

İÇME SULARINDA ARSENİK KİRLİLİĞİ : ÜLKEMİZ AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME

Meltem BİLİCİ BAŞKAN ve Ayşegül PALA

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 35160, İzmir

Geliş Tarihi : 08.09.2008

Kabul Tarihi : 14.01.2009

ÖZET

Metal ile ametal arasında bir özelliğe sahip olan arsenik yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden biridir. Doğada hem doğal hem antropojenik kaynaklı olarak bulunabilen arsenik toksik ve kanserojen bir maddedir. Suda en çok bulunan inorganik arsenik türleri arsenit (As(III)) ve arsenattır (As(V)). Arseniğin türünü ve dağılımını suyun pH'ı, redoks potansiyeli ve sülfür, demir ve kalsiyum gibi kompleks iyonların varlığı belirler. Dünyada birçok bölgede doğal olarak oluşan yeraltı suyu arsenik kirliliği nedeniyle çok sayıda kişi arsenik zehirlenmesi riski ile karşı karşıya kalmıştır. Türkiye'de de özellikle batı bölgelerde, içme sularında arsenik için belirlenen maksimum kirletici seviyesi olan 10 µg/L'den daha yüksek miktarda arsenik konsantrasyonlarına rastlanmıştır. Bu çalışma kapsamında ülkemizde arsenik sorununun boyutları ve nedenleri araştırılmıştır. Bu amaçla İzmir'e bağlı bazı ilçelerde yapılan analizler sonucunda standartların üzerinde arsenik bulunmuştur. Kuyu sularında doğal olarak oluşan arsenik kirliliği suyun bulunduğu derinlikteki kaya türü, mineral ve cevher yapıdan kaynaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler : *İçme suyu, Arsenik, Türkiye, Doğal kirlenme.*

ARSENIC CONTAMINATION IN DRINKING WATER: AN ASSESSMENT FOR TURKEY

ABSTRACT

Arsenic is one of the most abundant elements in the earth's crust and classified as a non-metal or a metalloid. Arsenic is toxic and carcinogen and in the environment occurs from both natural and anthropogenic sources. In the aqueous environment inorganic arsenic appears commonly in forms of arsenite (As(III)) and arsenate (As(V)). pH, redox potential, and the presence of complexing ions such as ions of sulfur, iron, and calcium determine the arsenic valence and speciation. Because of the naturally occurring arsenic contamination in groundwater in many parts of the world many people have faced with risk of arsenic poisoning. In Turkey especially in the west regions, natural water sources contained much higher levels of arsenic than maximum contaminated level (MCL) set (10 µg/L) were determined. In this study, arsenic problem and its reasons in Turkey were investigated. For this purpose, arsenic analyses were carried out and higher levels of arsenic than MCL was detected in some regions of İzmir. High levels of arsenic in these natural waters were considered to be associated with the dissolution of some minerals and rock formation.

Keywords : *Drinking water, Arsenic, Turkey, Natural contamination.*

1. GİRİŞ

Arsenik yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden biridir. Periyodik tablonun VA grubunda yer alan arsenik metal olmayan ya da metaloid olarak sınıflandırılmaktadır. Tarımda, eczacılıkta ve başka endüstri dallarında hammadde olarak kullanılıyor olmasına rağmen insanı da içeren çeşitli organizmalar üzerinde toksik etkisi vardır. Özellikle yeraltı suyunun toprak ve kaya içerisinde çözülmesi gibi bazı bileşikler ve mineralleri çözmesinin bir sonucu olarak sulara arsenik bulunabilmektedir.

Dünyada birçok ülkede doğal olarak oluşan yeraltı suyu arsenik kirliliği nedeniyle 100 milyon üzerinde kişi arsenik zehirlenmesi riski ile karşı karşıya kalmıştır. İçme sularında yüksek miktarda arsenik olduğu rapor edilen yerler arasında Bengal Deltası (Batı Bengal, Hindistan ve Bangladeş) (Bhattacharyya v.d., 2003; Farias v.d., 2003; Wickramasinghe v.d., 2004; Harvey v.d., 2006; Sancha, 2006; Mondal v.d., 2006), Amerika (Han v.d., 2002; Steinmaus, v.d., 2005; Wang ve Mulligan, 2006), Çin (Yuan v.d., 2003) ve Yeni Zelanda (Gregor, 2001) yer almaktadır. Özellikle Hindistan ve Bangladeş’de içme sularından kaynaklanan arsenik nüfusun çok önemli bir kısmını etkilediği bilinen örneklerdendir (Chakraborti v.d., 2003).

Dünyada pek çok ülkede içme sularının arsenikle kirlenmesi ve bunun neden olduğu sağlık etkilerinin önüne geçilebilmesi amacıyla Amerika Çevre Koruma Ajansı tarafından içme sularında arsenik için kabul edilen maksimum kirletici seviyesi 0.05 mg/L’den 0.01 mg/L’ye düşürülmüştür (Lee v.d., 2003). Dünya Sağlık Örgütü tarafından da bu değer 1993 yılında 0.01 mg/L’ye indirilmiştir. Bu gelişmelerin ardından ülkemizde de bu değer 2005 yılında yayımlanan ve 2008 yılında yürürlüğe giren

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ile 0.01 mg/L’ye düşürülmüştür. Standartlardaki bu düşüş sonucu dünyada ve ülkemizde bazı bölgelerde mevcut arıtma tesislerine yeni arıtma proseslerinin eklenmesi veya değişiklikler yapılması ihtiyacı doğmuştur. Son yıllarda Türkiye’de özellikle batı bölgelerde maksimum kirletici seviyesinden daha yüksek miktarda arsenik içeren içme suyu kaynakları ölçülmüştür. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı tarafından hazırlanan “İnsani Gelişme Raporu 2006 Kıtlığın Eşiğinde: Güç, Yoksulluk ve Küresel Su Krizi” adlı raporda da Türkiye arsenik kirlenmesi olasılığı bulunan ülkeler arasında gösterilmiştir.

Bu çalışmada içme sularında bulunan arseniğin doğal ve antropojenik kaynakları, kimyası, sağlık etkileri ve arıtma yöntemleri incelenmiş ve ülkemizdeki arsenik sorununun boyutları ve nedenleri araştırılmıştır.

2. TÜRKİYE’DE ARSENİK SORUNU

Türkiye’de maksimum kirletici seviyesinden daha yüksek konsantrasyonda arsenik içeren bazı su kaynakları ve buralarda ölçülen arsenik konsantrasyonları Tablo 1’de gösterilmiştir. Kütahya’da Emet ve Hisarcık’ta içme suyu kaynağı olarak kullanılan kaynak ve yeraltı sularında maksimum kirletici seviyesinden daha yüksek seviyede arsenik bulunmaktadır. Bu durumun bor oluşumundaki bazı minerallerin çözünmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Oruç, 2004). Ayrıca Hisarcık bölgesinde de kabul edilebilir limitlerin üzerinde arsenik ölçülmüştür (Çöl ve Çöl 2004; Çolak v.d., 2003). Bundan başka Bursa ve çevresinde, Balıkesir ve Uşak’ta da yüksek miktarda arsenik belirlenmiştir (Erdol ve Ceylan, 1997; Gemici v.d., 2008; Çamtepe, 2006).

