



**SİYANÜR İÇEREN KUYUMCULUK SEKTÖRÜNDE KAYNAKLANAN
ATIKSULARIN OZON ESASLI FOTOKİMYASAL OKSİDASYON PROSESLERİ
İLE ARITIMININ ARAŞTIRILMASI**

Saire ÖZÇİFTÇİ



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİYANÜR İÇEREN KUYUMCULUK SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN
ATIKSULARIN OZON ESASLI FOTOKİMYASAL OKSİDASYON PROSESLERİ
İLE ARITIMININ ARAŞTIRILMASI**

SAİRE ÖZÇİFTÇİ

Doç. Dr. Taner YONAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2015

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Saire ÖZÇİFTÇİ tarafından hazırlanan “SİYANÜR İÇEREN KUYUMCULUK SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN ATIKSULARIN OZON ESASLI FOTOKİMYASAL OKSİDASYON PROSESLERİ İLE ARITIMININ ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. Taner YONAR

Başkan : Doç.Dr. Taner YONAR
UÜ Müh-Mim Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç.Dr. N. Kamil SALİHOĞLU
UÜ Müh-Mim Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd.Doç.Dr.Aşkın BİRGÜL
BTÜ Doğa Bil. Müh-Mim Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı


İmza


İmza


İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü

.././....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././....

SAİRE ÖZÇİFTÇİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİYANÜR İÇEREN KUYUMCULUK SEKTÖRÜNDEN KAYNAKLANAN ATIKSULARIN OZON ESASLI FOTOKİMYASAL OKSİDASYON PROSESLERİ İLE ARITIMININ ARAŞTIRILMASI

Saire ÖZÇİFTÇİ

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Taner YONAR

Bu çalışmada altın atıksularında bulunan siyanürün giderilmesi için İleri Oksidasyon Prosesleri (O_3 , O_3/UV , $O_3/UV/H_2O_2$ ve UV/H_2O_2) araştırılmıştır. Birçok endüstri faaliyetlerinden, madencilik faaliyetlerinden, altın ve gümüş gibi kıymetli metallerin geri kazanımı çalışmalarından açığa çıkan sıvı atıklarda bulunan siyanür çeşitli doğal, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtılmaktadır. Çalışmanın asıl amacı, fotokimyasal reaktörde ozon, hidrojen peroksit ve UV ışığının kullanılması ve sulardaki siyanür kirliliğinin giderimi için gerekli şartların ve optimum dozların belirlenmesidir. Çalışmada Bursa iline ait altın işleme tesislerinden numuneler alınmıştır. Çalışılan tüm kombinasyonlar arasında UV/H_2O_2 (700 mg/L) prosesinde toplam siyanür giderim oranı en yüksek verime ulaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: İleri Oksidasyon Prosesleri O_3 , O_3/UV , $O_3/UV/H_2O_2$, UV/H_2O_2 siyanür, KOİ, TOK giderimi
2015, vii + 41 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF TREATMENT OF CYANIDE CONTAINING JEWELLERY MANUFACTURING WASTEWATER USING OZONE BASED PHOTOCHEMICAL ADVANCED OXIDATION PROCESSES

Saire ÖZÇİFTÇİ

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Taner YONAR

In this study, the removal of cyanide which can be found gold wastewater by Advanced Oxidation Processes (O_3 , O_3/UV , $O_3/UV/H_2O_2$ ve UV/H_2O_2), was examined. The cyanide which is found in waste liquid from the remainings of the recovery of valuable metals such as gold, silver in a number of industrial processing and mining areas is distilled through various natural, chemical and biological methods. The aim of this study, ozone, hydrogen peroxide and UV light using in a photochemical reactor and to determine optimum dose and necessary conditions for the removal of cyanide in water pollution. In this study, the samples from gold processing plant belonging to Bursa city were taken. Working between all combinations of UV / H_2O_2 (700 mg / L) total cyanide in the process of removal rate reached the highest yield.

Key words: Advanced Oxidation Processes O_3 , O_3/UV , $O_3/UV/H_2O_2$, UV/H_2O_2 , removal of cyanide, COD, TOC

2015, vii + 41 pages.

TEŞEKKÜR

Uludağ Üniversitesi öğrencilik yıllarımda çalıőmalarımın yön kazanması, değerlendirilmesi ve sonuca ulaőtırılmasında her türlü desteği esirgemeyen kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. Taner YONAR'a teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalıőmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen Prof.Dr. Yücel TAŐDEMİR'e, Doç.Dr. S. Sıddık CİNDORUK'a, Araştırma Görevlisi Dr. Gizem KARACA'ya, arkadaşlarım Çevre Yüksek Mühendisi Özge SİVRİOĞLU'na, tüm arkadaşlarıma ve tüm öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve bana güç veren aileme teőekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Saire ÖZÇİFTÇİ

././.....

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | vii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. SİYANÜR | 3 |
| 2.1. Siyanürün Genel Özellikleri | 3 |
| 2.2. Siyanür Bileşiklerinin Bulunduğu Ortamlar | 4 |
| 2.2.1. Doğal ortamda bulunan siyanür bileşikleri | 4 |
| 2.2.1.1. Karasal çevrede siyanür dağılımı | 4 |
| 2.2.1.2. Sucul çevrede siyanür dağılımı | 5 |
| 2.2.1.3. Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan siyanürün davranışı | 6 |
| 2.2.1.4. Yeraltı suyunda siyanür | 6 |
| 2.2.1.5. Yüzey sularındaki siyanür | 7 |
| 2.2.2. Reaksiyon sırasında yan ürün olarak oluşan siyanür bileşikleri | 7 |
| 2.2.3. Endüstriyel işlemler sonucu çevreye verilen siyanür bileşikleri | 8 |
| 2.3. Siyanürün Sağlığa Zararları ve Çevresel Etkileri | 9 |
| 3. SİYANÜR ARITMA YÖNTEMLERİ | 15 |
| 4. MATERYAL VE YÖNTEM | 18 |
| 4.1. Altın atıksuyunun karakterizasyonu | 18 |
| 4.2. O ₃ , O ₃ /UV, O ₃ /UV/H ₂ O ₂ ve UV/H ₂ O ₂ Denemelerinde Kullanılan Fotokimyasal Reaktör | 18 |
| 4.3. Ozonlama Denemelerinde Kullanılan Ozon Reaktörü | 19 |
| 5. 5. BULGULAR | 21 |
| 5.1. UV/H ₂ O ₂ Deneyleri | 21 |
| 5.2. Ozonlama Deneyleri | 25 |
| 5.3. O ₃ /UV Deneyleri | 27 |
| 5.4. O ₃ /UV/H ₂ O ₂ Deneyleri | 28 |
| 6. TARTIŞMA ve SONUÇ | 33 |
| KAYNAKLAR | 35 |
| ÖZGEÇMİŞ | 41 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|-------------------------------|---------------------------|
| H | Hidrojen |
| O | Oksijen |
| C | Karbon |
| N | Azot |
| Na | Sodyum |
| K | Potasyum |
| Ca | Kalsiyum |
| HCN | Hidrojen Siyanür |
| Cd | Kadmiyum |
| Cu | Bakır |
| Zn | Çinko |
| CN | Siyanür |
| H ₂ S | Hidrojen sülfür |
| Co | Kobalt |
| Ni | Nikel |
| Fe | Demir |
| Mn | Mangan |
| L | Litre |
| Mg | Miligram |
| SO ₂ | Kükürt dioksit |
| SO ₄ | Kalsiyum sülfat |
| O ₃ | Ozon |
| H ₂ O ₂ | Hidrojen peroksit |
| TiO ₂ | Titanyum dioksit |
| KOİ | Kimyasal Oksijen İhtiyacı |
| HO· | Hidroksil Radikali |
| HO ₂ · | Hidroperoksil Radikali |
| TOK | Toplam Organik Karbon |
| kd | Reaksiyon oran sabiti |
| r | Oksidasyon oranı |
| sa | Saat |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|--------------------------|
| WAD | Zayıf Asitte Ayrışabilir |
| EPA | Çevre Koruma Ajansı |
| UV | Ultra viyole |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 4.1. Oksidasyon deneyleri sırasında fotoreaktörün şematik gösterimi | 19 |
| Şekil 5.1. UV/H ₂ O ₂ prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimleri (CH ₂ O ₂ = 100 mg/L) | 22 |
| Şekil 5.2. UV/H ₂ O ₂ prosesinde sabit pH 10 değerinde çeşitli H ₂ O ₂ konsantrasyonlarında (a) Siyanür ve (b) KOİ giderimleri | 24 |
| Şekil 5.3. O ₃ prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimleri (C _{ozon} = 180 mg/sa) | 27 |
| Şekil 5.4. O ₃ /UV prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimleri (C _{ozon} = 180 mg/sa) | 28 |
| Şekil 5.5. O ₃ /UV/H ₂ O ₂ prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimleri (CH ₂ O ₂ = 100 mg/L) | 29 |
| Şekil 5.6. O ₃ /UV/H ₂ O ₂ prosesinde değişik H ₂ O ₂ konsantrasyonlarda (25-300 mg/L H ₂ O ₂) (a) Siyanür ve (b) KOİ giderimleri | 30 |
| Şekil 5.7. H ₂ O ₂ dozunun etkisi UV/H ₂ O ₂ and O ₃ /UV/H ₂ O ₂ proseslerinde birinci kinetik sabiti | |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde su kalite sınıflarına göre serbest siyanür konsantrasyonları (SKKY 1988) | 11 |
| Çizelge 4.1. Altın imalat atıksularının karakterizasyonu | 18 |
| Çizelge 5.1. İleri Oksidasyon Prosesleri'nde optimum şartlar altında Toplam Siyanür, KOİ ve TOK giderim verimlilikleri özet tablosu | 32 |



