 (4 asıl, 1 geri yıkama, 1 yedek)

Filtre tank sayısı : 22 adet (20 asıl, 2 yedek)

Arıtılmış su deposu : 400 m³ (mevcut)

2.11.1.4. Menemen acil kuyuları için içme suyu arıtma tesisi (arsenik)

Sözleşme Tarihi- Bitiş tarihi: 25.08.2008- 21.01.2009

Dizayn kriterleri

Debi : 600 lt/sn

Kurulu güç : 630 Kva 3/4

Proses tanımı : Ön klorlama, demir üç klorür ile koagülasyon, basınçlı filtrasyon

Ham su deposu : 400 m³ (mevcut)

Pompa sayısı : 5 (3 asıl, 1 geri yıkama, 1 yedek)

Filtre tank sayısı : 14 adet (12 asıl, 2 yedek)

Arıtılmış su deposu : 400 m³ (mevcut)

Diğer yapılan idari çalışmalar ise aşağıda verilmiştir;

- Yapılan çalışmalar, arıtma tesisleri ve su kalitesi ile ilgili olarak su kullanıcılarını bilgilendirmek üzere İzmir Büyükşehir Belediye Başkanı tarafından basın açıklamaları yapılmıştır.
- Su ihbarnamelerine “şebeke suyu içme ve yemek hazırlama amacıyla kullanılmamalıdır” ibaresi yazılmış ve açıklayıcı broşür düzenlenmiştir.
- Okullara bir haftalık ihtiyaçları için pet şişe ile içme suyu dağıtılmıştır. Daha sonra bu okullara su deposu konarak Tahtalı Barajı arıtılmış suyundan dolmuş

tankerler ile sürekli su beslemesi yapılmaktadır.

- Fırınlarda arsenik arıtma cihazları kurulmasını desteklemek amacıyla, 31.10.2009 tarihine kadar indirimli tarife uygulaması başlatılmıştır.

- Abonelerin içme ve yemek hazırlama için gerekli olan su ihtiyaçlarını dışarıdan karşılamalarına katkı sağlamak amacıyla, arsenik arıtma tesisleri devreye alınmaya kadar 01.09.2008 itibariyle konut abonelerinin 0-13 m³ kademesinden 10 Ykr ücret alınması uygulamasına başlanmıştır.

2.11.1.5. Şebeke suyunda kurşun ve bakır ölçümleri

Tahtalı Barajı suyunun yumuşak karakterde olması (agresif/korozif) nedeniyle tesis çıkışında doygunluk indeksi -0,20/+0,20 içinde kalacak şekilde kostik dozlama yapılmakta ve suyun pH değeri yükseltilmektedir. Ancak İzmir Kentinin yaz aylarında oldukça sıcak geçmesi neticesinde korozyon oluşma riskine karşın şebekenin orta ve en son noktalarını temsil edecek şekilde alınan su numunelerinde kurşun (Pb) ve bakır (Cu) ölçümü yapılmaktadır. Yönetmelikte kurşun limit değeri 10 mikrogram/litre (31.12.2012 tarihine kadar 25 mikrogram/litre), bakır limit değeri ise 2 miligram/litre'dir. Ağustos 2007 itibariyle başlatılan bu izleme çalışması şebekedeki kurşun ve bakır değerlerinin standart değerlerin altında olduğunu göstermektedir.

2.11.1.6. Toplam trihalometan ölçümleri ve boromat oluşma potansiyeli

TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (revize tarihi 29 Nisan 2005) ilk kez toplam brom limit değeri 10 mikrogram/litre olarak belirlenmiş ve toplam trihalometan limit değeri verilmemiştir. 17 Şubat 2005'de yayımlanarak yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelikte ise limit değerler toplam brom için 10 mikrogram/litre ve toplam trihalometan için 31.12.2012'ye kadar 150 mikrogram/litre olup, bu tarihten sonra toplam trihalometan limit değeri 100 mikrogram/litre olarak belirlenmiştir.

Özellikle yüzeysel sularda organik madde içeriği mevsimlere göre değişiklik gösterdiğinden Tahtalı Barajı İçmesuyu Arıtma Tesisi ve Balçova Barajı İçmesuyu

Arıtma Tesisi Çıkışında toplam trihalometan konsantrasyonları sürekli olarak izlenmiştir.

Tahtalı İçmesuyu Arıtma Tesisi 1250 kVA kurulu güce sahip olup 6 000 lt/sn kapasitelidir. Tesis konvansiyonel tip arıtma olarak havalandırma, ön klorlama, demir üç klorür ile çökelme, hızlı kum filtreleri, son klorlama ve kostik soda ile pH ayarlama işlemlerini 4/4 içermektedir. Balçova Cengiz Saran Barajı İçmesuyu Arıtma Tesisi 800 lt/sn kapasitelidir. Tesis fiziksel tip arıtma olarak havalandırma, ön klorlama, hızlı kum filtreleri ve son klorlama işlemlerini içermektedir.

İzleme sonucunda toplam trihalometan konsantrasyonlarının yönetmelik limit değerinin altında olduğu belirlenmektedir. Ayrıca Tahtalı İçmesuyu Arıtma Tesisinde ön klorlama dozlama noktası için alternatif olarak durultucu çıkışı-filtre girişi noktasına boru hattı monte edilmiştir. Toplam trihalometan değeri yükselmeye başladığında, havalandırma sonrası ön klorlama noktası kapatılacak ve organik madde içeriği düşürülmüş durultucu çıkışında ön klorlama yapılacak, böylelikle toplam trihalometan değerinin standart değerin altında tutulması sağlanacaktır. Ayrıca, her iki tesis için ham suda sürekli olarak toplam brom konsantrasyonları izlenmekte olup; ölçüm sonuçlarına göre ön ozonlama ünitesi yapılması halinde toplam brom oluşma riski değerlendirilmektedir. Bu konudaki akademik çalışma Eylül 2008 tarihinde başlamış olup 1 yıl sürecektir. Çalışma sonucunda Tahtalı İçmesuyu Arıtma Tesisinde ve Balçova İçmesuyu Arıtma Tesisinde ön ozonlama ünitesi yapılıp yapılmamasına karar verilecektir.

2.11.1.7. SCADA izleme ve kontrol sistemi

Halkapınar'da kurulmuş olan SCADA binasında yeraltısuyu ve yüzeysel su kaynakları, terfi istasyonları, depolar ve ana su boruları sürekli olarak debi, basınç ve su seviyeleri açısından izlenmekte ve gerektiğinde uzaktan kumanda ile vanalar aç-kapa, pompalar çalış-dur komutları ile kontrol edilmektedir. Ayrıca, şebekedeki suyun bakiye klor, bulanıklık, iletkenlik, pH ve çözülmüş oksijen açısından sürekli izlemesi yapılmaktadır. Kontrol ekipleri tarafından her gün şebeke uç noktalarında bakiye klor ölçümleri ve mikrobiyolojik numune alımı işlemleri yapılmaktadır.

2.12. Yapılan Literatür Araştırma Sonuçları

A- Yazınsal kaynaklar inceleğinde Epa'nın 2000 yılında yapmış olduğu araştırmada arsenik arıtma teknolojilerinde başarılılabılır maksimum arsenik uzaklaştırma yüzdeleri tespit edilmiştir. (Tablo 2.3.)

Tablo 2.3. Arsenik arıtma teknolojilerinde başarılılabılır maksimum arsenik uzaklaştırma yüzdeleri (EPA 2000).

Arıtma Teknolojisi	Maksimum Uzaklaştırma Yüzdesi (%)
Koagülasyon/Filtrasyon	95
Geliştirilmiş Koagülasyon/Filtrasyon	95
Koagülasyon Destekli Filtrasyon	90
Kireç Yumuşatma (pH>10.5)	90
Geliştirilmiş Kireç Yumuşatma (pH>10.5)	90
İyon Değişirme (Sülfat < 50 mg/L)	95
Aktif Alumin	95
Ters Ozmos	> 95
Yeşil Kum Filtrasyonu (20:1 Demir: Arsenik)	80
Ev tipi Aktif Alumin	90
Ev tipi İyon Değişirme	90

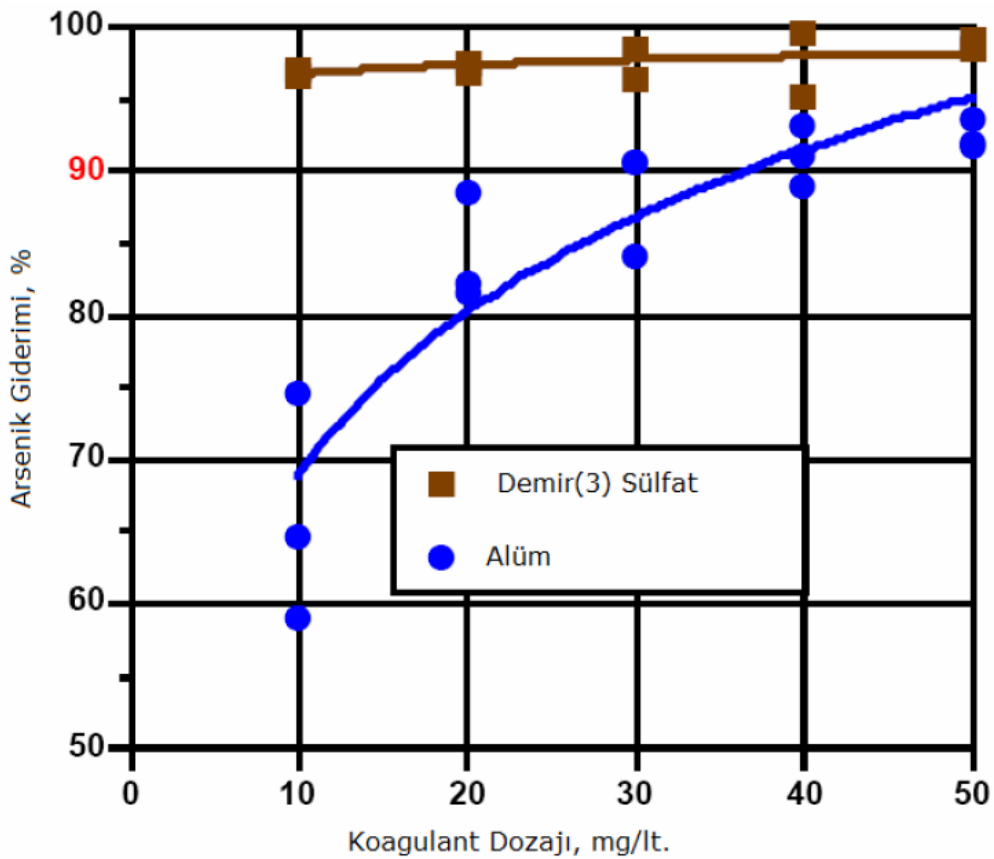
B- Mohan ve arkadaşları 2007 yılında yapmış oldukları çalışmalar sonunda suda bulunan Arsenik (III) ve Arsenik (IV)'ün suyun pH'ına göre farklı durumlarda bulunabildiklerini tespit etmişleridir. Üç değerlikli arsenik için suyun pH'ı 6 değerinde ortamda tamamen H_3AsO_3 türü bulunuyorken, pH değeri arttıkça $H_2AsO_3^-$ türü de ortaya çıkmaya başlar. pH 9 değerinde ise, ortamda %70 oranında H_3AsO_3 , % 30 oranında ise $H_2AsO_3^-$ bulunmaktadır. Beş değerlikli arsenik, üç değerlikli arseniğinin aksine, suyun pH aralığı olan 6 ile 9 arasında anyonik türler ($H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$) halinde bulunur. pH 6.7 değerinde ise tek değerlikli $H_2AsO_4^-$ ve iki değerlikli $HAsO_4^{2-}$ anyon türlerinin dağılımları birbirine eşittir. pH değerinin 7.4 olan sudaki türlerin dağılımı, $H_2AsO_4^-$ için %20 oluyorken, $HAsO_4^{2-}$ için %80

olmaktadır. Aynı pH değerine sahip suda bulunmalarına rağmen, arseniğin artı üç ve beş değerlikli türlerinin dağılımının anlamlı farklılığı, arsenik uzaklaştırma yönteminin seçiminde, türleştirmenin önemini ortaya koymaktadır.

