

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



TARİH: EYLÜL-2020

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU

İçindekiler

1. GİRİŞ	4
2. DEZENFEKTAN MADDE SEÇİMİ.....	6
3. OZON	9
3.1. Bromat	13
3.2. İyodat.....	15
4. ULTRAVİOLE IŞIK (UV)	16
5. KLOR DİOKSİT	20
≤ 0,5.....	22
5.1. ClO₂/Klor Maliyet Karşılaştırılması	24
5.2. Kedi İdrarı ve Gazyağı Kokusu	25
6. FİLTRASYON.....	27
7. KONVANSİYONEL İÇME SUYU ARITMA İŞLEMLERİNDE CRYPTOSPORİDİUM GİDERİLME	28
8. KLOR	31
9. JARTEST ÇALIŞMASI.....	32
10. KAYNAKLAR	33
Şekil 1. Ozonla Dezenfeksiyon ve Cryptosporidium İnaktif Hale Getirilmesi İşlemi	10
Şekil 2. Düşey-Perdeli Difüzörler Beslenen Ozon Temas Tankına Örnek	10
Şekil 3. Tipik 4 Bölmeli Ozon Temas Tankı Şeması: (A) Bacasız ve (B) Bacalı. (B)'deki Bacalar Reaktördeki Ters Akımı Arttırmak İçin Kullanılmıştır	11
Şekil 4. UV Işınları İle Birincil Dezenfeksiyon.....	17
Şekil 5. Birincil ve İkincil Dezenfeksiyon İçin Klordioksit Kullanılması	20
Şekil 6. Klor-Klorit Yöntemi Kullanılarak Konvansiyonel ClO₂ Üretimi.....	21
Tablo 1. Dezenfektanların Kullanımlarına Bağlı Özellikleri	7
Tablo 2. Farklı Patojenler Üzerine Dezenfektanların Etkisi.....	8

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



Tablo 3. Ozon Tarafından Cryptosporidium Oocysts İnaktivasyonu İçin Gerekli CT Değerleri (pH:6-9)	9
Tablo 4. Cryptosporidium İçin Ozon Dezenfeksiyon Sonuçlarının Özeti	12
Tablo 5. Mikroorganizmaların Etkisiz Hale Getirilmesi İçin Gerekli UV Dozu (mJ/cm ²).....	18
Tablo 7. Klordioksitle Cryptosporidium'un Etkisiz Hale Getirilmesi İçin Gerekli CT Değerine (mg-dak/L) Sıcaklığın Etkisi	22
Tablo 8. Ülkelerin Klorit Limit Değerleri.....	23
Tablo 9. Seçilmiş Kimyasal ve Fiziksel Proseslerle Cryptosporidium Giderme Verimliliği	29
Tablo 10. Pilot Ölçek ve Konvansiyonel Full Ölçek İçme Suyu Artıma Tesisinde Cryptosporidium ve Giardia Giderimi	30

1. GİRİŞ

Güvenli ve kaliteli içme suyunu şebekeye vermek temel esastır. Bu yüzden içme suyu kalitesini güvence altına alacak şekilde planlama yapılması, sistemin değerlendirilmesi, izleme ve denetim yapılması temel yönetim esasıdır.

Türkiye’de yerüstü ve yeraltı içme suyu kaynakları ve karakterizasyonu haritası çıkartılmalı, bu veriler 5 yılda bir yenilenmeli ve buna göre teknolojik arıtma teknikleri uygulamaya konmalı ve geliştirilmelidir.

Tek hücreli parazit cryptosporidium, cinsel ve aseksüel replikasyonu içeren karmaşık bir yaşam döngüsüne sahip zorunlu, hücre içi, koksidiyen bir parazittir. Dışkıdan 4–6 µm çapında kalın duvarlı ookistler dökülür. Cryptosporidium cinsi yaklaşık 13 türe sahiptir ve insan enfeksiyonları ağırlıklı olarak *C. hominis* ve *C. parvum* sığır genotipinden kaynaklanmaktadır. Diğer Cryptosporidium türlerinin seyrek enfeksiyonlara neden olduğu bildirilmiştir.

Çok çeşitli hayvanlar, *C. hominis/parvum* rezervuarlarıdır, ancak insanlar ve çiftlik hayvanları, özellikle de genç hayvanlar, bulaşıcı insan organizmalarının en önemli kaynağıdır. Buzağılar günde 1010 ookist salgılayabilir. Ham atıksu için litre başına 14.000 ve yüzey suyu için litre başına 5800 kadar yüksek ookist konsantrasyonları rapor edilmiştir. Ookistler tatlı suda haftalarca aylarca hayatta kalabilirler. Cryptosporidium ookistleri birçok içme suyu kaynağında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, çoğu durumda, bulaşıcı insan türlerinin mevcut olup olmadığı hakkında çok az bilgi vardır. Halihazırda mevcut olan standart analitik teknikler, dolaylı bir canlılık ölçüsü sağlar ve insan enfeksiyonu belirtisi göstermez. Ookistler ayrıca rekreasyon sularında da görülür.

Hem Cryptosporidium ookistleri hem de Giardia kistleri çok dayanıklıdır ve suda aylarca hayatta kalabilirler.

Cryptosporidium ookistlerin boyutları, 3 ila 6 µm arasında değişir.

Cryptosporidium fekal-oral yolla bulaşır. Enfeksiyonun ana yolu kişiden kişiye temastır. Diğer enfeksiyon kaynakları arasında kontamine yiyecek ve su tüketimi ve enfekte çiftlik hayvanları ve muhtemelen evcil hayvanlar ile doğrudan temas yer alır. Kontamine içme suyu, rekreasyon suyu ve daha az ölçüde gıda salgınlarla ilişkilendirilmiştir. 1993 yılında Cryptosporidium, ABD, Milwaukee'nin içme suyu tedarikinden 400.000'den fazla insanın enfekte olduğu rekor seviyedeki en büyük su kaynaklı hastalık salgınına neden olmuştu. Cryptosporidium ookistlerinin bulaşıcılığı nispeten yüksektir. Sağlıklı insan gönüllüleri üzerinde yapılan araştırmalar, 10'dan az ookistin içeren suyun içilmesi, enfeksiyona yol açabileceğini ortaya koymuştur.

Küresel olarak Cryptosporidium'un, yılda 44,8 milyondan fazla ishal vakasından ve yaklaşık 48.000 insanın erken ölümünden sorumlu olduğunu tahmin etmektedir.

İnsan ve hayvan dışkıyla yayılan bu parazitler, sanitasyonu bozuk çevrelerde içme suyu kaynaklarının kontaminasyonuna yol açmaktadır. Su ortamında uzun süre kalabilmeleri ve

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



dezenfeksiyona dayanıklı olmaları içme suyu arıtma sistemlerinde önemli sorunlar oluşturmaktadır.

Bağışıklık sistemi ciddi şekilde zayıflamış bireylerde hastalık süresi uzayabilir ve yaşamı tehdit edebilir. Bu tür kişiler, sağlıklarını korumak için almaları gereken önlemler konusunda kendi doktorlarından tavsiye alabilirler. Bu, kaynağı ne olursa olsun sadece kaynamış su içmeyi, belirli gıdalardan kaçınmayı ve hayvanlarla teması en aza indirmeyi içerir.

Cryptosporidium genellikle kendi kendini sınırlayan ishale neden olur, bazen mide bulantısı, kusma, baş ağrısı, kramp, halsizlik ve ateş de dahil olmak üzere normalde sağlıklı insanlarda genellikle bir hafta içinde düzelir, ancak bir ay veya daha uzun sürebilir. Özellikle uzun vadede çiftçilerde kilo kaybına neden olmaktadır. Cryptosporidiosis'un şiddeti, yaşa ve bağışıklık durumuna göre değişir ve ciddi şekilde bağışıklığı zayıflamış kişilerde enfeksiyonlar yaşamı tehdit edebilir. Cryptosporidiosis salgınlarının etkisi, dahil olabilecek çok sayıda insan ve bununla ilişkili sosyoekonomik çıkarımlar nedeniyle nispeten yüksektir.

Su, cryptosporidium'un taşınmasında en önemli araçlardan biri olarak görülmektedir. Su kaynaklı patojenler arasında yer alan cryptosporidium'un insan sağlığı açısından büyük endemik salgınlara, hayvancılıkta ise büyük ekonomik kayıplara neden olduğu ortaya konulmuştur.

Bu nedenle cryptosporidium, *Kılavuz Değerleri A1, 0,075 ookist/L olmalıdır.*

Günümüzde Cryptosporidium içme sularında kontrol edilmesi gereken yeni ve en önemli kontaminantlardan biri haline gelmiştir.

Dezenfeksiyonla; (1) Patojenler ve (2) Estetiği bozan organizmalar imha edilmelidir. Dezenfektanlar, kimyasal, fiziksel, mekanik ve radyasyon olarak dört ayrı kategoriye ayrılmaktadır.

Dezenfektan kullanımı öncesinde;

- Dezenfektanın cinsi ve dozu,
- Gerekli temas süresi,
- Suyun sıcaklığı ve kimyasal özellikleri,
- Giderilecek mikroorganizmaların cinsi ve türü.

En pratik ve ekonomik Cryptosporidiosis inaktif hale getirme metotlarından birisi UV ışınlarıdır.

Ancak, Cryptosporidium'dan kaynaklanan potansiyel riski azaltmaya yönelik kontrol önlemleri, insan ve hayvan atıkları tarafından içme suyu kaynaklarının kirlenmesinin önlenmesine, dağıtım sırasında suyun yeterli arıtılmasına ve korunmasına odaklanılmalıdır.

2. DEZENFEKTAN MADDE SEÇİMİ

Birincil dezenfektan madde seçiminde, içme suyu kaynağında toplam organik karbon (TOK) konsantrasyonu, toplam bromür konsantrasyonu ve filtrelili veya filtresiz sistemler etkilidir.

TOK Konsantrasyonu: İçme suyunda yüksek TOK konsantrasyonu, dezenfeksiyon yan ürün (DYÜ) oluşumu için iyi bir göstergedir. Yüksek TOK değerleri, DYÜ oluşturma potansiyelini artırmaktadır. TOK ve DYÜ konsantrasyonları için yüksek kabul edilen değerler;

- TOK > 2 mg/L,
- TTHM > 0,08 mg/L,
- HAA5 > 0,06 mg/L

gibidir.

Toplam Bromür Konsantrasyonu: Ozon ve peroksit gibi güçlü oksidantların kullanılmasıyla toplam bromür reaksiyonu sonucu hipobromür asit ve bromat iyonu oluşmaktadır. İçme suyu kaynağında 0,1 mg/L ve üzerindeki toplam bromür konsantrasyonları, yüksek toplam bromür konsantrasyonu olarak tanımlanmaktadır.

Filtrelili ve Filtresiz sistemler: Biyolojik olarak ayrışabilir maddeler ile ozonlama yan ürünlerinin azaltılması için biyofiltrasyon yararına olmaksızın filtresiz sistemlerde ozon veya ozon/peroksit kullanılması uygun değildir.