Tablo 1. Türkiye’de ölçülen arsenik konsantrasyonları.

Yerleşim Bölgesi	Arsenik Konsantrasyonu, µg/L	Kaynak
Emet-Kütahya İçme suyu kaynağı	448	Oruç, 2004
Hisarcık-Kütahya Çeşme suyu Kuyu suyu Yüzeysel su	380	Çöl, ve Çöl, 2004.
	50 510	
İğdeköy-Emet-Kütahya Yüzeysel su Yeraltı suyu	10-20 10-7754	Çolak v.d., 2003.
Bursa İçme suyu kaynağı	0.051-21.423	Erdol ve Ceylan, 1997
Bigadiç-Balıkesir Yeraltı suyu	30-900	Gemici v.d., 2008
Eşme-Uşak Yeraltı suyu	50	Çamtepe, 2006

Son dönemlerde İzmir’e su sağlayan kuyularda arsenik oranının Dünya Sağlık Örgütü, Çevre

Koruma Ajansı ve ülkemizde yayımlanan yönetmeliklerin belirlediği rakamların üzerinde

çıkması sonucu 29 kuyu kapatılmıştır. İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İZSU) tarafından yapılan ve birçok basın organında açıklanan sonuçlara göre 2008 yılında Gökusu'da 59 µg/L, Sarıkız'da 32 µg/L, Menemen'de 10 µg/L ve Halkapınar'da ise 13 µg/L arsenik konsantrasyonu ölçülmüştür. Acil bir önlem olarak da sözü geçen kuyulardan gelen su Tahtalı İçme Suyu Arıtma Sisteminden çıkan su ile birleştirilerek arsenik konsantrasyonu seyreltilmekte ve bu şekilde Karşıyaka ve Bornova ilçelerine verilmektedir.

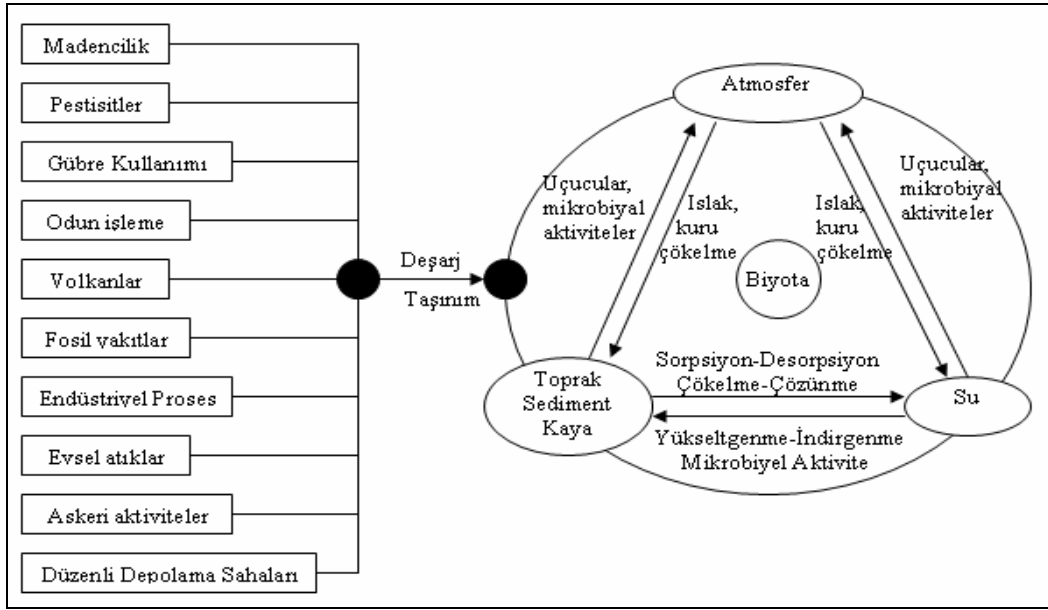
Bu çalışma kapsamında İzmir'e bağlı bazı ilçelerde çeşme suyundan alınan örneklerde yapılan arsenik ölçümlerinin sonucu Tablo 2'de verilmiştir. Arsenik konsantrasyonu ICP (Endüktif Eşleşmiş Plazma) atomik emisyon spektrometre kullanılarak standart metotlarda belirtildiği şekilde ölçülmüştür ve hidrür tekniği kullanılmıştır. Ölçümler 193.7 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiş ve minimum ölçülebilen değer 1 µg/L olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. İzmir'de ölçülen arsenik konsantrasyonları.

Yerleşim Bölgesi	Arsenik Konsantrasyonu, µg/L	Numunenin Alındığı Tarih
Bornova	13.5	19.06.2008
Hatay	11.8	30.06.2008
Buca	<1	30.06.2008
Gaziemir	<1	30.06.2008
Urla	8	14.07.2008
Gülbağçe	<1	30.06.2008

3. ARSENİĞİN KAYNAKLARI

Yerkabuğunda en çok bulunan yirminci element olan arseniğin oluşumu, dağılımı ve nedeni üzerinde özellikle son yıllarda daha çok durulmaya başlanmıştır. Doğadaki oluşumu ve döngüsü Şekil 1'de verilen arsenik doğada hem doğal hem antropojenik kaynaklı olarak bulunabilir.



Şekil 1. Doğada arsenik döngüsü (Wang ve Mulligan, 2006).

3. 1. Doğal Kaynakları

Arsenik toprakta, bazı kaya türlerinde ve özellikle kurşun ve bakır içeren mineral ve cevherlerde doğal olarak bulunur. Rüzgarın taşıdığı toz, yüzeysel akış ve yeraltına sızma sonucu havaya ve suya geçebilir (Chou ve Rosa, 2003).

Yerkabuğunda bulunan arseniğin ortalama olarak kilogramda 6 mg olmak üzere toplam miktarının $4.01 \cdot 10^6$ kg olduğu tahmin edilmektedir. Deniz

suyundaki arsenik konsantrasyonu 0.09-24 µg/L arasında değişmektedir. Yüzeysel sularda ise bu değer 0.15 – 0.45 µg/L arasındadır (Bissen ve Frimmel, 2003).

Arseniğin doğal kaynakları arasında kaplıcalar, ılıcalar, volkanik kayalar, çöküntü kayaları (organik/inorganik killer), başkalaşım kayaları, deniz suyu ve mineral çökeller yer alır (EPA, 2003). Ayrıca volkanik hareketler, kaya erozyonu ve orman yangınları da arseniğin doğal kaynakları arasındadır (EPA, 2003a).

