

MERKEZİ İÇME VE KULLANMA SUYU ARITMA SİSTEMLERİNDE UYGULANAN YÖNTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ: İZMİR ÖRNEĞİ

Doç.Dr. Deniz DÖLGEN
deniz.dolgen@deu.edu.tr

Dr. Hasan SARPTAŞ
hasan.sarptas@deu.edu.tr

Prof.Dr. M.Necdet ALPASLAN
necdet.alpaslan@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Son yıllarda, su ihtiyacının büyük kısmının karşılandığı yeraltı su rezervlerinin giderek ihtiyacı karşılayamaz hale gelmesi, içme ve kullanma suyu temininde yüzeysel su (akarsular ve göller) kaynaklarından yararlanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Ancak, uzun yıllar boyunca yüzeysel su kaynaklarının atıkları kabul eden birer alıcı ortam olarak kullanılması sonucunda birçok akarsu havzasında su kalitesi bozulmuştur (TÜSİAD, 2008). Bu nedenle, yüzeysel suların içme ve kullanma suyu ihtiyacı için kullanılması durumda hemen daima arıtma işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Günümüz itibariyle özellikle büyük kentler başta olmak üzere, birçok yerleşimde yüzeysel sular içme ve kullanma suyu amacıyla tüketime sunulmakta, ancak sunum öncesi mutlaka içme suyu arıtma tesislerinden geçirilerek suyun kalitesi istenilen niteliğe getirilmektedir. Öte yandan, son zamanlarda bir taraftan ilgili yasa ve yönetmeliklerin sıkılaştırılması, diğer taraftan yeraltı sularının kalitesinin bozulması sonucunda yüzeysel suların yanı sıra yeraltı sularının da arıtılarak şebekeye verilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'nin verilerine göre (Belediye İçme ve Kullanma Suyu Temel Gösterge Sonuçları); ülkemizde içme ve kullanma suyu arıtma tesisi (İSAT) ile hizmet verilen belediye sayısı son yıllarda artış göstermiştir. İSAT ile hizmet verilen belediye sayısı 2001 yılında 236 iken, 2006 yılında 413 olmuştur. Belediye İçme ve Kullanma Suyu Temel Gösterge Sonuçları özellikle 2002 yılından sonra, içme suyu arıtma tesisi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranında kayda değer bir artış görüldüğünü ortaya koymakta; 2006 yılına gelindiğinde toplam belediye nüfusunun yarısına İSAT ile hizmet verildiği belirtilmektedir (www.tuik.gov.tr). Türkiye'de içme ve kullanma suyu arıtımında kullanılan arıtma tesisleri “fiziksel”, “konvansiyonel” ve “ileri – gelişmiş” olarak sınıflandırmaktadır (Çevre Durum Raporu, 2007). TÜİK Belediye İçme ve Kullanma Suyu Temel Gösterge Sonuçları da bu gruptandırmaya göre değerlendirmektedir. Yapılan gruptandırmada fiziksel arıtma ile sadece klorlama veya doğrudan filtrasyon ve klorlama kastedilmektedir. Ancak, yapılan sınıflandırmadaki klorlama işleminin “fiziksel” bir işlem olup olmadığı tartışılabilir bir husustur. Konvansiyonel arıtma kapsamında havalandırma (gerektiğinde), kimyasal arıtma (pıhtılaştırma/yumaklaştırma/çökeltim), filtrasyon, dezenfeksiyon (klor ile) işlemleri ele alınmaktadır. İleri arıtma işlemleri konvansiyonel arıtmayı takiben oksidasyon (ozonlama veya kimyasal), adsorpsiyon (aktif karbon), iyon değişimi (resin), membran sistemlerin bir veya daha fazlası olarak açıklanmaktadır (Çevre Durum Raporu, 2007). Mevcut verilere göre arıtma tesislerinde yılda toplam 2.426.639.000 m³ su arıtılmaktadır (<http://www.tuik.gov.tr>). Arıtılan suyun önemli bir kısmı (yaklaşık %97) konvansiyonel tesislerde (toplam 68 adet) işlem görmekte, yaklaşık %2.6'lık kısmı sadece fiziksel işlemlerden geçirilmektedir. Ülkemizde fiziksel arıtma tesisi sayısı 69 olup, bu tesislerde yılda toplam 63.528.000 m³ su arıtılmaktadır. İleri arıtma uygulanan tesis sayısı ise

*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

henüz çok az (2 adet) olup işletmeye geçtiklerinde yılda 675.000 m³ su işlem görecektir. Ancak, son zamanlarda ileri arıtma amacıyla kullanılan tesislerin sayısında artış olduğu görülmektedir. Örneğin, Kırıkkale’de sülfat, sertlik, klorür ve diğer organik maddelerin giderimi amacıyla ters ozmos sisteminin bulunduğu bir ileri arıtma tesisi kurulmuştur. İzmir ve Manisa (Soma) İllerinde yeraltı suyundaki arseniğin arıtımına yönelik tesislerin ihaleleri yapılarak inşaatına başlanmıştır. Giderek sıkılaştırılan standartların yanı sıra özellikle insan kaynaklı (antropojenik) etkiler ile su kalitesindeki bozunma sonucunda önümüzdeki yıllarda bu gibi tesislerin sayısında artış olması beklenebilir.

Sunulan bildiriye genel olarak kentsel yerleşimlerde kullanılan konvansiyonel içme suyu arıtma tesislerinde uygulanan arıtma yöntemleri hakkında bilgi verilerek, gelişen ihtiyaçlar doğrultusunda gündeme gelen teknolojiler irdelenmiştir. İzmir kenti içme suyu arıtma tesisleri tanıtılarak mevcut sistemleri dikkate alarak yapılabilecek iyileştirmeler tartışılmıştır.