İkincil (son) dezenfeksiyon içme suyu şebeke sisteminde bakiye dezenfektan bırakılması amacıyla kullanılmaktadır. İçme suyu şebekesinde olası mikrobiyal oluşumlar ve girişimler ikincil dezenfeksiyonla engellenmektedir. Klor, kloraminler ve klordioksit gibi bakiye bırakabilen dezenfektanlar, ikincil dezenfeksiyon amacıyla kullanılabilir. İkincil dezenfektan seçiminde toplam asimile edilebilir, organik karbon (AOC) konsantrasyonu, dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturma potansiyeli (DYÜOP) ve dağıtım sisteminde bekleme zamanı etkilidir. Bu parametrelerin ikincil dezenfektan seçiminde önemi aşağıda belirtilmiştir.

Asimile edilebilir organik karbon (AOC): Yüksek TOK içeren sulara birincil dezenfektan olarak ozon gibi güçlü oksidantlar kullanıldığında AOC oluşmaktadır. Filtrasyon sonrası 0,1 mg/L ve üzerindeki konsantrasyonlar yüksek AOC konsantrasyonu olarak tanımlanmaktadır. Yüksek AOC konsantrasyonu oluşması durumunda çıkış sularını stabilize etmek veya dağıtım sistemlerinde mikrobiyal büyümeleri önleyebilmek için ilave biyolojik ve granüller aktif karbon (GAC) filtrasyonu uygulanmalıdır.

Dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturma potansiyeli (DYÜOP): DYÜOP, klor kullanılması durumunda dağıtım sisteminde oluşması beklenen organik yan ürün miktarının bir göstergesidir. Tesis çıkış sularında DYÜ miktarları mümkün mertebe minimum olmalıdır. Çünkü DYÜ oluşumu dağıtım sisteminde devam eder. DYÜOP için yüksek kabul edilen değerler aşağıda verilmiştir:

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



- Yedi günlük TTHM > 0,08 mg/L
- Yedi günlük HAA5 > 0,06 mg/L

Dağıtım sisteminde bekleme zamanı: Geniş bir dağıtım sisteminde, terfi merkezlerinde bekletilen veya terfi edilerek nihai kullanıcıya ulaşan içme sularında yeterli dezenfektan bakiyesi bulunmalıdır. Nihai kullanıcıya kadar yeterli dezenfektanın sağlanması için yüksek konsantrasyonlarda dezenfektan ihtiyacının olması halinde klordioksit kullanılması ekonomik ve uygun olmayabilir (koku kirliliğine dikkat edilmeli). Çünkü klordioksit uygulamalarında 48 saat ve üzerindeki süreler dağıtım sisteminde yüksek bekleme süresi olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 1. Dezenfektanların Kullanımlarına Bağlı Özellikleri

Durum	Klor	Ozon	Klordioksit	UV
THM ve TOK oluşturur	Evet	Bazen	Hayır	Hayır
Oksitlenmiş organik oluşturur	Bazen	Evet	Bazen	Bazen
Halojenik organik oluşturur	Evet	Bazen	Hayır	Hayır
İnorganik yan ürün oluşturur	Hayır	Bazen	Evet	Hayır
Biyolojik olarak ayrışabilir organik madde oluşturur	Bazen	Evet	Bazen	Hayır
Maksimum kalıntı dezenfektan seviyesi	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Giardia giderimi - $<2,0\text{-log}_{10}$	Evet	Evet	Evet	Hayır
Giardia giderimi - $>2,0\text{-log}_{10}$	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Cryptosporidium giderimi - $<2,0\text{-log}_{10}$	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Cryptosporidium giderimi - $>2,0\text{-log}_{10}$	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
Büyük tesisler	Evet	Evet	Evet	Hayır
Küçük tesisler	Evet	Evet	Evet	Evet

Ham içme suyu kaynağında cryptosporidium, Kılavuz Değerleri A1, 0,075 ookist/L ve A3, 1 ookist/l sınır değerlerinin üzerinde ise Cryptosporidium gibi kirleticiler, şebekeye verilmeden önce giderilmelidir.

Cryptosporidium'un %99,9 oranında uzaklaştırılmasını ve/veya inaktivasyonunu sağlamak için arıtma teknolojileri yeterli olmalıdır.

Tablo 2'deki azalma seviyeleri normal doz ve temas süresi koşulları içindir ve sadece genel karşılaştırma amaçlıdır. Farklı dezenfektanların etkinliği doza, temas süresine ve su özelliklerine bağlıdır.

MNE PROJE

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



Farklı patojenler üzerinde dezenfektanların verimlilikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı Patojenler Üzerine Dezenfektanların Etkisi

Dezenfektan	Mikroorganizma Giderme Gücü			
	E.Coli	Giardia	Cryptosporidium	Virüsler
Klor	Çok etkili	Orta derece etkili	Etkisiz	Çok etkili
Ozon	Çok etkili	Çok etkili	Çok etkili	Çok etkili
Klordioksit	Çok etkili	Orta derece etkili	Orta derecede etkili	Çok etkili
UV	Çok etkili	Çok etkili	Çok etkili	Orta derecede etkili

1- \log_{10} giderim (inaktivasyon) %90’lık dezenfeksiyon verimine, 2- ve 3- \log_{10} ’luk inaktivasyonlar da sırayla %99 ve %99,9’luk verimlere karşı gelir.

3. OZON

Ozon, çok güçlü bir dezenfektan ve oksidant olup mikroorganizmaları kısa sürede etkisiz hale getirebilmekte, ayrıca renk, koku ve tat kirliliklerini de gidermektedir.

Ozon, Cryptosporidium oocysts inaktivasyonu için en önemli dezenfektan maddedir. Dezenfektan olarak ozon kullanıldığında organik ve inorganikleri okside etmek için gerekli ozon ihtiyacı (dozu) dikkate alınarak belirlenmelidir. Ozon, hücre duvar yapısını bozarak mikroorganizmaları etkisiz hale getirmektedir.

Ozon tarafından Cryptosporidium oocysts inaktivasyonu için gerekli CT değerleri Tablo 3'de verilmiştir. C: Dezenfektan konsantrasyonu, mg/L olarak ölçülür. T: Dezenfektan ile organizmanın temas süresi, dakika olarak ifade edilir. C ne kadar yüksekse, mikroorganizmaların etkisiz hale getirilme oranı da o kadar yüksek olacaktır. Aynı şekilde, temas süresi T artırılsa, dezenfeksiyonun verimi (mikroorganizmaları öldürme oranı) artacaktır. Belli bir dezenfeksiyon verimi, düşük bir C ile yüksek bir T kullanılarak veya C'yi yüksek tutup küçük bir T değeri kullanılarak elde edilebilir. Bundan dolayı, dezenfeksiyon verimi genellikle CT faktörüne bağlı olarak ifade edilir.

Tablo 3. Ozon Tarafından Cryptosporidium Oocysts İnaktivasyonu İçin Gerekli CT Değerleri (pH:6-9)

Log İnaktivasyon	Sıcaklık °C				
	<1	5	10	15	20
0,5	305	7,9	4,9	3,1	2,0
1,0	610	16	9,9	6,2	3,9
2,0	1220	32	20	12	7,8
3,0	1830	47	30	19	12

Her 10 °C'lık sıcaklık artışı ozonla dezenfeksiyon verimini 2-3 misli artırır. Buna göre, soğuk bir suyun ozonla dezenfeksiyonu için daha yüksek dozlamaya gerektirir.

Uygulamada arıtma tesisine gelen ham içme suyu sıcaklığına, Cryptosporidium oocysts değerine ve dezenfeksiyon temas süresine, T, bağlı olarak dezenfektan ozon konsantrasyonu seçilerek Cryptosporidium oocysts inaktivasyonu için gerekli CT değerleri tespit edilir.

Ozon, parazit inaktivasyonu için klormadan çok daha büyük bir potansiyel sunabilir. Suda 1,1 mg/L ozon konsantrasyonu, %90 oranında cryptosporidium giderebilir. Suda ozon konsantrasyonu, 4mg/L çıktığı zaman diğer Schistosoma mansoni yumurtaları dahi giderilmektedir. Bununla birlikte, ozonun Ascaris yumurtaları üzerinde hiçbir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU

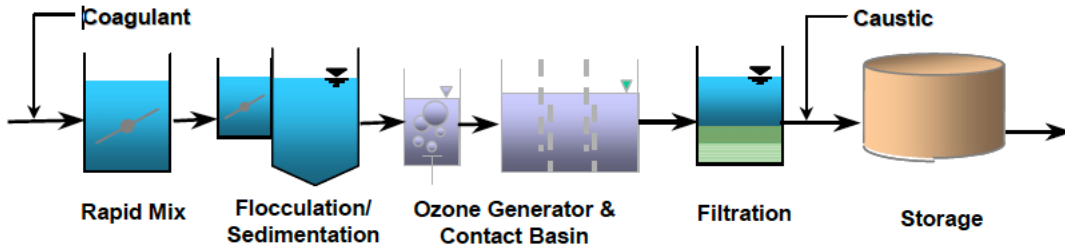


İçme suyu arıtma tesisinin debisine bağlı olarak ozon dozlaması, boruda veya temas tankında yapılır. Ozonun bozulduğu zaman kadar, temas süresini tutarak CT değeri arttırılabilir.

Ozon dozlaması yapılacağı zaman mevcut tesisin hidroliğinin müsait olup olmadığı incelenmelidir.

Cryptosporidium gibi canlıları inaktif hale getirilebilmesi için yüksek CT değerleri gerektiren (Cryptosporidium vb.) güçlendirilmiş dezenfeksiyon/oksidasyon uygulamalarında ilave (uzun) temas süresi (20-60 dk.) sağlanması gerekebilir.

Klorlama yerine ozonlamanın akım şeması Şekil 1'de verilmiştir.



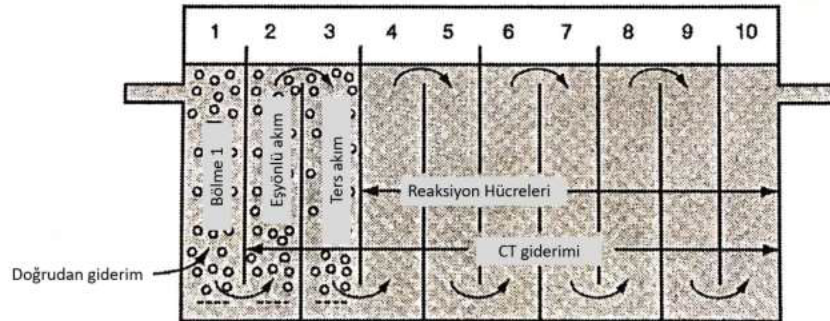
Şekil 1. Ozonla Dezenfeksiyon ve Cryptosporidium İnaktif Hale Getirilmesi İşlemi

İçme suyu arıtma sistemlerinde kullanılan ozon dört temel bileşen gerektirir:

- Gaz besleme sistemi,
- Ozon jeneratörü,
- Ozon kontaktörü,
- Çıkış gazı (bakiye) imha sistemi.