C- Mondal ve arkadaşları 2006 yılında arsenik arıtım teknolojilerinin arıtma maliyetleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çökeltme ve Adsorpsiyona dayalı teknolojiler diğerlerine göre maliyeti oldukça düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

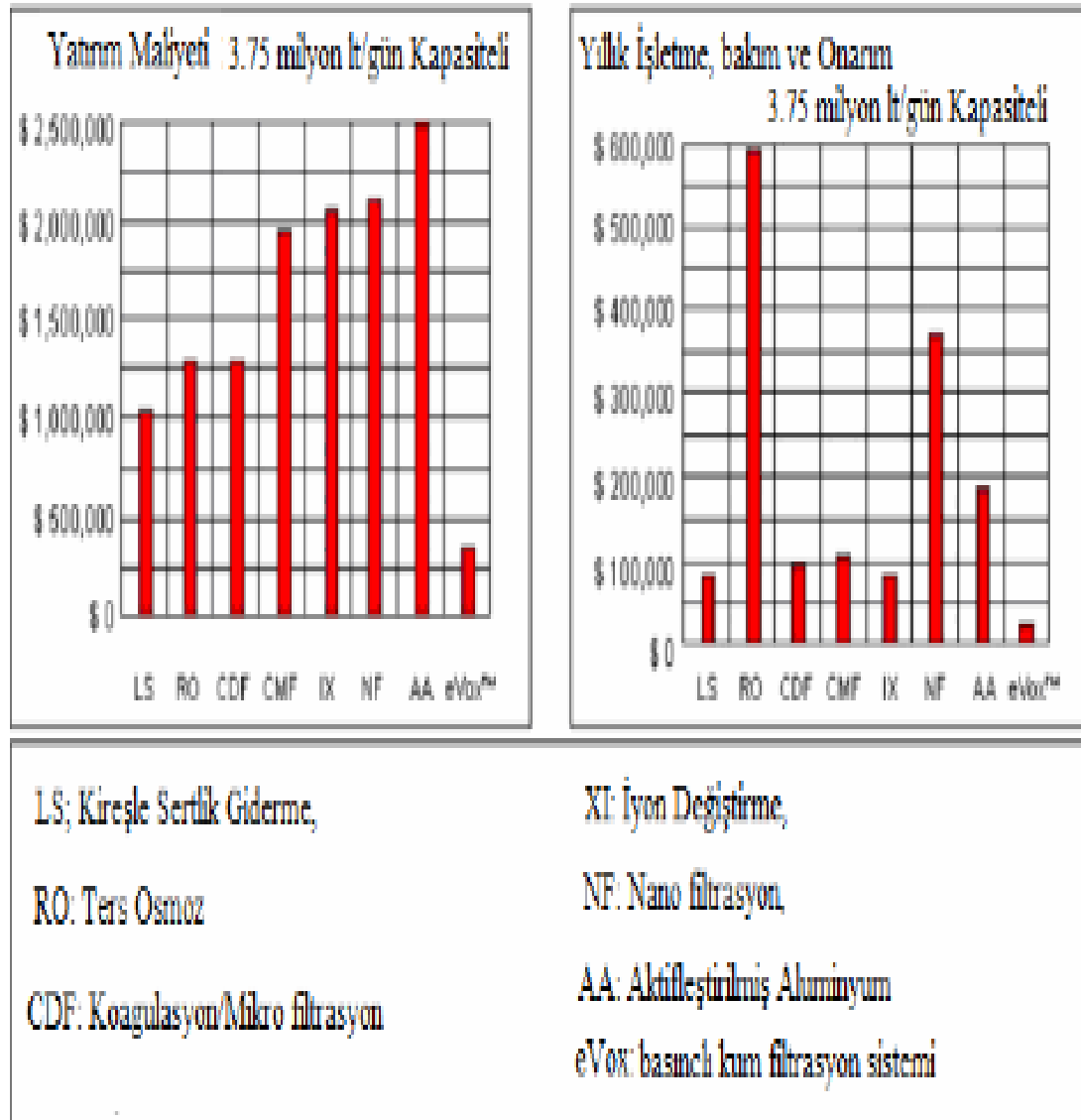
D- John T. O'Connor ve arkadaşlarının 2001 yılında suda bulunan arseniğin alüminyum ve demir dozajlama ile giderilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonuçları Şekil 2.15'te verilmiştir.

Şekil 2.15. Pıhtılaştırma ve Filtrasyonla Arsenik Giderimi



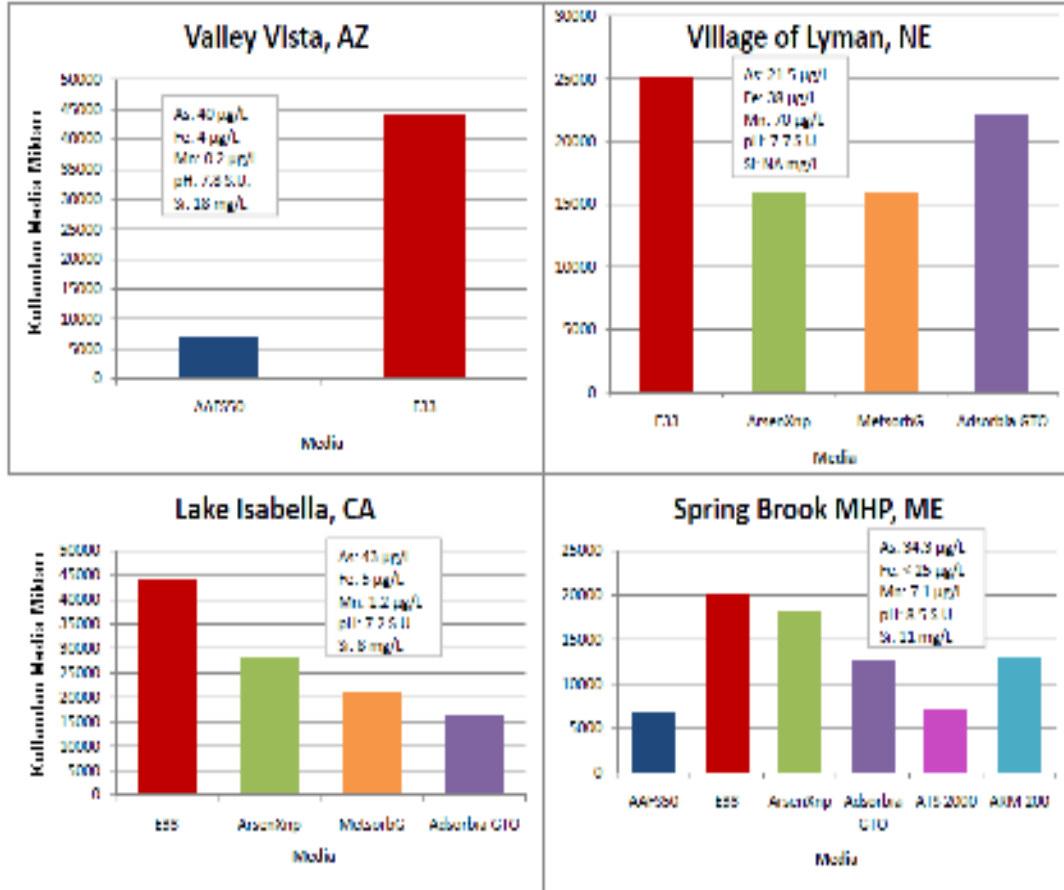
E- Dinesh Mohan ve arkadaşlarının 2007 yılında içme ve kullanma su kaynaklarında sınır değerlerin üzerinde arsenik kirliliğinin çeşitli metotlarla arıtılması ile ilgili gerekli yatırım ve yıllık işletme (bakım, onarım ve yenileme dahil) maliyetleri üzerine yapmış oldukları çalışmanın sonuçları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Çeşitli metotlarla arsenik giderme ve işletme maliyeti



F- EPA' nın 2008 yılında USA 'da bulunan farklı bölgeler için kullanılan adsorbentlerin arsenik giderimini sağlayabildikleri maksimum miktarlar bir grafik haline getirilmiştir. (Şekil 2.16.)

Şekil 2.16. Farklı bölgelerde farklı adsorbansiyon medyaları ile yapılan arsenik giderim çalışmalarının kıyaslanması. (EPA-2008)



G- Liangjie Dong ve arkadaşlarının Amerikada yaptığı çalışmada ICPG olarak adlandırılan sıfır değerlikli demirle kaplanmış, yüksek gözenekli çömlek zerreciklerinin birleşiminden elde edilmiş bir mineral kullanılarak arseniğin sulardan giderimindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı arsenik giriş miktarları için , farklı debilerde 1 hafta boyunca testler yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 2.5' da verilmiştir.

Yatak temas süresi = Yak hacmi (0.8 litre) / Debi

Tablo 2.5 Aynı hamsu için farklı debilerde yapılan arsenik test sonuçları

Debi (L/h)	1,80	2,10	3,10	3,50	3,80	4,10	6,10	8,00	10,00	12,00	14,50
Boş yatak temas süresi (dakika)	26,70	22,90	15,50	13,70	12,60	11,70	7,90	6,00	4,80	4,00	3,30
Aritilmiş sudaki As (ppb)	0,00	0,00	0,00	4,00	9,00	17,00	20,00	27,00	26,00	39,00	47,00
Arsenik giderim verimi (%)	100,00	100,00	100,00	98,70	97,00	94,30	93,30	91,00	91,30	87,00	84,30

H- Liu Ruiping ve arkadaşlarının Çinde yapmış olduğu bir çalışmada demir ve mangan oksitler kullanılarak hazırlanan bir adsorbent olan FMBO'nun arsenik giderim verimi tespit edilmeye çalışılmıştır.

FMBO:Demir ve mangan oksitlerinden elde edilen iki elementli çözelti.

HFO: Sulu demir oksit

HMO: Sulu mangan oksit

Yapılan çalışmada FMBO'nun HFO ve HMO' ya göre arsenik arıtımında daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Demir ve mangan oksitleri kullanılarak arsenik giderimi yapmak için bir düzenek hazırlanmıştır. FeSO_4 ve FeCl_3 ile pH 3,5'e ayarlanmıştır. Buradaki amaç, Fe (II)'nin oksidasyonunu ve Fe(III)'ünde hidrolizini engellemektir. Hazırlanan filtrasyon düzeneğinde 0,6-1 mm tane çapında mangan filizleri kullanılmıştır ve filtre yatak yüksekliği 800 mm'dir.

Sodyum nitrat (NaNO_3) ve sodyum bikarbonat (NaHCO_3) suda bulunan iyonları dengelemek için kullanılmıştır. FMBO , KMnO_4 ve FeSO_4 arasındaki reaksiyona dayanarak hazırlanır. Sulu mangan oksit (HMO), KMnO_4 ve MnSO_4 kullanılarak elde edilir. Sulu demir çözeltisi ise (HFO) FeCl_3 'ün hidrolizinden sonra oluşur.

Kapaklı bir cam şişe içersinde 125 r/dakika hızda, $20^\circ\text{C} \pm 1$ sıcaklıkta , 60 dakika boyunca çalkalanır ve sonrasında 0,2 μm boyutunda filtreden geçirilir.

Bu düzenekte kullanılan ekipmanlar ;

- 1.Hızlı Karıştırıcı
- 2.Ara su tankı
- 3.Kum filtre
- 4.Ultrafiltre
- 5.Temiz su tankı

Ayrıca sistemde manometre, debimetre ve elektromanyetik vanalar kullanılmıştır.

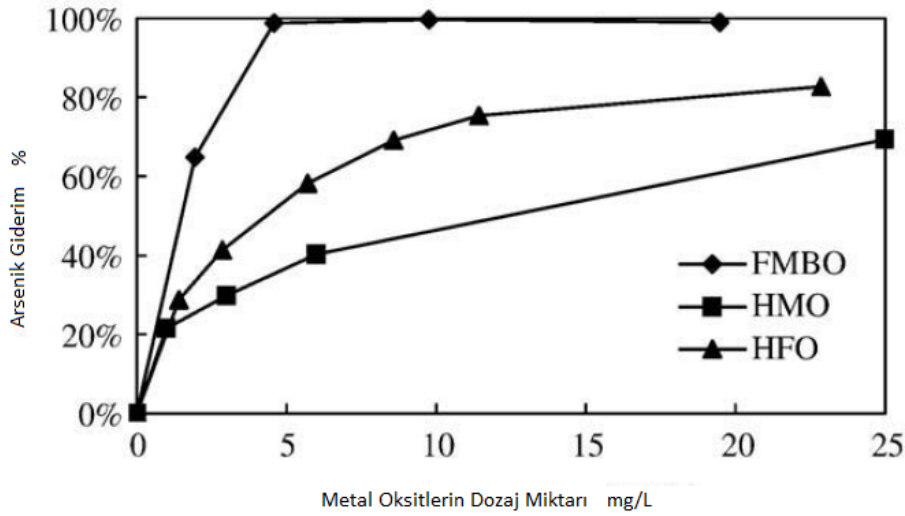
Hızlı karıştırıcı için, hidrolik tutulma zamanının ayarlanmasında farklı ağırlıktaki bölmeler kullanılmıştır. Filtre hızı 5 m/h 'tir. Filtre ters yıkamaları manuel olarak arıtma işleminden 10 dakika önce yapılır. Ultrafiltrasyonda ise su membran deliklerinin içinden dışına doğru geçer ve ters yıkamasını her 30 dakikada bir otomatik olarak, su membranın içinden dışına doğru geçecek şekilde 45 saniye boyunca yapar. Arıtmadan alınan su aktif karbon kolonu ile aktif klordan arındırılır.

