



SULARIN OZONLANMASINDAKİ GELİŞMELER

Ensar OĞUZ*, Zeynep ÇELİK**

*Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma Merkezi, 25240/Erzurum

**Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 25240/Erzurum

Geliş Tarihi : 19.02.2001

ÖZET

Ozon, hem endüstriyel hem de sentetik kimyada kullanılmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı tarafından ozon'un organik kimyası ile ilişkili makaleler yayınlanmıştır. Ayrıca, onun hava ve su kirliliği problemlerindeki rolü bugün oldukça önemlidir. Ozon araştırmalarının bir sonucu olarak, ozonun endüstriyel, evsel ve içme suyu arıtımında gelecek için umut olacağı açıktır. Yüksek oksidasyon maddesi olan ozon atıksulardan toksik ve kirlenici maddeleri uzaklaştırmak için kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Ozon oksidasyonu, Ozon teknolojisi, Ozon ile dezenfeksiyon

DEVELOPMENTS IN OZONATION OF WATERS

ABSTRACT

Ozone, has been used in both industrial and synthetic chemistry. From this point of view, ozone-organic chemistry related papers have been published by many researcher. Furthermore; its role in air and water pollution problems is more important today. As a result of ozone researches, it is clear that ozone is to be the brightest expectation for future in industrial, domestic, and drinking water treatment. Ozone, a high grade oxidation matter, has been used for removing the pollutants and toxic materials from waste waters.

Key Words : Ozone oxidation, Ozone technology, Disinfection with ozone

1. GİRİŞ

Ozon A.B.D'de pek yaygın olarak kullanılan bir dezenfektan olmamasına rağmen, Avrupa'da kabul görmesi sonucu EPA, ozonlamanın potansiyel kullanımının incelenmesi için araştırmalar başlatmıştır (Ateş, 1997). Laboratuvar araştırmalarında ve pilot tesis projelerinde ozon kimyasal oksidant olarak kullanılmıştır. Bir oksidant olarak ozon ; su arıtımında kullanılan en kuvvetli oksidantlardan biridir ve sulu çözeltilerde iki mekanizma sayesinde reaksiyon gösterir. Düşük pH değerlerinde, ozon molekülü (O_3) doğrudan organik maddelerle reaksiyon verir. Elektrofilik bir madde olmasından dolayı, ozon özellikle elektro filik hassasiyeti olan fenolik maddelere yönelir. Aynı zamanda ozon molekülü olefinler gibi doymamış maddelere karşı 1, 3-dipol hassasiyeti gösterir ve kararsız yan ürünler oluşturur. Bu maddeler suda

çözünerek karbonlu ürünler (Aldehidler, Ketonlar, Karboksilik asitler) meydana getirir (Ateş, 1997).

Ozon, oksijenin allotropik bir şekli olup özel bir oksidasyon maddesidir. Açık mavimsi renkli, keskin kokulu stabil olmayan bir gazdır. Bu nedenle kullanılacağı zaman imal edilir. Bugün Fransa'da 70 kadar kentin içme suları ozonla dezenfekte edilmektedir. Ozon sadece dezenfektan olarak değil suyun rengini ve kokusunu gidermek üzere oksidasyon maddesi olarak da kullanılır. Ozonun suya görünüş ve koku yönünden ve içilebilirliği açısından bir zararı yoktur. Ozon stabil olmayan bir gazdır. Yüksek potansiyel altında, elektriksel bir alanda oksijenin iyonizasyonu ile elde edilir. Menekşe renkli bir gazın oluşumu, ozon eldesinin gözle görünür bir sonucudur.

Ozon endüstriyel olarak birbirleri arasında AC potansiyeli uygulanan iki elektrot arasından oksijen veya hava akımı geçirmek sureti ile elde edilir. Pratikte uygulanan voltaj 10000-20000 volt arasındadır (Şengül, 1988).

Termodinamik olarak ozon oluşumu aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.