Ozonlama ünitesi yakınında yanıcı ve patlayıcı maddelerin depolanması ve kullanılmasına izin verilmemelidir. Uyarıcı afişler ile bu durum belirtilmelidir.

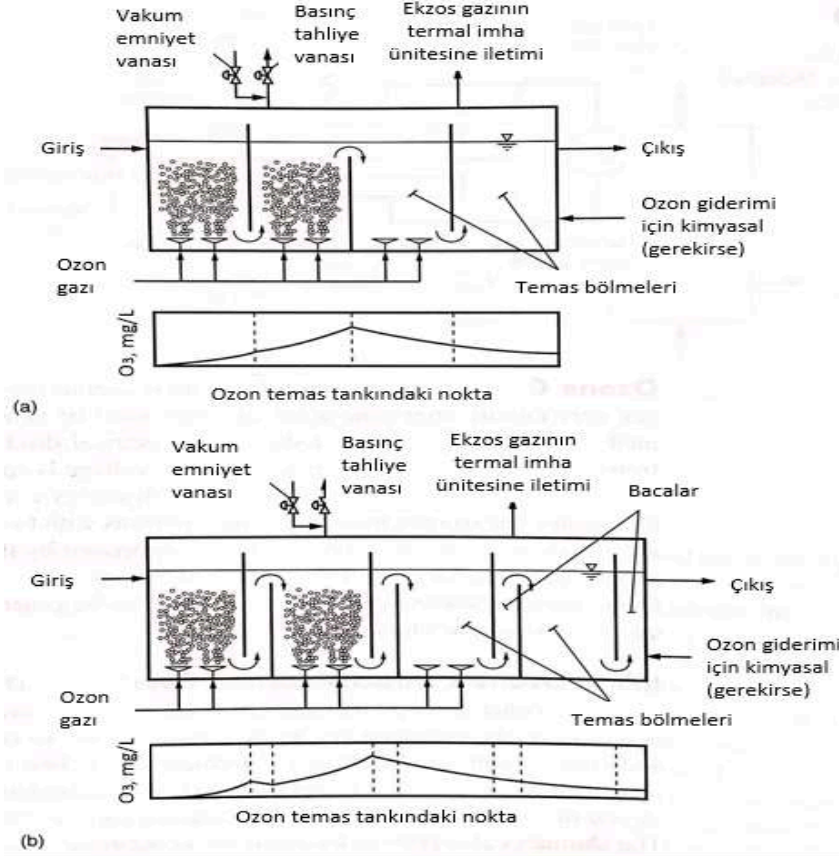
Ozonla dezenfeksiyon, ozonun derin, düşey perdeli ve çok gözlü bir temas tankı tabanından difüzörlerle enjekte edildiği bir reaktörde gerçekleştirilir (Şekil 2).



Şekil 2. Düşey-Perdeli Difüzörler Beslenen Ozon Temas Tankına Örnek

Hesaplamalarla ilgili detaylı açıklamalar ve hesaplamalar kaynaklar 16 ve 35'da verilmiştir.

Basitleştirilmiş bir ozon sisteminin şeması Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Tipik 4 Bölmeli Ozon Temas Tankı Şeması: (A) Bacasız ve (B) Bacalı. (B)'deki Bacalar Reaktördeki Ters Akımı Arttırmak İçin Kullanılmıştır

Çok sayıda ozonlama temas tankı betondan ve şaşırtmalı olarak yapılmaktadır. Bu şekilde temas tankı düşük ilk yatırım maliyeti ile yapılabilmektedir. Ozonun suya transferini artırmak için genellikle 5,5-6,5 m yüksekliğinde temas tankları yapılabilmektedir. Ozon temas tankının tavanı su seviyesinden 0,9 ila 1,5 m yüksekte olmalıdır. Böylece reaksiyona girmeyen gazlar bu alanda toplanır. Bazı sulara ozon verildiğinde köpük oluşmaktadır. Bu sebeple, tanklara köpük baskılayıcı nozullar yerleştirilmelidir.

Tablo 4'de cryptosporidium için ozon dezenfeksiyon sonuçlarının özeti verilmiştir.

Tablo 4. Cryptosporidium için Ozon Dezenfeksiyon Sonuçlarının Özeti

Ozone residual (mg/l)	Contact time (min)	CT product (mg/min l ⁻¹)	Temp °C	Per cent inactivation
1 ^a	5	5	25	90–99
1 ^a	10	10	25	>99
0.77 ^b	6	4.6	'Room'	>99
0.51 ^b	8	4.1	'Room'	>99
0.16–1.3 ^c	5–15	7	7	99
0.17–1.9 ^c	5–15	3.5	22	99
2.4 (avg) ^d	2.3	5.5	22–25	99
1.25 ^e	15	18.75	10	98.6
4 (approx) ^f	2	8	'Room'	>90
1–5 ^g	10	10–50	5	18–39
1–5 ^g	10	10–50	20	70–>99
0.7–1.5 ^h	14–25	9.8–27	8–10	42–84

Ozon, sudaki doğal organik madde ile reaksiyonu sırasında herhangi bir halojenli dezenfeksiyon yan ürünü (DBP) oluşturmaz. Bununla birlikte, içme suyu kaynağında toplam bromür varlığı, söz konusu ozonlama, yan ürünü bromattır (BrO₃⁻). Kanada İçme Suyu Kalitesi Yönergeleri, bromat için 10 µg/L'lik bir ara maksimum kabul edilebilir konsantrasyon (IMAC) seviyesi belirlemiştir. USEPA (1999), bromat iyon oluşumunun, 0,10 mg/L'den fazla toplam bromür içeren sular için önemli bir husus olduğunu bildirmiştir. Bu yüzden içme suyunda ozonlama yapılacaksa toplam bromür miktarı mutlaka tespit edilmelidir. Ozon, ayrıca aldehitler ve ketonlarla reaksiyona girerek başka yan ürünler oluşturabilir.

İçme suyu arıtımında ozonlama sistemlerinin kullanılmasının başlıca avantajları aşağıdaki gibidir:

- Virüslerin, Cryptosporidium ve Giardia gibi protozoan türlerin inaktivasyonu için klor, kloramin ve klor dioksitten biyosidal ajanı olarak daha etkilidir.
- Daha az konsantrasyon ve temas süresi gerektirdiğinden oldukça verimlidir.
- İçme suyundaki renk, tat ve kokuyu kontrol edilir
- Demir, mangan ve sülfidleri oksitlenir.
- Halojenli dezenfeksiyon yan ürünleri (THM'ler ve HAA5'ler) oluşturmaz.

İçme suyunda ozonlama sistemlerinin başlıca dezavantajları aşağıdaki gibidir:

Ham suda yüksek konsantrasyonlarda bromür ve organik bileşik varsa, bromatlar, aldehitler ve ketonlar gibi zararlı yan ürünler oluşabilir.

- Ozonlama işlemleri ekipmanları için yatırım, işletme ve bakım maliyetleri yüksektir.
- Bakiye koruma sağlamaz ve bu nedenle ikincil dezenfeksiyon gereklidir.
- Yüksek düzeyde bakım ve operatör becerisi gerektirir.
- Gaz çıkışı veya söndürme gerektirir.
- İçme suyu kaynağında toplam bromür konsantrasyonunun dikkate alınması gerekir.
- BAF kullanılmadığı sürece BDOC/AOC oluşumuna bağlı olarak yeniden büyümeyi teşvik etme eğilimindedir.
- Sistem boyutu, ham su kalitesi ve uygulanan dezenfektanların dozajındaki büyük farklılıklar nedeniyle, bu avantaj ve dezavantajların bazılarının belirli su sistemleri için geçerli olmayabileceği unutulmamalıdır.

Ozonlamanın yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir. Ozonlanmış içme suyunu şebeke sistemine vermeden önce bakiye ozon giderilmeli ve sonra klorlama yapıldıktan sonra su, şebeke sistemine verilmelidir.

Ozonlama ile ilgili güvenlik tedbirleri;

- Ozonlama yapılan yerlerde havalandırma sisteminin bulunması ve uygulama sırasında çalıştırılması gerekmektedir.
- Gaz kaçaklarının tespit edilmesi durumunda ozon jeneratörünün hemen kapatılması, ortamın boşaltılması ve havalandırılması gerekmektedir. Acil durumlarda tüm odanın havasını kısa sürede tahliye edebilecek kapasitede olmalıdır.
- Ozon kaçağına karşı dedektörler ve ihtiyaç halinde artık ozon giderici ve otomatik havalandırma/ozon üretimini durdurma sistemleri kullanılmalıdır.
- Ozon gazı aşındırıcı, zehirli bir gaz olmasından dolayı ozonlama sırasında operatör ozona dayanıklı ekipmanlar (gözlük, eldiven, gaz maskesi, elbise vb.) kullanmalıdır.

Ozonlama işlemi, yüksek enerji ve kompleks ekipman ihtiyacı ve yüksek ilk yatırım maliyeti sebepleriyle içme suyu arıtma tesislerinde yaygın kullanıma sahip değildir.

3.1. Bromat

Bromat, ozonlama yan ürünüdür.

Bromatın oluştuktan sonra bertaraf edilmesi çok zordur. Dezenfeksiyon koşullarının uygun şekilde kontrol edilmesiyle 0,01 mg/L'nin altındaki bromat konsantrasyonlarını elde etmek mümkündür.

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



Bromür iyonu içeren suların ozonlanması ile bromat, bromoform, bromlanmış asetik asitler, asetonitriller, bromopikrin ve eğer ortamda amonyak varsa siyanobromür gibi bromlanmış yan ürünler oluşur.

2 mg/L bromür iyonu içeren bir içme suyu kaynağı için 2 mg/L ozon kullanıldığında 53 µg/L bromoform ve 17 µg/L dibromasetik asit oluşur. Toplam bromür bileşikleri içeren suların ozonlanması ile ortamda bulunan hipobromit yükseltgeyerek karsinojen bromat iyonları oluşturur. Ozonlanmış suda ölçülen toplam bromür bileşikleri ve dezenfeksiyon yan ürün miktarlarının toplamı ham içme suyu kaynağında mevcut olan bromür iyonunun 1/3'dür. Bu sonuç bromür içeren ham suların ozonlanması sonucu belirlenemeyen bromlanmış yan ürünlerin varlığını gösterir.

İçme suyu kaynağında toplam bromür bileşiği konsantrasyonu $\geq 0,1$ mg/L ise; ozonlama ile Bromat konsantrasyonu ≥ 10 µg/L olabilir. Şebekeye verilen içme suyunda Bromat konsantrasyonu standartlarda verilen ≤ 10 µg/L olmalıdır. Bu yüzden ozonlama yapılmadan önce içme suyu kaynağında toplam bromür konsantrasyonu mutlaka tespit edilmelidir.