NaAsO₂ (Sodyum arsenit) kullanılarak hazırlanan 1 mg/lt'lik arsenit suya dozlanır. Sonrasında FMBO'yu elde etmek için eşit miktarlarda KMnO₄ ve FeSO₄ dozajlanır. Gerektiğinde sodyum silikat(Na₂SiO₃) ve kalsiyum nitrat (CaNO₃) eklenmiştir.

Ön filtrasyon yapılmadan UF'den geçirilen suyun bulanıklık ve arsenik değerleri ölçülmüştür. Kum filtresinden geçirilen su , 0,45 µm tane boyutundaki membran filtreden geçirildikten sonra arsenik miktarı ölçülmüştür. Analizler için (HG-AFS) metodu kullanılarak bir atomik spektrofotometre ile yapılmıştır. Arsenik miktarı çıkışta 2 µg/l olarak ölçülmüştür.

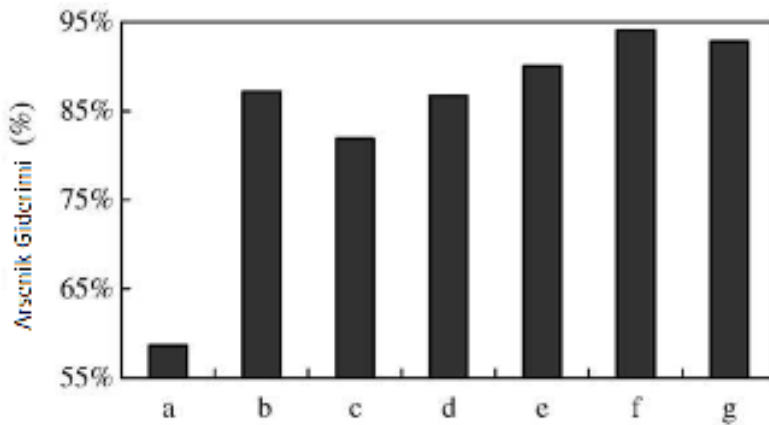
FMBO, HFO ve HMO'nun arsenik giderimindeki etkisinin karşılaştırılması Şekil-2.17'de verilmiştir. FMBO, 4,6 mg/l dozajlama miktarı için %98,8 arsenik giderim verimine sahiptir. HMO; 25 mg/l dozajlama miktarı için %69,3 arsenik giderim verimine sahipken, HFO; 11,5 mg/l dozajlama miktarı için %75,4 arsenik giderim verimine sahiptir. Buna göre üç adsorbent arasında en etkisiz olanının HMO olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 2.17. FMBO, HFO ve HMO 'nun arsenik giderim verimlerinin dozaj miktarına göre değişimleri [As(III): 2,88 mg/l, NaNO₃ :1 mM , pH:7.2]



Fe:Mn oranlarına göre arsenik giderimlerinin kıyaslanması Şekil 2.18 'de verilmiştir ve kıyaslamaların hangi koşullara göre yapıldığı Tablo 2.6'da açıklanmıştır. Buna göre, Fe:Mn oranı "0" iken, demir klorür adsorbent olarak kullanıldığı zaman , suda arseniğin As (III) formunda bulunması durumunda arsenik giderim verimi % 58,7 iken, bu oran sudaki arseniğin As(V) formunda olması durumunda %87,2'ye çıkmıştır. Demir klorür çözeltileri, Fe(III) çözeltilerine göre daha az giderme verimine sahiptirler, bunun sebebi; Fe (III) kaynağında aktif klor ile Fe(II)'den oksitlenmesi olarak açıklanabilir.

Şekil 2.18 Farklı koşullar için FMBO ile HFO'nun arsenik giderimi üzerine etkileri [As: 2,88 mg/l, Ca(NO₃)₂ :0,5 mM , NaHCO₃ :1 mM



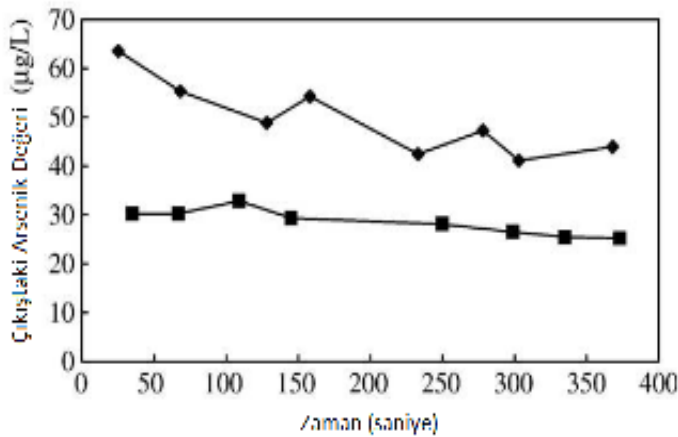
Tablo 2.6. Arsenik arıtım verimi karşılaştırmasında kullanılan HFO ve FMBO nun formülasyonu

Örnek kodu	Arsenik türü	Demir türü ve dozajı	Oksidant türü ve dozajı	$R_{Fe:Mn}$
a	As(III)	6 mg/L Fe (III)	oksidant kullanılmadı	0
b	As(V)	6 mg/L Fe (III)	oksidant kullanılmadı	0
c	As(III)	6 mg/L Fe (III)	NaClO, As(III) konsantrasyonu kadar dozajlanmıştır	0
d	As(III)	6 mg/L Fe (II)	NaClO, As(III) ve Fe (II) konsantrasyonunun toplamı kadar dozajlanmıştır	0
e	As(III)	5 mg/L Fe (III)	KMnO ₄ , As(III) konsantrasyonu kadar dozajlanmıştır	5,0 : 1
f	As(III)	4,5 mg/L Fe (II)	KMnO ₄ , Fe (II) konsantrasyonu kadar dozajlanmıştır	3,0 : 1
g	As(III)	3,73 mg/L Fe (III)	KMnO ₄ , As(III) ve Fe (II) konsantrasyonunun toplamı kadar dozajlanmıştır	1,67 : 1
[As: 2,88 mg/l, Ca(NO ₃) ₂ :0,5 mM, NaHCO ₃ :1 mM]				

FMBO’unda farklı şartlar altında, farklı arsenik giderim verimlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. (Şekil-2.18, Tablo-2.6). Buna göre KMnO₄ As(III)’ ü oksitlemek için yeterince dozajlandığında, Fe: Mn oranı arsenik giderim verimini ciddi bir şekilde etkilemektedir. Fe III çözeltileri ,mangan oksitlere göre arsenik arıtımında daha etkin olmalarına rağmen, yüksek Fe:Mn oranı arsenik giderim veriminde artışa sebep olmaktadır. Oransal olarak, Fe: Mn oranı 3,0 : 1’den 5,0 : 1’ e çıktığı zaman arsenik giderim verimi %94,1’den %90,1’ e düşmektedir. Fe:Mn oranı 1,67:1 olduğunda ise arsenik giderim verimi %92,8’e düşmektedir.

Şekil 2.19 Farklı konsantrasyonlardaki permanganat dozajlaması için kum filtersinden geçirilen suyun arsenik değerleri (Floklaştırma ünitesinde çözeltilinin tutulma süresi 45 saniye; [As(III)]: 0.634 mg/L, Fe(II)dozajı: 3mg/L)

◆—permanganat dozajı Fe(II) konsantrasyonuna eşit; ■— permanganat dozajı Fe(II) ve As(III) konsantrasyonunun toplamına eşit.

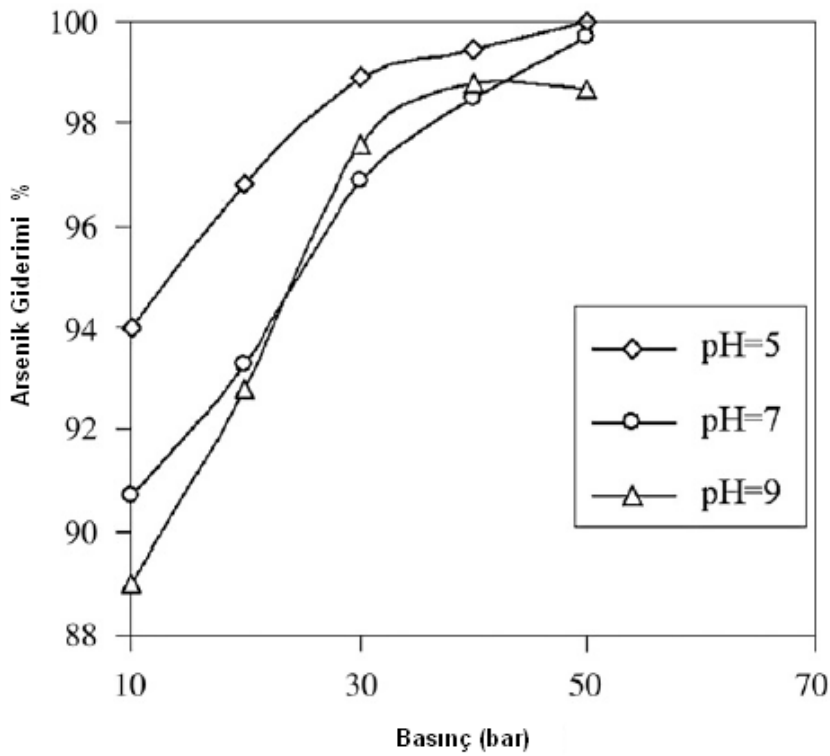


Şekil 2.19’da görüldüğü gibi KMnO₄ suya Fe(II) konsantrasyonu ile aynı

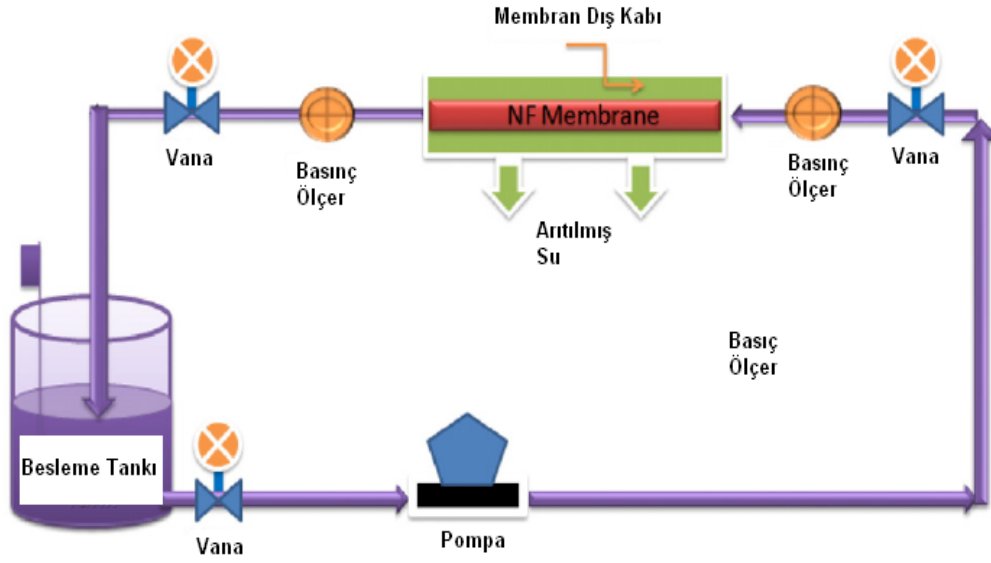
konsantrasyonda dozlanırsa, sudaki arsenik miktarı 49,6 $\mu\text{g/l}$ olarak ölçülürken, KMnO_4 'ün suya Fe(II) ve As(III) konsantrasyonunun toplam miktarı kadar dozajlanması durumunda sudaki arsenik miktarı 29,2 $\mu\text{g/l}$ olarak ölçülmüştür.

I- R.S. Harisha ve arkadaşlarının Hindistanda yapmış olduğu bir çalışmada Şekil 2.21 'de verilmiş olan düzenek hazırlanmıştır. Sistemde bulunan kontrol vanaları yardımıyla suyun debisi 10 litre /dakika 'ya ayarlanmıştır. İlk 15 dakikadan sonra her bir 5 bar basınç artışında sudan numuneler alınmıştır. Numunenin başlangıç konsantrasyonunun ve pH'ının arsenik giderimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 2.20, ve Şekil 2.22'de grafiklendirilmiştir.