Yaklaşık olarak 143 kJ/mol enerjiye sahip olan ozon, oksijenin sahip olduğu enerjiden daha fazla bir enerji içermektedir. 1 g ozon üretebilmek için 2960 jule enerji gereklidir (Musschelein, 1982).

Ozon kararlı oksijen molekülünün parçalanması ile oluşur. Parçalanmış oksijen atomları daha sonra ozon oluşturmak için moleküler oksijenle birleşir.



Parçalanmış oksijenin ortamda bulunmasından dolayı ozon oldukça reaktif bir maddedir. Gerçekten ozon insanlar tarafından bilinen en güçlü üç oksidasyon maddesinden biridir. Yalnızca florin ve chlorine trifluorid' in ozondan daha fazla oksitleme gücü olduğu kabul edilir. Ayrıca klor ozona kıyasla daha az oksitleyici bir maddedir.

Kararsız bir gaz olan ozon atmosferik basınçta -112 °C'de kaynar ve suda kısmen çözünür. (20 °C'de 20 mg/lt, 28 °C'de 1-5 mg/lt). Ozon karakteristik bir kokuya sahip olup 0.01-0.05 ppm gibi düşük derişimlerde bile insanlar tarafından kokusu algılanabilir. Ozon normal olarak, su, atık su ve koku kontrol uygulamaları için sentezlenir. Gaz kaynağı olarak havadan % 1-2'lik, saf oksijenden ise hacimsel olarak % 2-4'lik ozon konsantrasyonları oluşturulmaktadır. Ozonun bu seviyelerde herhangi bir patlama tehlikesi yoktur. Ancak havada % 30, saf oksijende % 9 gibi yüksek konsantrasyonlardaki ozon dozları, patlayıcı karışımlar oluşturur. Sıvı ozonun ise güçlü bir patlayıcı olduğu bilinmektedir. Endüstriler tarafından oluşturulan düşük konsantrasyonlardaki ozon gazları hiçbir patlayıcı özellik arz etmemesine rağmen bu gazlar koklanıldığı zaman farklı bir tehlike göstermektedir. Ozon içeren gazların sızma tehlikesine karşı dizayn mühendisleri gerekli kontrolleri yapabilmeli ve gaz sızıntısını fark edecek kapasitede olmalıdırlar. Sızıntılara karşı ozon jeneratörünü çevreleyen elektronik özel ozon sensörleri kullanılmalıdır. Bu sensörler herhangi bir sızıntı anında alarm verip sistemin otomatik olarak devre dışı kalmasını sağlamaktadırlar. Ozonun yarılanma ömrü saf suda 25 °C'de 165 h'dır. Suda

organik madde varlığında ozonun yarılanma ömrü daha da azalır. Ozonun kısa yarılanma ömründen dolayı çok uzun dağılımlı sistemlerde sabit bir ozon kalıntısı sağlamak mümkün değildir.

Doğa atmosferik oksijen üzerine güneş ışığı vasıtasıyla etki ederek sürekli ozon üretmektedir yada hava içerisinde ani yıldırım geçmesi ile ozon oluşmaktadır. İnsanoğlu hava ve saf oksijen içerisinde yüksek enerji, yüksek elektrik frekansları, yüksek voltajlı elektrik akımları geçirerek ozon oluşturmada doğayı taklit etmektedir. Elektrik üretimi çalışması esnasında istem dışı bir miktar ozon oluşmaktadır. Aynı zamanda copy makinaları, kaynak makinaları, UV ışınları ve diğer elektriksel aletler ozon üretebilirler. Hava içerisinde nem bulunursa ozon üretimi azalır fakat korozyona neden olabilecek nitrik asit üretimi artar. Bu nedenden dolayı hava uygun olarak kurutulmalıdır. Gaz kaynağı olarak oksijen kullanımı, hava ile ozon üretiminden iki kat daha fazla ozon üretimi sağlar ve gaz kaynağı olarak oksijen kullanımı kurutma işlemini ortadan kaldırır.