Ozonlama ile az sayıda yan ürün oluşmasına rağmen, ozon, organik ve inorganik bromat üretmek için sudaki organik ve inorganik bromür iyonlarıyla reaksiyona girer. Bromür, tatlı suda (ozonlamadan sonra) 10 ppb'den fazla ise bromat üretmek için bu yeterli konsantrasyon demektir. Bromat oluşumunu azaltma önerileri şunları içerir: su pH'nın 6,0'ın altına düşürülmesi, ozon dozlarının sınırlandırılması, daha düşük bir bromür konsantrasyonuna sahip alternatif bir su kaynağı kullanılması, amonyakla ön işlem yapılması ve ozonlamadan önce küçük konsantrasyonlarda kloramin eklenmesi.

Oluşan Bromat, aktif karbon filtrasyonu ve BAC veya yavaş kum gibi mikrobiyolojik süreçler filtrasyon ile bertaraf edilebilir.

Araştırmaların çoğu, aktif karbon filtrasyonu ve BAC gibi mikrobiyolojik işlemlerle veya yavaş kum filtrasyonu ile bromat giderimi yapılır. Ozonlama, biyolojik olarak parçalanabilen organik bileşikleri (kirleticileri) uzaklaştırmak için sıklıkla bu işlemler takip eder.

WHO (Dünya Sağlık Örgütü), EPA (Amerikan Çevre Koruma Kurumu), Kaliforniya Eyaleti Çevre Koruma Kurumu, Kanada Gıda Denetleme Kurumu gibi yerlerin yapmış oldukları bilimsel araştırmalarda, yapısında bromür bulunduran suların ozonlama sonrası bromat oluşturduğu, bromatın da uygulanan deneyler ve araştırmalar sonucunda kanserojen olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bromatın içme suyu ile alınması durumunda karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemi tahribatı da ortaya çıkabilmektedir.

Bromatın, örneğin fareler üzerinde yapılan çalışmada renal hücre tümörlerini indükleyen genotoksik bir kanserojen olduğu bulunmuştur. Deney hayvanlarında bromat kaynaklı kanserle ilgili çeşitli raporlar mevcuttur. Tedavi gören erkeklerde ve kadınlarda her iki doz grubunda da böbrek tümörlerinin (hem adenomlar hem de adenokarsinomlar) istatistiksel olarak önemli

MNE PROJE

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



ölçüde arttığı kaydedildi. Sınır değerlerinin üzerinde bromatlı içme suyu tüketen bazı kişilerde mide bulantısı, kusma, ishal ve karın ağrısı gibi mide-bağırsak semptomları vardı. Bu yüzden şebekeye verilen içme suyunda bromat sınır değerli 10 mikrogram/L olmalıdır (EC Avrupa Birliği (1998), USEPA (1998), Çin (2006), Kanada (2016), Güney Kore, Hindistan, Şili, Sudi Arabistan, Tayland ve TSE 266 Türk Standartları Enstitüsü uygulanan sınır değeri).

Türkiye’de İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte bromat sınır değeri 25 µg/L’den 10 mikrogram/L’e getirilmelidir.

3.2. İyodat

İçme suyu kaynaklarında genel olarak iyodür konsantrasyonu (<0,10 µg/L) düşük olur. İçme suyu ozonla dezenfeksiyon ve Cryptosporidium inaktive edilecekse ham içme suyu kaynağında iyodür konsantrasyonuna tespit edilmelidir. Bununla birlikte, özel jeolojik oluşumlar veya deniz suyu girişi nedeniyle, iyodür konsantrasyonları ≥ 50 µg/L seviyelerine kadar ulaşabilir. İyodür, ozon ile çok hızlı okside olur ve iyodat oluşturur. İkinci dereceden hız sabiti, $k = 1,2 \cdot 10^9 M^{-1} s^{-1}$ dir.

4. ULTRAVİYOLE IŞIK (UV)

İçme suyunun ultraviyole ışık (UV) dezenfeksiyonu, etkin bir dezenfeksiyon yöntemi olup birçok spor, virüs ve kisti inaktive eder. Suyun ultraviyole ışık (UV) dezenfeksiyonu, patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu için kimyasallar kullanmadığı için benzersiz bir arıtma yöntemidir. UV radyasyonu uygulanan sularda dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumu tespit edilmemiştir. Su kalitesi (bulanıklık gibi) ve debisi, UV verimi üzerinde etkilidir.

UV, birincil dezenfektan olarak kullanılır.

UV radyasyonunun Giardia ve Cryptosporidium gibi bakteriyel ve protozoan patojenleri etkisiz hale getirmede etkili olmaktadır. Diğer patojenlere kıyasla virüs inaktivasyonu için nispeten daha yüksek dozlarda UV radyasyonu gereklidir. UV dezenfeksiyonu işleminden sonra suda herhangi bir bakiye dezenfektan bırakmadığından, genellikle şebeke sisteminde korumayı sağlamak için ikincil bir dezenfektan gerekir.

UV dezenfeksiyon fiziksel bir süreçtir ve bu nedenle sıcaklık, pH ve alkalinite gibi su kalitesi parametrelerinin dezenfeksiyon etkinliği üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

UV ışınlarının dezenfeksiyon amaçlı olarak kullanıldığı içme arıtma tesislerinde yeterli, sabit, güvenli ve kesintisiz güç kaynağı olmalıdır.

UV ışınlarının dezenfeksiyon verimliliği, UV lambalarının yüzeyinde katı maddelerin birikmesiyle önemli ölçüde azalabilir. Yüksek konsantrasyonlarda demir, sertlik, hidrojen sülfid ve organik maddeler içeren sular, kireçlenmeye karşı daha duyarlıdır. Su içindeki askıda katı maddeler, patojenleri barındırarak ve onları UV radyasyonundan koruyarak dezenfeksiyon verimliliğini olumsuz etkileyebilir. Genel olarak, daha yüksek bulanıklıkların (tipik olarak 5 NTU'dan fazla) ve askıda katı madde seviyesi, dezenfeksiyon verimliliğini azaltır.

Etkili UV dezenfeksiyonu için;

- Bulanıklık <5 NTU,
- Demir <0,3 mg/L,
- Mangan <0,05 mg/L,
- Sertlik <120 mg CaCO₃/L,

olmalıdır.

Genellikle, ticari UV reaktörlerinin istenen arıtma hedeflerini karşılama becerisinin değerlendirilmesi veya doğrulanmasına ihtiyaç vardır. Böyle bir işlem, rakip UV teknolojilerinin konvansiyonel sistemlerle karşılaştırılmasına izin verir. Ayrıca, belirli bir UV lamba konfigürasyonunun halk sağlığı için yeterli koruma sağlayacağı konusunda bir rahatlık seviyesi

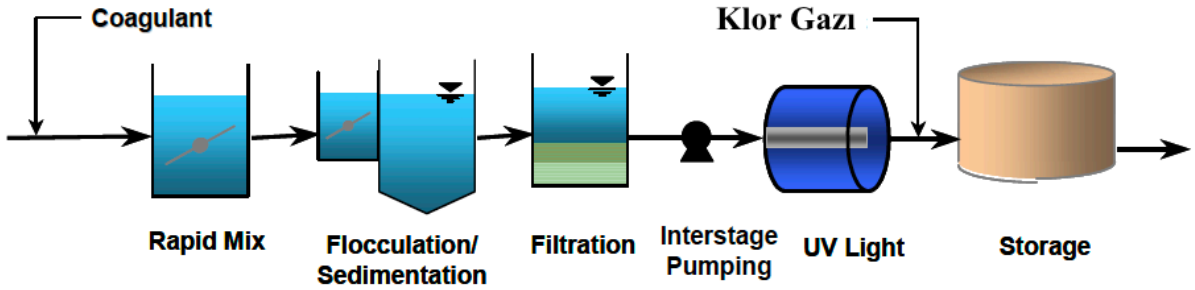
CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



sağlar. Bu, UV sistemleri için önemlidir, çünkü klor kalıntılarında farklı olarak, ultraviyole radyasyonu bir reaktör boyunca eşit olarak dağılmaz.

UV ışık dezenfeksiyonu, protozoanın inaktive edilmesinde oldukça etkilidir. UV ışığı, askıda katı maddeleri azaltmak ve hedef patojenlere daha iyi UV ışınlarının nüfuz etmesine izin vermek için genellikle filtrasyon işleminden sonra uygulanır. Böylece bulanıklık değeri maksimum 5 NTU değerine kadar düşürülebilir.

Klorlama yerine UV ışınları ile dezenfeksiyon akım şeması Şekil 4'de verilmiştir.



Description of Process: Replace chlorination with UV light for disinfection.

Şekil 4. UV Işınları İle Birincil Dezenfeksiyon

Çalışmalar, nispeten düşük UV dozlarının, protozoanın önemli ölçüde inaktivasyonunu sağlayabildiğini göstermiştir. Bu ve diğer çalışmalara dayanarak, ABD EPA, Giardia ve Cryptosporidium için UV ışığı inaktivasyon gereksinimlerini geliştirdi.

Kanada içme suyu besleme sistemleri için genel olarak UV 40 doza mJ/cm^2 uygulanır; bu nedenle protozoa etkin bir şekilde etkisiz hale getirilir.

Hem orta hem de düşük basınçlı ultraviyole ışınlamanın içme suyundaki Cryptosporidium oostitlerinin inaktivasyonu için son derece etkili olduğu gösterilmiştir. Düşük miktarlarda UV (9 mJ cm^{-2}), 3-log_{10} (99.9%) dan fazla Cryptosporidium inaktive edebilir. UV sistemi kurulacaksa filtrasyondan sonra kanal içinde kurulmalı ve hidroliği çalışmalıdır. UV kullanılacak filtrasyon sonrası içme sularında bulanıklık değerinin maksimum 5 NTU ve altında olması tavsiye edilir. UV işleminden sonra klor ile dezenfeksiyon işlemi yapılır ve içme suyu şebeke sistemine verilir.

UV ışınlanması, protozoan kistleri, maruziyetin yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak %90-99 oranında inaktive etme potansiyeli de göstermiştir.

Dezenfeksiyon için optimum dalga boyu 245 ile 285 nm arasındadır. Düşük basınçlı UV lambaları, 253,7 nm'de ışığın yüzde 85'i ile dar bir aralık yayar. Orta basınçlı, yüksek yoğunluklu lambalar geniş bir aralıkta, özellikle 200 ila 700 nm arasında UV radyasyonu yayar.

UV cihazı uygulamasında dikkat edilecek hususlar;

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



- UV cihazı, su hattından geçen “pik su debisine” göre seçilmelidir.
- Genellikle 254 nm dalga boyunda işletilen UV lambaları ile dezenfeksiyon işlemi oldukça yaygındır.
- UV sensörü, UV lambasına en uzak noktadaki minimum UV ışın yoğunluğunu sürekli olarak ölçer, yeterli olmadığı durumda uyarı verir veya su geçişini durdurabilir.
- UV lambalarının sürekli çalışmasını sağlamak için kesintisiz güç kaynakları kullanılmalıdır.
- UV cihazı mümkün olduğunca su kullanım noktasına en yakın noktalara yerleştirilmeli aksi durumda dışarıdan bulaşabilecek mikroorganizmalarla tekrar kirlenebilir.