1.GİRİŞ

Çevre dünya üzerinde yaşamını sürdüren canlılarının hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortamdır. Diğer bir deyişle “Eko Sistem” olarak da tanımlanabilir. Çevre de bulunan hava, su ve toprak bu çevrenin fiziksel unsurlarını, insan, hayvan, bitki ve diğer mikroorganizmalar ise biyolojik unsurlarını teşkil etmektedir. Yaşam ve çevre birbirlerine bağlı iki önemli unsurdur. Çevre ve canlı yaşamı birbirine bağlı, ayırt edilemez ve birinin eksikliğinde düşünülemez iki kavramdır. Fakat çevre kelimesi dillerden düşmemekle birlikte her gün gazetelerde karşımıza çevre sorunları olarak çıkmaktadır. Son yıllarda teknoloji ve sanayinin hızla gelişmesi, çevre sorunlarının artmasına sebep olmuştur. Nüfusun artmasıyla birlikte devreye giren altyapılar, faaliyete geçtikleri günde bile yetersiz kalmaktadır. Bu plansız endüstrileşme ve sağlıksız kentleşme, nükleer denemeler, bölgesel savaşlar, verimi artırmak amacıyla tarımda kimyasal maddelerin bilinçsizce kullanılmasıyla birlikte, gerekli çevresel önlemler alınmadan ve arıtma tesisleri kurulmadan, geri dönüşüm alanları hazırlanmadan yoğun üretime geçen sanayi tesisleri veya sanayi bölgeleri çevre kirliliğini tehlikeli boyutlara çıkarmıştır. Yapılan araştırmalar dünyadaki mevcut çevre kirliliğinin % 50 'sinin, son 35 yılda meydana geldiğini ortaya koymaktadır (Anonim 2007).

Artan bu kirlilikle ilgili olarak ülkelerin ve toplumların çevre konusunda daha dikkatli olmaları gereği ortaya çıkmıştır. Özellikle son yüzyılda çevre de yaşanan kirliliklerin artması çevre ile ilgili yasalar oluşturulmasını etkilemiştir. Bir çok ülke; çevreyle ilgili yasaların uygulanması açısından önlemler almaya çalışmıştır. Fakat ilerleyen zamanlarda çevre ile ilgili yasalar tek başına yeterli olmamıştır. Bu yasaların uygulanması, insanların bilinçlendirilmesi ve denetim mekanizmalarının çalıştırılması gerekmektedir.

Günümüzde çevrenin korunması amacıyla ülkeler arasında çeşitli toplantılar, antlaşmalar yapılmaya başlanmıştır. Çevre konusunda faaliyet gösteren sivil toplum örgütleri (DOÇEV, TÜRÇEK vb.) kurulmaya ve hayata geçirilmeye başlanmıştır. Bu sivil toplum örgütleri yapmış oldukları çalışmalar ve eylemlerle insanların ilgilerini çevre konusuna yönlendirmeye çalışmışlardır (Anonim 2007).

Artan çevre kirliliği bu yüzyılın en önemli sorunları arasına girmiştir. Bilinen en zehirli maddelerden birisi olan siyanür de bu kirleticiler arasında önemli bir yere sahiptir. Pek çok

endüstride siyanürün yer aldığı teknolojik süreçler kullanılmakta ve bunun sonucu olarak endüstrilerin atığı olarak da çevrede siyanür ve türevlerine rastlanılmaktadır. Bunun yanı sıra pek çok bitkinin ve bir kaç mikroorganizmanın siyanojenik glikozitler şeklinde siyanür bileşiklerini sentezleme yeteneğine sahip oldukları da bilinmektedir. Ancak biyolojik olarak sentezlenen bu siyanür bileşikleri endüstrinin atık olarak çevreye verdiği siyanür miktarıyla kıyaslanamayacak kadar az düzeydedir.

Siyanür ve türevlerinin arıtımı için çeşitli kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır (Raybuck 1992, Akcil ve ark. 2003). Ancak, biyolojik ve kimyasal yöntemlerin dezavantajlarının bulunması ilave bir arıtıma gerek duyulmasına sebep olmuştur. Özellikle son yıllarda birçok endüstri atıksularında İleri Oksidasyon Prosesleri kullanılarak siyanür için yüksek giderim verimlilikleri elde edilmiştir. Fakat literatürde altın atıksularında bulunan siyanürün giderimi için İleri Oksidasyon Prosesleri'nin kullanımı yok denecek kadar azdır. Bu yüzden bu çalışmada Siyanür giderimi için İleri Oksidasyon Prosesleri kullanılmıştır.

2.SİYANÜR

2.1.Siyanürün Genel Özellikleri

Siyanür, 1 C ve 1 N atomunun 3 bağ yaparak oluşturduğu anyonik karakterde ve alkali katyonlarla tuz meydana getiren, çeşitli metal katyonları ile de iyonik kompleksler oluşturabilen zehirli bir kimyasaldır. Na, K, Ca ile oluşturduğu tuzları oldukça toksiktir ve suda kolayca çözülebilir. Asitlerin etkisiyle HCN açığa çıkarırlar. Cd, Cu ve Zn ile oluşturdukları zayıf ya da ılımlı kararlılıktaki kompleks bileşikler zayıf-asitte ayrışabilir siyanür (WAD: weak-acid dissociable) olarak tanımlanır. Metal-siyanür kompleksleri daha az toksik olmalarına rağmen, çözümleri sonucunda toksik olan hem serbest siyanür hem de metaller açığa çıkarmaktadır (Greenwood ve Earnshaw 1984, Skoog ve ark. 1996).

Siyanür terimi 3 siyanür çeşidini belirten genel bir ifade olarak değerlendirilmektedir.

Bunlar:

- 1) toplam siyanür;
- 2) zayıf-asitte ayrışabilir (WAD) siyanür;
- 3) serbest siyanürdür.