2. KONVANSİYONEL İÇME VE KULLANMA SUYU ARITMA TESİSLERİNDE UYGULANAN YÖNTEMLER

Konvansiyonel su arıtma yöntemleri insan ve çevre sağlığı bakımından risk oluşturan kimyasal ve mikrobiyolojik kirliliklerin giderilmesinde uzun zamandır kullanılmaktadır. Yukarıda değinildiği gibi konvansiyonel arıtma sistemlerinde havalandırma (oksijen içeriği düşüğe), çökeltim (yüzeysel su kaynaklarından doğrudan su alınıyorsa), kimyasal arıtma (pıhtılaştırma/yumaklaştırma/çökeltim), filtrasyon, dezenfeksiyon (genellikle klorlama) işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca, sertliğin çok yüksek olduğu yerlerde yumuşatma; demir ve mangan içeriğinin yüksek olduğu durumlarda demir ve mangan giderimi işlemleri yapılmaktadır.

Türkiye’de uygulanan içme ve kullanma suyu arıtma teknolojileri genellikle benzerdir; havalandırma, pıhtılaştırma, yumaklaştırma, çökeltim, kum filtrasyonu ve dezenfeksiyon ünitelerini içermektedir. Son yıllarda, bunlara birincil (ön) dezenfeksiyon amacıyla ozon, ileri arıtma amacıyla aktif karbon adsorpsiyonu, ters ozmosun eklendiği görülmektedir. Konvansiyonel arıtma tesisleri genellikle yüzeysel su kaynaklarının kullanılması durumunda teşkil edilmekte olup, kaynak veya kuyu sularının kullanıldığı bölgelerde ise su sadece klorlama işlemini takiben şebekeye verilmektedir.

Bu bölümde içme ve kullanma suyu amacıyla uygulamaları sıklıkla görülen bazı arıtma yöntemleri (kimyasal arıtma, filtrasyon ve dezenfeksiyon) tanıtılarak olumlu/olumsuz yönleri hakkında bilgi verilmektedir.

Kimyasal Arıtma

Kimyasal arıtma süreçleri genel olarak kimyasal madde ilavesi gerektiren tüm yöntemleri kapsamaktadır. Nötralizasyon (pH ayarlama), pıhtılaştırma/yumaklaştırma, kimyasal oksidasyon/redüksiyon ve dezenfeksiyon bu kapsamda ele alınabilir. Sunulan bildiriye, kimyasal arıtma yöntemleri arasından pıhtılaştırma/yumaklaştırma üzerinde durulmuş; dezenfeksiyon yöntemi kimyasal maddelerin yanı sıra fiziksel işlemler (UV) de dikkate

*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

alınarak açıklanmış olması nedeniyle kimyasal arıtma başlığının dışında tutularak tanıtılmıştır.

Pıhtılaştırma/yumaklaştırma/çökeltim süreçleri; i) kolloidal ve kısmen askıda halde bulunan maddelerin uzaklaştırılması, ii) inorganik ve organik kirliliklerin giderimi, iii) renk giderimi, iv) tat ve koku oluşturan maddelerin uzaklaştırılması, v) patojen organizmaların kontrolü, vi) alg ve plankton giderimi, vii) sertlik giderimi gibi amaçlarla uygulanmaktadır. Pıhtılaştırma (koagülasyon) sürecinde taneciklerin (kolloid) bir araya gelmesini engelleyen elektriksel yüklerin ortadan kaldırılması amacıyla suya ters yüklü iyonlar eklenir ve bu şekilde taneciklerin itme etkisi azaltılarak birleşmesi sağlanır. Yumaklaştırma (flokülasyon) işlemi ile bir araya gelen taneciklerin flok (yumak) oluşturarak daha iri ve çökebilir forma sahip olması mümkün olur. Yumaklaştırmanın ardından çökeltim veya flotasyon işlemleri ile katı-sıvı ayırımı gerçekleşir.

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemlerinde çeşitli koagülantlar, koagülant yardımcıları ve polielektrolitler kullanılmaktadır. Değerliği yüksek pozitif iyonlar (demir ve alüminyum tuzları gibi) koagülasyon işlemi için daha etkin bulunmakta, bu nedenle kullanımı tercih edilmektedir. Tablo 1’de içme suyu arıtımında kimyasal arıtma süreçlerinde kullanılan kimyasallar listelenmektedir. Gereğinden fazla miktarda kimyasal kullanılması (örneğin demir ve alüminyum) durumunda renk değişimi ve borularda birikme gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Literatürde demir tuzlarının kullanılması halinde arıtılmış sudaki demir konsantrasyonunun 0.3 mg/L’nin üzerinde olması; alüminyum konsantrasyonunun ise 0.2 mg/L’den büyük olması halinde belirtilen sorunların ortaya çıkabileceğine dikkat çekilmektedir (WHO, 2004). Ayrıca, kimyasal kullanımı işletme maliyetlerini de etkileyebilmektedir. Bu nedenlerle kimyasal arıtma uygulamalarında ham suyun özelliklerine göre en uygun dozun ve işletme özelliklerinin tespit edilmesi (jar testi) önemli olmaktadır.

