

İÇME SUYU ARITMA TEKNOLOJİLERİ

Prof.Dr. Ömer Akgiray
Marmara Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü
Göztepe, İstanbul
omer.akgiray@marmara.edu.tr

TESİSAT DERGİSİ
Haziran 2003

İÇME SUYU ARITMA TEKNOLOJİLERİ

Prof.Dr. Ömer Akgiray
Marmara Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Bölümü
Göztepe, İstanbul
omer.akgiray@marmara.edu.tr

ÖZET

Bu yazıda içme suyu tasfiyesinde kullanılan temel işlemler ve akım şemaları anlatılmıştır. Genellikle belediyeler tarafından işletilen orta ve büyük ölçekli arıtma tesislerinin çalışma prensipleri ve tasarımları üzerinde durulmuştur. Türkiye şartlarına uygun teknoloji seçimleri vurgulanmaktadır.

ABSTRACT

This article describes the unit operations and flow diagrams used in drinking water treatment. Medium to large sized municipal water treatment plants are described. Technologies and process selection principles appropriate for Turkey are emphasized.

GİRİŞ

İçme suyu tasfiyesinde hedef berrak, renksiz, kokusuz, içinde hastalık yapan organizmalar mevcut olmayan, sağlığa zararlı kimyevi maddeler ihtiva etmeyen ve ev içinde (çamaşır veya bulaşık yıkamak için, temizlik, vb. maksadlarla) kullanılmaya uygun bir su üretmektir. Kullanılacak olan arıtma teknolojileri arıtılmış suda bulunması istenen özelliklere bağlı olduğu kadar ham suyun özelliklerine de bağlıdır.

Bu yazıda su arıtma metodları iki kısımda anlatılacaktır. Birinci kısımda çöktürme, filtrasyon, dezenfeksiyon gibi temel işlemler ayrı ayrı izah edilecektir. Su ve atıksu tasfiyesinde kullanılan ‘temel işlemler’ tabiri kimya mühendisliğindeki temel işlemler kavramı örnek alınarak kullanılmaya başlanmıştır. Nitekim, burada anlatılacak olan temel işlemler sadece içme suyu tasfiyesinde değil evsel atıksuların ve çok değişik özelliklere sahip olabilen endüstriyel atıksuların tasfiyesinde de kullanılmaktadır. Kimya mühendisliğindeki kullanımdan farklı olarak çevre mühendisliğinde ‘temel işlemler’ daha ziyade fiziki ve kimyevi arıtma usülleri için kullanılan bir tabirdir. Ekseriyetle atıksuların tasfiyesinde kullanılan biyolojik işlemler ise ‘temel prosesler’ adı altında tasnif edilirler. Bazı yazarlar kimyevi işlemleri de ‘temel prosesler’ başlığı altında ele almaktadır.

Yazının ikinci kısmında içme suyu arıtımında kullanılan tesislerin akım şemaları anlatılacaktır. Arıtmada kullanılan akım şemaları, temel işlemlerin ihtiyaca göre değişik kombinasyonlarda biraraya getirilmesi ile ortaya çıkarlar. Bir suyun arıtılmasında kullanılacak olan temel işlemlerin seçilmesi ve bunlardan meydana gelen akım şemasının (prosesin) tayini çevre mühendislerinin vazife ve yetkileri dahilindeki mühendislik faaliyetleridir.

SU TASFİYESİNDE KULLANILAN TEMEL İŞLEMLER

Bu bölümde içme suyu arıtma tesislerinde en yaygın olarak kullanılan temel işlemler anlatılacaktır.

Çöktürme: Bu işlemde su bir çöktürme tankının içinden yavaş ve sakin akışlı bir şekilde geçirilir. Çökelebilen katılar (büyük ve ağır katı parçacıklar) yerçekiminin etkisi ile tankın dibinde toplanır ve sudan ayrılır. Berraklaşmış olan su tankın üst kısmından savaklar veya oluklar vasıtası ile alınır. Böylece çıkış suyunun bulanıklığı ve askıdaki katıların konsantrasyonu azalmış olur. Tankın dibinde toplanan katılara su ihtiva ettikleri için ‘çamur’ denir. Biriken çamur otomatik veya yarı-otomatik çamur sıyırma ve alma mekanizmaları ile tahliye edilebileceği gibi 6 ay-1 sene biriktirildikten sonra tank boşaltılarak el ile (kürek ve tazyikli su ile) tankın dışına çıkartılabilir. Çamur genellikle %90’dan fazla su ihtiva eder. Çamurun da ayrı bir muameleye tabi tutulup (su muhtevası ve dolayısı ile toplam hacmi azaltılıp) çevre kirliliğine yol açmayacak bir şekilde uzaklaştırılması gerekir. Çamur tasfiyesi maliyeti bazen su arıtma tesisi toplam işletme maliyetinin yarısından fazlasını teşkil edebilir.

Hızlı filtrasyon: Su tasfiyesinde en önemli işlemlerden biri filtrasyondur. Su, daneli malzemeden müteşekkil bir filtre yatağından geçirilir. Yatak malzemesi olarak ekseriyetle kum veya antrasit kömürü kullanılır. Yataktaki danelerin büyüklüğü diğer (yatak derinliği, filtrasyon hızı, malzemenin türü, vb.) tasarım unsurlarına bağlı olarak 0.5 mm ile 3 mm arasında değişebilir. Filtrasyon çöktürme işleminden sonra tatbik edilir. Çöktürme tankında tutulamıyan küçük/hafif parçacıklar filtrelerde tutulur. Filtreler tıkanıp zaman geri yıkılarak temizlenir ve tekrar kullanıma alınırlar. Geri yıkama sırasında suyun akış yönü tersine (aşağıdan yukarıya) çevrilir ve filtre yatağı kabartılarak temizlenir.