1. 1. Ozon Teması

Ozon suda az çözüldüğünden oksijen ve hava içeren ozon kabarcıklarının su ile temas ettirilmesi gerekmektedir. Bakteri, nitrit, hidrojen sülfid, ve doymamış bileşikler gibi maddelerin reaksiyon hızları yalnızca çözeltiye transfer edilen ozon miktarı ile sınırlıdır. Asetik asit, amonyum, üre gibi diğer maddeler aşırı ozon konsantrasyonu varlığında bile ozon ile çok yavaş reaksiyon verirler. Bir ozon temas sisteminin dizaynında önemli olan ozon kullanım amacının belirlenmesidir. Suyun dezenfeksiyonu için hızlı kütle transferi sağlayan bir kontaklı sistem gerekmektedir. Genel olarak dört tip gaz-sıvı temas sistemi vardır.

1. Sprey kuleler,
2. Paket yataklar,
3. Hava kabarcığı tabakası,
4. Elek tabakalı kuleler ve sıvıya gaz kabarcığı disperse eden üniteler.

Sonucusu su dezenfeksiyonunda en yaygın olarak kullanılmaktadır. İçme suyu kaynakları genellikle temiz olup az miktarda suspanse ve çözünmüş madde içerir. Bu nedenle az miktarda ozonla reaksiyona girerler. Bunun aksine kanalizasyon suları ise oldukça fazla organik, suspanse ve çözünmüş madde içermektedirler. Ozonlama esnasında bu maddelerin çoğu polar oksijenli bileşiklere dönüşmektedirler. Aynı zamanda düşük değerlikli inorganik iyonlar (Fe^{+2} ve Mn^{+2}) yüksek değerlikli (Fe^{+3} ve Mn^{+4}) iyonlarına dönüşürler.

Su hidrolize olduktan sonra çökelerek ortamdan uzaklaşırlar.

1. 2. İçme Sularının Ozon ile Arıtımı

Ozonun içme suyu proseslerinde kullanılmasının nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- Renk giderme,
- Demir ve manganez giderimi,
- Alg giderimi,
- Tat ve koku giderimi,
- Süspanse katıların flokülasyonu,
- Bakteriyel dezenfeksiyon,
- Virüs inaktivasyonu,
- Çözülmüş organik maddelerin oksidasyonu.

Arıtılmış ve dezenfekte edilmiş sular bile yeniden kirlenebilir. Su dağıtım süresince herhangi bir etkili yeniden kirlenme meydana gelmediğini göstermek için kalıntı bir indikatöre gereksinim vardır. Dağıtım sistemlerinde ozon kalıntısını sağlama güçlüğünden dolayı ozon kullanan birçok ülkede (yaklaşık 1000 içme suyu arıtma tesisi) su arıtma prosesinde hem ozonlama ve hem de kalıntı klor kullanılmaktadır. Ancak az miktardaki kalıntı klor suyu yeniden kirlenmeye karşı koruyamaz.

Avrupa'da 1975 tarihinde su kaynaklarındaki organik madde sayımında en azından 325 organik bileşiğin içme suyu kaynaklarını etkilediği belirlenmiştir (Rip, 1978). Bu organik bileşikler koagülasyon, filtrasyon ve dezenfeksiyon gibi standart yöntemlerle giderilemez. Bunları giderebilmek için ilave arıtım aşamalarına gerek vardır. Modern su arıtım teknolojilerinin hem ozonu hem de aktif karbonu birlikte kullanmaya mali olarak güçleri yetmemektedir. Aktif karbonun kendisi tek bir tip materyal değildir. Aktif karbon polar olmayan organikleri gidermek için yada, daha spesifik polar organikleri gidermek için üretilir. Güçlü bir oksidasyon maddesi olan ozon organik bileşikleri oksitleyebilir. Ozon polar olmayan organikleri polar organiklere dönüştürür. Ozon yüksek moleküllü organik bileşikleri daha düşük kütleli organik bileşiklere dönüştürür ve oldukça renkli bir çok organik bileşikten renk giderir. Biyolojik olarak parçalanamayan yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) organik madde ozonlama ile biyolojik olarak parçalanabilen maddelere dönüştürülür. Ozonlama organik maddeyi az miktarda CO₂ ve H₂O'ya parçalayarak uzaklaştırır. Su kaynaklarının ozonlanmasından sonra suyun son klorlanma ihtiyacı azalır.