Siyanür çeşitleri içerisinde en zehirli olanı serbest siyanürdür. Serbest siyanür, hem gaz formda hem de sıvı formda bulunabilen siyanür anyonununun (CN^-) ve hidrojen siyanürü (HCN) içermektedir. pH değeri 9.3-9.5 olan çözeltilerde siyanür ile hidrojen siyanür dengede ve eşit miktarda bulunur. pH 11.0 ve üzerinde, çözeltideki siyanür miktarının %99'u CN formundayken pH 7.0 ve altındaki değerlerde siyanür miktarının % 99'u HCN formundadır. HCN, suda çok kolay çözünebilir olmasına karşın sıcaklığın ve tuz yoğunluğunun artmasına bağlı olarak çözünürlüğü azalmaktadır. Sulu çözeltilerde HCN'nin hem gaz hem de sıvı formu renksiz, acıbadem kokusuyla karakterize edilir. Ancak kokusuyla tanımlama yapmak toksik özelliği nedeniyle uygun değildir (Greenwood ve Earnshaw 1984).

Siyanür, altın, civa, kobalt ve demir ile zayıf asidik koşullarda bile oldukça kararlı kompleks bileşikler oluşturur. Bununla birlikte, doğrudan ultraviyole dalga boyundaki ışığa maruz kalan sulu çözeltilerdeki hem ferro-siyanürler hem de ferri-siyanürler ortamdaki serbest siyanürün kaynağı olurlar. Bu reaksiyon karanlık koşullarda tersine işler. Siyanür tuzlarının ve komplekslerinin kararlılığı çözeltilinin (ortamın) pH değerine bağlıdır. Bu durum, siyanürün potansiyel çevresel önemi ve çevre ile etkileşimini doğrudan etkilemektedir. Aynı zamanda siyanür iyonları kükürtle birleşerek tiyosiyonat oluştururlar. Tiyosiyanat, hidrojen siyanüre

göre çok daha az toksiktir. Fakat akciğerler üzerine çok tahriş edici etkiye sahiptir (Greenwood ve Earnshaw 1984, Boikesss ve ark. 1986, Skoog ve ark. 1996).

2.2. Siyanür Bileşiklerinin Bulunduğu Ortamlar

Küçükgül' e (1985) göre siyanür bileşiklerinin bulunduğu yerler üçe ayrılmaktadır.

Bunlar:

1. Doğal ortamda bulunan siyanür bileşikleri
2. Reaksiyon sırasında oluşan ana ürünler
3. Endüstriyel işlemler sonucu oluşan gaz, sıvı veya katı atıklarla çevreye verilen bileşikler şeklindedir .

2.2.1. Doğal ortamda bulunan siyanür bileşikleri

Doğal ortamda bulunun siyanür bileşiklerini de 5 ana başlık altında inceleyebiliriz.

- Karasal çevrede siyanür dağılımı
- Sucul çevrede siyanür dağılımı
- Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan siyanürün davranışı
- Yeraltı suyunda siyanür
- Yüzey sularındaki siyanür

2.2.1.1. Karasal çevrede siyanür dağılımı

Doğada 800'den fazla mikroorganizma ve bitkinin siyanür ürettiği ileri sürülmüştür (Canbazoglu 1996). Kiraz, defne, şeftali, kayısı, zerdali, ayva, erik, kuru üzüm, meyve ve çekirdeklerinde, fındık, ceviz, gibi sert meyve tohumlarında ve birçok çiçek yapısında siyanhidrin biyosentezi yapılır ve çekirdek içinde şeker türleri olarak depolanır (Küçükgül 1985). Bu siyanhidrinler içinde amigdalin ve laetril en iyi bilinenlerdir. Enzimatik olarak HCN'e hidroliz olabileceğinden, kiraz ve diğer türlerin çekirdekleri fazla miktarda yenilmemelidir (Uyar 2001). Serbest siyanürün toprakta ya toprak mikroorganizmaları arasında ya da bitkiler tarafından özümsemiği bu nedenle toprakta birikmediği bilinmektedir. Ayrıca 220 ppm'e kadar serbest siyanür iyonunun etkin olarak uzaklaştırıldığı vurgulanmaktadır.

Canbazoglu'na (1996) göre biyolojik olarak biriktirilen ve üretilen siyanür, şeker molekülleri gibi, diğer bileşiklerle birlikte bulunmakta, doğada serbest olarak kalmamaktadır. Şeker yapısı bir "siyanoglikozit" olarak bilinmektedir. Bu kaynak bileşik hidroliz olduğunda yani bitkinin zarar görmesi veya hayvanlar tarafından yenilmesi halinde, karında asidik çevreye maruz kalacak ve serbest siyanür meydana geleceği bildirilmektedir. Siyanürlü bileşikler içeren bitkiler doğada yaygın olduklarından karasal hayvanların çoğu, su canlılarının dayanabileceğinden daha yüksek siyanür derişimlerine dayanabilmektedirler.

2.2.1.2. Sucul çevrede siyanür dağılımı

Sucul çevrelerdeki doğal siyanürün hangi kaynaklardan geldiği konusu açık değildir. Siyanürün sucul çevrelerde oluşmasına siyanojik bitkilerin bozulması ile bazı su mikroorganizmalarının (Siyano bakterisi ve alg türleri) siyanür ürettiği öne sürülmektedir. Fakat yüzey sularında bu mikroorganizmaların siyanür seviyelerinin artmasındaki faaliyetleri bilinmemektedir (Bilgin 2003).

Serbest siyanürün buharlaşmak suretiyle sucul çevrelerden uzaklaştığı, buharlaşmanın hareketli sularda daha etkin olduğu 1977'de ortaya konmuştur. Araştırmaya göre durgun sularda 0.1-0.5 mg/L derişimdeki siyanür 0.22 mg CN⁻ /m²/saat hızla buharlaşmaktadır. Yine siyanür biyolojik parçalanmaya uğrayabilmektedir. Aerobik biyo-parçalanmada "Nitrojen-sabitlenme" siyano bakterisinin serbest siyanürü parçalayabildiği için sucul ekosistemlerde bu organizma önemli olabilmektedir (Küçükgül 1985).

Anaerobik biyo-parçalanma ise HS⁻ ya da H₂S'in bulunduğu ortamlarda oluşabilmekte ve siyanürü okside ederek tiosiyanat oluşturmaktadır. Doğal olarak oksijensiz biyolojik parçalanma daha yavaştır.

Sudaki serbest siyanür, oksijen tarafından tiosiyanata yükseltgenebilmektedir. Bu yükseltgenme katalizör yokluğunda yavaştır. Tiosiyanat, aynı zamanda indirgenebilen sülfürlü minerallerle serbest siyanürün bir arada bulunması sonucunda oluşabilmektedir. Ancak tiosiyanatın sulu çevredeki davranışı bilinmemektedir. Çünkü, tiosiyanat siyanür iyonundan çok daha az zehirli olduğundan araştırılmamıştır. Buna ek olarak, doğal biyolojik ortamda siyanatın bozunarak balık yaşamı için tehlikeli olan amonyağa dönüştüğü de ileri sürülmektedir (Bilgin 2003).

2.2.1.3. Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan siyanürün davranışı

Siyanür, madencilikte, kırma ve graviteyle ayırma gibi basit fiziksel süreçlerde kolayca zenginleştirilemeyen ve özellikle düşük tenörlü cevherlerden altını (ve gümüşü) elde etmede kullanılır. Fakat kullanılan siyanürün serbest olarak kalması çevreye zarar vermektedir. Bu zararı önlemek için liç işleminin yapıldığı yığın tabanının geçirimsiz malzemelerden yapılması ve faaliyetler sonrası oluşan artıkların toplandığı artık barajların yüzey sularından izole edilecek şekilde projelendirilmesi gerekmektedir (Çabuk ve Kolankaya 2011).