Filtreler geri yıkanırken arıtılmış su kullanılmalıdır. Küçük arıtma tesislerinin ekserisinde bulunan bir tasarım hatası ham su ile filtrelerin geri yıkanmasıdır. Etkili geri yıkama için hava ile su birlikte (veya sıra ile) kullanılabilirler. Hava kullanılmıyorsa, geri yıkamada su hızları filtre malzemesini 20-50 % kabartacak (akışkanlaştıracak) kadar yüksek olmalıdır. Ham su ile filtreleri geri yıkayan tesislerdeki diğer yaygın bir hata geri yıkama hızlarının ayarlanmaması ve yetersiz olmasıdır. Geri yıkama sırasında iyi temizlenmeyen filtre malzemesi içinde zamanla topaklar ve çatlaklar meydana gelir. Netice olarak filtrasyonun verimi azalır ve çıkış suyu kalitesi bozulur. Hastalık yapan mikroorganizmalar bu çatlaklardan geçer ve filtreler tarafından iyi tutulamazlar.

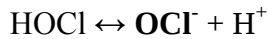
Yumaklaştırma: Çok küçük katı parçacıklar (mesela mikroorganizmalar) ve kolloidler çöktürme tanklarında hızlı bir şekilde çökecek ağırlığa sahip değildir. (Büyüklüğü 1 μm = 0.001 mm veya daha küçük parçacıklara kolloid denir.) Bu parçacıklar filtre yataklarının da içinden geçecek kadar küçüktür. Yumaklaştırıcı özelliği olan kimyevi bir madde kullanarak küçük parçaların birleşerek büyümesi (yumaklaşması ve pıhtılaşması) temin edilir. Çöktürme ve filtrasyon işlemlerinden önce, **hızlı karıştırma** tanklarında suya yumaklaştırıcı eklenir. **Yavaş karıştırma** (“flocculator”) tanklarında küçük parçacıkların çarpışarak birbirlerine yapışmaları ve çöktürülebilecek büyüklükte yumaklar meydana gelmesi için su yavaş hızlarda karıştırılır.

Yumaklaştırma etkili bir şekilde tatbik edilirse sadece katı parçacıklar değil, suda çözünmüş bir çok organik ve inorganik madde de çöktürme ve filtrasyon ile giderilebilir (yani, sudaki miktarları azaltılabilir). Bunun için, çöktürme ve filtrasyon işlemlerini sadece bulanıklığı ve

katı parçacıkları gideren işlemler olarak görmemek gerekir. Bu işlemler içme suyu kalite parametrelerinin büyük bir kısmını iyileştirirler.

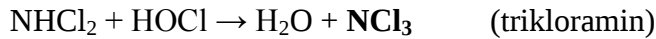
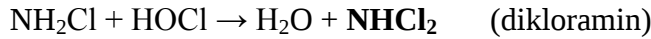
Dezenfeksiyon: Çöktürme ve filtrasyon işlemleri sırasında sudaki mikroorganizmaların çok büyük bir ekseriyeti giderilmiş olur. Suda kalmış olabilecek organizmaları da öldürmek ve su şebekesinde koruyucu bir dezenfektan bakiyesini temin etmek için en son işlem olarak dezenfeksiyon yapılır. Dünyada en yaygın olarak kullanılan dezenfektan serbest klordur.

Serbest klor tabiri ile kasdedilen Cl_2 (klor gazı), HOCl (hipoklorik asit) ve OCl^- (hipoklorit) bileşikleridir. (Sofra tuzundaki (NaCl) klorür iyonu (Cl^-) dezenfektan değildir.) Klor gazı su ile karıştırıldığı zaman şu tepkimeler meydana gelir:



Sodyum hipoklorit (NaOCl) veya kalsiyum hipoklorit (Ca(OCl)_2) suya eklendiği zaman da aynı reaksiyonlar (ters yönde) meydana gelir. Netice olarak, ister klor gazı kullanılsın, isterse hipokloritler kullanılsın, suda aynı maddeler (çözünmüş Cl_2 , çözünmüş HOCl ve OCl^- iyonu) teşekkül eder. Eğer pH değeri çok düşük değilse Cl_2 eser miktardadır ve serbest klor büyük oranda HOCl ve OCl^- hallerinde bulunur.

Suda çözünmüş organik madde miktarı yüksekse, serbest klor yerine **bağlı klor** (kloraminler, NH_2Cl ve NHCl_2) kullanılabilir. Bağlı klor amonyak ile serbest klorun reaksiyonu neticesi meydana gelmektedir:



Trikloramin çok az miktarda meydana gelir, bağlı klorun büyük kısmı monokloramin ve dikloramin bileşikleri olarak mevcut bulunur. Tad problemine yol açmadığı ve diğer iki kloramine göre daha kuvvetli bir dezenfektan olduğu için monokloramin tercih edilen maddedir. Reaksiyon şartları (bilhassa pH ve amonyak/klor oranı) dikkatle kontrol edilerek monokloraminin daha fazla oluşması teşvik edilir.

Bağlı klor THM'lerin ve diğer klorlanmış organiklerin meydana gelmesine sebep olmaz. Bağlı klor serbest klordan daha zayıf bir dezenfektan olmakla beraber, su dağıtım şebekesinde daha uzun süre kalır, yani bağlı klor bakiyesi daha dayanıklıdır. Bağlı klor ile dezenfeksiyon ABD'de ve Avustralya'da yaygın olarak tatbik edilmektedir.