Doğal sularda arsenik oluşumu akiferin jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özelliklerine bağlıdır. Doğada arseniğin en önemli kaynağı sülfür mineralleridir. Arsenik içeren en önemli mineraller arasında As_2S_3 (orpiment), AsS (realgar), $FeAsS$, $FeAs_2$, $NiAs$, $CoAsS$, $Cu_{12}As_4S_{13}$ ve Cu_3AsS_4 yer almaktadır (Matschullat, 2000; Bissen ve Frimmel, 2003).

Sülfür mineralleri dışında arseniğin diğer bir önemli kaynağı ise arsenik içeren demir oksitlerdir (Jain v.d., 1999; Sadiq v.d., 2002).

Kütahya'da içme ve kullanma sularında ölçülen yüksek arsenik konsantrasyonlarının en önemli kaynaklarından birisi bölgede yer alan tersiyer çökellerdeki alümit, çört, kolemanit ve jips gibi minerallerdir. Ayrıca karbonatlı kayalar, kireçtaşı/dolomit ve travertendeki kırık zonlar boyunca oluşan realgar ve orpiment formundaki epitermal jipsler ve volkano-sedimanter istiflerdeki volkanik kayalar da önemli arsenik kaynakları arasında bulunmaktadır (Doğan ve Doğan, 2007).

Ege Bölgesi'ndeki bor yatakları, volkanik yapı, kaya ve mineral yapısı nedeniyle içme suyu kaynaklarında yüksek miktarda arsenik çıkacağı tahmin edilmektedir.

3. 2. Antropojenik Kaynakları

Arseniğin antropojenik kaynakları oldukça çeşitlidir. Arsenik içeren endüstriyel üretimler arasında ahşap, kereste koruma işlemleri, kozmetikler, boya işlemleri, ilaç sanayi, herbisit sanayi, yarı iletken madde üretimi, dericilik, cam üretimi, tıbbi kullanımlar, kağıt ve kağıt hamuru üretimi ve çimento işlemleri bulunmaktadır. Ayrıca bakır, nikel, altın madenciliği ve cevher tasfiye etme işlemleri, zirai uygulamalar, fosil yakıtların kullanımı, düzenli depolama sahası sızıntı suları da arseniğin antropojenik kaynakları arasındadır (EPA, 2002).

Arsenik oluşumuna neden olan en önemli insan aktiviteleri arasında zararlı bitki ve böcekleri yok eden tarım ilaçlarının kullanımı ve madencilik faaliyetleri gelmektedir (Mandal ve Suzuki 2002; Moore, 2005). Arsenik içeren pestisitlerin kullanımı arseniğin noktasal olmayan antropojenik kaynakları arasında yer almaktadır. Dünyada en çok kullanılan arsenik içeren pestisitler arasında kurşun arsenat ($Pb_3(AsO_4)_2$), kalsiyum arsenat ($Ca_3(AsO_4)_2$), magnezyum arsenat ($Mg_3(AsO_4)_2$), çinko arsenat ($Zn_3(AsO_4)_2$) ve çinko arsenit ($Zn(AsO_2)_2$) yer almaktadır (Wang ve Mulligan, 2006). Türkiye'de ise ruhsatı olan pestisitler arasından fumigantlar, nematositler ve toprak fumigantları grubunda yer

alan alüminyum fosfit ve fungusitler grubunda yer alan bakır oksiklorit arsenik içeren aktif maddelere örnek olarak verilebilir (Yücer, 2008). Madencilik faaliyetlerine bağlı olarak oluşan arsenik konsantrasyonlarına örnek olarak dünyadaki farklı 6 maden ocağında yapılan ölçüm sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Görüldüğü gibi en düşük arsenik konsantrasyonunun ölçüldüğü maden ocağı türü demir madeni iken en yüksek arsenik konsantrasyonu kurşun-çinko madenciliğinde ölçülmüştür.

Tablo 3. Dünyadaki 6 farklı maden ocağında ölçülen arsenik konsantrasyonları (Wang ve Mulligan, 2004).

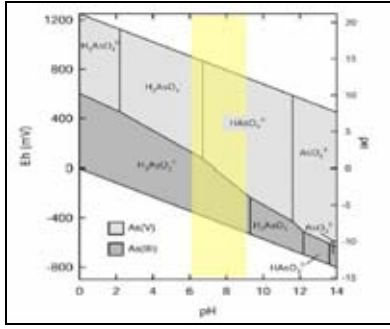
Maden Ocağı Türü	Bölge	Konsantrasyon (mg/kg)
Bakır madeni	Murdochville, QC	500
Altın madeni	Musselwhite, ON	63
Bakır-çinko madeni	Val d'Or, QC	270
Demir madeni	Mont-Wright, QC	<0.70
Kurşun-çinko madeni	Bathurst, NB	2200
Altın madeni	Marathon, ON	270

4. ARSENİK KİMYASI

Yerkabuğunda en çok bulunan elementlerden biri olan ve doğada genellikle kristal formda bulunan arsenik metal olmayan ya da metaloid olarak sınıflandırılmaktadır ve ağır metal grubunda yer almaktadır. Bunun dışında arsenik aynı zamanda bir arada bulunduğu elementlerin türüne göre inorganik ve organik bileşikler olarak da sınıflandırılabilir. İnorganik arsenik bileşikleri oksijen, sülfür, klor gibi elementlerle bir arada bulunurken organik arsenik bileşikleri ise karbon ve hidrojen ile bir arada bulunur (Kumaresan ve Riyazuddin, 2001, Dousova v.d., 2003). Doğada en çok bulunan arsenik türü olan inorganik arsenik yüzeysel su, yeraltı suyu ve deniz suyunda baskın olan tür iken organik arsenik türleri doğal gaz ve petrolde baskın olan türlerdir (EPA, 2002).

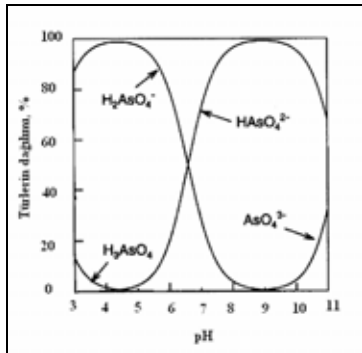
Arseniğin kimyası pek çok forma sahip olması nedeniyle karmaşıktır. Doğada, +5 (arsenat), +3 (arsenit), 0, ve -3 oksidasyon basamaklarında bulunur. -3 ve 0 değerlikli arsenik doğada nadiren bulunur (Bissen ve Frimmel, 2003). Arsenik doğada kolay bir şekilde oksidasyon basamağı ve kimyasal formunu değiştirir. Arseniğin değerliğini ve türünü suyun pH değeri, redoks potansiyeli, sülfür, demir ve kalsiyum gibi iyonların varlığı ve mikrobiyal aktivite etkilemektedir (EPA, 2002).

pH ve redoks potansiyeli, arsenik türünü kontrol eden en önemli parametrelerdir. Şekil 2’de inorganik arsenik için pH ve redoks potansiyeli grafiği görülmektedir. Yükseltgenme durumunda yani Eh pozitif iken arsenat baskın arsenik türüdür. İndirgenme durumunda ise arsenit baskın olan arsenik türüdür. Dolayısıyla arsenit daha çok yer altı suyunda, arsenat ise yüzeysel sulara bulunur (Brookins, 1988; Smedley ve Kinniburgh, 2002).