Tablo 5. Mikroorganizmaların Etkisiz Hale Getirilmesi İçin Gerekli UV Dozu (mJ/cm²)

Hedef	Log İnaktivasyon							
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Giardia cysts	1,5	2,1	3,0	5,2	7,7	11	15	22
Cryptosporidium oocysts	1,6	2,5	3,9	5,8	8,5	12	15	22
Virüsler	39	58	79	100	121	143	163	186

UV sistemlerinin içme suyu arıtımında kullanılmasının başlıca avantajları aşağıdaki gibidir:

- Biyolojik olarak parçalanabilir veya asimile edilebilir organik karbon (AOC) konsantrasyonunda artış olmaması, dolayısıyla dağıtım sistemi içindeki yeniden büyüme potansiyelini sınırlar.
- Kimyasal ilavelerin kullanımına dayanmayan fiziksel bir süreçtir
- Virüsler en dirençli olmaya devam ederken, protozoanın inaktivasyonunda oldukça etkili olduğu gösterilmiştir
- Boru malzemesi ile etkileşimler konusunda endişe yoktur.
- Ürünlerden kaynaklanan bilinen dezenfeksiyon oluşumu (ör. THM'ler, HAA'lar, aldehitler, bromat, ketoasitler)
- Hiçbir UV dezenfeksiyon yan ürünü tanımlanmamıştır.
- UV sistemleri daha az yer kaplar.
- Giardia ve Cryptosporidium'un aynı log inaktivasyonunu sağlamak için ozon ve klor dioksitten daha ucuzdur.
- İkincil dezenfektan olarak kloraminlerle birlikte kullanıldığında, neredeyse hiç klorlu DBP oluşumu söz konusu değildir.
- Nispeten kısa temas süreleri gerektirir.

MNE PROJE

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



UV sistemlerinin içme suyu arıtımında kullanılmasının temel dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Virüsleri inaktive etmek için daha yüksek doz gereklidir.
- Artık koruma yok ve bu nedenle ikincil dezenfektan uygulaması gerekli.
- Ekipman performansını izlemek zor.
- Mikrop öldürücü dozu ölçmek zor.
- Çeşitli UV lambaları, reaktör tasarımı ve ölçek büyütme sorunları arasındaki çıktı farklılıkları
- Uygulamada lamba dozunu ölçememe
- Bulanıklıktan etkilenme
- Kalıcı dezenfeksiyon etkisi yok

UV metodu pratik olarak uygulanabilir ekonomik bir metottür.

Bakiye dezenfektan bırakmaz. İçme suyu şebekenin korunması maksadıyla bakiye klor kalmasını sağlanacak şekilde son klorlama yapılmalıdır.

5. KLOR DİOKSİT

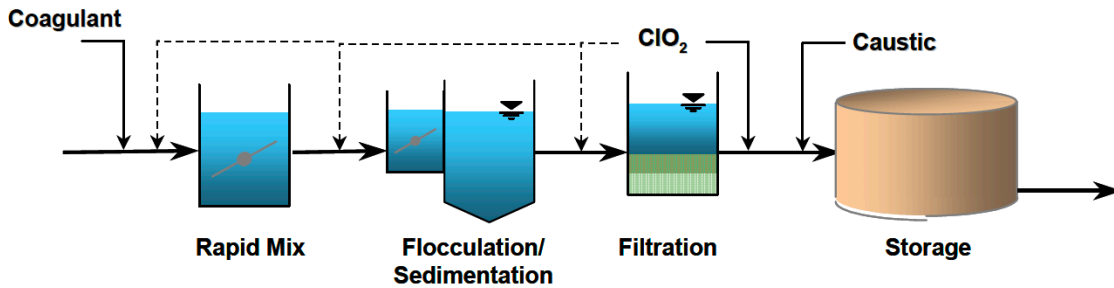
Klor dioksit (ClO₂) güçlü bir dezenfektandır. Birincil ve ikincil dezenfektan olarak kullanılmaktadır. ClO₂ dezenfektanı, oksidasyon potansiyeli oldukça yüksek olduğundan, Giardia, Cryptosporidium ve virüslerin gideriminde son derece etkilidir. Ayrıca tat ve koku sorunlarına sebep olan fenollerini parçalamaktadır. Mikroorganizmaların protein sentezini önleyerek aktivasyonlarını engellemektedir.

ClO₂ organik maddelerle reaksiyona girmediğinden kansere neden olan trihalometanlar (THM) gibi oluşumuna katkı sağlamaz ve TOK konsantrasyonunda herhangi bir değişime sebep olmaz.

Seçim kriterinde su tüketiminin >25 m³/gün olduğu içme suyu arıtma tesislerinde ve çözünmüş organik karbonun <2,5 mg/L olan sularda kullanılması tavsiye edilir. Tüm pH aralığında uygulanabilir.

ClO₂, brom ile reaksiyona girmediğinden bromatlı yan ürün oluşturmaz.

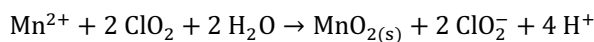
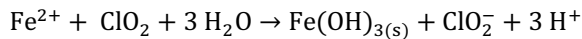
Dezenfeksiyonda klorlama yerine ClO₂ kullanılan akım şeması Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Birincil ve İkincil Dezenfeksiyon İçin Klordioksit Kullanılması

ClO₂, demir ve mangan oksidasyonunda ve alg büyümesi kontrolünde oldukça etkilidir. Suda bulunan Fe ve Mn'nin çözünmüş formları ile reaksiyona girerek partiküller bileşikler oluşmasını sağlar. Oluşan partiküller bileşikler, demir ve mangan çöktürme havuzu ve filtrasyon üniteleriyle sudan uzaklaştırılır.

Demir ile ClO₂ arasındaki reaksiyonlar, ClO₂'in inorganik yan ürünü olan ClO₂⁻ iyonları da azaltılır. 1,0 mg/L konsantrasyonundaki demir iyonunu okside etmek için 1,2 mg/L ClO₂ ve 1,0 mg/L manganı okside etmek için 2,5 mg/L ClO₂ gerekmektedir. İnorganik yan ürün oluşumu sebebiyle yüksek konsantrasyonlarda demir ve mangan oksidasyonları için kullanımı uygun olmayabilir.

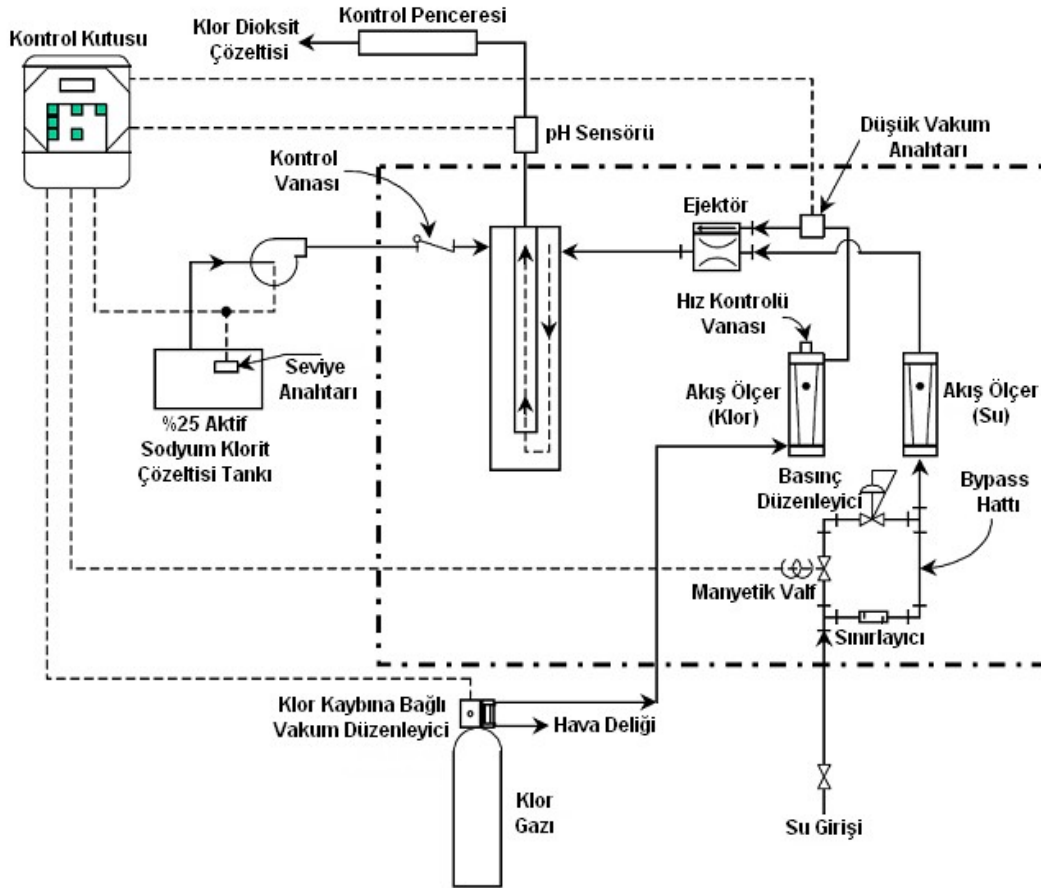


Dezenfeksiyon için ClO₂ kullanıldığında klorit ve klorat formunda dezenfeksiyon yan ürünlerini oluşturmaktadır. Bu dezenfeksiyon yan ürünlerinin de insan sağlığına olumsuz etkileri tespit edilmiştir.

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



ClO_2 'nin yan ürünleri haricinde en önemli dezavantajlarından biri de ticari olarak sıkıştırılmaz ve depolanamaz olmasıdır. Çünkü 40 kPa ve üzeri basınç altında patlayıcı bir gazdır. Ayrıca, ClO_2 aşırı derecede uçucudur ve yüksek konsantrasyonlarda kararlı olmadığından kullanılacağı yerde üretilmektedir.



Şekil 6. Klor-Klorit Yöntemi Kullanılarak Konvansiyonel ClO_2 Üretimi

Bu kimyasalın raf ömrü oldukça kısadır. ClO_2 dezenfeksiyonu, koliform giderimi için klora kıyasla daha az temas süresi ve daha düşük dozajlarda uygulanmaktadır.

Sıcaklık, pH, ClO_2 dozu ve temas süresi ile bazı organik ve inorganik maddeler ClO_2 'in dezenfektan etkisini etkilemektedir. Sıcaklığın, CT değeri üzerindeki etkisi Cryptosporidium ve virüsler inaktivasyonu için Tablo 5'de sırasıyla görülmektedir.

Birincil dezenfeksiyon için uygun bir "konsantrasyon x zaman" (CT) değeri belirlenmelidir. CT değeri dezenfeksiyon verimliliğini belirlemek amacıyla tanımlanmıştır.