Serbest klor kullanımının mahzurları arasında kansere sebep olabilecek maddelerin teşekkül ihtimali önde gelmektedir. Bağlı klor kansere sebep olabilecek bu tür (THM'ler gibi) maddelerin meydana gelmemesi için kullanılır. Öte yandan, bağlı klor dikkatli bir şekilde tatbik edilmezse şebeke içinde nitrit oluşabilir. Nitrit ve nitrat (yüksek konsantrasyonlarda bulunurlarsa) sağlık açısından mahzurludur. Avrupa Birliği'nin kloraminlemeyi teşvik etmek (veya nisbeten serbest bırakmak) için 1998'de ilan ettiği ilgili kurallar şöyledir: Tasfiye tesisi çıkışı en yüksek nitrit miktarı: 0.1 mg/L; tüketicinin musluğundan akan sudaki en yüksek

nitrit konsantrasyonu: 0.5 mg/L (sadece kloraminleme metodunu kullanan sistemlere verilen özel izin); ayrıca $(\text{nitrat})/50 + (\text{nitrit})/3 < 1$ denksizliği ihlal edilmemelidir.

İçme suyu dezenfeksiyonu için yaygın olarak kullanılan diğer iki dezenfektan ozon gazı (O₃) ve ultraviyole (UV) ışınlarıdır. Her ikisi de çok kuvvetli birer dezenfektandır ve zararlı mikroorganizmaları etkili bir şekilde öldürürler. Ancak her ikisinin de suda bakiyesi kalmadığı için şebekede mikroorganizmaların üremesine karşı bir koruma sağlayamazlar.

Yukarıda anlatılan dezenfeksiyon işlemi genel olarak tesisteki en son işlemdir. Ayrıca, tesis girişinde yapılan ön-dezenfeksiyon işlemi tesis içindeki birimlerde (tanklarda, savaklarda, filtrelerde, vb.) yosun üremesi ve bakteri tabakaları oluşması gibi problemlere mani olmak için tatbik edilir. Son senelerde ön-klorlama yerini ön-ozonlamaya bırakmaktadır. Böylece THM'lerin ve diğer klorlanmış organik bileşiklerin meydana gelmesinden kaçınılmış olur. Son dezenfeksiyon işlemi yine serbest klor veya kloraminlerle yapılır.

Havalandırma: Suda çözünmüş H₂S, CO₂ gibi istenmeyen gazların giderilmesi veya suya oksijen eklemek için kullanılır. Suda çözünmüş ve sağlığa zararlı olabilecek uçucu organik bileşiklerin ve suya istenmeyen tad ve kokular veren diğer bazı bileşiklerin de gideriminde havalandırma etkili olabilir.

Aktif karbon ile adsorpsiyon: Aktif karbon su arıtımında iki değişik şekilde kullanılır: Toz aktif karbon daha ziyade çözünmüş organik maddelerin meydana getirdiği ve senede birkaç aydan az süren tad ve koku problemlerine karşı geçici tedbir olarak kullanılır. Çöktürme işleminden önce suya eklen karbon, suyun içindeki organik maddelerin bir kısmını adsorblar (yüzeyinde tutar) ve diğer çökelebilen katılarla beraber tankın dibine çöker. Bütün sene süren tad ve koku problemlerine karşı daneli aktif karbon ("granular activated carbon=GAC") kullanımı daha iktisadlıdır. Hızlı filtrelerdeki kumun bir kısmı veya tamamı yerine daneli aktif karbon yerleştirilebilir. Bu tip uygulamada aktif karbon hem bulanıklığı hem de organik menşeli tad ve kokuları giderme vazifesi görür. Diğer bir alternatif, hızlı filtrasyondan sonra ikinci bir filtrasyon kademesi olarak aktif karbon filtreleri inşa etmektir. Bu tür bir tesisde aktif karbon yatağı yeterince derin tutulursa, suyun aktif karbon ile temas süresi yüksek olacağı için daha çok miktarda organik madde tutulabilir. Kum filtreleri bulanıklığı giderir, aktif karbon filtreleri de çözünmüş organik maddeleri tutar. Bu arıtma usulü daha pahalı olmakla beraber, aktif karbon filtreleri daha çok miktarda ve daha çok çeşitte organik maddeyi tutacağı için daha iyi bir arıtma gerçekleştirilmiş olur.

Ev ve işyerlerinde monte edilen küçük arıtma birimlerinde aktif karbon kloru tutmak (klor tadını ve kokusunu gidermek) için kullanılmaktadır. Bu gibi karbon filtrelerinde çok uzun süre veya çok miktarda organik madde tutulması beklenmemelidir. Aktif karbon filtresinin organik maddeleri tutma kapasitesi kalmadıktan sonra da (yani, karbon doyduktan sonra da) kloru gidermeye devam eder. Yüksek klor konsantrasyonları ters osmoz membranlarına zarar verir. Bundan dolayı klorlu şebeke suyunu ham su olarak kullanan ters osmoz sistemlerinde ön arıtma olarak aktif karbon filtresi kullanılabilir.

Aktif karbon ile kloru giderilmiş bir suyun depo edilmeyip hemen kullanılması daha uygun olacaktır. Kloru alınmış bir su depo edildiği zaman depoda çeşitli mikroorganizmaların üremesi ve suya istenmeyen tad ve kokular vermeleri ihtimal dahilindedir. Arıtma tesislerinde klorlama (dezenfeksiyon) birimi aktif karbon filtrelerinden sonra yerleştirilir.