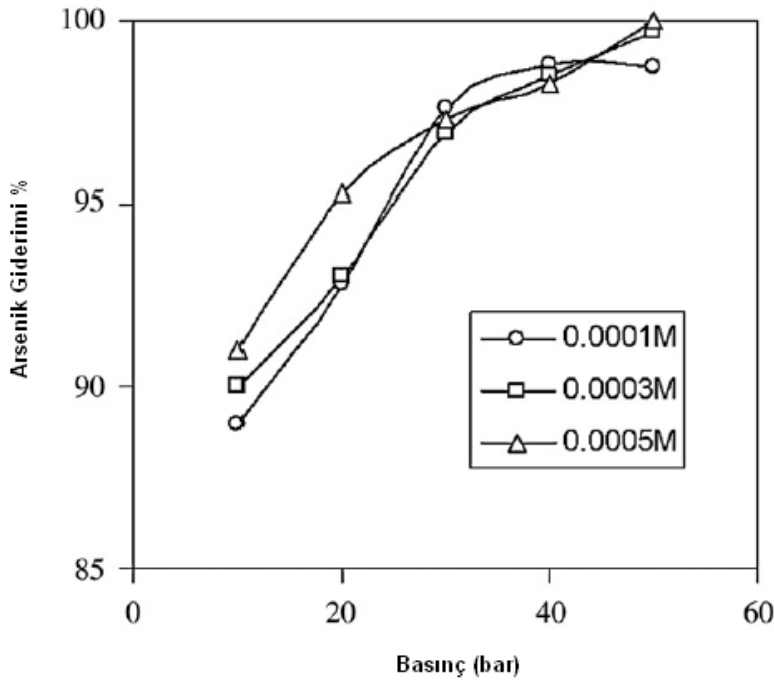
Şekil 2.20. Besleme karışım suyunun pH değerinin farklı basınçlar için arsenik giderim yüzdesine etkileri



Şekil 2.21. NF membran kullanılarak hazırlanan pilot nanofiltrasyon arıtma düzeneği

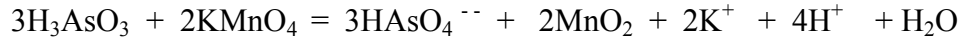
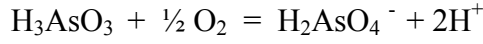


Şekil 2.22. Besleme karışımının farklı konsantrasyonlar için basınca bağlı olarak arsenik artırım yüzdesine etkileri.



K- Environmental Protection Agency (EPA)'nın 2002 yılında yayınladığı Arsenic Treatment Technologies for Soil, Waste and Water adlı kaynağa göre arsenik artırımında ön oksidasyon önemli bir rol oynamaktadır. Arsenik suda hem As (III) hem de As (V) bileşikleri olarak bulunmaktadır. Arsenat bileşiklerin uzaklaştırılmasında daha etkili olan arıtma teknolojileri, arsenit bileşiklerini sulardan kolaylıkla

uzaklaştıramazlar. Dolayısıyla daha başarılı bir arıtma için sudaki mevcut arsenit bileşiklerinin arsenata ön oksidasyonu gereklidir. Bu amaçla farklı oksidantlar kullanılmaktadır. Arsenitin arsenata dönüşüm denklemleri ;



Ön oksidasyon için kullanılan bazı oksidantların karşılaştırılması Tablo 2.7' de verilmiştir.

Tablo 2.7. Çöktürme-beraber çöktürme arıtma prosesi öncesinde arsenit'in arsenat'a oksidasyonunda kullanılan metotların karşılaştırması

Oksidasyon metodu	Avantajları	Dezavantajları
Oksijen (havadan)	Oksidasyon ajanı kolaylıkla bulunabilir ve tehlikeli değildir	Oksidasyon yavaştır. Oksidasyonu hızlandırmak için gerekli ek ekipmanlar, kapital ve çalışma maliyetlerini arttırır
Ozon	Kullanım noktasında ozon üretilir ve ozona maruz kalma azaltılır	Yüksek çalışma ve bakım maliyetleri, Sağlık riski
Hidrojen peroksit	Güvenli bir oksidasyon ajanı, manüel veya otomatik olarak ölçülebilir	Pratik kullanım için oksidasyon hızı çok yavaş ve oksidasyon çözümü etkisini yitirebilir
Likit klorin	Oksidasyon reaksiyonu çok hızlı ve potansiyel hastalık taşıyıcıları ayrıca uzaklaştırır	Depolanması ve güvenli taşınımı oldukça zor. Sistem parçaları korozyonla bozulaabilir
Hipoklorit	Oksidasyon reaksiyonu nispeten hızlı ve potansiyel hastalık taşıyıcıları ayrıca uzaklaştırır	Sistem parçaları korozyondan zarar görebilir ve oksidasyon çözümü zamanla etkisini yitirebilir
Permanganat	Güvenli bir oksidasyon ajanı, manüel veya otomatik olarak ölçülebilir	Oksidasyon reaksiyonu katı mangan bileşiklerinin çökelişi ile sonuçlanabilir. Sistemin çalışmasını etkileyebilir
Fe(III) ve Mn(IV) bileşikleri	Sistem tasarımı oksidasyon ve filtrasyon aşamalarının tek bir birimde birleştirilmesine izin verir	Fe(III) bileşiklerinin hidrolizi oksidasyon/filtrasyon yataklarının tıkanabilen jölemsi katı bileşiklerinin oluşmasına neden olabilir
Fenton ajanı	Oksidasyon oranı hidrojen peroksitten daha hızlıdır ve oksidasyon çözümü daha duraylıdır	Fe(II) bileşiğinin hidrojen peroksit ile karışımında uygulayıcı hatası sonuçları bozabilir.

L- Martin Jekel ve Wolfgang Driehaus yapmış oldukları araştırmada Almanya'da bir arıtım tesisinde, flokülasyon ve adsorpsiyon yönteminin performansını granül ferrik hidroksit kullanarak incelemişler ve diğer tam ölçekli arsenik giderimi proseslerinin performanslarının değerlendirmesini yapmışlardır. Flokülasyon prosesi, flokülantlar için bir dozaj cihazı ve onu takip eden iki geleneksel antrasit ve kum tabaka filtresi içermektedir. Ham sudaki çözünmüş arsenik filtre paketi tarafından tutulmakta, çöken demir hidroksit flokları tarafından adsorplanmaktadır. Flokülasyon ve adsorpsiyonun hepsi ham su borusu ve antrasit/kum filtre ortamında gerçekleşmektedir. İşlem süresince filtredeki basınç kaybı artmış ve sonunda demir ve arsenik salınıp işlenmiş suda saptanmaya başlamıştır. Bu noktadan önce filtre ortamının geri yıkama işlemine gereksinimi tespit edilmiştir.

Flokülasyon ve adsorpsiyon teknikleri Almanya'da arıtma tesisinde araştırılmıştır; ham suyun 7.9'luk az alkali pH'a, 20 µg/L arseniğe, orta değerde PO₄ ve silikaya sahip olduğu tespit edilmiştir. Akış hızı 110 m³/saat ve yıllık besleme 600,000 m³ olarak belirlenmiştir. Tesis, paralel çalışan ve böylece farklı arsenik giderim tekniklerinin yanyana testlerine olanak sağlayan 4 filtre teknesine sahiptir. Almanya'daki arıtma tesisinde flokülasyon ferrik klorür ve ferröz klorür çözeltileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki kimyasal karşılaştırıldığında, ferröz klorürün geri yıkamalar arasında daha uzun ömürlü ve daha düşük hacimde çamur oluşturduğu gözlenmiştir. Geri yıkama işlemlerine her 4-11 günde bir gereksinim olduğu belirlenmiştir.

Arıtma tesisinde 2 yıldan uzun bir sürede granül ferrik hidroksit (GEH®) kullanarak bir adsorpsiyon teknolojisi incelenmiş ve veriler takip eden 6 yıllık periyotta toplanmıştır. Bu tekniğin 100,000-110,000 yatak hacimlik spesifik bir üretim miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Flokülasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığında düşük sermaye gereksinimi ile daha kolay bakım tekniğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Granül ferrik hidroksit performansı ham su profiline dayandığı ve pH, fosfor derişimi ve silikadan etkilendiği belirlenmiştir. Granül ferrik hidroksit kullanarak arsenik gideriminin az bakım gereksinimi ile güvenli bir prosestir olduğu tespit edilmiştir.

Gereken sermaye ve bakım dahil bütün tekniklerin fiyat analizleri, granül ferrik hidroksit üzerine adsorpsiyonun en düşük toplam uygulama fiyatına sahip olduğunu göstermiştir. Diğer tesislerden gelen çalıştırma verileri, adsorpsiyon tekniğinin işlem fiyatlarının ham su profili ve diğer koşullara dayandığını göstermiştir. Flokülasyon ile karşılaştırıldığında bir adsorpsiyon metodu genelde düşük bakım fiyatlarına sahip ve aksaklıklara karşı güvenli bir proses olarak tespit edilmiştir. Böylece, direkt filtrasyon ile devam eden flokülasyon iyi eğitilmiş personele sahip çok büyük arıtım tesislerinde uygun iken, adsorpsiyon metodunun insansız tesisler için ideal olduğu anlaşılmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL METOD

3.1. Suda Bulunan Arsenik Değerinin Tespiti

Arsenik giderim yöntemlerinin uygulanmasına başlamadan önce, arsenikli olduğu analizlerle önceden tespit edilmiş olan su numunesi Kütahya ili Çitgöl Belediyesi'den istenmiştir. Su numunesinin öncelikle genel su analizi yapılmış ve tespit edilen değerler Tablo 3.1 'de verilmiştir. Su analizleri için kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır:

İletkenlik , TDS ve pH Ölçüm Metodu:

Digital iletkenlik, TDS ve pH ölçer ile ölçüm yapılmıştır.

Amonyum Ölçüm Metodu:

Analiz Metodu: Kolormetrik

5 ml su numunesine 2 damla NH10 solüsyonu, sonrasında 4 damla NH11 solüsyonu eklenerek , çalkalanır ve 5 dakika beklendikten sonra oluşan renk skalasından bakılarak , amonyum miktarı tespit edilir. Renk değişimi olmuyor ise, suda amonyum bulunmamaktadır.

Alkalinite Ölçüm Metodu:

Analiz Metodu: Titrimetrik

P alkalinite:

5 ml su numunesi içine 2 damla PA10 damlatılır renk mor olursa P alkalinite var demektir. Eğer renk değişimi olmazsa suda P alkalinite bulunmamaktadır. P alkalinitenin olması durumunda numunenin üzerine renksiz olana kadar PA11 solüsyonu damlatılır.

M alkalinite:

P alkalinite ölçüm işleminin devamında aynı numunenin üzerine Ma12 indikatöründen 3 damla damlatılır , suyun rengi açık turuncu olacaktır. Renk kırmızı turuncu oluncaya kadar PA11 solüsyonu damlatılır. Damla sayısına göre M Alkalinite değeri bulunur.

1 damla PA11: 50 ppm CaCO₃ P alkaliniteye eşittir.

1 damla PA11: 50 ppm CaCO₃ M alkaliniteye eşittir.

Nitrit Ölçüm Metodu:

Analiz Metodu:Kolometrik

5 ml su numunesine ½ ölçek NIT10 indikatörü konulur,2 dakika çalkalanır. Renk oluşumu renk skalasından kontrol edilerek nitrit değeri bulunur. Renk oluşumu olmazsa nitrit bulunmuyor demektir.

Toplam Sertlik Ölçüm Metodu:

Analiz Metodu:Titrimetrik

5 ml su numunesine indikatör buffer solüsyonundan 3 damla damlatılır ve çalkalanır. Sert su kırmızı renk alır. Titrasyon solüsyonu damla damla ilave edilir, her damladan sonra çalkalanır. Kırmızı renk yeşile döndüğü anda titrasyon tamamlanır. Her bir damla titrasyon solüsyonu 1,78 °Fr sertlik değerine eşittir.

Klorür Ölçüm Metodu:

Analiz Metodu:Titrimetrik

5 ml su numunesi üzerine CLU10 indikatörü 3 damla damlatılır , renk sarıdan kalıcı kiremit kırmızısına dönüşene kadar CLU11 solüsyonu damlatılır.

1 damla CLU11 Solüsyonu:30 ppm Cl₂ değerine eşittir.

Demir Ölçüm Metodu:

Analiz Metodu:Kolormetrik

5 ml su numunesine 5 damla Fe10 solüsyonu damlatılarak, 3 dakika bekletilir. Oluşan renk renk skalası ile karşılaştırılarak, demir değeri tespit edilir. Eğer renk değişimi olmuyorsa suda demir yoktur.