2.2.1.4. Yeraltı suyunda siyanür

Madencilikte kullanımı sırasında siyanür, bir çok metalle kompleks oluşturmaktadır. Bu komplekslerin kararlılığı ve davranışları oldukça değişken olmaktadır. Çeşitli siyanür kompleksleri, toprağın özelliklerine (geçirgenlik ve kimyasal) bağlı olarak yer altı suyunda değişen kararlılığa sahiptir. Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} ve Ni^{2+} nispeten kolay ayrışabilen siyanür kompleksleridir ancak Fe^{2+} ve Mn^{2+} tipik olarak kuvvetli kompleksleri oluşturmaktadır. Uygun yer altı koşullarında ise, zayıf metal siyanür kompleksleriyle serbest siyanür iyonları, ferrosiyanit gibi güçlü kompleksler oluşturmak üzere demirle reaksiyona girmektedir (Atak 1997).

Atak' a (1997) göre yeraltı suyundaki demir siyanür kompleksleri ise yer altı suyunda bulunan Fe^{2+} ve Cu^{2+} gibi metallerin varlığı sonucu çözüldükten çökerek ayrılmaktadır. Ferrosiyanitlerin bozunması ise oldukça yavaş ve zor olmaktadır.

Yeraltı suyuna siyanür geçişinde toprak tabakalarının özelliklerinin de önemli olduğu ortaya konmuştur. Bu araştırmalara göre; feldspat ve killerin yaklaşık 130 mg serbest siyanür/kg düzeyinde siyanürü sudan uzaklaştırdıkları ve yine organik içerikli toprakların sorpsiyonla 0.5 mg siyanürü azalttığı bilinmektedir. Yeraltı suyundan siyanürün uzaklaştırılmasında buharlaşma, toprağın kimyasal özellikleriyle biyolojik parçalanmanın etkin olabileceği ileri sürülmektedir (Bilgin 2003).

2.2.1.5. Yüzey sularındaki siyanür

Madencilik faaliyetleri sonucu sucul ortama karışan siyanürle ilgili çalışmalarda; su kalitesinin, siyanür açısından, madenden uzaklaştıkça yani madenin birkaç kilometre ötesinde, giderek düzeldiği ortaya konmuştur. Bunun nedeni buharlaşma, adsorpsiyon, mikrobiyolojik parçalanma gibi olaylarla açıklanabilmektedir (Çabuk ve Kolankaya 2002).

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan siyanür bir metal kompleks olarak yüzey sularına ulaşabilmektedir. Bu kompleksler suda ayrışabilmekte ve serbest kalan siyanür, buharlaşma yoluyla uzaklaşabilmektedir. Yine bazı siyanür türleri çökmeye karşı koyan kararlı kolloidler olarak da bulunabilmekte ve yüzey sularıyla uzak mesafelere taşınabilmektedirler. Kararlı metal kompleksleri ise dere sedimentlerinde toplanabilmektedir (Bilgin 2003).

Diğer taraftan demir siyanür komplekslerinin genellikle çok kararlı siyanür bileşikleri olmasına rağmen, laboratuvar çalışmaları ultraviyole ve güneş ışığı altında bu komplekslerin ayrıştığını göstermektedir. Nemli topraklar ya da bataklıklar, yüksek oranda biyolojik aktivite ile adsorbe etme özelliğine sahip eko-sistemlerdir.

2.2.2. Reaksiyon sırasında yan ürün olarak oluşan siyanür bileşikleri

Alifatik ve aromatik organik bileşiklerin sentezlenmesi sırasında gerek reaksiyona giren maddelerde gerekse yan ürünlerde siyanür bileşikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Fonksiyonel grup olarak CN- birçok sentezin temel maddesidir. İyon grubunun özelliği halojenlere benzediğinden elektronegatifliği yüksektir. Ayrıca azot atomunun taşıdığı bir tane ortaklanmış elektron çifti iyonun reaksiyon aktivitesini arttırmaktadır. Organik reaksiyonlarda fonksiyonel grubu olarak kullanılan siyanür iyonlarına birkaç örnek aşağıda verilmektedir;

-NCNH siyanamin

-OCN siyanat

-CN⁻ siyano siyanat, izosiyanat, tiyosiyanat, vb. (Uyar 2001, Küçükgül 1985).

2.2.3. Endüstriyel işlemler sonucu çevreye verilen siyanür bileşikleri

Siyanür karbon ve azot gibi yaygın elementlerden oluşması ve diğer maddelerle kolayca reaksiyona girmesi nedeniyle kimya sanayisinin temel yapı taşlarından birisini oluşturmaktadır. Yılda, toplam üretiminin % 80'ini oluşturan, bir milyon tonu aşkın siyanür nitril, naylon ve akrilik plastikler gibi organik kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır.

Sanayideki diğer önemli uygulamaları elektro kaplama, metal işleme, çelik sertleştirme, fotografik uygulamalar ve sentetik lastik üretimidir.

Demir siyanürler, buzlu yollara serpilene tuzun topaklaşmasını önlemek amacıyla kullanılır. Hidrojen siyanür buharı, kemirgenler ve büyük yırtıcı hayvanları imha etmede ve diğer haşere ilaçlarına bağışıklık kazanmış olan böcek zararlılarını kontrol etmek için bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılır. Bunlara ek olarak siyanürün kullanıldığı prosesler ve ortaya çıkan siyanürün fiziksel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- Petrol rafinerilerinde kraking işlemi ile oluşan ve soğutma suları ile ortama verilen serbest, basit ve kompleks siyanürler,
- Kok ve havagazı fabrikalarında koklaşma fırınlarında oluşan yıkama suları ile ortama verilen her türlü siyanür bileşikleri,
- Maden işletmelerinde cevher zenginleştirme ve geliştirme amacı ile kompleks siyanür bileşiklerinin kullanılması ve yıkama sularıyla ortama verilmesi,
- Metal sanayinde; maden işleme, eritme fırınlarında, metal saflaştırma ve çelik işleme çalışmalarısıyla ortama verilen siyanür bileşikleri,
- Tekstil sanayinde boya maddesi olarak kullanılan kompleks siyanür bileşikleri nedeniyle ortama verilen siyanür bileşikleri,
- Renkli fotoğraf ve film banyosu yapan laboratuvarlarda renk geliştirme ve sabitleştirme işlemleri için kullanılan kompleks siyanür bileşiklerinin yıkama sularıyla beraber alıcı ortama verilmeleri sonucu oluşanlar,
- Kaplama sanayinde gerek küçük atölyelerde gerekse elektro kaplama yapan büyük işletmelerde kullanılan basit siyanürlerin işlem sonucu basit ve kompleks bileşiklerinin alıcı ortama verilmesiyle oluşanlar,
- İlaç sanayinde üretilen basit ve organik siyanür bileşiklerinin pestisid, insektisid, hatta kemirgenlere karşı kullanılması, hastanelerde cerrahi
- aletlerin dezenfeksiyonunda kullanılan inorganik basit siyanürlerin alıcı ortama verilmeleri ile oluşan siyanür atıkları,
- Plastik, polimer ve sentetik kauçuk yapımında kullanılan basit siyanürler,
- Meyve ve tohum işleyen tesislerde oluşan serbest siyanür.

Yukarıda saydığımız kuruluşların atık sularında siyanür ve diğer türdeki bileşiklerine diğer oranlarda rastlanıldığı bildirilmiştir (Küçükgül 1985).

2.3. Siyanür Sağlığa Zararları ve Çevresel Etkileri

Siyanürün altın, gümüş madenciliğinde kullanımı çevre açısından ciddi bir tehlike olarak görülmektedir. Bu durum reaktifin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. Uygulamada proses içinde gerekli önlemlerle birlikte, siyanür konsantrasyonunun, belirli değerlerin altına indirilerek olası zararlı etkilerinin kontrol edilmesi konusunda bilimsel çalışmalarla belirlenmiş standartlar vardır (Yüce 1997).