Yavaş kum filtrasyonu: Su, 0.3-0.5 mm çapında ve yaklaşık 1 m derinliğindeki filtre yatağından geçirilir. Kullanılan filtrasyon hızı, hızlı filtrelerde kullanılan hızların 1/100'ü kadardır. Bundan dolayı aynı debideki bir suyu arıtmak için çok daha büyük filtreler ve daha çok arazi kullanmak gerekir. Hızlı filtrasyonda kirlilik (parçacıklar) yatak derinliğinde tutulur, yavaş kum filtrasyonunda ise kumun üst yüzeyinde tutulur ve burada “kirli deri” denen canlı ve ölü mikroorganizmalardan müteşekkil bir tabaka meydana gelir. Bu tabaka suda bulunabilecek bütün mikroorganizma türlerini çok etkili bir şekilde tutar. Hızlı filtreler yaklaşık 1 gün çalıştırılır ve günde bir kere 10-15 dakika geri yıkanarak temizlenip tekrar hizmete alınırlar. Yavaş kum filtreleri 1 ay ile 6 ay süresince kesintisiz çalışır. Bir filtre tıkanığında üst yüzeyinden 5 cm kadar kum sıyrılıp filtre dışına taşınır (geri yıkama yoktur). Filtrenin içindeki kum miktarı yarıya kadar indikten sonra (2 ile 5 sene arasında bir süre sonra) filtre tekrar kum ile doldurulur. Hızlı filtrasyon temel olarak fiziki bir arıtma usulüdür. Yavaş kum filtrasyonu ise biyolojik bir arıtma işlemi sayılabilir.

Hızlı filtrasyon, daha yeni ve daha modern bir arıtma usulüdür ve gelişmiş ülkelerde çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan, ABD gibi bazı ülkelerde son senelerde yavaş kum filtrasyonuna ilgi artmıştır. Bunun sebeplerinin arasında hızlı filtreler tarafından çok iyi tutulamayan ve klor cinsi dezenfektanlara dirençli “Giardia” ve “Crypto” isimli mikroorganizmaların yavaş kum filtreleri tarafından başarı ile tutulması önde gelmektedir. Bulanıklığı çok yüksek olmayan, içinde fazla demir ve manganez olmayan ve endüstriyel atıklarla kirlenmemiş suların arıtılmasında yavaş kum filtrasyonu çok başarılı olabilir. Bilhassa arazinin ucuz olduğu yerlerde veya gelişmekte olan ülkeler için cazip bir arıtma işlemidir. Teknolojisinin çok basit olması ve işletilmesi için yüksek eğitimli personele ihtiyaç olmaması yavaş kum filtrasyonunun artıları arasındadır.

Yumuşatma: Sudaki sertlik iyonlarının giderilmesine (Ca^{2+} ve Mg^{2+} konsantrasyonlarının azaltılmasına) yumuşatma denir. Bir suyu yumuşatmak için çeşitli alternatif usüller mevcuttur: İyon değişimi, kireç ile çöktürme ve ters osmoz en sık kullanılan metodlardır.

Oksidasyon: Havalandırma işlemi ile suya eklenen oksijen (O_2) suda çözünmüş olan Fe^{2+} iyonunu Fe^{3+} iyonuna yükseltir. Bu iyonun suda çözünürlüğü çok düşüktür ve $\text{Fe}(\text{OH})_3$ çökeltisi (parçacıkları) meydana gelir. Bu su daha sonra hızlı filtrasyon işlemine tabi tutularak içindeki demir giderilmiş olur. Demirin yanında manganezi de oksitlemek için oksijenden daha kuvvetli olan oksitleyicilerden biri kullanılır. En yaygın olarak kullanılan oksitleyiciler serbest klor (Cl_2), potasyum permanganat (KMnO_4), ozon (O_3) ve klor dioksitdir (ClO_2). Ham suyun bulanıklığı düşükse, demir ve manganez giderimi için ayrıca bir yumaklaştırıcı kullanmaya ihtiyaç yoktur.

Oksitleme işlemi genellikle çöktürme ve filtrasyondan önce (yani suyun bulanıklığı, rengi ve organik madde muhtevası azaltılmadan önce) yapılır. Ham suda çözünmüş organik madde konsantrasyonu yüksekse oksitleyici olarak serbest klor kullanılması tavsiye edilmez. Bu gibi durumlarda THM'lerin ve diğer klorlanmış organiklerin meydana gelmesine yol açmayan ozon gibi bir oksitleyici kullanılmalıdır.

Ön-klorlama veya ön-ozonlama ayrıca ön-dezenfeksiyon maksadıyla da kullanılır. Oksitleme işlemi bazen tad, koku veya renk giderimi için de kullanılır.

İyon değişimi: Su bir iyon değiştirici reçineden geçirilerek istenmeyen iyonlar reçinede tutulur, bunların yerine suya başka iyonlar verilir. Yumuşatmada kullanılan katyon değiştiriciler Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarını tutarak suya sodyum (Na^+) iyonlarını verirler. Reçine

doyduğu zaman NaCl (tuz) ile rejenere edilir. Evlerde kullanılan yumuşatıcı reçinelerin rejenerasyonunda NaCl yerine daha pahalı olan KCl kullanılabilir (yüksek tansiyon rahatsızlığı olanlar için sodyum zararlı, potasyum ise faydalıdır). Nitrat gibi anyonların gideriminde kullanılan anyon değiştiriciler nitrati ve diğer istenmeyen anyonları tutarak suya klorür (Cl⁻) iyonunu verirler.

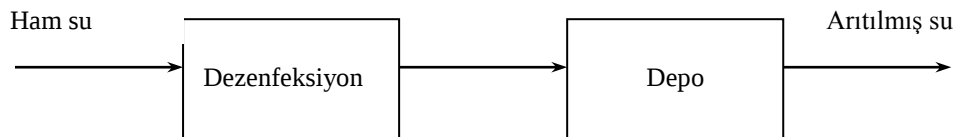
Sertlik giderimi (yumuşatma) için kullanılan katyon değiştirici reçineler baryum (Ba²⁺) ve radyoaktif radyum-226 ile radyum-228 (Ra²⁺) iyonlarını da tutarlar. Anyon değiştiriciler nitrat dışında şu kirleticilerin de gideriminde kullanılabilir: Arsenik (As(V) hali, arsenat iyonu HAsO₄²⁻ olarak); selenyum (Se(VI) hali, selenat iyonu SeO₄²⁻ olarak); krom (Cr(VI) hali, kromat iyonu CrO₄²⁻ olarak); radyoaktif uranyum (uranil karbonat kompleksleri olarak: UO₂(CO₃)₂²⁻ ve UO₂(CO₃)₂⁴⁻); perklorat ClO₄⁻.