Serbest Klor Ölçüm Metodu:

Analiz Metodu:Kolormetrik

5 ml su numunesine 3 damla O.Tolidin damlatılır ve çalkalanır. 5 dakika bekletilir. Oluşan renk renk skalası ile karşılaştırılarak, serbest klor değeri tespit edilir. Eğer renk değişimi olmuyorsa suda serbest klor yoktur.

Yukarıda ölçüm Metodları verilmiş olan parametreler için yapılan su analizleri iki, üç defa tekrarlanmıştır.

Hamsuyun Arsenik Değerinin Ölçümü:

Hamsuyun arsenik analizleri İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü'nde ICP-OES metodu kullanılarak yapılmıştır.

Çalışılan Cihaz:AAS800

Matrix Modifier:5 mg Pd + 3 mg Mg(NO₃)₂ ; 10 mg /lt Pd çözeltisinden 5 ml, 0,03 gr Mg(NO₃)₂ , 50 ml'ye tamamlanır.

Lamba Dalga Boyu:193,7

Yarı Genişliği:0,7 L

Ölçüm: Zayıf Bölge

Denklem:Sıfıra doğru çizgisel

Önerilen Şartlar:50 ppb 0,11 Abs

Standartlar:25 ppb As standardı

50 ppb As standardı

Sularda arsenik ölçümü "ICP-MS" cihazı ile ve EPA 200.8 metoduna göre yapılmıştır. Numuneler, polipropilen tüplere alınarak, %1 HNO₃ ve %0,5 HCl (Ultrapur Asitlerle) olacak şekilde asitlendirilir.

Sertifikalı arsenik stok standardından değişik konsantrasyonlarda %1 HNO₃ ve % 0,5 HCl olacak şekilde hazırlanan standart çözeltiler ile "ICP-MS" cihazına kalibrasyon eğrisi çizdirilir ve ön işleme yapılan numuneler direkt "ICP-MS" cihazına verilerek arsenik miktarı bulunur.

"ICP-MS" cihazı ile analiz , elektromanyetik indüksiyonla 10,000 K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi , iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişiklerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Hamsuyun arsenik analiz sonuçları, Ek-A 'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Arsenikli su analiz değerleri

PARAMETRE	BİRİM	HAMSU ANALİZ DEĞERLERİ		
		1. değer	2. değer	3. değer
Ph	-	8,17	8,23	8,23
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	500	505	505
TDS	ppm	250	252	252
Toplam Sertlik	$^{\circ}\text{Fr}$	28	32	28
Klorür (Cl)	mg/l	<30	<30	<30
P.Alkalinite	mg/l	0	0	0
M.Alkalinite	mg/l	<350	<350	<350
Nitrit	mg/l	0,015	0,02	0,02
Demir	mg/l	0	0	0
S.Klor	mg/l	0	0	0
Amonyum	mg/l	0	0	0
Arsenik	$\mu\text{g/l}$	26,2	-	-

3.2. İçme Suyundan Arsenik Giderim Metodlarının Uygulamaları

İçme suyundan arsenik giderim metodlarından 4 tanesi olan Demir III klorür ile çöktürme, membran kullanılarak ters osmos işlemi , Purolite arsenik giderim reçinesi ve Bayoxide® E33 arsenik giderim medyası kullanılarak arsenik giderme metodları uygulanmıştır.Bu yöntemler aşağıda ayrıntı olarak açıklanmıştır.

3.2.1. Demir III kullanarak sudan arsenik giderimi

Arsenik içeren suda demir III klorür yardımıyla arseniği flokleştirerek, sonrasında filtreleme ile arseniğin sudan uzaklaştırılması işlemidir.Demir III klorür ile flokleştirme işlemi iki şekilde yapılmıştır.

- 1- Ön oksidasyon işlemi yapıldan çöktürme.
- 2- Ön oksidasyon işlemi yapıldıktan sonra çöktürme.

3.2.1.1. Ön oksidasyon yapılmadan demir III klorür ile çöktürme:

Deneyin Yapılışı:

Arsenikli suya kostik eklenerek suyun pH' ı 10.5'in üzerine getirilmiştir. Sonrasında suya çökme işlemi gerçekleşene kadar sulandırılmış, %10'luk demir III klorür eklenmiş ve çökme işleminin gözlenmeye başlanması ile suya polielektrolit eklenerek çökme işlemine destek verilmiştir. Bu deneyde 1 litre arsenikli su için yaklaşık 10 ml %10'luk demir III Klorür , 2-3 tutam polielektrolit kullanılmıştır. Çökme işleminin tamamlanmasından sonra filtre kağıdından geçirilerek, işlem tamamlanmıştır. Çökme işlemi Şekil 3.1 ' de gösterilmiştir.

3.2.1.2. Ön oksidasyon yapıldıktan sonra demir III klorür ile çöktürme:

Deneyin Yapılışı:

Arsenikli suya öncelikle klor eklenerek ön oksidasyon yapılmıştır. Bunun için 5 ml klor kullanılmıştır. Klor ile okside edilmiş suya kostik eklenerek suyun pH' ı 10.5'in üzerine getirilmiştir. Sonrasında suya çökme işlemi gerçekleşene kadar sulandırılmış, %10'luk demir III klorür eklenmiş ve çökme işleminin gözlenmeye başlanması ile suya polielektrolit eklenerek çökme işlemine destek verilmiştir. Bu deneyde 1 litre arsenikli su için yaklaşık 10 ml %10'luk demir III Klorür , 2-3 tutam polielektrolit kullanılmıştır. Çökme işleminin tamamlanmasından sonra filtre kağıdından geçirilerek, işlem tamamlanmıştır.



Şekil 3.1. Demir III klorür ile çöktürme

3.2.2. Membran yardımıyla sudan arsenik giderimi

Membran arsenik gideriminde kullanılan bir yöntem olduğu gibi ayrıca suda bulunan sertlik, tortu, bikarbonat , klorür gibi parametrelerinde gideriminde de kullanıldığı için, sudaki TDS değerini de düşürmektedir.

Deneyin Yapılışı:

Membran, membran dış kabı, suyun membrana iletimini sağlayan pompa ve su kaplarından oluşan bir düzenek kurulmuştur. Arsenikli su pompa yardımıyla membrana iletilmiş ve sonrasında membrandan çıkan su ayrı bir kaptan toplanmış ve işlem tamamlanmıştır. Membranlı düzenek Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. a) Membranlı düzeneğin resmi b) Membran ve membran dış kabının resmi

3.2.3. Arsenik giderim reçinesi ile sudan arsenik giderimi

Arsenik gideriminde kullanılan demir içerikli bir çok reçine yaygın olarak arsenik artırımında kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi Purolite Ferrix A33E marka reçinedir.

Deneyin Yapılışı:

Purolite Ferrix A33E arsenik giderim reçinesinin bir kap içerisinde arsenikli su ile teması sağlanmıştır. Bu deneyde 1 litre arsenikli su için yaklaşık 30 gram Purolite Ferrix A33E arsenik giderim reçinesi kullanılmıştır. Sonrasında su filtre kağıdı yardımıyla süzölmüş ve işlem tamamlanmıştır. Purolite Ferrix A33E arsenik giderim reçinesinin resmi Şekil 3.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Purolite Ferrix A33E arsenik giderim reçinesi

3.2.4. Arsenik giderim medyası ile sudan arsenik giderimi

Arsenik gideriminde kullanılan Bayoxide® E33 ferrik oksit absorptif medyası yardımıyla arsenik giderim yöntemidir.

Deneyin Yapılışı:

Bayoxide® E33 medyasının bir kap içerisinde arsenikli su ile teması sağlanmıştır. Bu

deneyde 1 litre arsenikli su için 20 gram Bayoxide® E33 medyası kullanılmıştır. Sonrasında su filtre kağıdı yardımıyla süzülerek işlem tamamlanmıştır. Bayoxide® E33 medyasının resmi Şekil 3.4 'te gösterilmiştir.

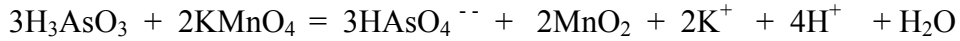
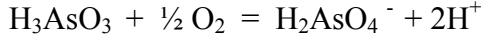


Şekil 3.4. Bayoxide® E33 ferrik oksit medyası

BÖLÜM 4. BULGULAR

4.1. Demir III Klorür ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları

Arseniğin sulardan uzaklaştırılmasında karşılaşılan önemli bir sorun arseniğin hem As(III) hem de As(V) bileşikleri olarak sularda bulunmasıdır. Normal içme suyu pH değerlerinde arsenit bileşikleri yüksüz iken arsenat bileşikleri ise negatif yüklüdür. Arsenat bileşiklerin uzaklaştırılmasında daha etkili olan arıtma teknolojileri, arsenit bileşiklerini sulardan kolaylıkla uzaklaştırılamazlar. Dolayısıyla bazen daha başarılı bir arıtma için sudaki mevcut arsenit bileşiklerinin arsenat'a ön oksidasyonu gereklidir. Bu amaçla farklı oksidantlar kullanılmaktadır. Arsenitin arsenata dönüşüm denklemleri ;



Arsenikli suyun demir III klorür ile çöktürülmesi işlemi , ön oksidasyon yapılmadan ve klor ile ön oksidasyon yapılarak, iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ön oksidasyon için hipoklorit kullanılmıştır.

4.1.1. Ön oksidasyon yapılmadan demir III klorür ile çökeltile suyun analiz sonuçları

Digital cihazlar ile suyun iletkenlik ve TDS değerlerine bakılmış, ancak digital cihazların iletkenlik için maximum okuma değeri olan 3999 µS/cm den, TDS için 2000 ppm olan maximum okuma değerinden yüksek çıkmıştır. Demir III klorür ile çöktürülen suyun arsenik analizi İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü'nde yapılmıştır. Sonuçların gösterilmiş olduğu belge Ek-B de verilmiştir. Buna göre ön oksidasyon işlemi yapılmadan demir III klorür ile çöktürme işlemi sonrası analiz

değeri 22,7 µg/l 'dir.

4.1.2. Ön oksidasyon yapıldıktan sonra demir III klorür ile çöktürülen suyun analiz sonuçları

Digital cihazlar ile suyun iletkenlik ve TDS değerlerine bakılmış, ancak digital cihazların iletkenlik için maximum okuma değeri olan 3999 µS/cm den, TDS için 2000 ppm olan maximum okuma değerinden yüksek çıkmıştır. Klor ile ön oksidasyon yapıldıktan sonra demir III klorür ile çöktürülen suyun arsenik analizi İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğün'de yapılmıştır. Sonuçların gösterilmiş olduğu belge Ek-C de verilmiştir. Buna göre ön oksidasyon işlemi yapılmadan demir III klorür ile çöktürme işlemi sonrası analiz değeri 14,8 µg/l 'dir.

4.2. Membran ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları

Membranlı düzenekten geçirilerek arıtılan arsenikli suyun analizleri kolometrik ve titrimetrik metodlar, arsenik ölçümü için ICP-OES metodu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan su analiz sonuçları Tablo 4.1 'de verilmiştir. Arsenik analizi İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü'nde yapılmıştır. Membranlı düzenekten geçirilen arsenikli suyun analiz sonuçlarının gösterildiği belge Ek-D ' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Membranlı düzenekten geçirilen suyun ve hamsuyun analiz sonuçları.