Siyanür kontrolsüz koşullarda özellikle asidik ortamlarda sudaki hidrojen ile birleşirse yüksek dozajlarda vücuda solunum yolu ile alındığında çok zehirli özellik gösteren siyanogen (HCN) gazı oluşturur. Sanayide özellikle metal kaplamacılık ve kuyumculukta yüzey temizleme ve değerli metalleri tutmada kullanılan siyanür tuzları (genellikle potasyum siyanür (KCN) ve sodyum siyanür (NaCN)) uygun kimyasal denetimler altında atölyelerde dahi rahatlıkla kullanılmaktadır. Sulu ortamlarda bulunan siyanürlü bileşikler, suyun alkaliliği kireçle yükseltildiğinde herhangi bir sorun yaratmamaktadır (Anonim 1997).

Atıksularda siyanür iyonu, ağır metal iyonlarıyla metal-siyanür kompleksi oluşturur. Suda HCN'nin koku sınırı 0,001 mg/L dir. Çevreden ve endüstriden gelecek siyanüre dayanabilecek maksimum güvenli sınır, 18 mg/gün 'dür. Siyanürün düşük konsantrasyonlarda bile sucul yaşama ve atıksu arıtımındaki biyolojik hayata toksik etkisinin olduğu gözlenmiştir (Türkman 1990).

HCN, renksiz bir gazdır, keskin, bayıltıcı ve bademe benzer bir kokusu vardır (Öngür 2003). En kuvvetli zehirlerdendir (Anonim 1970). Beyaz katı maddeler halinde bulunan sodyum ve potasyum siyanür ise nemli havada aynı keskin kokuyu yayar. Havada daha çok gaz formunda hidrojen siyanür olarak bulunan siyanür küçük miktarda ince toz partikülleri olarak da bulunabilir. Su yüzeyinde bulunan siyanür de HCN formuna dönüşür ve buharlaşır. Siyanür yüksek konsantrasyonlarda toprak mikroorganizmaları için toksiktir ve toprak yoluyla yer altı sularına geçebilir. Siyanür havadan, içme sularından, toprağa değen cilt yoluyla ve siyanür bulaşan yiyeceklerin yenmesi yoluyla vücuda alınabilir. Solunum yoluyla alınan siyanür kaynakları arasında sigara içimi, yangın dumanının solunması ve siyanür içeren atıkların depolandığı atık depolama alanlarının yakınındaki havanın solunması sayılabilir. Siyanür kullanılan işyerlerinde çalışan işçiler de siyanüre maruz kalma yönünden risk altındadırlar (Öngür 2003).

Besinlerle az da olsa bir miktar siyanür bünyeye alınmaktadır. İçme suyu yoluyla, günde 4,7 mg siyanür alınması zararlı etki göstermemektedir. Normal olarak 2 litre su tüketen bir insan, bu suda 2,3 mg/L siyanür konsantrasyonu bulunması halinde zarar görmeyecektir. Ancak su standartlarının belli bir emniyet payı içermesi gerektiği için, içme sularında 0.1 mg/L limit değerinin aşılmaması önemlidir.

Siyanürün toksik etkisi nedeniyle birçok ülke standartlarında izin verilebilir konsantrasyon sıfır olarak kabul edilmiştir. TSE 266 no'lu içme suyu standartlarında maksimum siyanür konsantrasyonu içme sularında 0,01 mg/L olarak kabul edilmiş, kaynak sularında ise siyanür bulunmasına izin verilmemiştir.

Kanalizasyon ve endüstri atıksularının sonuçta yer altı suyuna ulaşacağı düşünüldüğünden bunlar için de standart ve kriterler belirlenmiştir. Endüstriyel atıksuların kanalizasyona deşarjında siyanür konsantrasyonu hem arıtma tesisi açısından hem de kanalizasyonda çalışan işçi sağlığı açısından önemlidir.

4 Eylül 1988 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde" su kalite sınıfları belirlenmiştir. Bu yönetmelikte çeşitli su kalite sınıfları için verilen toplam serbest CN⁻ konsantrasyonları Çizelge 2.1' de görülmektedir (Türkman 1990).

Çizelge 2.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde su kalite sınıflarına göre serbest siyanür konsantrasyonları (SKKY 1988)

| SEKTÖR | CN ⁻ DERİŞİMİ (mg/L) | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | Parametre | Kompozit numune 2 saatlik | Kompozit numune 24 saatlik |
| Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Taşkömürü ve Linyit Kömürü Hazırlama) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | - | 0,5 |
| Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Kok ve Havagazı Üretimi Hazırlama) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | - | 0,5 |

| | | | |
|---|-----------------------------------|-----|-----|
| Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Termik Santraller ve Benzerleri) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | - | 0,5 |
| Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri (Jeotermal Kaynaklar) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | - | 0,5 |
| Petrol Sanayii (Petrol Rafinerileri ve Benz.) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 2 | 1 |
| Petrol Sanayii (Petrol Dolum Tesisleri ve Benz.) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,5 | 2 |
| Maden Sanayii (Demir ve Demir Dışı Metal Cevherleri, Kalsiyum Florür, Grafit ve Benzeri Cevherlerin Hazırlanması) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,1 | - |
| Kimya Sanayii (Boya Hammadde ve Yardımcı Madde Üretimi ve Benz.) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 2 | 1 |
| Kimya Sanayii (Petrokimya ve Hidrokarbon Üretim Tesisleri) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 1 | 0,5 |

Çizelge 2.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde su kalite sınıflarına göre serbest siyanür konsantrasyonları (SKKY 1988) (devam)

| SEKTÖR | Parametre | CN ⁻ DERİŞİMİ (mg/L) | |
|---|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | Kompozit numune 2 saatlik | Kompozit numune 24 saatlik |
| Kimya Sanayii (Karpit Üretimi) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | - | 0,5 |
| Metal Sanayii (Genelde Metal Hazırlama ve İşleme) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,5 | 0,1 |

| | | | |
|--|-----------------------------------|-----|-----|
| Metal Sanayii (Galvanizleme) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,2 | - |
| Metal Sanayii (Su Verme, Sertleştirme Tesisleri) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 1 | - |
| Metal Sanayii (İletken Plaka İmalatı) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,2 | - |
| Metal Sanayii (Metal Taşlama ve Zımparalama Tesisleri) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,2 | - |
| Metal Sanayii (Alüminyum Hariç olmak Üzere Demir Dışı Metal Üretimi) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,1 | - |
| Metal Sanayii (Demir ve Demir Dışı Dökümhane ve Metal Şekillendirme) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,1 | - |
| Sert Makine İmalatı, Elektrik Makinaları ve Techizatı, Yedekparça Sanayii) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,5 | 0,1 |

Çizelge 2.1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde su kalite sınıflarına göre serbest siyanür konsantrasyonları (SKKY 1988) (devam)

| SEKTÖR | Parametre | CN ⁻ DERİŞİMİ (mg/L) | |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | Kompozit numune 2 saatlik | Kompozit numune 24 saatlik |
| Motorlu ve Motorsuz Taşıt Tamirhaneleri (Oto, Traktör Tamirhaneleri Ve Benzerleri) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 1 | 0,2 |

| | | | |
|---|-----------------------------------|------|-----|
| Taşıt Fabrikaları (Otomobil, Kamyon, Traktör, Minibüs, Bisiklet, Motosiklet ve Benzeri Taşıt Aarcı Üreten Fabrikalar) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 0,05 | - |
| Tersane ve Gemi Söküm Tesisleri | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 1 | 0,2 |
| Karışık Endüstriler (Küçük ve Büyük Organize Sanayii Bölgeleri ve Sektör Belirlemesi Yapılamayan Diğer Sanayiler) | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 1 | 0,5 |
| Katı Artık Değerlendirme ve Bertaraf Tesisleri | Toplam Siyanür (CN ⁻) | 1 | 0,5 |