Ters osmoz: Bu arıtma metodu tuzlu sulardan (deniz suyu dahil) içme suyu kalitesinde su elde etmek için kullanılabilir. Terz osmoz ile tuzluluk (ekseriyetle NaCl), sertlik, diğer bütün katyon ve iyonlar, çözülmüş organik maddeler, renk, TÇK (toplam çözülmüş katılar), mikroorganizmalar vb. kirleticiler ve istenmeyen hemen bütün maddeler büyük oranda giderilebilir. Bu işlemde elektrik sarfıyatı ve maliyeti yüksek olmakla beraber, son senelerdeki teknolojik gelişmeler sayesinde ters osmozun işletme maliyetleri oldukça azalmıştır. Ters osmoz cihazlarında kullanılan membranlar pahalı ve hassastır. Sudaki bulanıklık, askıdaki katı maddeler ve mikroorganizmalar bu membranların çabuk tıkanmasına ve yenileriyle değiştirme mecburiyetine yol açarlar. Ayrıca klor gibi oksitleyiciler de membranlara zarar verebilir. Membranları korumak ve bu arıtma metodunu ekonomik yapabilmek için ön-arıtma işlemlerine ihtiyaç vardır. Ön-arıtma maksadıyla yumaklaşma, çöktürme, aktif karbon ile organik madde ve klor giderimi, hızlı filtrasyon, dezenfeksiyon gibi klasik işlemler kullanılmaktadır. Gelişen teknolojisi ile ters osmoz işlemi gitikçe daha iktisadlı olmakta ve içme suyu arıtımında önemi büyümektedir. Klasik arıtma işlemleri de (filtrasyon gibi) ön-arıtma safhasında kullanıldıkları için önemlerini muhafaza edeceklerdir.

TASFİYE AKIM ŞEMALARI

Yeraltı suları

Tarım ilaçları, gübreler, atıksu deşarjları, çöp suyu sızıntıları vb. ile kirlenmemiş yeraltı suları ekseriyetle berrak, renksiz ve temizdir. Eğer demir ve manganez konsantrasyonları kabul edilebilir değerlerde ise ve su çok sert değilse, böyle bir suyu dezenfekte ettikten sonra doğrudan kullanmak mümkündür:



Dezenfeksiyon için büyük tesislerde klor gazı (Cl₂), küçük sistemlerde ise sodyum hipoklorit (NaOCl) veya kalsiyum hipoklorit (Ca(OCl)₂) kullanılabilir. Su bir şebekeye dağıtılmayacak (arıtıldığı yerde kullanılacaksa) ve uzun süre depolanmayacaksa UV ışınları ile dezenfeksiyon

veya ozon gazı (O_3) alternatifleri mevcuttur. Bu dezenfeksiyon metodları klorlanmış organik bileşiklerin teşekkülüne yol açmamaktadır.

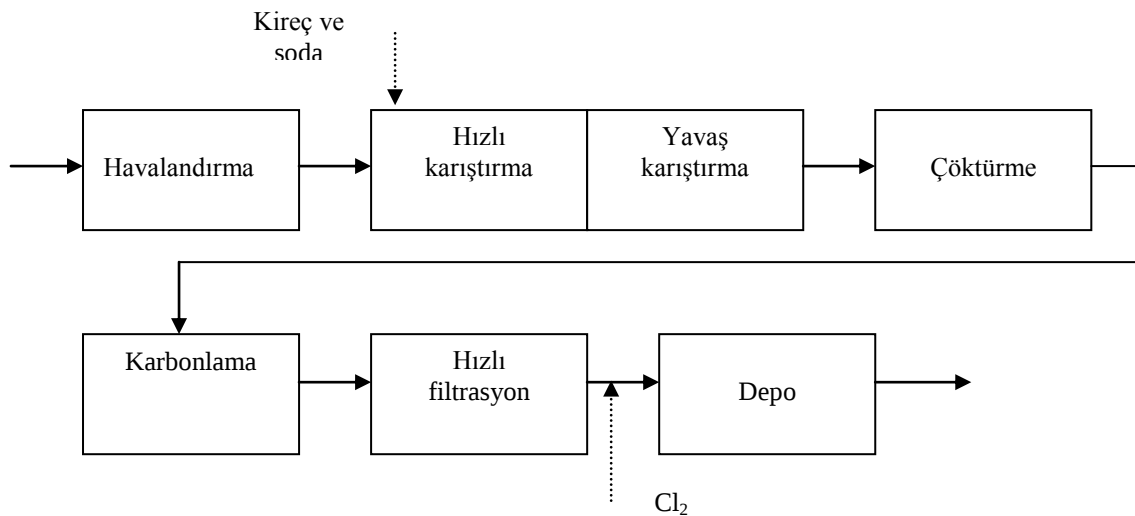
Dezenfeksiyon için kullanılan kimyevi maddenin mikroorganizmaları yeterli oranda öldürebilmesi için zamana (temas süresine) ihtiyaç vardır. Arıtma tesisi çıkışındaki su deposu aynı zamanda dezenfektan için bir temas tankı vazifesi görebilir. Modern tasarımlarda depodan önce perdeli bir temas tankı kullanılmaktadır.

Yüksek miktarda demir ve/veya mangan ihtiva eden sular için oksidasyon ve filtrasyon ile demir ve mangan giderimi tatbik edilir:



Oksijen ile çözülmüş demir (Fe^{2+}) oksitlenerek $Fe(OH)_3$ çökeltisi oluşturulabilir. Manganezi oksitlemek için Cl_2 , $KMnO_4$ veya O_3 gibi daha kuvvetli bir oksitleyici kullanılmalıdır.