PARAMETRE	BİRİM	HAMSU ANALİZ DEĞERLERİ			MEMBRANDAN GEÇİRİLEN SUYUN ANALİZ DEĞERLERİ		
		1. değer	2. değer	3. değer	1. değer	2. değer	3. değer
Ph		8,17	8,23	8,23	8,05	8,01	8,01
İletkenlik	µS/cm	500	505	505	16	18	18
TDS	ppm	250	252	252	7	8	8
Toplam Sertlik	⁰ Fr	28	32	28	1	1	1
Klorür (Cl)	mg/l	<30	<30	<30	<30	<30	<30
P.Alkalinite	mg/l	0	0	0	0	0	0
M.Alkalinite	mg/l	<350	<350	<350	<30	<30	<30
Nitrit	mg/l	0,015	0,02	0,02	0	0	0
Demir	mg/l	0	0	0	0	0	0
S.Klor	mg/l	0	0	0	0	0	0
Amonyum	mg/l	0	0	0	0	0	0
Arsenik	µg/l	26,2	-	-	0,2	--	

4.3. Arsenik Giderim Reçinesi ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları

Arsenik giderim reçinesi Purolite Ferrix A33E ile teması sağlanan arsenikli suyun analizleri kolormetrik ve titrimetrik metodlar, arsenik ölçümü için ICP-OES metodu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan su analiz sonuçları Tablo 4.2 'de verilmiştir. Arsenik analizi İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü'nde yapılmıştır. Purolite Ferrix A33E ile teması sağlanan arsenikli suyun analiz sonuçlarının gösterildiği belge Ek-E 'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Purolite Ferrix A33E ile teması sağlanan arsenikli suyun analiz sonuçları

PARAMETRE	BİRİM	HAMSU ANALİZ DEĞERLERİ			REÇİNEDEDEN GEÇİRİLEN SUYUN ANALİZ DEĞERLERİ		
		1. değer	2. değer	3. değer	1. değer	2. değer	3. değer
Ph		8,17	8,23	8,23	8,23	8,22	8,22
İletkenlik	µS/cm	500	505	505	557	556	566
TDS	ppm	250	252	252	278	278	278
Toplam Sertlik	⁰ Fr	28	32	28	32	28	28
Klorür (Cl)	mg/l	<30	<30	<30	<30	<30	<30
P.Alkalinite	mg/l	0	0	0	0	0	0
M.Alkalinite	mg/l	<350	<350	<350	<350	<350	<350
Nitrit	mg/l	0,015	0,02	0,02	0,015	0,02	0,02
Demir	mg/l	0	0	0	0	0	0
S.Klor	mg/l	0	0	0	0	0	0
Amonyum	mg/l	0	0	0	0	0	0
Arsenik	µg/l	26,2	-	-	11,9	-	-

4.4. Bayoxide® E33 Ferrik Oksit Absorptif Medyası ile Arıtılan Suyun Analiz Sonuçları

Arsenik giderim medyası Bayoxide® E33 ile teması sağlanan arsenikli suyun analizleri kolormetrik ve titrimetrik metodlar, arsenik ölçümü için ICP-OES metodu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan su analiz sonuçları Tablo 4.3 'te verilmiştir. Arsenik analizi İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü'nde yapılmıştır. Bayoxide® E33 ile teması sağlanan arsenikli suyun analiz sonuçlarının gösterildiği belge Ek-F ' de verilmiştir.

Tablo 4.3. Bayoxide® E33 ile teması sağlanan arsenikli suyun analiz sonuçları

PARAMETRE	BİRİM	HAMSU ANALİZ DEĞERLERİ			MİNERALDEN GEÇİRİLEN SUYUN ANALİZ DEĞERLERİ		
		1. değer	2. değer	3. değer	1. değer	2. değer	3. değer
Ph		8,17	8,23	8,23	8,22	8,23	8,23
İletkenlik	µS/cm	500	505	505	473	473	473
TDS	ppm	250	252	252	237	237	237
Toplam Sertlik	⁰ Fr	28	32	28	32	32	32
Klorür (Cl)	mg/l	<30	<30	<30	<30	<30	<30
P.Alkalinite	mg/l	0	0	0	0	0	0
M.Alkalinite	mg/l	<350	<350	<350	<350	<350	<350
Nitrit	mg/l	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Demir	mg/l	0	0	0	0	0	0
S.Klor	mg/l	0	0	0	0	0	0
Amonyum	mg/l	0	0	0	0	0	0
Arsenik	µg/l	26,2	-	-	10,24	-	-

BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Yapılan Analiz Sonuçları

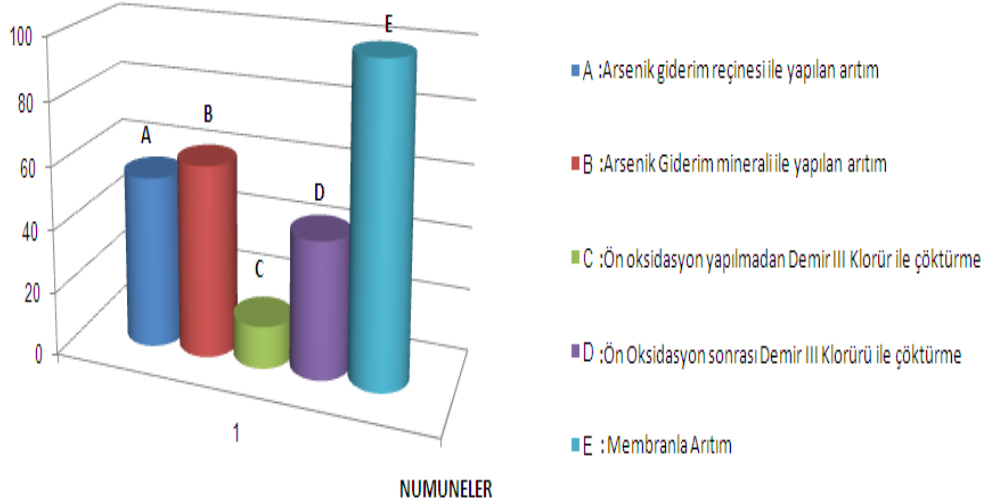
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.1 'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Yapılan deneyler sonucunda elde edilen su analiz değerleri

PARAMETRE	BİRİM	HAMSU ANALİZ DEĞERLERİ	REÇİNE DEN GEÇİRİLEN SUYUN ANALİZ SONUCU	MINERALDEN GEÇİRİLEN SUYUN ANALİZ SONUCU	ÖN OKSİDASYON YAPILMADAN DEMİR İİİ KLORÜR İLE ÇÖKTÜRÜLEN SUYUN ANALİZ SONUCU	ÖN OKSİDASYON SONRASI DEMİR İİİ KLORÜR İLE ÇÖKTÜRÜLEN SUYUN ANALİZ SONUCU	MEMBRANDAN GEÇİRİLEN SUYUN ANALİZ SONUCU
Ph		8,23	8,22	8,23	>11	>11	8,01
İletkenlik	µS/cm	505	566	473	3999	>3999	18
TDS	ppm	252	278	237	>2000	>2000	8
Toplam Sertlik	⁰ Fr	28	28	32	-	-	1
Klorür (Cl)	mg/l	<30	<30	<30	-	-	<30
P.Alkalinite	mg/l	0	0	0	-	-	0
M.Alkalinite	mg/l	<350	<350	<350	-	-	<30
Nitrit	mg/l	0,02	0,02	0,02	-	-	0
Demir	mg/l	0	0	0	-	-	0
S.Klor	mg/l	0	0	0	-	-	0
Amonyum	mg/l	0	0	0	-	-	0
Arsenik	µg/l	26,2	11,9	10,24	22,7	14,8	0,2

Şekil 5.1. Yapılan arsenik giderim çalışmalarının arsenik giderim yüzdelерinin karşılaştırılması.

Arsenik Giderim Verimi (%)



Arsenik giderim reçinesinden geçirilen suyun arsenik değeri 26,2 $\mu\text{g/l}$ 'den 11,9 $\mu\text{g/l}$ 'ye düşmüştür. İletkenlik değerin ise 505 $\mu\text{S/cm}$ 'den 566 $\mu\text{S/cm}$ 'e, TDS değerin de 252 ppm 'den 278 ppm'e yükseldiği tespit edilmiştir. Diğer değerlerde bir değişiklik olmamıştır. Buradanda anlaşılacağı gibi arsenik arıtımında arsenik giderim reçinesi kullanılabilir ancak hangi arsenik değerleri için ne kadar arsenik giderim reçinesinin kullanılması gerektiğinin tespit edilip, o miktarda arsenik arıtım reçinesi kullanılması gerekmektedir.

Arsenik giderim mineralinden geçirilen suyun arsenik değeri 26,2 $\mu\text{g/l}$ 'den 10,24 $\mu\text{g/l}$ 'ye düşmüştür. İletkenlik değerin ise 505 $\mu\text{S/cm}$ 'den 473 $\mu\text{S/cm}$ 'e, TDS değerin de 252 ppm 'den 237 ppm'e düştüğü tespit edilmiştir. Diğer değerlerde bir değişiklik olmamıştır. Buradanda anlaşılacağı gibi arsenik arıtımında arsenik giderim minerali kullanılabilir ancak hangi arsenik değerleri için ne kadar arsenik giderim mineralinin kullanılması gerektiğinin tespit edilip, o miktarda arsenik arıtım minerali kullanılması gerekmektedir.

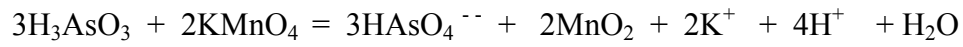
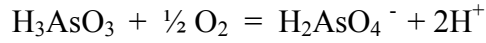
Almanya'da Martin Jekel ve Wolfgang Driehaus yapmış olduğu çalışmada bir arıtma tesisinde 2 yıldan uzun bir sürede granül ferrik hidroksit (GEH®) kullanarak bir adsorpsiyon teknolojisi incelenmiş ve flokülasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığında

düşük sermaye gereksinimi ile daha kolay bakım tekniğine sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Granül ferrik hidroksit kullanarak arsenik gideriminin az bakım gereksinimi ile güvenli bir prosestir olduğu tespit edilmiştir. Flokülasyon ile karşılaştırıldığında bir adsorpsiyon metodu genelde düşük bakım fiyatlarına sahip ve aksaklıklara karşı güvenli bir proses olarak tespit edilmiştir. Böylece, direkt filtrasyon ile devam eden flokülasyon iyi eğitilmiş personele sahip çok büyük arıtım tesislerinde uygun iken, adsorpsiyon metodunun insansız tesisler için ideal olduğu anlaşılmıştır. Yapılan deney sonuçlarında incelendiğinde adsorbentlerin koagülasyon yöntemine göre daha avantajlı ve başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

Membranlı düzenekten geçirilen suyun arsenik değeri 26,2 µg/l 'den 0,2 µg/l 'ye düşmüştür. İletkenlik değerinin ise 505 µS/cm 'den 18 µS/cm 'e, TDS değerinin de 252 ppm 'den 8 ppm'e düştüğü tespit edilmiştir. Membranla arıtılmış olan sudan arsenik gideriminin sağlandığı gibi, suda kirletici unsurlar taşıyan diğer değerlerdede ciddi oranda düşmeler tespit edilmiştir. Bu da bize membranların su arıtımında ne kadar önemli bir yer aldığını göstermektedir. Membran arseniği gidermekle kalmamış sertlik, iletkenlik, bikarbonat, demir gibi içme suyunda olması istenmeyen veya belli değer aralıklarında olması gereken parametrelerin membranlı sistemler kullanılarak değerlerinin düşürülebileceğini veya tamamen giderilebileceğini göstermiştir. Yapılan arsenik giderim çalışmalarında en yüksek verim membran ile arıtma ile elde edilmiştir. (Şekil 5.1.)

EPA'nın 2000 yılında yapmış olduğu ve Tablo 2.3'te verilmiş olan araştırma sonuçlarına da bakıldığı zaman görülebileceği gibi membran prosesler ile arsenik giderimi % 95 verimin üzerinde olarak tespit edilmiştir.



Klor ile ön oksidasyon yapılmadan demir III klorür ile çökeltilen suyun arsenik değeri 26,2 µg/l 'den 22,7µg/l 'ye düşmüştür. Klor ile ön oksidasyon yapıldıktan sonra demir III klorür ile çökeltilen suyun arsenik değeri 26,2 µg/l 'den 14,8 µg/l 'ye düşmüştür. Buradan EPA 'nın 2002 yılında yayınladığı makale çalışmasında incelendiği üzere arsenitin arsenata ön oksidasyonu ile sulardan arsenik giderimi daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.