Tablo 1. İçme Suyu Arıtımında Kullanılan Kimyasallar

Koagülant	Koagülasyon yardımcıları	pH ayarlama
Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3$]	Kalsiyum oksit (CaO)	Hidroklorik asit (HCl)
Demirklorür ($FeCl_3$)	Poliakrilamid (C_3H_5NO) _n	Sülfürik asit (H_2SO_4)
Demirsülfat [$Fe_2(SO_4)_3$]	Sodyum silikat (Na_2SiO_3)	Sodyum hidroksit (NaOH)
Alüminyum klorhidrat [$AlCl(OH)_3$]		Sodyum karbonat (Na_2CO_3)
Poli alüminyum klorür [$Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$]		Sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$)
Poli alüminyum silikasülfat [$Na_{12}(AlO_2)(SiO_2)_{12}xH_2O$]		Kireç [$Ca(OH)_2$]
Sodyum aluminat ($NaAlO_2$)		Sodyum silikat (Na_2SiO_3)

Koagülasyon ve flokülasyon işleminin ardından oluşan yumakların uzaklaştırılması gereklidir. Bu amaçla çoğunlukla çökeltim havuzları kullanılmaktadır. Çökeltme türü ve arıtma tesisindeki kullanım amacına göre yatay veya düşey akışlı, dikdörtgen, kare veya dairesel planlı çökeltim havuzları tasarlanabilir. Kimyasal (floklu) arıtma amacıyla çoğu zaman derin havuzlarda düşey akış uygulanmasıyla daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Derinliğin yüksek olduğu havuzlarda, suyun yukarı çıkış hızının kademeli olarak azalması

*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

sonucunda tabandan belli bir yükseklikte sabit bir çamur tabakası oluşur. Flok konsantrasyonunun çok yüksek olduğu bu tabaka küçük çaptaki katı maddeler için adeta bir filtre görevi görür. Çamur tabakasından geçen arıtılmış su ise üst kısımdaki kanallar vasıtasıyla toplanıp ana toplama kanalına boşalır. Çamur tabakası belirli bir yoğunluğa geldiğinde çamur konilerinde biriken çamur tahliye edilir. Yukarı akışlı çamur battaniyesi (upflow sludge blanket) olarak isimlendirilen bu sistemlerin son yıllarda uygulamalarının arttığı görülmektedir. Ülkemizde İstanbul Büyük Çekmece ve İkitelli İSAT' nin yanı sıra Urfa, Eskişehir, Ankara, Konya, İzmit İSAT' nde de bu şekil çökeltim işlemi uygulanmaktadır. Çamur yataklı çökeltim havuzlarında (durultucu) yumak oluşumu işleminin çamur yatağı içinde de devam etmesi, havuz hacimlerinin küçük olmasının getirdiği daha düşük maliyet (kompakt sistem), yatay akışlı sistemlere göre daha yüksek yüzeysel hidrolik yüklemelerde verimle işletilebilmesi gibi üstünlükleri olduğu ifade edilmektedir (www.degremont.com).

1954 yılında Degramont firması tarafından patenti alınan Pulsatör teknolojisi bu sistemlerin tipik bir örneğidir ve çok sayıda yerleşimde uygulanmaktadır (Bakınız Şekil 1). Pulsatörde ham su kimyasal madde ilavesini takiben cazibeyle vakum bölmesine geçer. Vakum bölmesinde pompa ile hava emilerek su seviyesinin yükselmesi sağlanır. Daha sonra zaman ayarlayıcısıyla kontrol edilen vana açılarak bölme atmosfere açık hale getirilir. Böylece bölmedeki suyun çökeltim havuzu tabanında yer alan delikli boru vasıtasıyla havuza verilmesi mümkün olur. Bu işlemin uygun otomasyon sistemiyle ayarlanması ile aralıklı olarak suyun verilmesi sağlanır. Ham suyun aralıklı olarak (kısa sürede ve yüksek hızla) verilip ardından daha uzun süreyle sakin koşulların teminiyle çamur tabakası askıda tutulur, her su verilisinde de karışım sağlanarak yumak oluşumu desteklenir. Çamur battaniyesinin üst seviyesi çamurun belli aralıklarla atılmasıyla kontrol edilirken, arıtılmış su yukarıda yer alan deliklerden savaklanmak suretiyle alınır. İzmir Tahtalı, İstanbul Emirli-Ömerli İSAT' nde örnekleri görülen sistemlerin çamur sıyırma düzeneğinin bulunmaması, vakum pompası dışında önemli bir mekanik ekipmana gerek duyulmaması, yoğun çamur elde edilmesi sonucu çamur hacminin azalması, yüksek verimli olması, düşük alan ihtiyacı, ekonomik olması başlıca üstün özellikleridir. Bunlara karşın kalifiye işletmeci gereksinimi, işletmeye alma aşamasında çamur battaniyesinin oluşması için zamana ihtiyaç olması gibi dezavantajları olduğu da belirtilmektedir.

Hızlı karıştırma/yumaklaştırma ve çökeltim işlemlerinin tek bir üniteye yapıldığı diğer kompakt sistemler dekantörlerdir. Şekil 2' de tipik görünüşü sunulan bu sistemlerde ham su ilk olarak koagülant eklemesinin yapıldığı bölüme, ardından flokülasyon bölümüne geçer. Çamur geri devrinin gerçekleştiği bu tip durultucularda karıştırma, yumaklaştırma ve çöktürme havuzlarının bir arada olması nedeniyle yatırım maliyeti düşüktür. Ancak, askıda katı madde içeriğinin düşük olduğu durumlarda sistem performansının yetersiz kalabileceği belirtilmektedir. Ülkemizde bu sistemlerin İstanbul Kağıthane, Elmalı ve Osmaniye-Ömerli İSAT' nde uygulamaları bulunmaktadır.