Sert sular kireç (CaO veya $Ca(OH)_2$) ve gerekirse soda (Na_2CO_3) eklenerek yumuşatılabilir:



Bu akım şeması sadece kalsiyum gidermek için uygundur. Daha genel olarak, kireç ile yumuşatma sırasında sertlik iyonları $CaCO_3$ ve $Mg(OH)_2$ çökeltilerine dönüştürülür ve çöktürme/filtrasyon işlemleri ile bu çökeltiler tutulur. Çöktürülemeyen ve filtrelerde tutulamayan küçük $CaCO_3$ ve $Mg(OH)_2$ parçacıklarının daha sonra büyüyerek ve yumaklaşarak depoda ve dağıtım şebekesinde çökmemesi ve tıkanmalara sebep olmaması için suya karbon dioksit eklenerek (karbonlama işlemi ile) suyun pH değeri düşürülür ve bunlar tekrar suda çözünen $Ca(HCO_3)_2$ ve $Mg(HCO_3)_2$ bileşiklerine dönüştürülür.

Kireç ile yumuşatma esnasında demir ve manganez iyonları da büyük oranda çöktürülürler. Ayrıca oksitleme işlemine ihtiyaç kalmaz. Ancak yumuşak bir sudan demir ve manganez gidermek için kireç eklemek iktisadlı bir arıtma metodu değildir.

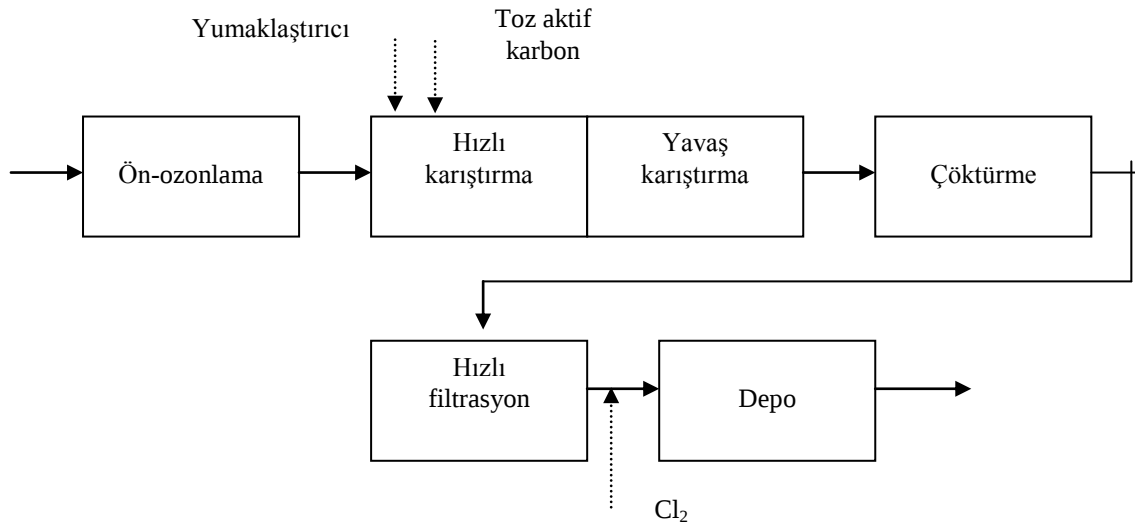
Kuyu suları genellikle berrak olmaktadır. Yüksek bulanıklıkta bir suyu kireç ile yumuşatırken teşekkül eden CaCO_3 ve Mg(OH)_2 çökeltileri aynı zamanda yumaklaştırıcı olarak da etki ederler. Bu durumda çöktürme ve filtrasyon işlemleri neticesinde suyun bulanıklığı da azaltılmış olur. Daha etkili bulanıklık giderimi için suya (hızlı karıştırma biriminde) ayrıca bir yumaklaştırıcı eklenebilir.

Kireç ile yumuşatmanın bazı ilave faydaları vardır: Radium-226 ve radium-228 giderilir. TOK (organik madde) konsantrasyonu azalır. Ağır metaller, silika ve florür çeşitli oranlarda giderilir. Kireç eklendiği zaman suyun pH değeri yükseltildiği için ayrıca bir ön-dezenfeksiyon işlemine ihtiyaç kalmayabilir.

Yüzey suları

Yukarıda izah edilen arıtma akım şemaları yüzey sularına da tatbik edilebilir. Genellikle yüzey sularında bulanıklık, organik madde ve mikroorganizma konsantrasyonları yeraltı sularına göre daha yüksek, demir, manganez ve sertlik ise daha az olduğu için, yüzey sularının arıtım usülleri yukarıdaki akım şemalarında gösterilenlerden farklı olmaktadır.

Yüzey sularının tasfiyesinde en önde gelen hedef bulanıklığın azaltılmasıdır. Bunun sebepleri geçen sayıdaki yazımızda “Bulanıklık” başlığı altında anlatılmıştı. En yaygın olarak kullanılan arıtma akım şeması sırasıyla ön-dezenfeksiyon/oksidasyon, yumaklaştırma, çöktürme, hızlı filtrasyon ve dezenfeksiyon işlemlerini ihtiva etmektedir:



Son senelerde ön-klorlama işleminin yerine ön-ozonlama daha çok kullanılmaya başlamıştır. Ozon kullanımının faydaları arasında şunlar sayılabilir: (1) THM'ler ve diğer klorlu organik maddeler meydana gelmez, (2) Suya koku ve tad veren maddeler oksitlenerek koku ve tad problemi kısmen veya tamamen giderilebilir, (3) Suda demir ve/veya manganez varsa oksitlenerek giderilmesi sağlanır. (4) Renk giderimine yardımcı olabilir.