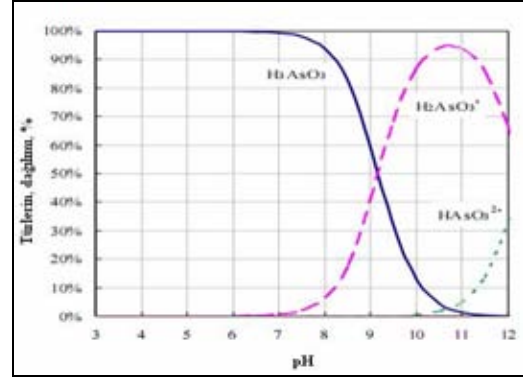


Şekil 2. İnorganik arsenik için Eh-pH diyagramı (Brookins, 1988).

Şekil 2’de görüldüğü gibi arsenit sulu çözeltilerde dört formda bulunur: H₃AsO₃ « H₂AsO₃⁻ « HAsO₃²⁻ « AsO₃³⁻. Benzer şekilde arsenat da dört formda bulunur: H₃AsO₄ « H₂AsO₄⁻ « HAsO₄²⁻ « AsO₄³⁻. Yeraltı sularının en çok bulunduğu pH aralığı olan 6-9 aralığında baskın olan arsenit türü (H₃AsO₃) nötral iken, baskın olan arsenat türleri -1 (H₂AsO₄⁻) ve -2 (HAsO₄²⁻) yüküdür (EPA, 2003). Yükseltgenme durumunda, H₂AsO₄⁻ düşük pH’larda (yaklaşık 6.9’dan daha düşük) baskın olan tür iken daha yüksek pH’larda HAsO₄²⁻ baskın duruma gelmektedir. H₃AsO₄ son derece asidik ve AsO₄³⁻ ise son derece bazik şartlarda bulunmaktadır. İndirgenme durumunda ise; pH’ın 9.2’den daha düşük olduğu durumlarda yüksüz olan H₃AsO₃ baskın durumdadır (Smedley ve Kinniburgh, 2002). Arsenat ve arsenit türlerinin dağılımı pH’ın bir fonksiyonu olarak sırasıyla Şekil 3 ve 4’de gösterilmiştir.

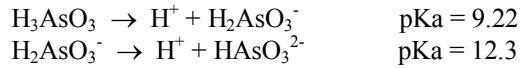


Şekil 3. pH’ın fonksiyonu olarak As(V)’in dağılımı (Smedley and Kinniburgh, 2002).

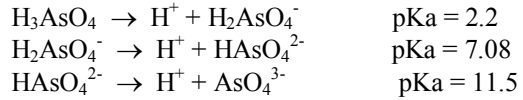


Şekil 4. pH’ın fonksiyonu olarak As(III)’in dağılımı (Moore, 2005).

İndirgenmiş sulara, arsenit aşağıda verilen tepkimelere göre iyonlaşmaktadır (Kartinen ve Martin, 1995):



Benzer şekilde, yükseltgenmiş sulara ise arsenat aşağıda verilen tepkimelere göre iyonlaşmaktadır (Kartinen ve Martin, 1995):



Sadiq ve Alam (2004) tarafından yapılan çalışmada yeraltı suyu akiferindeki arsenik kimyası araştırılmıştır. Literatürdeki verilere uyumlu olarak en çok bulunan arsenik türlerinin asidik yeraltı sularında H₂AsO₄⁻ olduğu, alkali yeraltı sularında ise HAsO₄²⁻ olduğu bulunmuştur. H₃AsO₄ ve AsO₄³⁻ türlerinin konsantrasyonları ise oldukça düşük bulunmuştur.

Arsenik içeren bileşiklerin toksisitesi, nötral, üç değerlikli veya 5 değerlikli olmalarına, organik veya inorganik formda bulunmalarına ve adsorpsiyon ve giderimlerini etkileyen fiziksel durumlarına bağlıdır. Genellikle inorganik arsenik organik arsenikten daha toksiktir ve +3 değerlikli arsenit nötral ve +5 değerlikli arsenikten çok daha toksiktir (Roy ve Saha, 2002; Zhang v.d., 2007; Chen v.d., 2008).

5. ARSENİĞİN SAĞLIK ETKİLERİ

Arsenik endüstriyel, zirai, eczacılık ve başka amaçlar için faydalı olmasına rağmen insanı da içeren çeşitli organizmalar üzerinde toksik bir etkisi vardır ve kanserojendir (Duker v.d., 2005).

İnorganik arsenik türleri sıtma, frengi, lösemi ve sedef hastalığı gibi rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Ancak arsenik içeren bu ilaçların kullanıldığı hastalarda deri lezyonları görülmüştür (Yoshida v.d., 2004).

Doğada doğal olarak da bulunabildiğinden dolayı arseniğe maruz kalmak insanlar açısından kaçınılmaz olmaktadır. Bu durum başlıca 3 şekilde gerçekleşebilir: havanın solunması, yiyecek ve su tüketimi ve dermal adsorpsiyon. Arsenik vücuda alındıktan sonra cilt, solunum, kalp ve damar, bağışıklık, genital ve üriner sistemler, üreme, sindirim sistemi ve sinir sistemini de içeren çok farklı organları etkilemektedir (Abernathy, 2001). Arsenik adsorblanlığında öncelikle karaciğer, akciğer, böbrek ve kalpte depolanmaktadır. Daha küçük miktarlarda da kas ve sinir dokusunda birikmektedir. Arsenik alımından iki veya 4 hafta sonra, keratin sülfidril gruplar tarafından bağlanarak tırnak, saç ve ciltte birikmeye başlamaktadır (Rodriguez v.d., 2003).

Arsenik toksik ve kanserojendir, ancak ne kadar alındığı (miktarı), nasıl alındığı (solunarak, yenerek veya içilerek, temas sonucu) ve maruz kalınma sıklığı sağlık etkilerini belirler (Lamm, 2001).

Yeraltı suyunda arsenik kirliliğinin önemi ve yarattığı sağlık etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi

için dünyada özellikle Bangladeş, Batı Bengal, Bihar, Hindistan, Çin, Şili, Yunanistan, İngiltere ve Nepal'de pek çok araştırma yapılmıştır. İçme suyu ile arseniğe maruz kalmanın etkileri arasında çeşitli deri lezyonları, nörolojik etkiler, hipertansiyon, kalp-damar hastalıkları, solunum rahatsızlıkları, şeker hastalığı, ödem, kangren, ülser, cilt ve başka kanser türleri, düşük, ölü doğum, prematüre doğumlar, halsizlik, zayıflama, uyuşukluk, kansızlık, bağışıklık sistemine verilen zararlar sayılabilir (Karagas v.d., 2002; Mukherjee v.d., 2003; Ali ve Tarafdar, 2003; Mazumder, 2003; Shrestha v.d., 2003; Chakraborti v.d., 2003; Xia ve Liu, 2004; Mukherjee v.d., 2005; Ehrenstein v.d., 2005; Rahman v.d., 2005; Caceres v.d., 2005; Ahamed v.d., 2006; Kelepertsis v.d., 2006).