Filtrasyon

İçme suyu arıtımındaki en eski ve en çok kullanılan yöntemlerden birisi filtrasyondur. Filtrasyon işlemi konvansiyonel içme suyu arıtımının olmazsa olmaz ünitelerinden biri olup, arıtma mekanizması sudaki safsızlıkların filtre malzemesi arasındaki boşluklarda tutulmasıdır. Filtrasyon sırasında süzme, çökeltim, adsorpsiyon, yumaklaşma ve biyolojik süreçler etkili olmaktadır. Bu mekanizmaların sonucunda suda askıda halde bulunan katı maddelerin, bulanıklığın, organik bileşiklerin, kil, silt, demir ve mangan gibi inorganik maddelerin ve patojen mikroorganizmaların uzaklaştırılması sağlanmaktadır.

Filtreler genellikle suyun geçiş hızına bağlı olarak (yüzeysel hidrolik yük veya filtrasyon hızı) yavaş kum filtreleri (YKF), hızlı kum filtreleri (HKF), basınçlı filtreler (BF) şeklinde gruplandırılabilir. Ayrıca batık filtre, kuru filtre veya aşağı akışlı-yukarı akışlı filtreler gibi uygulamalar da görülebilmektedir. Kentsel içme suyu arıtma tesislerinde, daha yaygın olarak YKF (düşük debiler – nüfuslar için) veya HKF kullanılmaktadır. Basınçlı filtreler ise alan tasarrufu avantajı nedeniyle genellikle sanayi tesislerindeki su hazırlama ünitelerinde tercih edilmektedir.

Yavaş kum filtreleri (YKF) 1900'lerden bu zamana değin pek çok kentte kullanılmıştır. Denenmişliği, güvenilirliği yüksek olan YKF, özellikle sudan kaynaklanan hastalıkların kontrolünde (Giardia ve Cryptosporidium, bakteri ve virüsler) etkin olarak kullanılır. Bu özelliklerine karşın, çok büyük alan gereksinimi olduğu için kullanım alanı kısıtlıdır. YKF'lerinde dane çapı oldukça küçük filtre malzemesi kullanılır (0.2-0.6 mm) ve dolayısıyla su filtre ortamından çok düşük hızlarda geçer (<1 m/saat). Filtrasyon işlemi esas olarak üst tabakada gerçekleşir. Bu nedenle YKF tıkanığında temizlenmesi için üstten ince bir kum tabakası sıyrılır ve atılır. Temizleme sıklığı gelen suyun özelliklerine göre hafta veya ay(lar) mertebesindeir. Gerek başlangıçta, gerek temizleme sonrası YKF'nin devreye alınmasında uzun olgunlaşma süreleri (günler, hatta haftalar) gerektirmesi başlıca olumsuz özelliklerindedir. YKF'ne filtrasyon sürecinde mikroorganizmaların arıtma sürecine katkısı olmasından dolayı klorlu su verilmesi uygun olmaz. Bu nedenle filtrasyon işleminden sonra klorlama yapılması gerekir. Ayrıca, bulanıklığın düşük olduğu renk, alg gibi kirliliklerin suda bulunmadığı koşullarda uygulanması tercih edilir. Aksi takdirde YKF'nin önüne HKF konmak suretiyle son ünite olarak kullanılması görülebilen uygulamalardandır.

Hızlı kum filtreleri ise (HKF) en yaygın kullanılan filtrasyon üniteleridir. Nispeten iri granüler malzemenin (0.8-1.2 mm) kullanıldığı HKF'nde filtrasyon hızı 5-20 m/saat arasında değişmektedir. Bu nedenle alan ihtiyacı YKF'ne oranla daha az, dolayısıyla kullanımı yaygın ünitelerdir. Ancak, mekanik ekipman ihtiyacı fazla olup, işletimi daha karmaşıktır. Ham su içindeki safsızlıklar filtre tabakasının derinliklerine kadar girerek tutulur (yaklaşık yatak kalınlığının üçte biri). Dolayısıyla YKF'nde olduğu gibi sıyırma mekanizmasıyla temizlenmesi söz konusu olmadığından temizleme işlemi tabandan hava (bazen) ve su vermek suretiyle geri yıkama şeklinde yapılır. Temizleme zamanını genellikle tıkanma mertebesi, daha teknik bir ifadeyle filtre içindeki basınç durumu belirler. Temizleme sıklığı ham suyun özelliklerine bağlı olmakla beraber, genellikle saatler veya gün mertebesindeir. Ayrıca, temizleme işlemini takiben birkaç dakika içinde devreye alınabilmesi önemli bir avantajdır. HKF uygulamalarında, geri yıkama suyu için bir rezerv hacim oluşturulması ve daha sonra geri yıkama suyunun uzaklaştırılmasına yönelik arıtma sistemlerinin teşkili gerekmektedir.

*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

HKF genellikle pıhtılaştırma/yumaklaştırma ve çökeltim süreçlerini takiben kullanılmaktadırlar. Koagülant etkisiyle destabilize olmuş partiküller filtre malzemesinde daha kolay tutulur. Bazı durumlarda koagülasyon ve flokülasyon ünitelerini takiben çökeltim yerine doğrudan filtrelerin kullanılması tercih edilmekte; bazen de kimyasal arıtma işlemi yapılmaksızın filtrasyon (doğrudan filtrasyon) uygulanabilmektedir.