Düşük düzeyde siyanüre uzun süre maruz kalma sonunda solunum güçlükleri, kalp ağrısı, kusma, kan değişiklikleri, baş ağrısı ve tiroid bezinde büyüme ortaya çıkabilir. Besinlerle alınan yüksek miktarlardaki siyanür de yine solunum darlığı ve derin nefes alıp verme, bilinç kaybı ile sonuçlanır. Kanda siyanür düzeyi yüksek olan kişilerde ayrıca el ve ayak parmaklarında zayıflama, yürüme güçlüğü, görmede bozukluk, sağırılık, tiroid bezi fonksiyonlarında azalma görülebilir. Cilde siyanür teması irritasyon ve yaralar açılmasına neden olur. İnsanda gösterilmemekle birlikte hayvan deneylerinde siyanürün doğumsal bozukluklara neden olabildiği ve üreme sisteminin etkilendiği gösterilmiştir.

Siyanürün insan ya da hayvanlar için kanserojen olduğuna dair bir bulgu yoktur.

Siyanür kan ve idrarda bazı tahlil yöntemleriyle saptanabilir. Ancak kısa sürede vücuttan uzaklaştırılabilmesi nedeniyle bu tahlillerin maruziyetten kısa bir süre sonra yapılması gerekir.

Environmental Pollution Agent' a göre içme suyunda litrede 0,2 µg'ın üzerinde siyanür bulunmaması gerekmektedir (Öngür 2003).

Madencilik uygulamalarında, atık barajına (alıcı ortama değil) gönderilecek proses suyunun arıtılması halinde, içeriğindeki siyanür konsantrasyonu canlılar için herhangi bir tehlike arz etmeyecek düzeye (1 ppm-mg/litre'den küçük) indirilmiş olacağından, bir sağlık sorunu söz konusu olmamaktadır (Anonim 1970).

Atıkta bulunan siyanür çok düşük konsantrasyonlarda bile aerobik organizmalara etki gösterir. Siyanürün zehirliliği pH düştükçe artar. pH 8,0 dan 6,5' a indiğinde nikel siyanürün zehirliliği

bin kat, pH 7,8 den 7,5 a düştüğünde on kat artar. HCN siyanürden daha fazla zehirlidir. Siyanürün bazı metallerle verdiği kompleksler güneş ışığında parçalanıp tehlikeli olur. Siyanürün zehirliliği sıcaklık artışıyla artar. Yumuřak suda, sert suya göre siyanür daha tehlikelidir. Balıklara etkisi 0,05- 0,1 mg/L den başlar. Bazı balıklar 0,025 mg/L den bile etkilenebilir. 0,3 mg/L CN⁻ kendi kendine temizlemeyi yapan organizmaları engeller. Siyanür kan ve idrarda bazı tahlil yöntemleriyle saptanabilir. Ancak kısa sürede vücuttan uzaklaştırılabilmesi nedeniyle bu tahlillerin maruziyetten kısa bir süre sonra yapılması gerekir.



3. SİYANÜR ARITMA YÖNTEMLERİ

Atıksulardan siyanür gidermek için kullanılan geleneksel arıtma yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- biyolojik oksidasyon/ biyolojik bozunma,
- aktif karbon üzerinde adsorpsiyon,
- kostik klorlama ile kimyasal oksidasyon,
- ıslak hava ile oksitleme,
- hidrojen peroksit ilavesi ile,
- SO₂/hava (INCO) prosesi uygulaması,
- ozonlama, anodik oksidasyon,
- elektrodializ,
- ters osmoz,
- elektroliz,
- hidroliz/damıtma,
- yeniden nötralizasyon ile asidifikasyon/buharlaştırma,
- yüzdürme,
- demir siyanür çökmesi,
- reçine uygulaması,
- katalitik oksidasyon,
- Caro asit ilavesi
- fotoliz gibi arıtma işlemleri vb dir.

Bu işlemlerin avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Yöntemlerden bazılarının çok uygun maliyetli olmaması ve kurulumlarının tam olarak yapılamaması nedeniyle arıtmada kullanılamamaktadır. En yaygın olarak kullanılan kostik klor uygulamasında ise , siyanür daha toksik ve inatçı olan siyanata dönüştürülmektedir. Klorlama işlemi aynı zamanda karsinojen siyonojen klorür gibi ikincil yan ürünler üretebilmekte bu yüzden de pek tercih edilmemektedir (Kosaku 1975).

SO₂ / hava (INCO) prosesi uygulamasında ağır metallerin çöktürülerek uzaklaştırılmasının yanında reaktif giderleri ve proses kimyasal tüketiminin (SO₂, kireç ve bakırsülfat) oldukça yüksek olması, siyanürün geri kazanılamaması, istenmeyen miktarlarda CaSO₄ üretilmesi gibi dezavantajlara sahip olduğundan tercih edilmemektedir.

Biyolojik arıtmada ise siyanürü parçalamada oldukça etkili olan siyanaz enzimi kullanılmakta ve mikroorganizmalar tarafından siyanür hidroliz edilmektedir. Siyanür konsantrasyonu atıksu arıtma tesislerinde 2-50 mg/L arasında değişmektedir. Ancak, çözülmüş siyanürün toplam yüzdesi kesinlikle 36 % oranını geçmemelidir. Ayrıca, 2 mg/L siyanür nitrifikasyonu engelleyebilmektedir. Bununla birlikte, bakteriler daha yüksek siyanür konsantrasyonuna adapte olabilmekte ve 30 mg/L ayrıştırılmış siyanür konsantrasyonlarında bile bakterilerin adaptasyonu görülmektedir (Roques 1996; Turan ve ark. 2003). Ayrıca, biyolojik arıtma prosesinin diğer arıtma proseslerinde olduğu gibi metalurjik çözeltilerin bulunması ve maden atıksularında henüz uygulanmaması, ek arıtma gerektirmesi, diğer fiziksel ve kimyasal arıtmaya oranla, prosesin performansının özellikle soğuk iklimlerde düşmesi gibi sebeplerden dolayı tercih edilmemektedir.

Adsorpsiyon, siyanür gideriminde ve siyanürün geri kazanılmasında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir özellikle siyanür oksidasyonu için aktif karbonun etkili olduğu bilinmektedir. Bunun en güzel örneği ise, aktif karbonun siyanürü siyanata oksitlemesidir (Adams 1994).

Geleneksel arıtma yöntemlerinin yukarıda anlatılan dezavantajları göz önüne alındığında, İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP) siyanürün tamamen yıkımında iyi bir alternatif arıtma olabileceği düşünülmektedir. Günümüzde literatürde maden sanayi atıksularından siyanür giderimi için kullanılan İleri Oksidasyon Proseslerinin sınırlı çalışmaları bulunmaktadır (Kim ve ark. 2003). Fakat diğer endüstrilerde siyanür arıtımı için birçok çalışma bulunabilmektedir. Monteagudo ve ark. (2004) tarafından termoelektrik güç istasyonu çıkış sularında siyanür arıtımı için yarı-kesikli karışık reaktörde ozon ve/veya hidrojen peroksit ve/veya UV radyasyonu kullanılarak bazı deneyler yapılmış ve verimli sonuçlar elde edilmiştir.