Fransa'da 4 dakika sonra 0.4 mg/lık bir kalıntı ozon seviyesiyle polio virüslerin inaktif hale geldiği

belirlenmiştir (Rip, 1978). Pratikte kontaktür sistemler bu temas süresinin iki yada üç katını sağlamak için dizayn edilmiştir. (8-12dk). Bu şartlar bakteriyel dezenfeksiyonu sağlayacaktır. Özetlemek gerekirse, ozonlama içme suyu kaynaklarını arıtmada ön arıtım aşamaları olarak ; renk giderme, demir ve manganez giderme, tat ve koku giderme, süspanse katıların flokülasyonu ve diğer organik maddelerin giderilmesinde kullanılır. Arıtım sonrasında bakteriyel dezenfeksiyon ve viral inaktivasyona ulaşılır. Şayet istenirse sonradan oluşacak biyolojik gelişmeyi önlemek için klor ilave edilebilir. Atık suyun ve kanalizasyon sularının ozonla arıtımında bir kaç uygulama yapılmıştır. Ancak en fazla dezenfeksiyon için çalışılmıştır. İçme suyunun ozonla arıtımı bir kalıntı oluşması için son klorlama içermektedir.

1. 3. Endüstriyel Atık Su Arıtımı

İçme suyu, kanalizasyon çıkış suları, boyalardan renk giderme, tekstil atık suları, kağıt atıkları, biyolojik arıtmadan sonra atıkların dezenfeksiyonu, ağır metal giderme, fenol giderme gibi çoğu benzer amaçlar için bu alanlarda ozon kullanılabilir. Siyanidlerin parçalanması dahil ozonun oldukça etkili olduğu bir çok çalışma vardır. Ozon oldukça etkili bir oksidant maddedir. Ozon ; içme sularında genellikle fenoller tarafından neden olunan tat ve koku gidermede başarılı olmuştur. Ozon gazı endüstriyel atıklardaki fenolü de parçalayabilmektedir (Rip, 1978).

Klorlu kanalizasyon çıkış suları belirli çevresel etkilere sahip olduğundan klor yerine ozon kullanılmasıyla böyle etkilerin ortadan kaldırılacağı düşünülmüştür. 1975'de dezenfeksiyon için ozon kullanan USA'da iki tane küçük kanalizasyon arıtım tesisi kullanılmıştır (Rip, 1978). İlki Florida'da Hind kasabasında bir pilot çalışma tesisi olup tesiste ozonlama sonikasyonla birleştirilmiştir. USA çevre koruma ajansı ozonlamadaki farklı teknikler tarafından dezenfekte edilen kanalizasyon çıkış sularının toksisitesini göz önünde bulundurarak iki geniş tesisin programını yönetmiştir. Toksikite; birkaç farklı yerli balık türünün çıkış sularına bırakılması ile ölçülmüştür. Klorlanmış çıkış suyunun toksisitesi ozonlanmış atık suların toksisitesinden fazla olduğu görülmüştür. Ozonlanmış çıkış sularında balık gelişimi diğer dezenfektanlardan daha çok olmasına rağmen, diğer dezenfektanlarda gelişimin negatif etkinlendiği ortaya konulmuştur (Rip, 1978).

1. 4. Koku Kontrolü

Ozon tarafından giderilen çoğu kokular doğadaki sülfür kökenli olup, kanalizasyon atık suyu ve kağıt

tesislerinden kaynaklanmaktadır. Çoğu ozon reaksiyonları hızlı olmasına rağmen birkaçı anlık olup karışık gazların atmosfere deşarjından önce uygulanır (Rip, 1978).