Uygulamada konvansiyonel filtrelerin (HKF) yanı sıra çok katmanlı filtrelere de rastlanabilmektedir. Çok katmanlı filtreler değişik boyutlardaki farklı filtre malzemelerinin bir arada kullanıldığı ünitelerdir. Aşağı doğru filtre malzemesinin büyüklüğü yani çapı azalır, buna karşın yoğunluğu artar. Çoğunlukla kum malzeme antrasit ve garnet ile birlikte kullanılır. Kumun üstünde daha hafif ancak iri olan antrasit yerleştirilir. Kumun altına ise daha düşük çaplı ancak daha ağır olan garnet konur. İşletme sırasında daha büyük partiküller safsızlıklar filtrenin üst tabakalarında, küçükler ise alt tabakalarda tutulur. Bu şekilde, filtrenin işletme süresi uzar, çıkış suyu kalitesi daha iyileşir. Tıkanma ve geri yıkamayı takiben, yoğunluğa bağlı olarak iri filtre malzeme üst tabakalarda, küçük olanlar ise alta tabakalarda kalarak filtre yatağında başlangıçta teşkil edilen derecelendirme korunmuş olur.

Filtrasyon işlemleri partiküler veya bulanıklığa neden olan safsızlıklarının giderilmesi yanı sıra, ham su içindeki demir, mangan, arsenik, vb. maddelerin uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır. Örneğin arsenik giderimi için oksidasyon süreçlerini takiben arsenatın (As V) tutulması amacıyla klasik tip filtrelerin yerine bazı adsorban maddelerin (örneğin yeşilkum-greensand) filtre malzemesi olarak kullanıldığı sistemler görülebilmektedir. Demir ve mangan gideriminde ise oksidasyon sürecinin devamının sağlanması ve tamamlanması için kuru filtreler kullanılır. Bu tür filtrelerde filtre yatağı su içinde değildir. Filtreye üst kısımdan su verilirken, filtre tabakası içine doğal veya mekanik olarak alt kısımdan hava girişi sağlanarak hava-su arasında sürekli gaz transferi sağlanır.

Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon, su içinde insan sağlığına zararlı olabilecek hastalık yapıcı (patojen) mikroorganizmaların yok edilmesi işlemidir. Dezenfeksiyon işlemi ile mikroorganizmaların hücre zarında tahribat yapılarak permeabilitesinde ve enzim aktivitesinde değişim olması sağlanır. Hücre aktivitesindeki bozunma organizmaların çoğalmasını engelleyerek ortadan yok olmasına neden olur. Ayrıca, kullanılan dezenfektanlar organik maddenin parçalanmasına neden olup, besin maddesi eksikliği yaratarak yok olmayı destekler. Dezenfeksiyon amacıyla uygulanabilecek yöntemler arasında i) Fiziksel yöntemler (Isı, UV, güneş ışığı, elektromanyetik, ses), ii) Kimyasal yöntemler (Klor ve bileşikler, halojenler, ozon, permanganat, fenolik bileşikler, hidrojen peroksit, alkali ve asitler, vb.), iii) Mekanik yöntemler (Eleme, çökeltim, vb.) sayılabilir. Tablo 2’de İçme suyu arıtımında kullanılan bazı dezenfeksiyon yöntemlerinin olumlu/olumsuz yönleri özetlenmektedir.

UV radyasyonu pratik olarak içme ve kullanma suyu amacıyla uygulanabilecek fiziksel bir yöntemdir. UV radyasyon görünür ışıktan kısa, X ışınından uzun dalga boyuna sahip (yaklaşık 10-400 nm) bir elektromanyetik radyasyondur. UV radyasyonda düşük basınçlı UV lambaları kullanılır, tipik dalga boyu 54 nm’dir. UV lambalarda, cam bir tüp içindeki düşük basınçlı cıva buharı içinden geçen elektrik akımı sayesinde UV ışık üretilir. Orta basınçlı lambalar 180-1370 nm dalga boyu aralığında radyasyon yayar, dezenfeksiyon amaçlı

*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

kullanılabilir, fakat yaygın değildirler. Pulsed UV (PUV) lambaları, düzenli aralarla atım tarzında (pulsing), yüksek yoğunlukta çeşitli dalga boylarında UV yayan cıvasız flaş lambalarıdır. Bu lambalar yüksek enerjili atımlar (pulse) yayarak, mikroorganizmanın ısınmasına, böylelikle hücrenin parçalanmasına neden olur. Bu yöntemin, uygun kullanıldığında mikroorganizma sporlarını ve organik bileşiklerini 6 log azalttığı raporlanmaktadır (Özkütük, N., 2007). Ancak, UV performansı UV şiddeti, temas süresi, dezenfekte edilecek suyun özelliklerinden etkilenmektedir. UV şiddeti UV lambasının özelliklerinden, sudaki maddelerin lamba üzerinde tortu oluşturma özelliğinden ve reaktör biçiminden etkilenir. Uygun olmayan reaktör biçimleri kısa döngülere neden olarak temas süresini etkiler. Bunlara ek olarak, UV sisteminin performansı suyun özelliklerinden çok etkilenir. Suda bulunan bazı kirlilikler UV ışığını absorplayarak reaktördeki UV yoğunluğu azaltabilir. Benzer olarak, askıda katı maddelerin bulunması sadece UV ışığını absorplaması bakımından değil mikroorganizmaları UV ile temastan koruması nedeniyle de önemlidir. Bu olumsuz etkilerden korunabilmek için suda askıda katı maddenin 20 mg/l veya altı olmasını önerilmektedir (White, 1986).