O_3/UV , or $O_3/H_2O_2/UV$ proseslerini kullanılarak en iyi siyanür bozunma oranını O_3/H_2O_2 prosesinde ve KOİ indirgeme oranını yaklaşık % 75 olarak elde edilmiştir (Monteagudo ve ark. 2004). Makine üretim firmasının siyanürle kontamine olmuş atıksularından siyanür arıtımı için düşük-basınçlı Ultraviyole ışığı/ ozon (O_3), orta-basınçlı Ultraviyole ışığı/hidrojenperoksit (H_2O_2), ve peroksan (O_3 and H_2O_2 ile kontamine olmuş) sistemleri kullanılmış ve siyanür ve Toplam Organik Karbon gideriminde orta-basınçlı Ultraviyole ışığı/ozon ve sadece siyanür gideriminde orta-basınçlı Ultraviyole ışığı /hidrojen peroksit sistemlerinin en iyi sonuçları verdiği bulunmuştur (Ford ve ark. 2005).

Kepa ve ark. (2008) tarafından ozonlama, hidrojenperoksit ile oksidasyon, $O_3 + H_2O_2$ sistemi gibi İleri Oksidasyon Prosesleri kullanılarak bazı laboratuvar testleri ve bazı analizler yapılmıştır. Kullanılan oksidasyon metodlarıyla siyanür gideriminde en yüksek etkinin $H_2O_2 + O_3$ sisteminde olduğu bulunmuştur (Kepa ve ark. 2008). Mudliar ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada ise otomobil endüstrisi atıksularında İleri Oksidasyon Prosesleriyle siyanür giderimi gösterilmiştir. Maksimum siyanür gideriminde en iyi sistemin bir kombine uygulama olan H_2O_2/O_3 sistemi olduğu Mudliar ve ark. (2009) tarafından gösterilmiştir. Bu çalışmada endüstriyel atıksu deşarjlarında alıcı su ortamlarına verilmesi gereken siyanür konsantrasyonunun bölgesel/uluslararası limite (0,02 mg/L) ulaştığı gösterilmiştir (Mudliar ve ark. 2009). Vohra (2011) ise sentetik atıksulardan TiO_2 ile fotokatalitik bozunma prosesi kullanarak tiosiyanatın giderimi üzerinde çalışmıştır.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Altın atıksuyunun karakterizasyonu

Altın imalatı atıksu numuneleri Türkiye 'nin dördüncü en kalabalık ve en sanayileşmiş şehirlerinden biri olan Bursa şehrindeki bir takı atölyesinden alınmıştır. Altın imalat atıksularının özellikleri Çizelge 4.1' de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Altın imalat atıksularının karakterizasyonu

| Parametre | Konsantrasyon |
|----------------|------------------|
| Toplam Siyanür | 51 ± 4 mg/L |
| KOİ | 65 ± 12 mg/L |
| TOK | 18 ± 6 mg/L |
| pH | 10 – 12 |

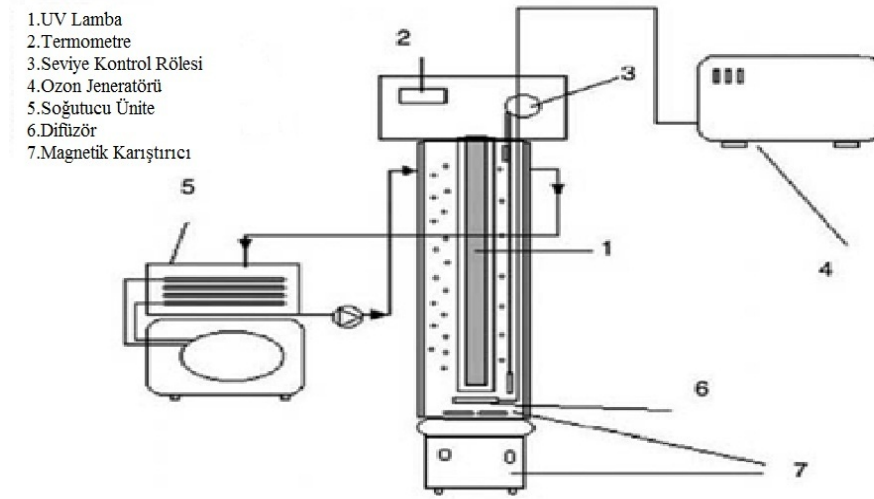
4.2. O₃, O₃/UV, O₃/UV/H₂O₂ ve UV/H₂O₂ Denemelerinde Kullanılan Fotokimyasal Reaktör

O₃, O₃/UV, O₃/UV/H₂O₂ ve UV/H₂O₂ denemelerinde Şekil 4.1' de verilen Fotokimyasal Oksidasyon düzeneği kullanılmıştır. Sistem hem kesikli hem de sürekli olarak kullanılacak şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir. Sistemde kullanılan lambalar Philips'den sağlanmış olup TUV-8 ve TUV-15 düşük basınçlı UV lambalar kullanılmıştır. 32 W'lık güç için iki adet TUV-16 lamba aynı reaktöre yerleştirmek suretiyle oluşturulmuştur. Lambaların maksimum dalga boyu 254 nm'dir. Lambalardan 8 W'lık olanın çapı 1,2 cm boyu 30 cm'dir. 16 W'lık lambanın çapı 1,6 cm ve boyu 28 cm'dir. Lambalar boyu 40 çapı 4 cm olan saf kuvars kılıfın içerisinde net hacmi 2,8 L olan reaktöre yerleştirilerek kullanılmışlardır. Reaktör gövdesi 316-Ti paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Reaktörün iç çapı 9,8 cm boyu da 41 cm'dir. Lambaların reaktör içerisindeki UV dağılımı Bolton Phosciences Inc. tarafından yazılımı yapılan UVCalc 1.05 adlı programca hesaplanmıştır.

Fotokimyasal sıcaklığın kontrol edilebilmesi amacıyla reaktör çift cidarlı olarak imal edilmiştir. Reaktörün istenilen sabit sıcaklıkta (22 ± 1 °C) tutulabilmesi için termostat ve thermo-couple kontrolünde sürekli olarak deneysel çalışmalar boyunca etil alkol çözeltisi

devir daim ettirilmiştir. Deneysel çalışmalarda soğutma suyu ve altın atıksuyu hiçbir şekilde temas ettirilmemiştir. Reaktörün içerisindeki karışım bir manyetik karıştırıcı yardımı ile sağlanmış ve deney boyunca hiç kapatılmamıştır.

Kesikli denemelerde kullanılan atıksuların pH değeri ve hidrojen peroksit ilavesi ayrı bir kapta yapıldıktan sonra reaktöre ilave edilmiş, bu işlem yapıldıktan sonra UV lambalar çalıştırılmış ve denemeler başlatılmıştır.



Şekil 4.1. O_3 , O_3/UV , $O_3/UV/H_2O_2$ ve UV/H_2O_2 denemelerinde kullanılan Fotokimyasal Oksidasyon düzeneğinin şematik gösterimi (Kestioğlu ve ark. 2003)

4.3. Ozonlama Denemelerinde Kullanılan Ozon Reaktörü

Ozon ilavesi bulunan denemelerde Opal 200 model hava akımıyla ozon üretim kapasitesi 200 mg/saat olan ozon jeneratörü fotokimyasal reaktöre entegre edilmek suretiyle kullanılmıştır. Ozonlama denemeleri kesikli olarak yürütülmüştür. Atıksuyun pH'ı önceden ayarlandıktan sonra reaktöre konmuş ve ozon üretici çalıştırılarak denemeler yapılmıştır. Ozon reaktör içerisindeki atıksuya sıkıştırılmış camdan üretilmiş bir difüzör yardımıyla iletilmiştir. Ozon jeneratörünün saatlik debisi 60 L/saat olacak şekilde sabitlenmiş ve bu şekilde tüm deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Ozon jeneratörünün saatlik ozon üretim kapasitesi iodometrik titrasyon yöntemiyle 0,208 g O_3 /sa olarak belirlenmiştir (IOA 1987). Toplam uygulanan ozon dozu 0,44 mg O_3 /mg KOİ olarak ve spesifik ozon dozu 12,4 mg/(Lxh) olarak belirlenmiştir. Tüm bağlantılar Teflon borular kullanılarak yapılmıştır. Ozon jeneratörü ve UV lamba eş

zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Analizi yapılacak atıksu numuneleri direkt olarak reaktörün içerisinden 30 ml'lik numuneler halinde alındı.