Arsenik arıtımında demir III klorür kullanılabilir, ancak çöktürmeyi etkileyen pH değerinin, kullanılması gerekli olan demir III klorür miktarının, demir III klorür ile etki zamanının belli hassasiyetlerde sağlanması gerekmektedir. Ayrıca demir III klorür ile arsenik gideriminde önemli bir unsur olan ön oksidasyon işleminin, özellikle yüksek arsenik değerleri içeren sularda uygulanması gerektiği tespit edilmiştir. (EPA,2002)

EKLER




Ek-B

	REFİK SAYDAM HIFZISSIHHA MERKEZİ BAŞKANLIĞI İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü		Sayfa No: 1/1																		
	İÇME KULLANMA SUYU ANALİZ RAPORU																				
Rapor Tarihi : 08.04.2010 Protokol No : 2464 Revizyon No: 0 0																					
Gelen Yazının Tarih ve Sayısı:		30.03.2010 bila sayı																			
Numuneyi Gönderen Kişi/Firma/Kurum		FATMA ÖZDEMİR BEYOĞLU İSTANBUL																			
Numunenin																					
Sahibi ve Adresi		FATMA ÖZDEMİR NECATİBEY CAD. KÖLEMEN SOKAK NO:5/B GÜNDÜZHAN 4. KAT KARAKAÖY BEYOĞLU/İSTANBUL																			
Alındığı Yer-Tarih ve Saati		KLORÜR İLE OKSİDE EDİLEN VE SONRASINDA Fe III KLORÜR TUZU İLE ÇÖKTÜRÜLEN SU NUMUNESİ																			
Cinsi-Üretici Firma Adı/Markası		İÇME KULLANMA SUYU																			
Ambalaj Şekli - Miktarı		500 CC PET ŞİŞEDE (ODA SICAKLIĞINDA)																			
Geliş Sebebi		Özel Analiz İsteği																			
Laboratuvara Kabul Tarih ve Saati		30.03.2010 10:10																			
Evrak Giriş Nosu		1309																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>İNCELENEN PARAMETRELER</th> <th>BİRİM</th> <th>ANALİZ SONUÇLARI</th> <th>MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ</th> <th>METOT</th> <th>REFERANS</th> <th>ÖLÇÜM LİMİTİ</th> <th>AN. BAŞ. TAR.</th> <th>AN. BIT. TAR.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>☛ Arsenik (As)</td> <td>µg/L</td> <td>14,8</td> <td>---</td> <td>ICP-OES</td> <td>SM 3114-C</td> <td>1</td> <td>30.03.10 12:26</td> <td>07.04.10 11:19</td> </tr> </tbody> </table>				İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BIT. TAR.	☛ Arsenik (As)	µg/L	14,8	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12:26	07.04.10 11:19
İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BIT. TAR.													
☛ Arsenik (As)	µg/L	14,8	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12:26	07.04.10 11:19													
(*) : İlgili Mevzuat Belirtilmemiştir.																					
SONUÇ: Deneyi yapılan numunenin analiz sonuçlarından ilgili mevzuata uygun olmayan parametreler (☛) işareti ile gösterilmiştir.																					
Kim.Müh. Nuran BAŞARAN Kimya Bölüm Şefi		Tanju YAPICI Kimya Mühendisi Num.Kab. ve Rap. Düzenleme Şefi																			
ONAY 08.04.2010 İkram CENGİZ Müdür Müdür Yardımcısı																					
Açıklama: Bu analiz sonuçları yalnızca test edilen numune için geçerlidir. Bu rapor İSHEM'in yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir. Numuneler tarafımızca alınmamış olup İSHEM Numune Kabul Kriterleri Talimatı'na uygun olarak kabul edilmiştir.																					
		Adres: 10.Yıl Cad. Cinoğlu Çıkmaızı No:10 34020 Zeytinburnu / İSTANBUL Tel:0212 679 93 13 (4Hat) Fax:0212 679 93 20 - 21 Elektronik Ağ: www.istanbul.rshm.gov.tr Elektronik Posta: istanbulbhe@saglik.gov.tr - istanbul@rshm.gov.tr																			
Form No:F45/İSHEM/00																					




Ek-C

 RSHMB	REFİK SAYDAM HIFZISSIHA MERKEZİ BAŞKANLIĞI İstanbul Hıfzıssihha Enstitüsü Müdürlüğü		Sayfa No: 1/1																		
	İÇME KULLANMA SUYU ANALİZ RAPORU																				
Rapor Tarihi : 08.04.2010		Revizyon No: 0 0																			
Protokol No : 2463																					
Gelen Yazının Tarih ve Sayısı:	30.03.2010	bila sayı																			
Numuneyi Gönderen Kişi/Firma/Kurum	FATMA ÖZDEMİR BEYOĞLU İSTANBUL																				
Numunenin																					
Sahibi ve Adresi	FATMA ÖZDEMİR NECATİBEY CAD. KÖLEMEN SOKAK NO:5/B GÜNDÜZHAN 4. KAT KARAKAÖY BEYOĞLU/İSTANBUL																				
Alındığı Yer-Tarih ve Saati	Fe III KLORÜR TUZU İLE ÇÖKTÜREN SU																				
Cinsi-Üretici Firma Adı/Markası	İÇME KULLANMA SUYU																				
Ambalaj Şekli - Miktarı	500 CC PET ŞİŞEDE (ODA SICAKLIĞINDA)																				
Geliş Sebebi	Özel Analiz İsteği																				
Laboratuvara Kabul Tarih ve Saati	30.03.2010	10:10																			
Evrak Giriş Nosu	1309																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>İNCELENEN PARAMETRELER</th> <th>BİRİM</th> <th>ANALİZ SONUÇLARI</th> <th>MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ</th> <th>METOT</th> <th>REFERANS</th> <th>ÖLÇÜM LİMİTİ</th> <th>AN. BAŞ. TAR.</th> <th>AN. BİT. TAR.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• Arsenik (As)</td> <td>µg/L</td> <td>22,7</td> <td>---</td> <td>ICP-OES</td> <td>SM 3114-C</td> <td>1</td> <td>30.03.10 12:28</td> <td>07.04.10 11:18</td> </tr> </tbody> </table>				İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BİT. TAR.	• Arsenik (As)	µg/L	22,7	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12:28	07.04.10 11:18
İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BİT. TAR.													
• Arsenik (As)	µg/L	22,7	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12:28	07.04.10 11:18													
(*) : İlgili Mevzuat Belirtilmemiştir.																					
<p>SONUÇ: Deneyi yapılan numunenin analiz sonuçlarından ilgili mevzuata uygun olmayan parametreler (•) işareti ile gösterilmiştir.</p>																					
<p>Kim.Müh. Nuran BAŞARAN Kimya Bölüm Şefi</p>		<p>Tanju YAPICI Kimya Mühendisi Num. Kab. ve Rapor Düzenleme Şefi</p>																			
<p>ONAY 08.04.2010 İkram CENGİZ Müdür a. Müdür Yardımcısı</p>																					
<p>Açıklama: Bu analiz sonuçları yalnızca test edilen numune için geçerlidir. Bu rapor İSHEM'in yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mührsüz raporlar geçersizdir. Numuneler tarafımızca alınmamış olup İSHEM Numune Kabul Kriterleri Talimatı'na uygun olarak kabul edilmiştir.</p>																					
<p>Adres: 10. Yıl Cad. Cinoğlu Çıkması No:10 34020 Zeytinburnu / İSTANBUL Tel: 0212 679 93 13 (4Hat) Fax: 0212 679 93 20 - 21 Elektronik Ağ: www.istanbul.rshm.gov.tr Elektronik Posta: istanbulbhe@saglik.gov.tr - istanbul@rshm.gov.tr</p>																					
<p>Form No: F45/İSHEM/00</p>																					


Ek-D

 RSHMB	REFİK SAYDAM HIFZISSIHHHA MERKEZİ BAŞKANLIĞI İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü		Sayfa No: 1/1					
	İÇME KULLANMA SUYU ANALİZ RAPORU							
Rapor Tarihi : 08.04.2010 Protokol No : 2462 Revizyon No: 0 0								
Gelen Yazının Tarih ve Sayısı:		30.03.2010	bila sayı					
Numuneyi Gönderen Kişi/Firma/Kurum		FATMA ÖZDEMİR BEYOĞLU İSTANBUL						
Numunenin								
Sahibi ve Adresi		FATMA ÖZDEMİR NECATİBEY CAD. KÖLEMEN SOKAK NO:5/B GÜNDÜZHAN 4. KAT KARAKAÖY BEYOĞLU/İSTANBUL						
Alındığı Yer-Tarih ve Saati		75 GPD MEMBRANDAN GEÇİRİLEN SU						
Cinsi-Üretici Firma Adı/Markası		İÇME KULLANMA SUYU						
Ambalaj Şekli - Miktarı		500 CC PET ŞİŞEDE (ODA SICAKLIĞINDA)						
Geliş Sebebi		Özel Analiz İsteği						
Laboratuvara Kabul Tarih ve Saati		30.03.2010	10:10					
Evrak Giriş Nosu		1309						
İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BİT. TAR.
Arsenik (As)	µg/L	0,2	----	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12:26	07.04.10 11:18
(*) : İlgili Mevzuat Belirtilmemiştir.								
SONUÇ: Analiz sonuçları; mevzuat sınır değerleri bildirilen parametreler açısından, ilgili mevzuata uygundur.								
Kim.Müh. Nuran BAŞARAN Kimya Bölüm Şefi				Tanju YAPICI Kimya Mühendisi Num.Kab. ve Rapor Düzenleme Şefi				
								
Açıklama: Bu analiz sonuçları yalnızca test edilen numune için geçerlidir. Bu rapor İSHEM'in yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir. Numuneler tarafımızca alınmamış olup İSHEM Numune Kabul Kriterleri Talimatı'na uygun olarak kabul edilmiştir.								
		Adres: 10.Yıl Cad. Cinoğlu Çıkmaşı No:10 34020 Zeytinburnu / İSTANBUL Tel:0212 679 93 13 (4Hat) Fax:0212 679 93 20 - 21 Elektronik Ağ: www.istanbul.rsh.gov.tr Elektronik Posta: istanbulbhe@saglik.gov.tr - istanbul@rsh.gov.tr						
Form No:F45/İSHEM/00								

Ek-E

 RSHMB	REFİK SAYDAM HIFZISSIHHHA MERKEZİ BAŞKANLIĞI İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü																					
			Sayfa No: 1/1																			
İÇME KULLANMA SUYU ANALİZ RAPORU																						
Rapor Tarihi : 08.04.2010																						
Protokol No : 2460																						
Revizyon No: 0 0																						
Gelen Yazının Tarih ve Sayısı:		30.03.2010 bila sayı																				
Numuneyi Gönderen Kişi/Firma/Kurum		FATMA ÖZDEMİR BEYOĞLU İSTANBUL																				
Numunenin																						
Sahibi ve Adresi		FATMA ÖZDEMİR NECATİBEY CAD. KÖLEMEN SOKAK NO:5/B GÜNDÜZHAN 4. KAT KARAKAÖY BEYOĞLU/İSTANBUL																				
Alındığı Yer-Tarih ve Saati		ADSORBSİYON RECİNESİNDEN GEÇİRİLEN SU																				
Cinsi-Üretici Firma Adı/Markası		İÇME KULLANMA SUYU																				
Ambalaj Şekli - Miktarı		500 CC PET ŞİŞEDE (ODA SICAKLIĞINDA)																				
Geliş Sebebi		Özel Analiz İsteği																				
Laboratuvara Kabul Tarih ve Saati		30.03.2010 10:10																				
Evrak Giriş Nosu		1309																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>İNCELENEN PARAMETRELER</th> <th>BİRİM</th> <th>ANALİZ SONUÇLARI</th> <th>MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ</th> <th>METOT</th> <th>REFERANS</th> <th>ÖLÇÜM LİMİTİ</th> <th>AN. BAŞ. TAR.</th> <th>AN. BİT. TAR.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>☛ Arsenik (As)</td> <td>µg/L</td> <td>11,9</td> <td>---</td> <td>ICP-OES</td> <td>SM 3114-C</td> <td>1</td> <td>30.03.10 12.26</td> <td>07.04.10 11:17</td> </tr> </tbody> </table>					İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BİT. TAR.	☛ Arsenik (As)	µg/L	11,9	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12.26	07.04.10 11:17
İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BİT. TAR.														
☛ Arsenik (As)	µg/L	11,9	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12.26	07.04.10 11:17														
(*) : İlgili Mevzuat Belirtilmemiştir.																						
<p>SONUÇ: Deneyi yapılan numunenin analiz sonuçlarından ilgili mevzuata uygun olmayan parametreler (☛) işareti ile gösterilmiştir.</p>																						
Kim.Müh. Nuran BAŞARAN Kimya Bölüm Şefi		Tanju YAPICI Kimya Mühendisi Num.Kab. ve Rap. Düzenleme Şefi																				
																						
Açıklama: Bu analiz sonuçları yalnızca test edilen numune için geçerlidir. Bu rapor İSHEM'in yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir. Numuneler tarafımızca alınmamış olup İSHEM Numune Kabul Kriterleri Talimatı'na uygun olarak kabul edilmiştir.																						
		Adres: 10.Yıl Cad. Cinoğlu Çıkamazı No:10 34020 Zeytinburnu / İSTANBUL Tel:0212 679 93 13 (4Hat) Fax:0212 679 93 20 - 21 Elektronik Ağ: www.istanbul.rshmb.gov.tr Elektronik Posta: istanbulbhe@saglik.gov.tr - istanbul@rshmb.gov.tr																				
Form No:F45/İSHEM/00																						