İçme suyu arıtımında en yaygın olarak kullanılan yumaklaştırıcı alüminyum sülfattır ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Suya eklendiği zaman $\text{Al}(\text{OH})_3$ çökeltisi meydana gelir. Demir tuzları ferrik klorür (FeCl_3) ve ferrik sülfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) alüminyum sülfattan sonra en yaygın olarak kullanılan yumaklaştırıcılardır. Demir tuzları suya eklendikleri zaman ferrik hidroksit ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) çökeltisi meydana gelir.

Alüminyum veya demir tuzları suyla karıştıkları zaman oluşan çökelti kristalleri askıdaki katı maddelerin (kil, bitki parçaları, mikroorganizmalar, vb.) etrafında büyüyerek bunları içine alır. Ayrıca, bulanıklığa sebep olan çeşitli parçacıklar ve bazı çözünmüş organik maddeler yumak ("flok") tabir edilen bu çökelti parçacıklarına yapışır veya yumakların yüzeyinde tutulurlar. Oluşan yumaklar çöktürme tankında ve filtrelerde sudan ayrılırlar. Bu sayede sadece katı parçacıklar ve bulanıklık değil, bazı organik ve inorganik çözünmüş maddeler de giderilmiş olur.

Yukarıda gösterilmiş olan akım şeması Türkiye'deki hemen bütün büyük arıtma tesislerinde kullanılmaktadır. Bazı tesislerde ön-ozonlamadan (veya ön-klorlamadan) önce havalandırma işlemi de tatbik edilmektedir. Çok yüksek bulanıklığa sahip suların (çamurlu akan akarsuların vs.) arıtılmasında yukarıdaki şemada gösterilen bütün işlemlerden önce ayrıca bir ön-çöktürme işleminin kullanılması tavsiye edilir. Ön-çöktürme işlemi için yumaklaştırıcı kullanılmayabilir. Bu tankta kil, kum vb. kolay çökelebilen katı parçacıklar tutularak tesisin geri kalan kısmının yükü hafifletilir, filtrelerin çabuk tıkanmasının önüne geçilir ve çıkış suyu kalitesinin bozulmasına mani olunur. Akarsularda inşa edilen regülatör (su alma) yapıları uygun bir şekilde tasarlanırsa ön-çöktürme işlemi için kullanılabilirler.

Baraj, göl, vb. durgun yüzey sularının kullanıldığı durumlarda da su alma yapısının tasarımı çok önemlidir. Göl, rezervuar gibi su kaynaklarında su kalitesi parametreleri (sıcaklık, demir ve manganez konsantrasyonları, çözünmüş oksijen, amonyak, alglar, vs.) suyun alındığı derinliğe göre değişmektedir. Su alma yapıları mutlaka tercihe bağlı olarak değişik seviyelerden su almaya imkan verecek şekilde inşa edilmelidir. Her seviyedeki su kalitesi mevsimlere göre değiştiği için, değişik zamanlarda değişik seviyelerden su alınarak arıtma tesisinin işletilmesi büyük oranda kolaylaştırılabilir.

Türkiye'de büyük arıtma tesisleri normal olarak belediyeler veya DSİ tarafından inşa ettirilmektedir. Yeni bir arıtma tesisi tasarlanıp inşa edilmeden önce şu hususlara dikkat edilmesi hatalı kararlara mani olacak ve büyük tasarruf sağlayacaktır: (1) Proses (akım şeması) seçilmeden önce arıtılacak olan suyun mümkün olan en teferruatlı tahlili yapılmalıdır. pH, sıcaklık, alkalinite, amonyak, nitrat, nitrit, demir, manganez, florür, klorür, sülfat, gerçek renk, bulanıklık, sertlik, toplam organik karbon (TOK), toplam ve fekal koliform konsantrasyonları mutlaka ölçülmelidir. Su kaynağında kirlenme (evsel veya endüstriyel atıksu deşarjı veya mevzuu bahis olan havzada yaygın gübre kullanımı vb.) mevcutsa daha detaylı bir tahlil yapılmalıdır. Su kalitesi parametreleri mümkünse en az bir sene (dört mevsim) takip ve kayıt edilmelidir. (2) Şu özelliklere sahip sular direkt filtrasyon ile arıtılabilirler: Senenin büyük kısmında bulanıklığı 5 NTU'nun altında ve renk değeri 40 birimden az, demir 0.3 mg/L'den az ve manganez 0.05 mg/L'den az. (Direkt filtrasyon metodunda çöktürme tankları mevcut değildir. Yumaklaştırıcı eklenen su hızlı ve yavaş karıştırma işlemlerinden sonra filtrelere girer. Çöktürme tanklarının olmaması hem ilk yatırım maliyetini azaltır, hem de işletme masrafları azalır.) (3) Mümkün olan en basit işlemler ve prosesler kullanılmalıdır. En "modern" ve en yeni teknoloji her zaman ve her yerde en uygun teknoloji değildir. İşletmede zorluklar çıkaracak, karışık yapıda, ithal parça ve malzemelerle çalıştırılacak tesis seçimlerinden kaçınılmalıdır. Mekanik ve elektronik cihaz ve aletler asgari