Tablo 2. İçme Suyu Arıtımında Kullanılan Dezenfeksiyon Yöntemlerinin Olumlu/Olumsuz Yönleri (<http://www.dwaf.gov.za/iwqs/report.html>)

Dezenfeksiyon Yöntemi	Olumlu Yönler	Olumsuz Yönler
Klor	<ul style="list-style-type: none"> - Çok etkili olması - Kalıntı dezenfektan sağlaması - Genelde uygun fiyatlarla temin edilebilmesi - Düşük elektrik ihtiyacı - Bakteri gideriminin yanı sıra demir gideriminde de etkili olması 	<ul style="list-style-type: none"> - Uzun temas süresi (30 dak) - Suda bulunabilen safsızlıklardan (bulanıklık vb.) etkilenmesi - Suya klor tadı verir - Düşük dozlarda <i>Giardia</i> cysts verimi düşük olması - Gaz klor kullanılması halinde güvenli biçimde depolanma ihtiyacı olması
UV	<ul style="list-style-type: none"> - Suyun tat ve kokusu değişmez - Bakteri ve virüsleri kısa sürede öldürür - Yüksek kaliteli sular için işletme ve bakımı basit 	<ul style="list-style-type: none"> - Nispeten yüksek maliyet - Yüksek elektrik ihtiyacı - Kalıntı dezenfektan kalmaması, son dezenfeksiyon için kimyasal gerekmesi - Yüzeysel sularda ön arıtma ihtiyacı - Sık temizlenmeli ve lamba her yıl değiştirilmelidir
Ozon	<ul style="list-style-type: none"> - Çok etkili ve güçlü dezenfektan - <i>Giardia</i> ve <i>Cryptosporidium</i> karşı etkili 	<ul style="list-style-type: none"> - Nispeten yüksek maliyet - Yerinde üretim neticesinde daha kompleks işletim ve bakım - Son dezenfeksiyon için ilave kimyasal gereksinimi

Kimyasal dezenfeksiyon içme ve kullanma suyu arıtımında yoğun olarak kullanılan bir yöntemdir. En yaygın kullanılan dezenfektanlar klor bileşikleri ve ozondur. Tablo 2’de belirtildiği üzere ozon çok güçlü dezenfektandır. Ancak suda kalıntı dezenfektan bırakmaması nedeniyle genellikle klor ile birlikte uygulanmaktadır. Bu tür uygulamalarda tesis başında ön dezenfeksiyon ünitesinde ozon dozlanarak dezenfeksiyon yapılmakta, arıtma sonrası şebekede olabilecek kirlenmelere karşın da kalıcı dezenfeksiyon amacıyla klor verilmektedir. Böylelikle, klorun organik bileşiklerle reaksiyona girerek kanserojen olduğu belirtilen çeşitli bileşikler oluşturma olasılığı en aza indirilmektedir. Her ne kadar dezenfeksiyon yan ürünlerinin ortaya koyacağı sağlık riskleri yetersiz dezenfeksiyon işleminden kaynaklanabilecek risklerle karşılaştırıldığında düşük olsa da, dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolüne yönelik önlemler alınması gündemdir. Çünkü son yıllarda klor kullanılması durumunda organik bileşiklerle reaksiyona girerek yan ürünler oluşturması (DBPs) riskine dikkat çekilmektedir. Bu nedenle, ilk aşamada ozon kullanılması tercih edilmektedir. İstanbul Elmalı ve Kâğıthane içme suyu arıtma tesislerinde yapılan yeni uygulamalarda birincil dezenfeksiyon amacıyla ozon, son aşamada ise klor ile dezenfeksiyon uygulanmaktadır.

Öte yandan, son dönemlerde *Giardia* ve *Cryptosporidium* suyla geçen önemli paraziter patojenler haline gelmiştir. Düşük dozda dahi hastalık yapabilmeleri, kistlerinin ortamda kirlilik oluşturabilecek yoğunlukta bulunabilmesi, klorlama işlemine karşı dirençli olmaları gibi nedenlerle sudan uzaklaştırılması için ilave işlemlere gerek duyulmaktadır. *Cryptosporidium* ookist ve *Giardia* kistleri gibi paraziter etkenlerin ortamdaki uzaklaştırılmasında kimyasal koagülasyon/flokülasyon/çökeltim, filtrasyon gibi yöntemleri kullanılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal işlemlerin uygulanması *Cryptosporidium* ookist ve *Giardia* kistlerinde 4-logaritmik bir inaktivasyon sağlayabilmektedir ancak bu yeterli gelmeyebilmektedir (Nieminski, 1997). Son yıllarda, hem *Giardia*, hem de *Cryptosporidium* kistlerinin kimyasal inaktivasyonunda ozonun oldukça etkin bulunduğuna ilişkin çalışmalar görülmektedir (Köksal, 2005). Ozonun klordioksit veya monokloraminlerle birlikte kullanılmasının verimli sonuçlar ortaya koyduğu belirtilmektedir. Dridger ve arkadaşları yalnızca monokloraminle dezenfeksiyonda elde edilen inaktivasyon oranıyla kıyaslandığında, ozon ile ön işlem gören suların daha sonra monokloraminle muamelesi sonucu inaktivasyon oranının 20°C’de 5 kat ve 1°C’de 22 kat daha hızlı olduğunu rapor etmişlerdir (Ardıç, 2005). Yukarıda belirtilen ihtiyaçlardan hareketle son yıllarda dezenfeksiyon işlemi birincil ve son dezenfeksiyon olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Birincil dezenfeksiyonda UV, O₃, ClO₂ kullanılır ve amacı *Cryptosporidium* ve *Giardia* inaktivasyonudur. Son dezenfeksiyon ise yan ürün oluşumunu minimize ederek şebekede olabilecek mikrobiyolojik kirlenmenin kontrolünü sağlamak amacıyla arıtma tesisinin sonunda uygulanmaktadır. Son dezenfeksiyon amacıyla ise gaz klor (Cl₂), monokloramin bileşikleri (NH₂Cl) ve klordioksit (ClO₂) kullanılmaktadır.