Literatürde ozonla organik madde giderimi konusunda birçok çalışma yapılmıştır (Rip, 1978; Hoign and Bader, 1979; 1983a,b). Doğal organik maddeler (DOM) Oksidant ve dezenfektanlar ile vereceği reaksiyonlardan dolayı içme suyu kaynaklarında önemli endişelere yol açmaktadır. DOM'ların varlığı oksidantların ve dezenfektanların etkinliğini azaltıp, organik ve inorganik dezenfektan yan ürünlerinin oluşumuna neden olabilirler. Klorlama esnasında klor ihtiyacı iyi tespit edilmelidir. DOM kalıntıları doymamış karbon muhtevası ve dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu esnasında bağlantılar gözlenmiştir. DOM'ların içme suyu ozonlaması üzerine etkileri çok az olarak bilinmektedir (Hoign and Bader, 1979; 1983a,b). Suyun ozonlanması esnasında hem moleküler O₃, hem de (HO) radikalleri oluşur. Hidroksil radikalleri ve moleküller ozon ile DOM ların etkileşimi; çözünmüş organik karbon gibi DOM miktarı ile ilişkilidir. Ozonlu ve (HO) radikalli model organik bileşiklerin reaksiyon hız sabitleri kimyasal yapı ve fonksiyonel grupların (R-OH, R-COOH; R-NH₂) içeriğine bağlı olduğu gösterilmiştir (Hoign and Bader, 1979; 1983a,b). Ozon elektron parçalarını, olefin yapılar (aromatik, karbon-karbon çift bağı) ve Aromatik alkoller oksitleyip, (HO) radikalleri ile seçimsiz olarak reaksiyona girer. DOM'lerin yokluğunda ozon tüketimi sudaki serbest radikaller vasıtası ile meydana gelmektedir.

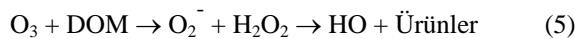
DOM'ın ozonla olan reaksiyonları aşağıda verilmiştir.

DOM-Sudaki ozon tüketimi :

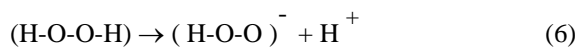
Direk ozon tüketimi:



Ozon tüketimini başlatan reaksiyon:



reaksiyonları ile ifade edilmektedir (Westerhoff et all., 1999).



HO₂⁻ : Super oksit iyonu

Kimyasal bağı ortadan parçalanması halinde ise hidroperoksit (HO₂[•]) ve (H[•]) hidrojen radikalleri oluşur.

O₂⁻ : superoksit

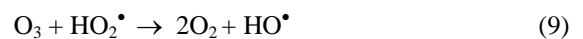
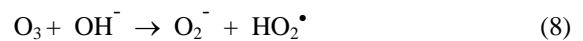
2. SULU OZONLAMA KİMYASI

Sulu ozon kimyası serbest OH⁻ radikallerinin oluşumu ile sonuçlanan bir zincir reaksiyon mekanizması vasıtasıyla ozonun parçalanmasını göstermektedir. OH⁻ iyonları ile ozonun yapmış olduğu reaksiyon sonucu bir süper oksit anyon radikali (O₂⁻) ve bir de hiperoksit radikali (HO₂[•])nin oluştuğu reaksiyon (8, 9)'da görülmektedir. Bu reaksiyonlar, zincir reaksiyon mekanizmasının ilk aşamasını kapsamaktadır. Organik çözeltinin ilave edilmesi ile;

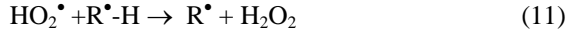
- Zincir reaksiyonu başlamadan önce direkt ozon tüketimi,
- Elektron transferi ile ozonid anyon radikalinin oluşumu (O₃⁻).

meydana gelir. Sulu sistem içerisinde protonlaşma nedeni ile ozonid anyonu hidroksil radikallerine dönüşür bu radikaller organik maddelerle reaksiyon verebilirler. OH radikalleri organik radikaller oluşturan organik maddenin fonksiyonel grupları ile reaksiyon verir (Cooper and Burch, 1999).