Yüksek miktarda arsenik içeren suların kullanımına bağlı olarak ülkemizde de özellikle Kütahya – Emet'te sağlık sorunları ortaya çıkmıştır. Doğan ve v.d., (2005) tarafından İğdeköy ve Dulkadir köylerinde, 40 ayrı içme suyundan alınan örneklerde yapılan arsenik ölçümleri ve buna bağlı olarak oluşan cilt hastalıkları ile ilgili sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi arsenik konsantrasyonundaki artışla birlikte ortaya çıkan semptomlarda da artış gözlenmiştir. Ayrıca arsenikten etkilenen kadınların sayısının erkeklere göre biraz daha fazla olduğu da görülmektedir.

Tablo 4. Emet-Kütahya'da arseniğe bağlı olarak oluşan dermatolojik bulgular (Doğan v.d., 2005).

Semptom ve Bulgular	İğdeköy N (E/K)	Dulkadir N (E/K)	Toplam N (E/K)
	As = 8.9 – 9.3 mg/L	As = 0.3 – 0.5 mg/L	
Palmo plantar keratoz	17 (9/8)	1 (1/0)	18 (10/8)
Basal hücreli karsinom	2 (1/1)	0	2 (1/1)
Verru plantaris	3 (3/0)	0	3 (3/0)
Verru plantaris ve palmaris	1 (0/1)	0	1 (0/1)
Plantar keratodermi	1 (0/1)	0	1 (0/1)
Plantar hiperkeratoz	1 (0/1)	0	1 (0/1)
Pigmente nodüler lezyon	0	1 (0/1)	1 (0/1)
Hiperhidrozis	0	1 (0/1)	1 (0/1)
Keratik papüller	3 (0/3)	0	3 (0/3)
Bowenoid lezyonlar	1 (0/1)	0	1 (0/1)
Arsenikle ilgili bulgular toplamı	30 (14/16)	3 (1/2)	33 (15/18)

N: Nüfus, E: Erkeklerin sayısı, K: Kadınların sayısı.

6. ARITMA YÖNTEMLERİ

pH değeri 2.2'nin üzerinde olan sularda As(V) negatif yüklü olduğu için, pozitif yüklü metal hidroksitleri elektrostatik olarak çeker ve sudan nispeten daha kolay bir şekilde giderilir (Johnston v.d., 2001). pH değeri yaklaşık 9'a kadar As(III) yüksüz olduğundan dolayı As(V)'e göre daha az bir

verimle giderilebilir. Bu nedenle daha iyi bir arıtım için arsenitin arsenata oksidasyonunu sağlayan bir ön arıtma prosesi kullanılır (Fujimoto, 2001). Bu yöntem potasyum permanganat, sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksit gibi kimyasal madde ilavesi veya ozonlama ve foto oksidasyon olabilir (EPA, 2002).

Sulardan arsenik giderimi için kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar arasında;

- Koagülasyon, flokülasyon ve çökeltme,
- Membran filtrasyon,
- Adsorpsiyon,
- İyon değiştirme,
- Geçirimli reaktif bariyer,
- Elektrokinetik arıtma,
- Bitkilerle arıtma ve
- Biyolojik arıtma sayılabilir (EPA, 2002).

Bu yöntemlerden geçirimli reaktif bariyerler, elektrokinetik arıtma, bitkilerle arıtma ve biyolojik arıtma çeşitli uygulama zorlukları ve diğer yöntemlere göre çok daha düşük verim elde edilmesi nedeniyle genellikle fazla kullanım alanına sahip olmayan yöntemlerdir.

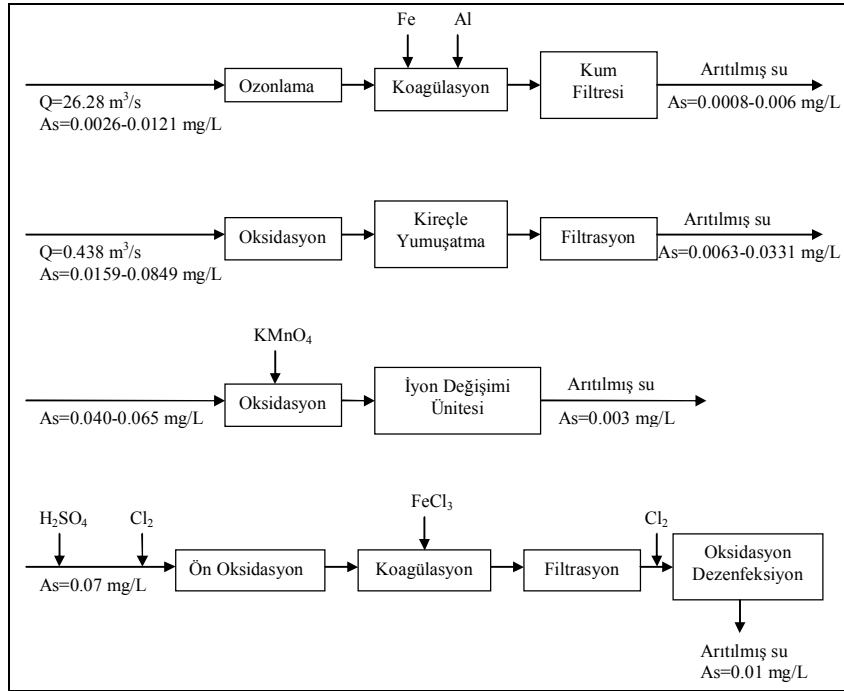
Amerika Çevre Koruma Ajansı tarafından sulardan arsenik giderimi için seçilen ve en uygun teknolojiler (Best Available Technologies) olarak adlandırılan 7 yöntem Tablo 5'de verilmiştir. Bu yöntemlerin belirlenmesinde yöntemlerin etkinliğinin kanıtlanmasının yanı sıra maliyet ve arazi kullanım durumları da göz önünde

bulundurulmuştur. Belirlenen yöntemlerin hepsi sulardan As(V) giderimi içindir (Johnston v.d., 2001).

Tablo 5. Sulardan As(V) giderimi için en uygun teknolojiler ve giderme verimleri (Johnston v.d., 2001).

Arıtma Yöntemi	Maksimum Verim, %
Aktif Alum	95
Koagülasyon/Filtrasyon	95
İyon değişimi	95
Kireçle yumuşatma	90
Ters Osmoz	>95
Elektrodiyaliz	85
Oksidasyon/filtrasyon	80

Arsenik giderimi için dünyanın çeşitli bölgelerinde kullanılan farklı arıtma tesislerine ait akım şemaları Şekil 5'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi sudaki arsenik konsantrasyonu farklı arıtma yöntemleri ile 10 µg/L'nin altına düşürülebilmektedir (EPA, 2002; Sancha, 2006).