3. İZMİR KENTİ İÇME SUYU ARITMA SİSTEMLERİNİN İRDELENMESİ

İzmir kenti su ihtiyacı temelde kuzeydeki yeraltı ve güneydeki yüzeysel su kaynaklarından karşılanmaktadır. İzmir ili sınırları içinde su ihtiyacını karşılamak üzere kullanılan yeraltı suyu kaynakları Sarıkız, Göksu, Menemen, Çavuşköy, Halkapınar, Çamdibi ve Pınarbaşı kuyularıdır. Kuzey su kaynaklarından alınan sular iletim sistemi ile Halkapınar Deposuna (55.000m³) gelmekte ve klor ile dezenfeksiyon işleminden sonra şehir şebekesine verilmektedir. Kentin güney kesiminin su ihtiyacı ise yüzeysel su kaynaklarından

*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

karşılanmaktadır. Tahtalı Barajı (Tahtalı deresi) ve Balçova Barajı'ndan (Ilıca deresi) alınan yüzeysel sular içme suyu standartlarına uygun hale getirilmek amacıyla arıtma tesislerinde işlem görmektedir. Menderes İlçesi Görece Beldesinin hemen güneyinde bulunan Tahtalı (Görece) İSAT 520.000 m³/gün kapasiteli olup; havalandırma, hızlı karıştırma (koagülasyon), durultucu, hızlı kum filtreleri, klor ile dezenfeksiyon ve çamur bertaraf ünitelerinden (pres filtre) oluşmaktadır. 1250 kW kurulu güce sahip arıtma tesisi her biri 260.000 m³/gün kapasiteli olan 2 ayrı hattan oluşmaktadır. Tesisin ilk ünitesi kaskat şeklindeki havalandırıcılardır. Kaskat havalandırıcı dört basamaktan (düşü yüksekliği 42.5 cm) oluşan, çift taraflı tasarlanmış, 20 m uzunluğundadır. Havalandırma ünitesinin çıkışında klor dozlaması (ön klorlama) yapılmaktadır. Ön klorlama işleminden sonra pıhtılaştırma/yumaklaştırma ünitesine gelen suya, demir üç klorür ve polielektrolit dozlanmaktadır. Burada gerektiğinde mangan giderimi için potasyum permanganat eklenebilmektedir. Çökeltim işlemi yukarı akışlı çamur tabakası olarak tanımlanan sisteme göre tasarlanmıştır. Çökeltimden çıkan su hızlı kum filtrelerinden geçmektedir. Filtrelerde geri yıkama işlemi PLC kontrollü kumanda sistemi ile otomatik olarak yapılmaktadır. Geri yıkama suyu kum tutucudan geçerek toplama tankına gelir ve buradan seviye kontrollü dalğış pompalar vasıtasıyla sistemin başına döndürülür. Filtrelenen su, son dezenfeksiyon işleminin ardından şebekeye verilmek üzere depoya iletilmektedir. Çıkışta gerekli hallerde kostik soda ile pH ayarı gerçekleştirilmektedir. Durultuculardan alınan çamur, yoğunlaştırma (polielektrolit ve kireç eklenir) ve susuzlaştırma (pres filtre) işlemlerinden geçirildikten sonra %35 katı madde oranına sahip kek haline getirilerek Harmandalı Düzenli Depolama alanında bertaraf edilir. Ön ve son klorlama işlemlerinde gaz klor kullanmakta olup klor binasında her biri 1 tonluk toplam 70 adet tank bulunmaktadır. Klor gazı, klorinatörlerde (her biri 40 kg/saat olan 8 adet) dozajı ayarlanarak ve enjektörler vasıtasıyla basınçlı suyun yarattığı vakum etkisiyle ön ve son klorlama noktalarına ulaştırılır. Ancak, İZSU yetkililerinden ön dezenfeksiyon amacıyla klor yerine ozon kullanılmasına ilişkin çalışmaların başlatıldığına ilişkin bilgiler alınmaktadır.

Balçova Arıtma Tesisi'nin kapasitesi 70.000 m³/gün olup, havalandırma, ön klorlama, hızlı kum filtrasyonu ve son klorlama ünitelerinden oluşmaktadır. Havalandırma işlemi 7 basamaklı (75 cm düşü yüksekliği) uzunluğu 50 m olan bir kaskat ile gerçekleştirilmektedir. Havalandırma ünitesinin hemen çıkışında klor dozlaması (ön klorlama) yapılmaktadır. Havalandırılmış ve ön klorlaması yapılmış su hızlı kum filtrelerine gelmektedir. Filtrelerde geri yıkama işlemi manuel (el ile) olarak yapılmakta olup geri yıkama suyu dereye tahliye edilmektedir. Filtrelerden sonra şehir şebekesine verilmeden son klorlamaya (gaz klor ile) tabi tutulur ve depoya iletilir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Ülkemizde içme ve kullanma suyu amacıyla kaynak ve kuyu suları (~%54) ile yüzeysel su (akarsu, göl-gölet) kaynakları (~%46) kullanılmaktadır. Genellikle yüzeysel su kaynaklarının arıtımı amacıyla tesis edilmiş olan arıtma tesisleri havalandırma, pıhtılaştırma, yumaklaştırma, çökeltim, filtrasyon ve dezenfeksiyon gibi ünitelerden oluşmaktadır. Mevcut uygulamalara bakıldığında havalandırma amacıyla işletimi basit, enerji tüketimi olmayan kaskat tipindeki havalandırıcıların kullanıldığı görülmektedir. Kimyasal arıtma amacıyla pıhtılaştırma-yumaklaştırma-çökeltim işlemlerinin uygulanmaktadır. Bazı tesislerde üç