oranlarda kullanılmalıdır. Mesela, hızlı karıştırma işlemi için pervaneli karıştırıcılar yerine serbest düşüşlü (savak tipi) bir karıştırıcı seçilebilir. Filtrasyonda otomatik kontrollü sabit debili filtreler yerine mekanik olmayan azalan debili filtrasyon metodu kullanılabilir. (4) Proses seçimi yapacak kişiler işletme mühendisleri ile irtibat kurarak onların tecrübelerinden faydalanmalıdır. Kurulması düşünülen tesisin bir benzeri Türkiye’de mevcutsa, tesisi bizzat işleten mühendis ve teknisyenlerden tesisin işletilmesindeki zorluklar, tesisin performansı, işletme ve bakım maliyetleri vs. hakkında bilgi alınmalıdır. (5) Kurulacak tesiste kullanılacak kimyevi maddeler ve miktarları kavanoz (jar) testleri ve pilot tesisler vasıtası ile tespit edilmelidir. Mesela, en uygun yumaklaştırıcı türünü ve dozajını testler yapmadan tayin etmek doğru değildir. (6) Türkiye’de ilk defa tatbik edilecek olan tasarımların mühendislik bilimi açısından ne derece doğru ve iyi olduğu üniversitelerimizin Çevre Mühendisliği bölümlerinde bulunan ve içme suyu konusunda uzman bilim adamlarımıza kontrol ve teyid ettirilmelidir.

Küçük Su Arıtma Tesisleri

Apartman siteleri, hastaneler, oteller, fabrikalar ve bazı küçük yerleşim birimlerinde kullanılan arıtma sistemleri yukarıda anlatılanlardan biraz farklı olabilir. Mesela, yumuşatma için kireç/soda metodu yerine iyon değişimi yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok küçük tesislerde kum filtreleri yerine kartuş filtreler kullanılabilir. Bu gibi küçük tesislerin işletiminde mühendis, kimyager, vb. vasıflı elemanlar istihdam edilmezler. Bundan dolayı kurulan tesislerde işletim kolaylığı ve otomasyon öne çıkmaktadır. Alüminyum sülfat gibi bir yumaklaştırıcının satın alınması, hazırlanması ve en uygun miktarda dozlanması veya klor gazı (veya hipoklorit) tedarik edilip uygun dozajda kullanılması belediyeler tarafından işletilen büyük tesislerde mutad olarak yapılan ve kolay sayılan işler olmakla beraber, küçük tesislerin işletiminde bunlar sıkıntı doğurabilmektedir. Dezenfeksiyon için UV lambaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Yumaklaştırma (hızlı ve yavaş karıştırma işlemleri) ve çöktürme hemen hiç kullanılmamaktadır. Yumaklaştırmaz hızlı filtrasyon, aktif karbon filtreleri (kloru gidermek için), iyon değişimi ile yumuşatma (sert sular için) ve UV ile dezenfeksiyon en tipik kombinasyonlardan biri olarak görülmektedir. Bahis konusu küçük tesislerin çıkış suyu kaliteleri çoğu zaman titizlikle takip edilmediği için bu tür arıtma sistemlerinin ne derecede başarılı olduğu tartışmalıdır. Bilhassa bir yumaklaştırıcı kullanmadan hızlı filtrelerin çok etkili olması beklenmemelidir. Yumaklaştırıcı kullanılmadığı zaman filtrasyondan önce bir ön-ozonlama birimi kullanılırsa daha iyi bulanıklık ve parçacık giderimi meydana gelir.

Gerek büyük tesislerde, gerekse küçük arıtma sistemlerinde tasarım yanlışlıkları veya proses seçim hataları çok sık görülmektedir. Ekseriyetle bilgi eksikliğinden kaynaklanan üç tür hata çok yaygındır: (1) Zaten temiz ve yüksek kalitede olan bir suya gereksiz arıtma işlemlerinin tatbik edilerek kaynakların israf edilmesi. (2) Kifayetsiz veya yanlış tasarlanmış arıtma birimleri sebebiyle arıtılmış su kalitesinin yeterince iyi olmaması. (3) İyi tasarlanmış ve inşa edilmiş bir tesisin işletilmesinde yapılan hatalar. Bilhassa bazı küçük tesislerde gerek ham su kalitesi gerekse çıkış suyu kalitesi iyi takip edilmediği için bu tür hatalar gözden kaçabilmektedir. Mesela, yüzey sularının arıtılmasında yumaklaştırıcı kullanmadan hızlı filtrasyon tatbik edilmesi durumunda, filtreler Giardia ve Crypto gibi hastalık yapan ve yüzey sularında yaygın olarak mevcut bulunan mikroorganizmaları etkili bir şekilde tutamazlar. Bu şekilde arıtılmış bir su berrak ve renksiz bir görünüme ve iyi bir tada sahip olsa da, içme suyu olarak tüketimi emniyetli olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- 1) ASCE (1991). *Slow Sand Filtration: A report prepared by the Task Committee on Slow Sand Filtration*. Editor: Logsdon, G.S., ASCE, New York.
- 2) AWWA (1999). *Water Quality and Treatment, A Handbook of Community Water Supplies*. 5th Ed., American Water Works Association, McGraw-Hill, New York.
- 3) AWWA/ASCE (1998). *Water Treatment Plant Design*. 3rd Ed. McGraw-Hill, New York.
- 4) Eroğlu, V. (1995). *Su Tasfiyesi*. İTÜ Matbaası, İstanbul.
- 5) Huisman, L. (1980). *Slow Sand Filtration*. Delft University of Technology, Netherlands.
- 6) J. M. Montgomery Consulting Engineers (1985). *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley & Sons, New York.
- 7) Sawyer, C. N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F. (1994). *Chemistry for Environmental Engineering*, 4th Ed., McGraw-Hill, New York.
- 8) Schulz, C.R. and Okun, D.A. (1984). *Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries*. John Wiley & Sons, New York.
- 9) Walker, I. (2003). "Chloramination-future best practice for the water industry?" *Water21, Magazine of the International Water Association*. February 2003.
- 10) Yüksel, E., Akgiray, Ö. ve Soyer, E. (2003). "Direct Filtration with Preozonation for Small Water Treatment Systems." *Water Science & Technology* (in press).