Tablo 6. Klordioksitle Cryptosporidium'un Etkisiz Hale Getirilmesi İçin Gerekli CT Değerine (mg-dak/L) Sıcaklığın Etkisi

Log Giderimi	Su Sıcaklığı, °C										
	≤ 0,5	1	2	3	5	7	10	15	20	25	30
0,25	159	153	140	128	107	90	69	45	29	19	12
0,5	319	305	279	256	214	180	138	89	58	38	24
1,0	637	610	558	511	429	360	277	179	116	75	49
1,5	956	915	838	767	643	539	415	268	174	113	73
2,0	1275	1220	1117	1023	858	719	553	357	232	150	98
2,5	1594	1525	1396	1278	1072	899	691	447	289	188	122
3,0	1912	1830	1675	1534	1286	1079	830	536	347	226	147

CT değerleri, 12.5 -212 mg/L/dakika arasında tatbik edildiği zaman 3,2-log₁₀ inaktivasyon yapabildiği tespit edilmiştir. Temas süresi (T) 30 dakikayı geçtiği zaman ClO₂ konsantrasyonu düştüğü için temas tankında dezenfekte edilecek suyun kalma süresi <30 dakika tutulması tavsiye edilir.

CT, 212 alınırsa ve iyi bir reaktör boyutlandırılmasıyla perde faktörü 1.0 yaklaştırılırsa sudaki 212/30 = 7 mg/L ClO₂ konsantrasyonun sağlanması gerekir.

ClO₂ ile cryptosporidium inaktif hale getirilmesi esnasında klorit ve klorat gibi yan ürün oluşmasına dikkat edilmelidir.

ClO₂ genel olarak klordan daha az halojenlenmiş yan ürün oluşturur. Baskın son ürünler, Klorit (ClO₂⁻) ve klorat (ClO₃⁻)'dir. Bu, dezenfeksiyon üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

2015 yılında yapılan bir çalışmada, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), insanların yiyecek ve içme suyundan aldığı mevcut klorat seviyesinin çok yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bu, bebekler, çocuklar ve mevcut tiroid sorunları olan kişiler gibi risk altındaki gruplar için sağlık sorunlarına neden olur. Klorat iyot alımını engelleyebilir ve guatr oluşumuna neden olabilir. Ayrıca zeka üzerinde olumsuz bir etkisi olabilir.

Son yıllarda inorganik yan ürünler sebebiyle ClO₂ kullanımına Büyük Britanya'da sınırlamalar getirilmiştir. Klorat ve klorit konsantrasyonlarının 0,5 mg/L geçmemesi ve bu sebeple uygulanabilecek ClO₂ konsantrasyonun 0,75 mg/L ve daha düşük olması gerektiği 2000 yılında yürürlüğe giren yeni yönetmelikte belirtilmiştir. Bazı ülkelerin klorit ile sınırlamaları Tablo 8'da verilmiştir. Türkiye de içme sularında klorit sınırlaması ile ilgili düzenleme yapmalıdır.

Tablo 7. Ülkelerin Klorit Limit Değerleri

Yönetmelik/Ülkeler	Klorit Limit Değeri (mg/L)
WHO (2003)	0,7
USEPA (2000)	1,0
İtalya	0,2
İngiltere	0,5
Çek Cumhuriyeti	0,2
Kanada	1,0
Yeni Zelanda	0,8

Klorit, Amerika Birleşik Devletleri'nde maksimum 1,0 mg/L kirletici seviyesi ile düzenlenmiş bir içme suyu kontaminantıdır. ClO_2 'in klorite (ClO_2^-) yüzde 50 ila 70 oranında dönüştürülmesine dayalı olarak, klorit sonraki arıtma işlemleriyle uzaklaştırılmadıkça ClO_2 kullanım dozu maksimum 1,4 ila 2,0 mg/L ile sınırlıdır.

ClO_2 yaklaşık %70'i klorit ve %10'u ise klorat formuna dönüşebilir.

Hem iyi bir dezenfeksiyon sağlanması ve hem de $<0,7$ mg/L ve üzerinde klorit konsantrasyonunun oluşmaması için ClO_2 konsantrasyonunun optimum $<0,7$ mg/L olarak tercih edilmesi uygun görülmüştür.

İçme suyu arıtma tesislerinde dezenfektan olarak ClO_2 kullanılması durumunda klorit ve kloratın, içme suyu arıtma çıkışında ölçülmesi gerekir.

Sağlık Bakanlığı tarafından içme suyu klorit sınır değerlerinin İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe derç edilmesi gerekir. Mevcut yönetmelikte herhangi bir sınır değer yoktur.

İçme suyu arıtma tesislerinde ClO_2 ve klorit nihai (ikincil) dezenfeksiyon öncesi giderilmediği takdirde serbest klor ile reaksiyona girerek klorat iyonunu oluşturmaktadır. İçme suyunda oluşan klorat iyonunun giderilmesi zor ve kalıcıdır. Bu yüzden içme suyu arıtma tesislerinde hipoklorit kullanılarak klorat oluşumunun kontrol altına alınması gerekmektedir.

ClO_2 ön (birincil) dezenfektan olarak kullanılmasının yanında, nihai (şebekeye vermeden önce(ikincil)) uygulandığında, şebeke sistemindeki nitrifikasyon bakterilerinin kontrolünde oldukça etkilidir. Şebeke sisteminde su kalitesini sağlamak için ClO_2 bakiye dezenfektan olarak uygulanmaktadır. Ancak ClO_2 kaynaklı koku kirliliğine dikkat edilmelidir.

İçme suyu arıtma tesislerinde ClO_2 jeneratörlerinin kullanılması durumunda, ClO_2 jeneratörünün ayarlanması, maksimum ClO_2 üretim veriminin sağlanması ve bakiye klorlama yapılmadan önce

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



aktif karbon, membran filtrasyonu, demir iyonlarıyla indirgeme veya sülfid iyonlarıyla indirgeme işlemleri ile klorit giderimi sağlanır.

Klor-klorit metodu kullanılarak üretim yapılan konvansiyonel ClO₂ jeneratörü, ClO₂ düzeneğinin tasarımında dikkat edilecek hususlar klorla benzerlik göstermektedir.

- ClO₂ jeneratöründe verim %95 ve üzerinde olmalıdır. Serbest klor miktarı %3'den fazla olmalıdır.
- Klor tasarımı ile ilgili hususlar ClO₂ ekipmanları içinde geçerlidir.
- ClO₂ jeneratörü, kullanılacak kimyasallar, güvenlik önlemleri ve analiz yöntemleri EN 12671:2009 standardına uygun olmalıdır.
- 15-20 dakika temas süresi sonunda 0,05 mg/L ClO₂ kalıntısı analiz edilebilmelidir. Böylece organizmaların etkisiz hale getirilmesi için gerekli dozda dezenfektan kullanıldığı belirlenir (DVGW W 290).

ClO₂ solunduğunda oldukça toksik, solunum sistemi, gözler ve deriyi rahatsız edicidir. Havada hacimsel oranı %10 ve üzerine çıktığında patlama ve yangın oluşturabilir.

1 mg/L ve üzerinde kloritin potansiyel sağlık etkisi, hemolitik anemidir.

Klorit, klorat ve ClO₂ ile ilgili çalışmalar incelendiğinde bu dezenfektanların kanserojen olup olmadıklarına karar vermek için literatürde yeterli bilgi birikiminin olmadığı görülmektedir.

Klorit ile ilgili deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalarda, beyin ağırlığı ve karaciğer ağırlıklarında azalmaların olduğu belirtilmiştir. Sodyum klorat yabancı otların gideriminde kullanıldığı gibi insanlarda klorat zehirlenmesine sebep olduğu rapor edilmiştir. Klorite maruziyetten kaynaklanan birincil ve en tutarlı bulgu, kırmızı kan hücrelerinde değişikliklere neden olan oksidatif strestir. Kloratın deney hayvanları üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda, tiroid hormonu 30 metabolizması ve kullanımında artış gözlenmiştir. Ancak kloritin insanlar üzerindeki immunotoksitesisi, neurotoksitesisi, kronik toksitesisi ve kanserojenik toksitesisi hakkında yeterli bilgi mevcut değildir.

ClO₂ içme suyunda maksimum müsaade edilebilir konsantrasyonundan fazla olması durumunda sinir sisteminde önemli hasarlar oluşturabileceği deney hayvanları ile yapılan çalışmada belirlenmiştir.

5.1. ClO₂/Klor Maliyet Karşılaştırılması

Şok klor noktasından 0,7 mg/L ClO₂ uygulaması halinde maliyet oranı (ClO₂/klor) 4,68 kat olmaktadır.

Şok klor noktasından ve dekantör girişinden ayrı ayrı 0,7 mg/L ClO₂ uygulaması halinde maliyet oranı (ClO₂/klor) 7,49 kat olmaktadır.

MNE PROJE

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



Şok klor noktasından (20 saat), dekantör girişi (2 saat) ve fitre girişinden (2 saat) 0,7 mg/L ClO₂ uygulaması halinde maliyet oranı (ClO₂/klor) 3,75 kat olmaktadır.

Tek noktadan birincil dezenfektan olarak 0,7 mg/L ClO₂ uygulanması halinde maliyet, 0,0092 0,0144/m³ dir.

5.2. Kedi İdrarı ve Gazyağı Kokusu

ClO₂ geçmişte koku kontrolü, dezenfeksiyon, çözünebilir metallerin oksidasyonu ve THM oluşumunun azaltımı gibi sorunların çözümü için kullanılmıştır.

Son yıllarda raporlar, su arıtımı sırasında bir ön antioksidan olarak klor yerine ClO₂ kullanımının, müşterilerin evlerinde ve işyerlerinde rahatsız edici kokuların üretimi ile bir şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir.

Evde ve işyerinde musluk açıldığında, az miktarda ClO₂ havaya yayılır ve mevcut ev kokularıyla (VOC)'larla birleşir.

Ev ve işyeri iç mekan havasında "gazyağı benzeri", "kedi idrarına benzer" ve "güçlü klorlu" kokular gibi rahatsız edici kokuların oluşumu, ClO₂ ile dezenfekte edilmiş içme suyuna bağlanmıştır. "Gazyağı benzeri" ve "kedi idrarı benzeri" kokular, musluğun açılması ile serbest hale geçen ClO₂, ev ve işyeri iç ortamında bulunan, özellikle yeni halılar, mobilyalar, iç mekan duvar boya ve benzerlerinden salınan uçucu organik bileşikler (VOC) ile gaz fazı reaksiyonlarla oluşmaktadır.

Evlerde kokulu ürünler (sabunlar, mumlar, oda spreyleri, tütsü, potpuri), temizlik maddeleri veya çözücüler, boya, halı, mobilyalar, taze çiçekler veya çelenkler ve diğer birçok yaygın tarafından üretilen ortam havasında uçucu organik bileşikler (VOC'ler) vardır.

Diğer yandan güçlü klorlu kokuların ClO₂'den kaynaklandığı tespit edilmiştir. Koku kirliliği, içme suyu dağıtım sistemlerinde mikrobiyal büyümeyi önlemek için ikincil dezenfektan olarak kullanıldığında bakiye ClO₂ (veya klorit iyonları) ile, içme suyunun aşırı dozlanmasına atfedilmiştir.