*Bu Bildiri Çevre Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

işlemin tek bir havuzda gerçekleştirildiği kompakt sistemler (dekantör) tercih edilmekte; bazılarında ise hızlı karıştırma işleminin (boruda veya ayrı bir havuzda) ayrı, yavaş karıştırma ve çökeltim işlemlerinin birlikte gerçekleştirildiği (yukarı akışlı çamur tabakası) sistemler kullanılmaktadır. Arıtma tesislerinin çoğunda filtrasyon amacıyla hızlı kum filtrelerinin kullanıldığı söylenebilir. Dezenfeksiyon işlemi ön ve son klorlama olmak üzere iki aşamada yapılmaktadır. Dezenfektan olarak yaygın biçimde gaz klor tercih edilmektedir. Ancak, son dönemlerde bazı tesislerde ön klorlamanın ozon ile yapılmasına ilişkin uygulamaların başlatılmış olduğu görülmektedir. Ancak, burada ham su özellikleri dikkate alınmalı, bromlu yan ürünler (bromat, bromlu organik bileşikler) veya halojenik olmayan yan ürünlerin (aldehit, keton vb.) oluşumu kontrol edilmelidir. Ön dezenfeksiyon amacıyla ozon kullanılması durumunda şebeke sisteminde suyun kirlenmesinin kontrolü amacıyla bakiye klor kalacak miktarda klor dozlaması (son dezenfeksiyon) yapılmalıdır.

Son yıllarda, su kaynaklarının antropojenik kaynaklar tarafından olumsuz yönde etkilenmesi farklı parametrelerin gündeme gelmesine neden olmuştur (örneğin pestisitler, organoklorlu insektisitler, herbisitler, fenolik maddeler, arsenik, kadmiyum, kurşun, siyanür, vb.). Daha önce de değinildiği üzere konvansiyonel sistemler ile çevre ve insan sağlığı bakımlarından zararlı etkileri belirlenen kirleticilerin etkin biçimde giderimi sağlanamamaktadır. Bu durumda ileri arıtma teknolojilerinin uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Artan arıtma ihtiyacını karşılamak üzere membran filtrasyon, ileri oksidasyon, adsorpsiyon, UV veya ozon ile dezenfeksiyon gibi yöntemlerin ön plana çıktığı; bu yöntemlerin doğal organik maddeler, sentetik organik bileşikler, inorganik kirleticiler ve bazı dirençli mikroorganizma türleri gibi pek çok kirletici için etkili bulunduğu belirtilmektedir (Dölgen, 2007).

Ülkemizde arıtılan suyun önemli bir kısmı konvansiyonel tesislerde işlem görmektedir. İleri arıtma uygulanan tesis sayısı ise henüz çok az olmakla birlikte önümüzdeki yıllarda bu gibi tesislerin sayısında artış olması mümkündür. Örneğin, kısa zaman önce Kırıkkale'de sülfat, sertlik, klorür ve diğer organik maddelerin giderimi amacıyla ters ozmoz sisteminin bulunduğu bir ileri arıtma tesisi kurulmuştur. İzmir, Manisa (Soma), Niğde-Aksaray İllerinde yeraltı suyundaki arseniğin arıtımına yönelik tesislerin ihaleleri yapılarak inşaatına başlanmıştır. Bu noktada; yeni bir yatırım kararı almadan önce tasarıma esas sağlıklı (güvenilir) verilerin oluşturulması, kirliliğin kaynağına ilişkin bilgi sahibi olunması gibi hususlara dikkat çekmekte yarar vardır. Kaynak özelliklerinden başlayan, su özellikleri, miktarı, yatırım ve işletme maliyeti, çıkan atığın bertarafı, mevcut alt yapı vb. birçok faktör göz önüne alınarak çok yönlü değerlendirme yapılmak suretiyle daha sağlıklı karar alınması mümkündür. Ayrıca, uygulamaya geçilmeden önce, seçilen yöntemlerin performansının mutlaka pilot ölçekli çalışmalar ile desteklenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Ardıç, N. (2005): İçme sularında parazit ve diğer patojenlere karşı dezenfeksiyon uygulamaları ve ara konaklarla mücadelede kullanılan kimyasallar. 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi – Kongre Kitapçığı, s. 353-365.

Dölgen, D., (2007): "Su arıtımında gelişen teknolojiler", *Çevre ve Mühendis*, 28, s.67-73.

Köksal, F. (2005): Kaynak sularının *Giardia ve Cryptosporidium* yönünden incelenmesi. *Türk Mikrobiyol Cem Derg* 32:275-277

Nieminski, E. C. (1997): Removal of *Cryptosporidium and Giardia* through conventional water treatment and direct filtration. OH 45268 EPA/600/SR-97/025 July 1997

Özkütük, N., (2007): Ultraviyole lambalarının kullanımı, 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, Bildiriler Kitabı, s.490-496.

TÜSİAD (2008): Türkiye’de su yönetiminin durumu: Sorunlar ve öneriler (M.Necdet Alpaslan, Ayşegül Tanık, Deniz Dölgen). TÜSİAD Yayın no: T/2008-09/469, ISBN: 978-9944-405-42-3.

Türkiye Çevre Durum Raporu – TÇDR, (2007): T.C.Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2007.

US EPA (2007): Water & Health Series: Filtration Facts.

White, G.C. (1986): Handbook of chlorination. Van Nostrand Reinhold Company, Inc., NewYork.

WHO (2004): Guidelines for drinking-water quality, 3rd ed., World Health Organization, Geneva.

<http://www.degremont.com>

http://www.alomaliye.com/ekonomi/2008/belediye_su_2006.htm

<http://www.tuik.gov.tr>

<http://www.dwaf.gov.za/iwqs/report.htm>