Şekil 5. Dünyanın çeşitli bölgelerinde uygulanan arsenik arıtımı için örnek akım şemaları.

İçme sularından arsenik giderimi için en çok kullanılan yöntem koagülasyon ve flokülasyon yöntemidir. Bu yöntemde en çok kullanılan koagülantlar arasında demir ve alüminyum tuzları

gelmektedir (Hering v.d., 1997; Meng ve Korfiatis, 2001; Mamtaz ve Bache, 2001; Gregor, 2001; Saha v.d., 2001; Zouboulis ve Katsoyiannis, 2002; Han v.d., 2002; Lee v.d., 2003; Yuan v.d., 2003; Kang

v.d., 2003; Wickramasinghe v.d., 2004; Song v.d., 2006; Sancha, 2006). Kimyasal çökeltme dışında arsenik giderimi için membran filtrasyon yöntemi (Brandhuber ve Amy, 1998; Urase v.d., 1998), ters osmoz yöntemi (Kang v.d., 2000; Ning, 2002; Gholami v.d., 2006), adsorpsiyon ve iyon değişimi (Xu v.d., 2002; Zeng, 2003; Jay v.d., 2004; An v.d., 2005; Kundu ve Gupta, 2005; Lien ve Wilkin, 2005; Deschamps v.d., 2005; Sun v.d., 2006) yöntemleri de oldukça başarılı olarak kullanılmaktadır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’de 2005 yılında Resmi Gazete’de yayımlanan ve 2008 yılı başında geçiş süresinin bitmesi ile uygulanması zorunlu hale gelen İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ile arsenik için maksimum kirletici seviyesi 50 µg/L’den 10 µg/L’ye düşürülmüştür. Standarttaki bu düşme sonucu bazı bölgelerde arsenik sorun oluşturmaya başlamış ve giderilmesi gereken önemli bir parametre olarak ortaya çıkmıştır. Son yıllarda arseniğin toksik ve kanserojen kirletici olarak daha sık gündeme gelmesinin standartlardaki seviyenin düşürülmesinin yanı sıra önemli bir nedeni de küresel ısınmadır. Pek çok bölgede küresel ısınma, kuraklık, aşırı kullanım ve su yönetiminin iyi bir şekilde yapılamaması sonucu kuyu suyu seviyelerinde düşme gözlenmektedir. Su miktarının azalması ve suyun bulunduğu derinlikteki kaya türü, mineral ve cevher yapısı arsenik konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır.

Arseniğin düşük konsantrasyonlarda olması durumunda bile uzun yıllar alınması sonucu insan sağlığı üzerinde çok ciddi sonuçlara neden olmasından dolayı belediyelerin mutlaka yerleşim bölgelerine verilen suların arsenik seviyelerinin sınırların altında kalmasını sağlaması gerekmektedir. Arseniğin sulardan giderimi genellikle kolay işletilebilen ve büyük maliyetler gerektirmeyen sistemlerdir. Arsenik miktarı pek çok durumda mevcut arıtma tesislerinde yapılan küçük değişiklikler ve eklemeler sonucu standartların altına indirilebilmektedir.

Arseniğin doğal kaynakları arasında bulunan kaya türleri, mineral ve cevher yapısı, volkanik yapı ve bor yatakları ülkemizde özellikle Ege Bölgesi’nde rastlanan yapılar ve türler arasında yer almaktadır. Bundan dolayı özellikle yeraltı suyu olmak üzere içme ve kullanma sularında yüksek miktarda arsenik bulunması beklenmektedir. Ülkemizde birçok küçük yerleşim bölgesinde yaygın bir kullanıma sahip olan kuyulardan su sağlanması sonucu arseniğin önemli bir nüfusu etkilemesi söz konusu olabilmektedir. Bu

nedenle özellikle Ege Bölgesi olmak üzere ülkemizin her bölgesinde arsenik ile ilgili olarak bir tarama yapılması ve içme ve kullanma sularında arsenik konsantrasyonunun sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir.

8. KAYNAKLAR

Abernathy, C. 2001. United Nations synthesis report on arsenic in drinking water, chapter 3: exposure and health effects. World Health Organization, Genova.

Ahamed, S., Sengupta, M.K., Mukherjee, A., Hossain, M.A., Das, B., Nayak, B., Pal, A., Mukherjee, S.C., Pati, S., Dutta, R.N., Chatterjee, G., Mukherjee, A., Srivastava, R., Chakraborti, D. 2006. Arsenic groundwater contamination and its health effects in the state of Uttar Pradesh (UP) in Upper and Middle Ganga Plain, India: A Severe Danger. *Sci.Total Env.* 1-13.

Ali, M., Tarafdar, S.A. 2003. Arsenic in drinking water and in scalp hair by EDXRF: A Major recent health hazard in bangladesh. *J. Radio. Nuc. Chem.* 256, 297-305.

An, B., Steinwinder, T.R., Zhao, D. 2005. Selective removal of arsenate from drinking water using a polymeric ligand exchanger. *Wat. Res.* 39, 4993-5004.

Bhattacharyya, R., Chatterjee, D., Nath, B., Jana, J., Jacks, G., Vahter, M. 2003. High arsenic groundwater: mobilization, metabolism and mitigation—an overview in the bengal delta plain. *molecular and cellular biochem.* 253, 347-355.

Bissen, M., Frimmel, F.H. 2003. Arsenic—A review Part I: occurrence, toxicity, speciation, mobility. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 1, 9-18.

Brandhuber, P., Amy, G. 1998. Alternative methods for membrane filtration of arsenic from drinking water. *Desalination.* 117, 1-10.

Brookins, D.G. 1988. Eh-pH diagrams for geochemistry. Springer-Verlag. Berlin.

Caceres, D.D., Pino, P., Montesinos, N., Atalah, E., Amigo, H., Loomis, D. 2005. Exposure to inorganic arsenic in drinking water and total urinary arsenic concentration in a Chilean Population. *Env. Res.* 98, 151-159.

Chakraborti, D., Mukherjee, S.C., Pati, S., Sengupta, M.K., Rahman, M.M., Chowdhury, U.K., Lodh, D., Chanda, C.R., Chakraborti, A.K., Basu, G.K. 2003. Arsenic groundwater contamination in middle

Ganga Plain, Bihar, India: A Future Danger? *Env. Health Pers.* 111, 1194-1201.

Chen, Y., Yao, J., Wang, F., Zhou, Y., Chen, H., Gai, N., Chen, H., Chen, K., Maskow, T., Ceccanti, B., Trebse, P., Zaray, G. 2008. Toxic Effect of inorganic arsenite [As(III)] on metabolic Activity of *Bacillus subtilis* by Combined Methods. *Curr. Microbiol.* 57, 258-263.

Chou, H.S.J., Rosa, C.T.D. 2003. Case studies-arsenic. *J. Hyg. Env. Health.* 206, 381-386.

Çamtepe, Y. 2006. Kolonkaya kuyusunda arsenik. *Akşam Gazetesi*. Uşak.