Suda ozon tarafından meydana getirilen ilk reaksiyonlar pH'ya bağlı reaksiyonlardır. Düşük pH değerlerinde ozon organik madde ile trioksijen olarak reaksiyona girer. Fakat yüksek pH değerlerinde organik madde ile reaksiyon vermeden önce parçalanır. Ozonun parçalanması hidroksil iyonları tarafından katalizlenir ve pH'nın artmasıyla daha hızlı bir şekilde ilerler. Bu reaksiyon içerisinde serbest radikallerin bulunduğu bir tip radikal zincir reaksiyonu tarafından daha da hızlandırılır. Bu reaksiyondaki serbest radikaller (ozonun parçalanmasıyla meydana gelen OH⁻ ve HO₂) zincir taşıyıcı olarak hareket ederler.



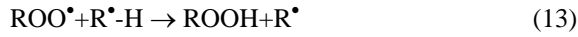
Organik bileşikler hidroksil radikalleri (HO[•]) yada hidroperoksit (HO₂[•]) radikalleri ile reaksiyona girer ve bu radikaller ozonu parçalama katalizörü olarak hareket ederler.



Bundan dolayı hidroksil radikali, hidroperoksit radikali ve hidrojen peroksit gibi oksidantlar yüksek pH'da ozonun parçalanması ile oluşurlar. Hidroksil radikali çok güçlü bir oksidant olup az bir substrat seçiciliği göstermektedir. R[•] Radikali ozonlama esnasında aşırı dioksijen ile reaksiyona girer ve peroksit radikalleri meydana getirir.



R[•] hidroperoksitleri vermek için radikal zincir taşıyıcıları olarak davranır.



Yeni bir radikal R[•] oluşturulur. Bu radikal tekrar O₂ ile reaksiyona girer ve atomik oksidasyona neden olur (Brambilla et al., 1993).

1906'dan beri içme suyu arıtımında ozon kullanılmaktadır. Ozonlama uygulamaları organik ve inorganik maddelerin oksidasyonu, flokulasyonu, askıda katı madde giderme, bulanıklık giderme ve mikroflokulasyonu içermektedir (Rip et al., 1981). Ozonlama, sınırlı çıkış sularına ulaşmak için teknik olarak güvenilir bir arıtım alternatifidir. Fenol ve ozon arasındaki reaksiyon yaygın olarak çalışılmış olup bu reaksiyon sulu ozon kimyasında klasik bir reaksiyondur. Ozon ve fenol arasındaki reaksiyon oldukça kompleks olup gerçek kinetik reaksiyonlar kolayca açıklanamamaktadır (John et al., 1982).

Çoğu atık su hoş olmayan kokular içermektedir ve hatta atık su arıtım sistemi bile kendi kendine kokulu bileşikler meydana getirmektedir. Hidrojensülfid, ketonlar, amonyum, merkaptanlar, aminler, aldehitler, skatoller, indoller gibi koku oluşumuna neden olan bileşikler çoğu atık su arıtım sistemi tarafından oluşturulur. Bu pis kokular azot ve sülfür içeren bileşiklerin anaerobik parçalanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Kirletilmiş havadan pis kokulu bileşikler gidermek için aktif karbon adsorbsiyonu, yanma, asit-alkali giderimi ve birkaç oksidant gibi farklı fiziksel ve kimyasal arıtım prosesleri kullanılabilir. Yapılan bir çalışmada aktif karbon, ozonlama ve havalı biofiltreler atık suda meydana gelen kokuyu gidermek için kullanılmıştır (Yongwoo et al., 1994).

Ozonla dezenfeksiyon üzerine yapılan çalışmalar yaygın bir şekilde bakteri ve virüs inaktivasyonu üzerine odaklanmıştır. Protozoa ve cysts'ler üzerinde ise çok az çalışma yapılmış olup mevcut

literatür, cysts'lerin ozon ile inaktivasyon kinetiklerini tespit etmede yetersiz kalmıştır (Wickramanayake et al., 1984).