Ek-F

 RSHMB	REFİK SAYDAM HIFZISSIHA MERKEZİ BAŞKANLIĞI İstanbul Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü		Sayfa No: 1/1																		
	İÇME KULLANMA SUYU ANALİZ RAPORU																				
Rapor Tarihi : 08.04.2010 Protokol No : 2461 Revizyon No: 0 0																					
Gelen Yazının Tarih ve Sayısı:		30.03.2010 bila sayı																			
Numuneyi Gönderen Kişi/Firma/Kurum		FATMA ÖZDEMİR BEYOĞLU İSTANBUL																			
Numunenin																					
Sahibi ve Adresi		FATMA ÖZDEMİR NECATİBEY CAD. KÖLEMEN SOKAK NO:5/B GÜNDÜZHAN 4. KAT KARAKAÖY BEYOĞLU/İSTANBUL																			
Alındığı Yer-Tarih ve Saati		ADSORBSİYON MENERALİNDEN GEÇİRİLEN SU																			
Cinsi-Üretici Firma Adı/Markası		İÇME KULLANMA SUYU																			
Ambalaj Şekli - Miktarı		500 CC PET ŞİŞEDE (ODA SICAKLIĞINDA)																			
Geliş Sebebi		Özel Analiz İsteği																			
Laboratuvara Kabul Tarih ve Saati		30.03.2010 10:10																			
Evrak Giriş Nosu		1309																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>İNCELENEN PARAMETRELER</th> <th>BİRİM</th> <th>ANALİZ SONUÇLARI</th> <th>MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ</th> <th>METOT</th> <th>REFERANS</th> <th>ÖLÇÜM LİMİTİ</th> <th>AN. BAŞ. TAR.</th> <th>AN. BİT. TAR.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>☛ Arsenik (As)</td> <td>µg/L</td> <td>10,24</td> <td>---</td> <td>ICP-OES</td> <td>SM 3114-C</td> <td>1</td> <td>30.03.10 12:25</td> <td>07.04.10 11:18</td> </tr> </tbody> </table>				İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BİT. TAR.	☛ Arsenik (As)	µg/L	10,24	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12:25	07.04.10 11:18
İNCELENEN PARAMETRELER	BİRİM	ANALİZ SONUÇLARI	MEVZUAT(*) SINIR DEĞERLERİ	METOT	REFERANS	ÖLÇÜM LİMİTİ	AN. BAŞ. TAR.	AN. BİT. TAR.													
☛ Arsenik (As)	µg/L	10,24	---	ICP-OES	SM 3114-C	1	30.03.10 12:25	07.04.10 11:18													
(*) : İlgili Mevzuat Belirtilmemiştir.																					
<p>SONUÇ: Deneyi yapılan numunenin analiz sonuçlarından ilgili mevzuata uygun olmayan parametreler (☛) işareti ile gösterilmiştir.</p>																					
Kim. Müh. Nuran BAŞARAN Kimya Bölüm Şefi		Tanju YAPICI Kimya Mühendisi Num. Kab. ve Rap. Düzenleme Şefi																			
ONAY 08.04.2010 İKRAM CENGİZ Müdür Yardımcısı																					
Açıklama: Bu analiz sonuçları yalnızca test edilen numune için geçerlidir. Bu rapor İSHEM'in yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz raporlar geçersizdir. Numuneler tarafımızca alınmamış olup İSHEM Numune Kabul Kriterleri Talimatı'na uygun olarak kabul edilmiştir.																					
Adres: 10. Yıl Cad. Cinoğlu Çıkmazı No:10 34020 Zeytinburnu / İSTANBUL Tel:0212 679 93 13 (4Hat) Fax:0212 679 93 20 - 21 Elektronik Ağ: www.istanbul.rshm.gov.tr Elektronik Posta: istanbulbhe@saglik.gov.tr - istanbul@rshm.gov.tr																					
Form No:F45/İSHEM/00																					

KAYNAKLAR

- [1] MAES, D., PATE, D.B., The absorption of arsenic into single human head hairs. *J.Foren.Sci.*; 22:89-94, 1977.
- [2] SMITH, P.H., HOPENHAYN-RICH, C., BATES, M.N., GOEDEN, H.M., HERTZ-PICCIOTO, I., DUGGAN, J.M., WOOD, R., Cancer risks for arsenic in drinking water. *Environ. Health Pers.*; 97: 256-267, 1992.
- [3] LITTER, M.I., Introduction to photochemical advanced oxidation processes for water treatment, in (P. Boule, D.W. Bahnemann, P.K.J. Robertson, Eds.), "The Handbook of Environmental Chemistry", Vol. 2, Part M, *Environmental Photochemistry Part II*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.
- [4] MEICHTRY, J. M., LIN H., DE LA FUENTE ,L., LEVY, I. K., GAUTIER, E.A., BLESÁ ,M.A., LITTER ,M.I., Low-cost TiO₂ photocatalytic technology for water potabilization in plastic bottles for isolated regions. *Photocatalyst fixation, J. Solar Energy Eng.*; 119-126, 2007.
- [5] MORGADA, M.E., MATEU, M., BUNDSCHUH, J., LITTER, M.I., Arsenic in the Iberoamerican Region. The IBEROARSEN Network and a possible economic solution for arsenic removal in isolated rural zones, 2008
- [6] BANG, S., PATEL, M., LIPPINCOTT, L., MENG, X., Removal of arsenic from groundwater by granular titanium dioxide adsorbent. *Chemosphere*; 60, 389-397, 2005.
- [7] BGS AND DPHE., Arsenic in groundwaters across the world, in *Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh*, KINNIBURGH, D G and SMEDLEY, P L (Editors), British Geological Survey Technical Report WC/00/19, British Geological Survey, Keyworth,; pp 3-16, 2001.
- [8] SYLVESTER, P., WESTERHOFF, P., MOLLER, T., BADRUZZAMAN, M. and BOYD, O., "A Hybrid Sorbent utilizing Nanoparticles of Hydrous Iron Oxide for Arsenic Removal from Drinking Water", *Journal of Environmental Engineering Science*; 24(1) 104-112, 2007.

- [9] CUMBAL, L., SENGUPTA, A.K., “Arsenic Removal Using Polymer-Supported Hydrated Iron (III) Oxide Nanoparticle: Role of Donnan Membrane Effect”, *Environ. Sci. Technol.*; 39, 6508-6515, 2005
- [10] SYLVESTER, P., MOLLER, T., “Properties and Use of Two Iron Hydroxide Impregnated Anion Exchange Resins for Arsenic Removal”, *Recent Advances in Ion Exchange Theory and Practice, Proceedings of IEX 2008*, Society of Chemical Industry (SCI), London, 2008.
- [11] DEMARCO, M.J., SENGUPTA, A. K., GEENLEAF, J.E., Arsenic Removal using polymeric/inorganic hybrid sorbent, *Water Research*. 2003; 37 164-176.
- [12] CHAKRABORTI, D., RAHMAN, M.M., PAUL, K., CHOWDHURY, U.K., SENGUPTA, LODH, M.K., CHANDA, C.R., SAHA K.C., MUKHERJEE S.C., Arsenic calamity in the Indian subcontinent-What lessons have been learned? *Tatanta* .; 58, 3-22, 2001.
- [13] BERG, M., TRAN, H.C., NGUYEN, T.C., PHAM H.V., SCHERTENLEIB R., GIGER W., Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: A human health threat. *Environmental Science and Technology*.; 35 2621-2626, 2001.
- [14] BUNDSCHUH, J., FARIAS, B., MARTIN, R., STORNILO, A., HATTACHARYA, P.B, CORTES, J., BONORINO, G., ALBOUY, R., Groundwater arsenic in the Chaco-Pampean Plain, Argentina: case study from Robles county, Santiago del Estero Province. *Geochemistry*.;19 231–243, 2004.
- [15] FOUST, R.D. JR., MOHAPATRA P., COMPTON, A., O'BRIEN, M., REIFEL J., Groundwater arsenic in the Verde Valley in central Arizona, USA. *Geochemistry*.; 19 251–255, 2004.
- SIGG, L., STUMM, W., The interaction of anions and weak acids with the hydrous goethite(α - FeOOH) surface. *Colloids and Surf.*; 2, 101-117, 1981.
- [17] DISIT, S., HERING, J.G., Comparison of arsenic (V) and arsenic(III) sorption onto iron oxide minerals: implications for arsenic mobility. *Environ.Sci.Technol.* ; 37 4182-4189, 2003.
- [18] GUO, X., CHEN, F., Removal of arsenic by bead cellulose loaded with iron oxyhydroxide iron groundwater. *Environ.Sci.Technol.*; 39 6808-6818, 2005.
- [19] WANG, J., WU, Y., ZHU, Y., Fabrication of complex of Fe₃O₄ nanorods by magnetic-field-assisted solvothermal process. *Mater. Chem. Phys.*; 106 1-4, 2007.

- [20] ALAM, M. G. M., ALLINSON G., STAGNITTI, F., TANAKA, A., WESTBROOKE, M., Arsenic contamination in Bangladesh groundwater: a major environmental and social disaster. *Int. J. of Environmental Health Research*,; 235–253, 3 September, 2002.
- [21] DE MARCO, M. J., SEN GUPTA, A., GREENLEAF, J., "Arsenic removal using a polymeric/inorganic hybrid sorbent", *Water Research*, ; 37, 164 – 176, 2003.
- [22] CUMBAL, L., SEN GUPTA, A.K., "Arsenic Removal Using Polymer-Supported Hydrated Iron (III) Oxide Nanoparticles: Role of Donnan Membrane Effect." *Environ. Sci. and Technol.*; 39, 6508-6515, 2005.
- [23] SARKAR, S., BLANEY, L.M., GUPTA, A., GHOSH, D., and SEN GUPTA, A.K., "Use of ArsenXnp, a hybrid anion exchanger, for arsenic removal in remote villages in the Indian subcontinent." *React. Funct. Polymers.*; 67, 1599-1611, 2007.
- [24] GREENLEAF, J.E., CUMBAL, L., STAINA, I., and SEN GUPTA, A.K. "Abiotic As(III) oxidation by hydrated Fe(III) oxide (HFO) microparticles in a plug flow columnar configuration", *Trans IChemE*, Vol. 81, Part B,; 87-98, 2003.
- [25] BLOWES, DW., PTACEK, CJ., BENNER, SG., MC RAE, CWT., BENNETT, TA and PULS, RW., Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers. *Journal of Contaminant Hydrology*,; 45:123-137, 2000.
- [26] BENNER, SG., BLOWES, DW., PTACEK, CJ., and MAYER, KU., Rates of sulfate reduction and metal sulfide precipitation in a permeable reactive barrier. *Geochemistry*,; 17: 301-320, 2002.
- [27] ESPINOZA, M.A., BUNDSCHUH, J., Natural arsenic enrichment in the southwestern basin of the Sébaco Valley, Nicaragua. In: J. Bundschuh, M.A. Armienta, P. Bhattacharya, P. Birkle, J. Matschullat and A.B. Mukherjee (eds): *Natural arsenic in groundwater of Latin America*. CRC Press/Balkema. Leiden, The Netherlands,; pp.109-122, 2009.
- [28] ROYCHOWDHURY, T., TOKUNAGA, H., UCHINO, T., ANDO, M., Effect of arsenic-contaminated irrigation water on agricultural land soil and plants in West Bengal, India. *Chemosphere*,; 58, 799–810, 2005.
- [29] MOHAN, D., PITTMAN, C.U., Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents - A critical review, 2007
- [30] MONDAL, P., MAJUMDER, C.B., MOHANTY, B., Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: Recent developments. *Journal of Hazardous Materials*,; B137, 464–479, 2006.

- [31] O'CONNOR, J T., ENG, D. PE., and O'CONNOR T.L. "Arsenic in Drinking Water", Part 4. Arsenic Removal Methods, H₂O'C Engineering, LLC, 2001.
- [32] MOHAN, D., PITTMAN, C.U., "Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents—A critical review", Journal of Hazardous Materials 142, 1–53, 2007.
- [32] DONG, L., ZININ, P.V., COWEN, J.P., MING L. C., College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, HI 96822, USA; School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii, Honolulu, HI 96822, USA
- [33] RUIPING, L., LIHUA, S., JIUHUI, Q., GUIBAI, L., Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100081, China ; School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150090, China
- [34] HARISHA, R.S., HOSAMANI, K.M., KERI, R.S., NATARAJ, S.K., AMINABHAVI, T.M., P.G., Department of Studies in Chemistry, Karnatak University, Dharwad 580 003, India; Membrane Separation Division, Center of Excellence in Polymer Science, Karnatak University, Dharwad 580 003, India
- [34] EPA, (Environmental Protection Agency), Arsenic Treatment Technologies for Soil, Waste and Water. EPA 542-R-02-004, 2002
- [35] JEKELI, M., DRIEHAUS, W., Technical University of Berlin, Department of Water Quality Control, Berlin, Germany; Water & Science, Bissendorf, Germany

ÖZGEÇMİŞ

Fatma ÖZDEMİR, 13.04.1980 de Giresun' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun'da tamamladı. 1997 yılında Giresun Lisesi, Fen Bilgisi Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2003 yılında bitirdi. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümüne yüksek lisans öğrencisi olarak girdi . Şu anda HSC Arıtım ve Kim.Mad.San.Tic. Ltd. Şirketinde Çevre Mühendisi olarak görev yapmaktadır.