Çamaşır odaları, bodrum katlar, banyolar ve tuvaletler gibi havalandırması az olan kapalı alanlarda bu tür bileşenler birikecektir. Bu nedenle koku, iyi havalandırılan alanlara göre daha güçlü olma veya daha uzun süre kalma eğiliminde olacaktır. Pencereleri açarak ve fanları açarak havalandırmayı artırmak, kokuların daha çabuk giderilmesine yardımcı olacaktır.

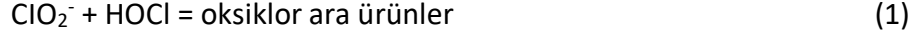
Çalışmalar, bu kombine koku ile ilişkili herhangi bir sağlık sorunu tespit etmemiştir.

ClO₂, kloritten doğrudan veya dolaylı olarak hipoklorit asit reaksiyonları ile rejenere edilebilir. Musluktaki konsantrasyonlar (<0,2 mg/L) oldukça düşük olsa da, içme suyu arıtma tesisinde ClO₂ uygulandığı zamanlarda dağıtım sisteminde tespit edilen güçlü klorlu kokuların muhtemel nedenidir.

Reaksiyon detayı aşağıda verilmiştir.

MNE PROJE

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



kataliz



ClO_2 ile ilişkili koku problemleri, sudan serbest bakiye klor veya klorit çıkarılırsa önlenabilir. Klorlamadan sonra kloraminler oluşturmak için amonyaklaşma, artık klorit ile potansiyel bir reaktans olarak serbest kloru ortadan kaldırarak koku sorunlarını ortadan kaldırmalıdır.

6. FİLTASYON

İçme suyu arıtma tesislerinde su içinde bulunan bulanıklığı ve mikroorganizmaları gidermek için nihai işlem olarak filtrasyon metodu da uygulanır.

İçme suyu konvansiyonel içme suyu arıtma tesisinde filtreleme sırasında su, aşağıdakilerden oluşabilen çeşitli yatak malzemelerinden oluşan bir gözenek yapısından geçer:

1. Kum yatağı (filtrasyon kumu),
2. Diatoma tabakası (diatoma filtrasyonu),
3. İnce kumun üstünü örten kaba antrasit kömürünün bir kombinasyonu (ikili ve üçlü ortam filtrasyonu).

Askıdaki katı maddelerin uzaklaştırılması, filtre yatağındaki gözeneklerden süzülerek, partiküllerin filtre tanelerine adsorplanması, partiküllerin ortam gözeneklerindeyken sedimentasyonlanması, gözeneklerden geçerken pıhtılaşması ve yavaş kum filtrasyonu gibi biyolojik mekanizmalar ile gerçekleşir. İkincisi, schmutzdecke'nin filtreleme işlemi ile gerçekleştirilir.

Schmutzdecke, kum filtresi yatağından aşağı doğru süzülürken sudan çıkarılan kum ve partikül malzemelerin (ince toprak parçacıkları, bitki kalıntıları, algler, serbest yaşayan veya patojenik olmayan protozoa) (birkaç santimetre derinliğinde) üst tabakasıdır.

Yavaş kum filtrasyonu ve diatoma filtrasyonu gibi diğer filtreleme işlemleri, Cryptosporidium ookistler için benzer temizleme verimlilikleri sağlar.

Yavaş kum ve diatoma filtrasyonu $> 4\text{-log}_{10}$ ve $3,3\text{-log}_{10}$ aralığında fiziksel uzaklaştırma ile oldukça etkili olmaktadır.

Yalnızca filtreleme kullanılırken 2-log_{10} (%99) Cryptosporidium kaldırılmasını gerektirir.

İyi çalışan kum filtrasyonunda, filtrasyon hızları, biraz düşük tutulursa (5-6 m/h gibi) sudaki 100 Cryptosporidium oocysts'un 99'unu yakalanır veya inaktive edilir. Bununla birlikte, iyi çalışan bir su filtreleme sistemi, sudaki 100 Cryptosporidium ookistinden en az 99'unu giderebilir. Filtre geri yıkama suyunu çökelmeden ve klorlamadan geri gönderme veya atık olarak atılmalıdır.

7. KONVANSİYONEL İÇME SUYU ARITMA İŞLEMLERİNDE CRYPTOSPORIDIUM GİDERİLME

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma ile, sudaki küçük boyutlu askıda katı maddeler (Cryptosporidium dahil) bir araya gelir ve büyük yumaklar oluşur. Durultucularda oluşan büyük boyutlu yumaklar çöker. Durultucudan savaklanan su fazındaki küçük boyutlu partiküller, kum filtrede filtre edilir. Filtre edilen su dezenfekte edildikten sonra içme suyu şebeke sistemine verilir.

Konvansiyonel filtrasyonla, cryptosporidium ookistleri yüksek oranda uzaklaştırmak/inaktive etmek pratik bir yöntemdir.

Tam ölçekli konvansiyonel, pıhtılaştırma + yumaklaştırma + çöktürme + filtrasyon, işlemi ile cryptosporidiumu $> 2,3\text{-log}_{10}$ üzerinde uzaklaştırmak/inaktif etme mümkündür.

Konvansiyonel içme suyu arıtma tesislerinin giriş ham suyunda ve arıtılmış suda cryptosporidium, E. coli ve bulanıklık periyodik olarak izlenmelidir. Böylece arıtma tesisinde cryptosporidium, E. coli ve bulanıklık giderme verimliliği tespit edilebilir.

Özellikle pıhtılaştırma + yumaklaştırma + çöktürme + filtrasyon işleminden sonra UV ile dezenfeksiyon işlemi, Cryptosporidiumu, yüksek oranda uzaklaştırılır/inaktive edilir.

Yakın tarihli tam ölçekli çalışma verilerinin incelemesi ile pıhtılaştırma + yumaklaştırma + çöktürme + filtrasyon süreçlerinin $1,6\text{-log}_{10}$ Cryptosporidium uzaklaştırmak/inaktivasyon güven aralığı ($0,4\text{-}3,7\text{-log}_{10}$) ve $1,5\text{-log}_{10}$ Giardia temizleme güveni aralığının $3,3\text{-log}_{10}$ 'a kadar çıktığı tespit edilmiştir.

Pıhtılaştırıcı dozu, pH, sıcaklık, karıştırma, kurulum tasarımı, polimer ilavesi, geri yıkama suyunun geri dönüşümü gibi konvansiyonel içme suyu arıtma ile Cryptosporidium uzaklaştırmak/inaktivasyon verisi, $2,5\text{-log}_{10}$ 'dur.

Konvansiyonel içme suyu arıtma modunda çalıştırılan Huntington içme suyu arıtma tesisinde tam ölçekli çalışma yapılmış ve Giardia giderme ortalaması $3,26\text{-log}_{10}$ ve Cryptosporidium giderme ortalaması $2,25\text{-log}_{10}$ tespit edilmiştir.

Konvansiyonel içme suyu arıtma tesislerinde ve filtrasyon sistemlerinde Cryptosporidium, 3-log_{10} mertebesinde gidermek mümkündür. İşletme ölçeğinde çalışma yapılırsa bu görülecektir.

Diğer yandan aşağıdaki Tablo 7'de konvansiyonel bir içme suyu arıtma tesisinde Cryptosporidium ortalama 2-log_{10} civarında giderilebildiğini göstermektedir (100 Crypto'nun 99'u tutuluyor. – $\log(1/100) = 2\text{-log}_{10}$ yani girişte 100 varsa 99 tutuluyor/inaktif ediliyor demektir).

Bazı bench, pilot ve tam ölçekli içme suyu arıtma işlemleri esnasında inaktif hale getirme verimliliklerinin bir karşılaştırması aşağıdaki Tablo 9'te verilmiştir.

Tablo 8. Seçilmiş Kimyasal ve Fiziksel Proseslerle Cryptosporidium Giderme Verimliliği

Aritma Prosesi Tanımı	Giderim Gerçekleşme (log)		
	Bench Ölçek	Pilot Ölçek	Tam Ölçek
Koagülasyon+ Çöktürme	1,0	1,4-1,8	0,4-1,7
Koagülasyon+Filtrasyon		2,7-5,9	1,6-4,0
		2,5 -3,8	
		2,7-2,9	
Koagülasyon+ Çöktürme+Filtrasyon		4,2-5,2	1,6-4
		>5,3	<0,5-3,0
		2,1-2,8	1,0-2,5
Koagülasyon + Çözülmüş Hava Flotasyon	2,0-2,6		
Yavaş Kum Filtre		>3,7	
Diatomik toprak filtrasyon		>4	
Koagülasyon + Mikrofiltrasyon		>6	
Ultrafiltrasyon		>6	

Cryptosporidium ookistler, Giardia kistleri gibi, kimyasal koagülasyon-flokülasyon, durultma (sedimentasyon) ve partikül media filtrasyonu dahil olmak üzere konvansiyonel partikül filtre süreçleri ile su ortamından kimyasal ve fiziksel olarak çıkarılabilen mekanizmalardır.

Protozoan kistin etkili bir şekilde çıkarılması (giderilmesi) için su, filtrasyon işleminden önce pıhtılaşma, flokülasyon ve çökeltme yoluyla etkin bir şekilde askıda katı maddeler giderildiğinde konvansiyonel filtrelerin daha verimli ve düzgün çalışması sağlanır.

Pilot ve tam ölçekli konvansiyonel arıtma tesisleri aracılığıyla Cryptosporidium ve Giardia uzaklaştırmalarıyla ilgili veriler Tablo 10'te özetlenmiştir.

Tablo 10 incelendiği zaman konvansiyonel içme suyu arıtma tesislerinde koagülasyon + çöktürme + filtrasyon işlemleri uygulanan gerçek bir tesiste ortalama 2-log_{10} kist ve ookist giderimi sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 9. Pilot Ölçek ve Konvansiyonel Full Ölçek İçme Suyu Arıtma Tesisinde Cryptosporidium ve Giandia Giderimi

Ölçek	Parasites kaynakları	Toplam log giderimi	
		Cryptosporidium	Giandia
Pilot	Spiked: 10 ³ /L	-	1,75-4,0
Pilot	Spiked: 10 ³ /L	-	>5
Pilot			>2 ila >3
Full Ölçek Arıtma Tesis	Çevresel	2,2-2,4	2,0-2,5
Full Ölçek Arıtma Tesis	Çevresel	1,4-1,8	1,5
Full Ölçek Arıtma Tesis	Spiked: 10 ³ /L (oo)cysts	1,9-2,8	2,8-3,7
Pilot	Spiked: 10 ³ /L (oo)cysts	1,9-4,0	2,2-3,9
Full Ölçek Arıtma Tesis,	Çevresel	1,5	1,5-1,7

Tablo 10 incelendiği zaman tam ölçekli konvansiyonel içme suyu arıtma tesislerinde Cryptosporidium bertaraf etme 1,4-2,8-log₁₀ kist ve cryptosporidium ookist giderimi sağladığı görülmektedir.

ABD'deki 66 konvansiyonel içme suyu arıtma sistemini incelemiş ve yardımcı programların çoğunun, SWTR tarafından önerildiği gibi arıtma ve filtreleme yoluyla 2-2.5-log₁₀ kist ve cryptosporidium ookist giderimi sağladığını bulmuştur.