Farklı üretimlerden kaynaklanan endüstriyel atık suların arıtılması için ozon uygulaması, ozonun oldukça yüksek oksidasyon-reduksiyon potansiyelinden kaynaklanmaktadır. Farklı organik ve inorganik maddelerin ozonla parçalanması literatürde yaygın bir şekilde tartışılmıştır. Beltron and Gonzolez (1992), farklı pH değerlerinde iki tip fenolün ozonlanmasını çalışıp ozonlama reaksiyonunun ikinci derece hızlı olduğunu kanıtlamışlardır. Fhen and Heid (1994), pH (8.4-11.5) aralıklarında hidrojen peroksit karışımı ozon ile siyanidlerin oksidasyonunu incelemişlerdir. Bunlar hidrojen peroksit varlığında ve artan pH değerlerinde ozon kullanım hızının arttığını ifade etmişlerdir.

3. GENEL DEĞERLENDİRME

Ozon stabil olmayan bir gazdır. Yüksek potansiyel altında elektriksel bir alanda oksijenin iyonizasyonu ile elde edilir. Oksijenin allotropik bir şekli olan ozon güçlü bir oksidasyon maddesidir. Ozonun suya görünüş ve koku yönünden ve içilebilirliği açısından bir zararı yoktur. Laboratuvar araştırmalarında ve pilot tesis projelerinde ozon kimyasal oksidant olarak kullanılmıştır. Ozonun bu amaçla beş farklı şekilde uygulanması mümkündür:

- 1) Flok oluşumuna yardımcı olması ve doğal organiklerin oksidasyonu için,
- 2) Klorlamadan önce Trihalojenli Madde (THM) üreten maddelerin parçalanması için,
- 3) THM'lerin ve diğer toksik organik maddelerin parçalanması,
- 4) Doğal ve sentetik organik maddelerin biyolojik filtrelerde giderimi için biyolojik bozunabilirliklerinin artırılmasını teminen oksidasyon amacıyla,
- 5) Biyolojik ve kimyasal arıtmaya hazırlık ve mikro kirlenmelerin inhibisyon etkisini azaltmak amacıyla ön arıtma olarak.

Bir oksidant olarak ozon; su arıtımında kullanılan en kuvvetli oksidantlardan biridir ve sulu çözeltilerde iki mekanizma sayesinde reaksiyon gösterir. Düşük pH değerlerinde, ozon molekülü (O₃) doğrudan organik maddelerle reaksiyon verir. Elektrofilik bir madde olmasından dolayı, ozon özellikle elektrofilik hassasiyeti olan fenolik maddelere yönelir. Aynı zamanda ozon molekülü olefinler gibi doymamış maddelere karşı 1, 3-dipol hassasiyeti gösterir ve kararsız yan ürünler oluşturur. Bu maddeler suda çözünerek karbonlu ürünler meydana getirir. Güçlü

bir kimyasal oksitleyici olan ozon, çok çeşitli arıtım yöntemlerinde kullanılabilir (Demir ve Mangan giderme, fenol oksidasyonu, siyanür, renk giderme, tat ve koku giderme ve dezenfeksiyon). Arıtımda; ozonun uygulanacağı noktaların seçimi, her bir noktadaki dozajla ve temas süresi ile ilgilidir.

Ozonun avantajları yanında dezavantajları da vardır. Bunlar;

- 1) Kalıcı dezenfeksiyon sağlamaz,
- 2) Maliyeti yüksektir,
- 3) Kolloidlerin mevcudiyetinde daha fazla dozlara ihtiyaç vardır,
- 4) Proses kontrolü ve verimi açısından analitik teknikler yeterli değildir.

Ozonun, bütün bu dezavantajlara rağmen dezenfeksiyon maddelerine kıyasla, özellikle yaygın olarak kullanılan kloro nazaran çok daha iyi bir dezenfektan olduğu literatürlerde mevcuttur (Rip, 1978; Rip et all., 1981). Çünkü klor suyun tat ve kokusunu değiştirmektedir ve etkisi ozon kadar geniş değildir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda klor ile dezenfekte edilen sularda trihalometanlar (kloroform, diklorobromometan, dibromoklorometan, bromoform) oluştuğu tespit edilmiştir. Bu kloro organik kirleticiler kanserojen etkiye sahiptir. İşte bütün bu nedenler ozonun önemini ortaya çıkarmaktadır.