Çolak, M., Gemici, Ü., Tarcan, G. 2003. The effects of colemanite deposits on the arsenic concentrations of soil and groundwater in Igdeköy-Emet, Kütahya, Turkey. 149, 127-143.

Çöl, M., Çöl, C. 2004. Arsenic concentrations in the surface, well, and drinking waters of the Hisarcık, Turkey Area. 10, 461-465.

Deschamps, E., Ciminelli, V.S.T., Höll, W.H. 2005. Removal of As(III) and As(V) from water using a natural Fe and Mn enriched sample. *Wat. Res.* 39, 5212-5220.

Doğan, M., Doğan, A.U. 2007. Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kutahya Region of the Western Anatolia, Turkey. *Env. Geochem. Health.* 29, 119-129.

Doğan, M., Doğan, A.U., Celebi, C., Baris, Y.I. 2005. Geogenic arsenic and survey of skin lesions in the Emet Region of Kutahya, Turkey. *Indoor Built Env.* 14(6), 533-536.

Dousova, B., Machovic, V., Kolousek, D., Kovanda, F., Dornicak, V. 2003. Sorption of As(V) Species from aqueous systems. water, air, and Soil Poll. 149, 251-267.

Duker, A.A., Carranza, E.J.M., Hale, M. 2005. Arsenic geochemistry and health. *Env. Int.* 31, 631-641.

Ehrenstein, O.S., Mazumder, D.N.G., Yuan, Y., Samanta, S., Balmes, J., Sil, A., Ghosh, N., Hira-Smith, M., Haque, R., Purushothamam, R., Lahiri, S., Das, S., Smith, A.H. 2005. Decrements in lung function related to arsenic in drinking water in West Bengal, India. *Am. J. Epidem.* 162, 533-541.

Erdol, S., Ceylan, S. 1997. Bursa yöresinde içme ve kullanma sularında arsenikle kirlenmenin araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi.* 16, 119-127.

Farias, S.S., Casa, V.A., Vazquez, C., Ferpozzi, L., Pucci, G.N., Cohen, I.M. 2003. Natural contamination with arsenic and other trace elements in groundwaters of Argentina Pampean Plain. *Sci. Tot. Env.* 309, 187-199.

Fujimoto, M. 2001. The Removal of arsenic from drinking water by carbon adsorption. Master of Science Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan State University.

Gemici, Ü., Tarcan, G., Helvacı, C., Somay, A.M. 2008. High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç Borate Deposits (Western Turkey). *App. Geochemistry.* 23, 2462-2476.

Gholami, M.M., Mokhtari, M.A., Aameri, A., Fard, M.R.A. 2006. Application of reverse osmosis technology for arsenic removal from drinking Water. *Desalination.* 200, 725-727.

Gregor, J. 2001. Arsenic removal during conventional aluminium-based drinking water Treatment. *Wat. Res.* 35, 1659-1664.

Han, B., Runnells, T., Zimbron, J., Wickramasinghe, R. 2002. Arsenic removal from drinking water by flocculation and microfiltration. *Desalination.* 145, 293-298.

Harvey, C.F., Ashfaq, K.N., Yu, W., Badruzzaman, A.B.M., Ali, M.A., Oates, P.M., Michael, H.A., Neumann, R.B., Beckie, R., Islam, S., Ahmed, M.F. 2006. Groundwater dynamics and arsenic contamination in Bangladesh. *Chem. Geo.* 228, 112-136.

Hering, J.G., Chen, P.Y., Wilkie, J.A., Elimelech, M. 1997. Arsenic removal from drinking water during coagulation. *J. Env.Eng.* 123 (8), 800-807.

Jain, A., Raven, K.P., Loeppert, R.H. 1999. Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: surface charge reduction and net oh-release stoichiometry. *Env. Sci. & Tech.* 33 (8), 1179-1184.

Jay, J.A., Blute, N.K., Hemond, H.F., Durant, J.L. 2004. Arsenic-sulfides confound anion exchange resin speciation of aqueous aarsenic. *Wat. Res.* 38, 1155-1158.

Johnston, R., Heijnen, H., Wurzel, P. 2001. United Nations synthesis report on arsenic in drinking water, chapter 6: safe water technology. World Health Organization, Geneva.

- Kang, M., Chen, H., Sato, Y., Kamei, T., Magara, Y. 2003. Rapid and economical indicator for evaluating arsenic removal with minimum aluminum residual during coagulation process. *Wat. Res.* 37, 4599-4604.
- Kang, M., Kawasaki, M., Tamada, S., Kamei, T., Magara, Y. 2000. Effect of pH on the removal of arsenic and antimony using reverse osmosis membranes. *Desalination*. 131, 293-298.
- Karagas, M.R., Stukel, T.A., Tosteson, T.D. 2002. Assessment of Cancer Risk and Environmental levels of arsenic in New Hampshire. *Int. J. Hyg. Env. Health*. 205, 85-94.
- Kartinen, E.O., Martin, C.J. 1995. An overview of arsenic removal processes. *Desalination* 103, 79-88
- Kelepertsis, A., Alexakis, D., Skordas, K. 2006. Arsenic, antimony and other toxic elements in the drinking water of eastern thessaly in greece and its possible effects on human health. *Env. Geol.* 50, 76-84.
- Kumaresan, M., Riyazuddin, P. 2001. Overview of speciation chemistry of arsenic. *Current Science*. 80(7), 837-846.
- Kundu, S., Gupta, A.K. 2005. Analysis and modeling of fixed bed column operations on As(V) removal by adsorption onto Iron Oxide-coated Cement (IOCC). *J. Coll. Int. Sci.* 290, 52-60.
- Lamm, S.H. 2001. Health effects of arsenic. *Consultants in Epidemiology & Occupational Health*.
- Lee, Y., Um, I., Yoon, J. 2003. Arsenic(III) Oxidation by iron(VI) (Ferrate) and subsequent removal of arsenic(V) by iron(III) coagulation. *Env. Sci. Tech.* 37, 5750-5756.
- Lien, H., Wilkin, R.T. 2005. High-level arsenite removal from groundwater by zero-valent iron. *Chemosphere*. 59, 377-386.
- Mamtaz, R., Bache, D.H. 2001. Low-cost Technique of arsenic removal from water and its removal mechanism. **International Workshop on Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water**. Bangladesh.
- Mandal, B.K., Suzuki, K.T. 2002. Arsenic round the world: A Review. *Talanta*. 58 (1), 201-235.
- Matschullat, J. 2000. Arsenic in the geosphere-a review. *Sci. Total Env.* 249, 297-312.
- Mazumder, D.N.G. 2003. Chronic Arsenic toxicity: clinical features, epidemiology, and Treatment: Experience in West Bengal. *J. Env. Sci. Health*. 1, 141-163.
- Meng, X., Korfiatis, G.P. 2001. Removal of arsenic from bangladesh well water using a household filtration System. **International Workshop on Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water**. Bangladesh.
- Mondal, P., Majumder, C.B., Mohanty, B. 2006. Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated Water: Recent Developments. *J. Haz. Mat.* B137, 464-479.
- Moore, K. 2005. Treatment of arsenic contaminated groundwater using oxidation and membrane filtration. Master of Applied Science in Civil Engineering, University of Waterloo.
- Mukherje, S.C., Rahman, M.M., Chowdhury, U.K., Sengupta, M.K., Lodh, D., Chanda, C.R., Saha, K.C., Chakraborti, D. 2003. Neuropathy in arsenic toxicity from groundwater arsenic contamination in West Bengal, India. *J. Env. Sci. Health*. 1, 165-183.
- Mukherjee, S.C., Saha, K.C., Pati, S., Dutta, R.N., Rahman, M.M., Sengupta, M.K., Ahamed, S., Lodh, D., Das, B., Hossain, M.A., Nayak, B., Mukherjee, A., Chakraborti, D., Dutta, S.K., Palit, S.K., Kaies, I., Barua, A.K., Asad, K.A. 2005. Murshidabad-One of the nine groundwater arsenic-affected districts of west bengal, India. Part II: Dermatological, Neurological, and Obstetric Findings. *Clinical Toxicology*. 43, 835-848.
- Ning, R.Y. 2002. Arsenic removal by reverse osmosis. *Desalination*. 143, 237-241.
- Oruç, N. 2004. "Emet-Kütahya içme sularında arsenik düzeyi, önemi ve bor yatakları ile ilişkisi" **II. Uluslararası Bor Sempozyumu**, Eskişehir.
- Rahman, M.M., Sengupta, M.K., Ahamed, S., Chowdhury, U.K., Hossain, A., Das, B., Lodh, D., Saha, K.C., Pati, S., Kaies, I., Barua, A.K., Chakraborti, D. 2005. The magnitude of arsenic contamination in groundwater and its health effects to the inhabitants of the jalangi-one of the 85 arsenic affected blocks in West Bengal, India. *Sci. Total Env.* 338, 189-200.
- Resmî Gazete. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik. 2005. T.C. Sağlık Bakanlığı, Sayı 25730.
- Roy, P., Saha, A. 2002. Metabolism and toxicity of arsenic: A Human Carcinogen. *Current Sci.* 82(1), 38-45.