Cryptosporidium için Kılavuz Değerleri, A1, 0,075 ookist/L ve A3, 1 ookist/l'dir.

Filtreler optimum veya buna yakın koşullarda çalıştırılırsa partiküllerin (Cryptosporidium) etkili bir şekilde uzaklaştırılması pıhtılaşma, yumaklaştırma ve çöktürme (durultma) ile optimize edilebilir.

Durultucu çıkışında klor gazı verilirse bakiye Cryptosporidium ile yeterli temas süresi sağlanır ve filtrasyon ünitesinde bakiye Cryptosporidium giderimi daha yüksek verimlilikte giderilir.

8. KLOR

Klorlamanın birkaç dezavantajı vardır. Dezenfektan olarak Cryptosporidium gibi protozoan oostistleri inaktif etmeye karşı etkili değildir. Cryptosporidium, dezenfektan olarak kullanılan klor (Cl_2) karşı dirençlidir. Ayrıca klor (Cl_2), sudaki doğal organik maddeyle reaksiyona uzun süre girer ve uzun vadeli sağlık etkilerine neden olabilecek halojenli yan ürünler oluşturur.

Gaz halindeki klorun suya uygulanması, özel güvenlik önlemleri gerektiren özel bir işlemdir.

Yüksek dozda klor uygulaması, tat ve koku sorunlarına neden olabilir. Daha düşük konsantrasyonda klor, dağıtım sisteminde artı koruma sağlamak için çoğu su şebeke sisteminde ikincil dezenfektan olarak kullanılır.

Eğer içme suyu kaynağında Toplam Organik Karbon (TOK) > 2 mg/L ise;

- Klorlama baypas ürünü Toplam TriHaloMetan (TTHM) > 0,08 mg/L,
- HaloAsetik Asit (HAA5) > 0,06 mg/L

olabilir.

TTHM'ler için sınır değer 80 μ g/L ve HAA5 için ise 60 μ g/L'dir.

İçme suyu kaynağında TOK yüksek ise hızlı karıştırma işleminden önce boru üzerinde aktif karbon dozlaması yapılarak durultucu ünitesine kadar aktif karbonun TOK ile yeterli teması ve adsorpsiyonu sağlanır.

Klor gazı ile Cryptosporidiumu %99 giderim için, çok yüksek dozajlar ve hidrolik bekleme süreleri gereklidir. Yüksek dozlama ve hidrolik bekleme süresi normal için suyu arıtma tesislerinde pratik olarak mümkün değildir.

9. JARTEST ÇALIŞMASI

İçme suyu mevcut arıtma tesisine benzer JarTest çalışması yapılabilir. Jarrest ile optimum bulanıklık giderme verimi elde edilir. Optimum bulanıklık giderme işlem sonucu duru su filtre edilir.

Ham suda ve filtre edilmiş duru suda Cryptosporidium analizleri yapılır. Böylece konvansiyonel içme suyu arıtma tesisine benzer şekilde laboratuvar ortamında Cryptosporidium, uzaklaştırma/inaktivasyon oranı tespit edilir.

Buna göre mevcut konvansiyonel içme suyu arıtma tesisinde ham suda optimum pıhtılaştırma dozajı ile bulanıklık giderme ve elde edilen duru faz filtre edilir. Filtrelenmiş duru su fazında Cryptosporidium ölçümü yapılarak Crypto Cryptosporidium sporidium uzaklaştırma/inaktivasyon giderme verimliliği belirlenir. Mevut arıtma tesisinin de laboratuvar ölçeğinde belirlenen dozlarda çalıştırılmasına dikkat edilir.

İçme suyu arıtma tesisini verimli işletmek için Jarrest deneyleri periyodik olarak yapılmalıdır.

Mevcut arıtma tesisinde Cryptosporidium yeterli oranda ve standart değerlerin altında gideriliyorsa ilave bir yatırım maliyetine gerek olmaz. Cryptosporidium yeterli oranda giderilemiyorsa ve standart değerlerin üzerinde kalıyorsa ilave giderim tesisi o zaman planlamak gerekir. Aksi fuzuli yatırım olur.

Diğer yandan, Türkiye’de orta ve büyük ölçekte içme suyu arıtma tesislerinde Cryptosporidium’u uzaklaştırma/inaktif etme için ClO₂ kullanılmamaktadır. İSKİ içme suyu tesislerinde Laboratuvarda deneme amaçlı sadece bir çalışma yapılmıştır.

ClO₂’in kullanılmasını kısıtlayan klorat ve klorit gibi bakiye yan ürünlerin oluşumudur. Oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinin insan sağlığına olumsuz etkileri tespit edilmiştir.

İçme suyunda Cryptosporidium’un giderimi ClO₂ ile yapılacaksa şebeke sistemine arıtılmış su verilmeden önce klorit ve klorat yan ürünleri mutlaka izlenmelidir. Bu değerler sınır değerlerini aşmamalıdır ve koku kirliliğine dikkat edilmelidir.

10. KAYNAKLAR

1. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-enteric-protozoa-giardia-cryptosporidium/page-6-guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-enteric-protozoa-giardia-cryptosporidium.html>
2. (<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/cryptosporidium-report.pdf>)
3. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp160-c6.pdf>
4. “Dezenfeksiyon Teknik Tebliği”, Resmi Gazete Sayısı: 29457, Resmi Gazete Tarihi: 26.08.2015.
5. Walter Q. Betancourt, Joan B. Rose, “Drinking water treatment processes for removal of Cryptosporidium and Giardia”, Veterinary Parasitology 126 (2004) 219–234.
6. Prof. Dr. Ahmet Mete Saatçı Hocadan Temin Edilen Bilgi Notları
7. Prof. Dr. Mehmet Çakmakçı Hocadan temin Edilen Bilgi Notları
8. https://www.unitedutilities.com/globalassets/documents/pdf/cryptosporidium_acc16.pdf
9. Robert C. Hoehn, Andrea M Dietrich, William S. Farmer, Margaret P. Orr “Household Odors Associated With the Use of Chlorine Dioxide” Journal - American Water Works Association 82(4):166-172, April 1990.
10. https://bhws.org/documents/69/Chlorine_Dioxide_and_Unusual_Odors.pdf.
11. Prof.Dr Mehmet ÇAKMAKCI “Klor Dioksinin Dezenfektan Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” İSKİ Sunum, 2010.
12. “Chlorine and Alternative Disinfectants Guidance Manual”, Province of Manitoba Water Stewardship – Office of Drinking Water, Earth Tech (Canada) Inc., 2005.
13. “Technologies and Costs Document for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule and Final Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule” USEPA, 2005.
14. Fatma KÖKSAL, “Kaynak Sularının Giardia ve Cryptosporidium Yönünden İncelenmesi”, Türk Mikrobiyol Cem Derg 32:275-277.
15. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI, Prof.Dr. Bestamin ÖZKAYA, Doç.Dr. Kaan YETİLMEZSOY, Yrd. Doç. Dr. Selami DEMİR, “Su Arıtma Tesislerinin Tasarım Ve İşletme Esasları”, T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2013.
16. Prof. Dr. İzzet Öztürk, Y. Müh. Malhun Fakıoğlu, “İçme Sularından Tat Ve Koku Giderimi”, İSKİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 2017.

17. P.M. Huck, B.M. Coffey, M.B. Emelko and c.R. O'Melia, "The Importance of Coagulation for the Removal of Cryptosporidium and Surrogates by Filtration", Chemical Water and Wastewater Treatment VI pp 191-200. 2000.
18. <https://www.gov.nl.ca/mae/files/waterres-training-adww-decade-05-mohammed-dore.pdf>.
19. "Risk Assessment of Cryptosporidium in Drinking Water", WHO, 2009.
20. Ongerth, J.E .. Pecoraro, J.P.: "Removing Cryptosporidium Using Multimedia Filters". Jour. AWWA, 87(12) (1995) 83.
21. Emelko, M.B., Huck, P.M., Slawson, R.M.: "Optimizing Filter Removal of Viable and Inactivated Cryptosporidium During Challenge Periods". Proc. International Symposium on Waterborne Pathogens, Milwaukee, Wisconsin (1999).
22. Yates, R.S., Green, J.F., Liang, S .. Merlo, R.P., De Leon, R.: "Optimizing Coagulation/Filtration Processes for Cryptosporidium Removal". Proc. International Symposium on Waterborne Cryptosporidium. Newport Beach, California (1997).
23. Dugan, N.R., Fox, K.R., Owens, J.H., Miltner, R.J., "Controlling Cryptosporidium oocysts using conventional filtration". J. AWWA 93, 64–77 /2001).
24. Nieminski, E.C., Ongerth, J.E, "Removing Giardia and Cryptosporidium by conventional treatment and direct filtration". J. AWWA 87, 96–106, (1995).
25. Burcu ŞENGÜL "İçme Suyu Dezenfeksiyonunda Yan Ürün Oluşturmayan Metotların Verimliliği", Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, T.C. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
26. Chen-Yu Chang, Yung-Hsu Hsieh, Sheng-Sheng Hsu, Po-Yu Hu, Kuo-Hua Wang, "The formation of disinfection by-products in water treated with chlorine dioxide", Journal of Hazardous Materials B79, 2000. 89–102.
27. World Health Organization, 2011. "Guidelines for Drinking-Water Quality", http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/
Accessed date: 21 July 2018.
28. Gao, B.Y., Hahn, H.H., Hoffman, E., "Evaluation of aluminum silicate polymer composite as a coagulant for water treatment", Water Res. 36, 3573–3581, 2002.
29. Jakubowski, W., Craun, G.F., "Update on the control of Giardia in water supplies". In: Olson, B.E., Olson, M.E., Wallis, P.M. (Eds.), Giardia The Cosmopolitan Parasite. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 217–238, 2002.
30. Shaw, K., Walker, S., Koopman, B., "Improving filtration of Cryptosporidium". J. AWWA 92, 103–111, 2000.

CRYPTOSPORIDIUM İNAKTİVASYONU



31. Huck, P.M., Coffey, B.M., Emelko, M.B., Maurizio, D.D., Slawson, R.M., Anderson, W.B., Den Oever, J.V., Douglas, I.P., O'Melia, C.R., "Effects of filter operation on Cryptosporidium removal". J. AWWA 94, 97–111, 2002.
32. Emelko, M.B., "Removal of viable and inactivated Cryptosporidium by dual- and tri-media filtration", Water, Res. 37, 2998–3008, 2003.
33. "Bromate in Drinking-water", WHO/SDE/WSH/05.08/78.
34. Gordon G., Kifeffe G. ve David H. Rosenblatt "The Chemistry of chlorine dioxide". Progress in Organic Chemistry, 15:201-286, 1972.
35. Ömer Akgiray, "İçme Sularının Dezenfeksiyonunda Temel Prensipler", [https://www.researchgate.net/publication/328853100 ICME SULARININ DEZENFEKSİYON UNDA TEMEL PRENSİPLER](https://www.researchgate.net/publication/328853100_ICME_SULARININ_DEZENFEKSİYON_UNDA_TEMEL_PRENSİPLER)