Ozon KOİ'si yüksek organik maddeleri oksitleyerek KOİ si düşük organik maddelere dönüştürmesi ve dönüşen bu bileşiklerin biyolojik olarak mikroorganizmalar tarafından kullanılması nedeni ile önemli bir oksidasyon maddesidir. Ozonun oksitleme potansiyeli 2.07 volt olup diğer oksidasyon maddelerine göre oksitleme gücü oldukça yüksektir. Pahalı olmasına rağmen sağlığımızdan da daha pahalı bir şey olmayacağına göre günümüzde su arıtım teknolojilerinde kullanılması gereken önemli bir oksidasyon maddesidir.

4. KAYNAKLAR

Ateş, A. 1997. Mikro Kirleticilerin Ön Ozonlanması ve Biyolojik Arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi.

Beltran, F., Gonzalez, M. 1992. Study of Ozonation of Organics in Water Using Unsteady State Turbulent Absorption Theories. J. Environ.Sci. and Health 6.1433-1452.

Brambilla, A. M., Calvosa, L., Monteverdi, A., Polesello, S., Rindone, B. 1993. Ozone Oxidation of Polyethoxylated Alcohols, Water Researc, 27, 8, 1313-1322.

Cooper, C., Burch, R. 1999. An Investigation of Catalytic Ozonation for The Oxidation of Halocarbons In Drinking Water Preparation, Water Reseach, 33 (18), 3695-3700.

Fenh, J. and Heid, R. 1994. Oxidation of Cyanide With Ozone An Alternative to The Hypochlorite Usage. Galvanotechnik (10), 3267-3273.

Hoign, J., Bader, H. 1979. Ozonation of Water Oxidation-Competition Values of Different Types of Waters Used in Switzerland. Ozone Sci. Eng. (1), 357-372.

Hoign, J., Bader, H. 1983a. Rate Constants of Reactions of Ozone with Organics and Inorganic Compounds. Wat. Res. I : Non-dissociating Organic Compounds. War. Res. (17), 173-183.

Hoign, J., Bader, H. 1983b. Rate Constants of Reactions of Ozone with Organics and Inorganic Compounds-I: Inorganic Compounds and Radicals. Wat. Res. (17), 185-194.

John, A. R., William, L., Moench, Jr., Kenneth, A. D. 1982. Kinetic Modeling of The Ozonation of Phenol in Water, Journal WPCF, (54), 1.

Musschelein, W. J. 1982. Ozonation Manual for Water and Wastewater Treatment, Compagnie Intercommunal Bruxelloise Des Eoux, Page : 9, Belgium.

Rip, G. R. 1978. Recent Advances In Ozone Technology, Wat. Pollut. Control, Washington, U. S. A. Page: 51-55.

Rip, G., Rice, C., Rabson, M., Wade, M. G., Archibald, G. H. 1981. Uses of Ozone In Drinking Water Treatment, Journal AWWA Research and Technology. Page: 44-55.

Şengül, F. 1988. Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Basım Ünitesi, Sayfa: 69-70, İzmir.

Yongwoo, H., Tomonari, M., Keisuke, H., Noriyuki, S. 1994. Removal of Odours In Wastewater By Using Activated Carbon, Ozonation and Aerated Biofilter, Water Research, 28 (11), 2309-2319.

Westerhoff, P., Alken, G., Amy, G., Debroux., J. 1999. Relationships Between The Structure of Natural Organic Matter and Its Reactivity Towards Molecular Ozone and Hydroxyl Radicals, Water Research, 33 (10), 2265-2276.

Wickramanayake, G., B., Alan, J., R., Otis, J., S. 1984. Inactivation of Naegleria and Giardia Cysts In Water By Ozonation, Journal WPCF, (56), 8.