- Sadiq, M., Alam, I. 2004. Arsenic chemistry in a groundwater aquifer from the eastern province of Saudi Arabia. *Water, Air & Soil Poll.* 89, 67-76.
- Sadiq, M., Locke, A., Spiers, G., Pearson, D.A.B. 2002. Geochemical behavior of arsenic in Kelly Lake, Ontario. *Water Air and Soil Poll.* 141, 299-312.
- Saha, J.C., Dikshit, K., Bandyopadhyay, M. 2001. Comparative studies for selection of technologies for arsenic removal from drinking water. **International Workshop on Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water.** Bangladesh.
- Sancha, A.M. 2006. Review of coagulation technology for removal of arsenic: Case of Chile. *J. Health Popul. Nutr.* 24, 267-272.
- Shrestha, R.R., Shrestha, M.P., Upadhyay, N.P., Pradhan, R., Khadka, R., Maskey, A., Maharjan, M., Tuladhar, S., Dahal, B.M., Shrestha, K. 2003. Groundwater arsenic contamination, its health impact and mitigation program in nepal. *J. Env. Sci. Health.* 1, 185-200.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. 2002. A Review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters, *App. Geochem.* 17, 517-568.
- Song, S., Lopez-Valdivieso, A., Hernandez-Campos, D.J., Peng, C., Monroy-Fernandez, M.G., Razo-Soto, I. 2006. Arsenic removal from high-arsenic water by enhanced coagulation with ferric ions and coarse calcite. *Water Res.* 40, 364-372.
- Steinmaus, C.M., Yuan, Y., Smith, A.H. 2005. The temporal stability of arsenic concentrations in well water in Western Nevada. *Env. Res.* 99, 164-168.
- Sun, H., Wang, L., Zhang, R., Sui, J., Xu, G. 2006. Treatment of groundwater polluted by arsenic compounds by zero valent Iron. *J. Haz. Mat.* B129, 297-303.
- U.S. EPA. 2002. Arsenic treatment technologies for soil, waste, and water, U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati.
- U.S. EPA. 2003. Workshop on Managing Arsenic risks to the Environment: Characterization of Waste, Chemistry, and Treatment and Disposal.
- U.S. EPA. 2003a. Design Manual: Removal of arsenic from drinking water by ion exchange.
- United Nations Development Programme. 2006. *Human Development Report 2006 Beyond Scarcity: Power, Poverty and Global Water Crisis.*
- Urase, T., Oh, J., Yamamoto, K. 1998. Effect of pH rejection of different species of arsenic by nanofiltration. *Desalination.* 117, 11-18.
- Wang, S., Mulligan, C.N. 2004. Arsenic in Canada. **Proceedings of the 57th Canadian Geotechnical Conference.** 1-18. Quebec, Canada.
- Wang, S., Mulligan, C.N. 2006. Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, Behaviour and Distribution. *Sci. Tot. Env.* 366, 701-721.
- WHO, 1993. Guidelines for drinking-water Quality. World Health Organization. Genova.
- Wickramasinghe, S.R., Han, B., Zimbron, J., Shen, Z., Karim, M.N. 2004. Arsenic removal by coagulation and filtration: comparison of groundwaters from the United States and Bangladesh. *Desalination.* 169, 231-244.
- Xia, Y., Liu, J. 2004. An overview on chronic arsenism Via Drinking Water in PR China. *Toxicology.* 198, 25-29.
- Xu, Y., Nakajima, T., Ohki, A. 2002. Adsorption and removal of arsenic(V) from drinking water by aluminum-loaded Shirasu-zeolite. *J. Haz. Mat.* B92, 275-287.
- Yoshida, T., Yamauchi, H., Sun, G.F. 2004. Chronic health effects in people exposed to arsenic via the drinking water: Dose-Response Relationships in Review. *Toxicol. and App. Pharmacology* 2004; 198:243-252.
- Yuan, T., Luo, Q., Hu, J., Ong, S., Ng, W. 2003. A study on arsenic removal from household drinking water, *J. Env. Sci. Health* A38. 1731-1744.
- Yücer, M.M. 2008. *Ruhsatlı tarım ilaçları 2008*, Hasat Yayıncılık, İstanbul, 355 s.
- Zeng, L. 2003. A Method for preparing silica-containing iron(III) oxide adsorbents for arsenic removal. *Wat. Res.* 37, 4351-4358.
- Zhang, G.S., Qu, J.H., Liu, H.J., Liu, R.P., Li, G.T. 2007. Removal mechanism of as(III) by a novel Fe-Mn binary oxide adsorbent: Oxidation and Sorption, *Env. Sci. Techn.* 41, 4613-4619.
- Zouboulis, A., Katsoyiannis, I. 2002. Removal of arsenates from contaminated water by coagulation-direct filtration. *Sep. Sci. Tech.* 37 (12), 2859-2873.