4.4.Analitik Prosedür

Toplam siyanür konsantrasyonu ($\text{mg CN}^-/\text{L}$, Standard Methods 4500 CN, APHA/AWWA/WEF 1998) UV_Vis spektrofotometrede kalorimetrik metot kullanılarak ölçüldü (Hachlange, Model DR 5000, USA). Kimyasal Oksijen İhtiyacı ($\text{KOİ mg O}_2/\text{L}$) Dikromat Çekilme Metodu kullanılarak (5220-C) belirlendi (APHA/AWWA/WEF 1998). Toplam Organik Karbon Shimadzu-5050A, Japonya TOK analizörü kullanılarak belirlendi. pH Sodyum Hidroksit kullanılarak istenilen aralığa elle ayarlandı ve deneyler boyunca kontrol edildi. pH ayarlamasının ardından belirtilen miktarlarda Hidrojen Peroksit H_2O_2 (supplied from Merck, 35% w/w) eklendi, ve lamba ve ozon (O_3) jeneratörü açıldı. Optimum pH'ın belirlenmesinin ardından aynı deneyler optimum pH' da $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ prosesi için 25-300 mg/L ve $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ prosesi için 100–900 mg/L Hidrojen Peroksit H_2O_2 konsantrasyonlarında gerçekleştirildi.

Hidrojen Peroksit H_2O_2 içeren örneklerde KOİ ölçümleri ile karışan Hidrojen Peroksit MnO_2 tozu eklenerek çıkarıldı (Arslan and Balcıoğlu 1999, Azbar ve ark. 2004). Geriye kalan Hidrojen Peroksit H_2O_2 konsantrasyonu test şeritleri kullanılarak test çözeltisinde saptandı (Merckoquant Peroxide Test, Merck Pharmaceuticals). Numuneler, siyanür, KOİ ve TOK konsantrasyonunu belirlemek için belirli zaman aralıklarında alındı. pH kontrolü için fosfat tamponu (50 mM) kullanıldı.

5. BULGULAR

5.1.UV/H₂O₂ Deneyleri

Işık düşük bozunma oranına rağmen organik bileşiklerde bağ bölünmesini başlatarak bir çok bileşikler indirgeyebilir (Sarla ve ark. 2004). Sarla ve ark. (2004) 90 dk ışınlamadan sonra 100 mg/L siyanürün 98 mg/L ye düştüğünü bildirmiştir. Ancak, UV ışığına H₂O₂ ilave edildiği zaman bozunma oranı çok daha hızlı olmuştur. 100 mg/L siyanür 65 dk sonra tamamen indirgenmiştir. H₂O₂ ilavesi ile birleştirilmiş Ultraviyole ışınması Denklem 1' de gösterildiği gibi hidroksil radikalleri üreterek atıksu arıtımında hızlı ve verimli bir yöntem oluşturabilmektedir.

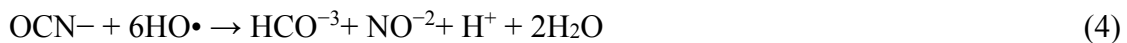
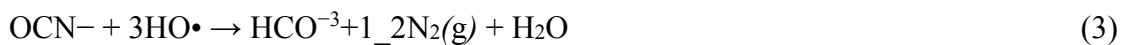


Siyanürün hidroksil radikali ile oksidasyonu aşağıda Denklem 2' de gösterilmektedir.



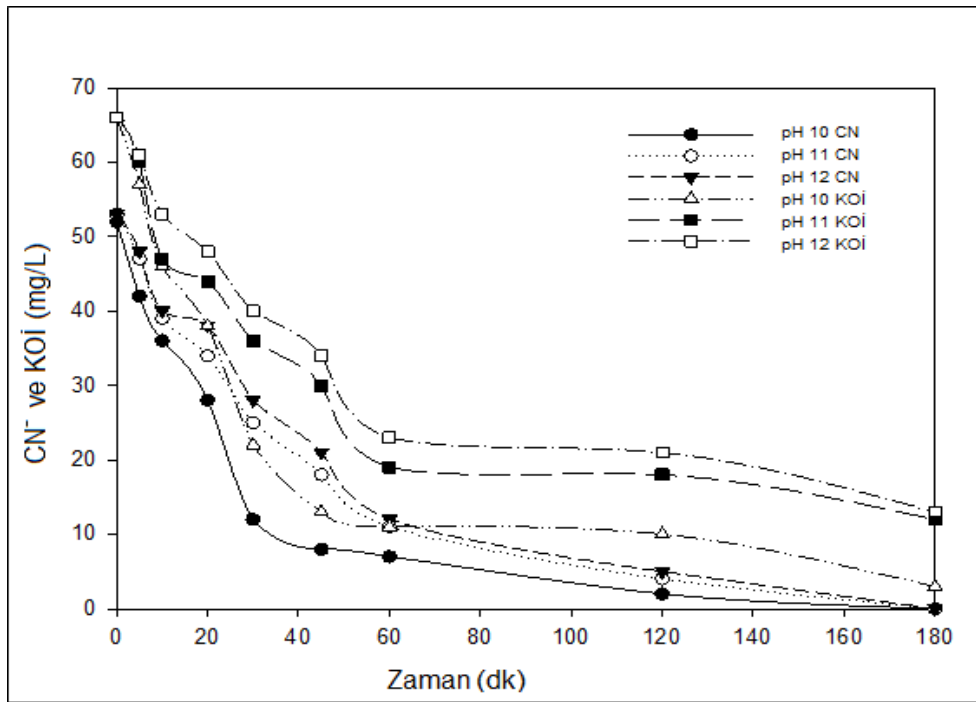
Önceki araştırmalarda siyanürün hidroksil radikalleri ile oksidasyonunda siyanat oluştuğu doğrulanmıştır (Augugliaro ve ark. 1997; Design Test Report 2003). Siyanatın daha sonra bikarbonat veya azot gazı, nitrit ve nitrat üretmek için devam eden fotolitik ozonlama etkisi altında oksitlendiği belirlenmiştir. Young ve ark. (1995) siyanat oksidasyonu sırasında nihai ürünlerin (nitrit veya nitrat) oluşumunu mevcut reaksiyondaki fazlalık H₂O₂ miktarına bağlı olduğunu bildirmiştir.

Burada görüldüğü gibi:



pH değeri 7' den düşük ise siyanatın doğal hidrolize uğradığı ve amonyum ve bikarbonat iyonları üretebildiği gösterilmiştir. Bu çalışmada, natural hidrolizi önlemek için alkali pH değerlerinde (10-12) foto-kimyasal oksidasyonlar uygulanmıştır. Bu da nihai ürün olan karbon dioksit ve nitrojen ile teyit edilmiştir. Çok sayıda yapılan çalışmalarda, asidik pH değerleri (<3), UV/H₂O₂ prosesinde kullanılmıştır (Rathi ve ark. 2003; Yonar ve ark. 2005). Ancak, bu çalışmada oldukça toksik olan hidrojen siyanür gazının üretimini önlemek için deneyler alkali pH değerlerinde uygulanmıştır. Önceki çalışmalarda sodyum fosfatın (50 mM)

zincir reaksiyon kinetiğinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir (Hoigne and Bader 1979). Bu yüzden pH değerleri fosfat tamponu ile korunmuştur. Şekil 5.1’ de hidrojen peroksitin H_2O_2 100 mg/L konsantrasyonunda sabit tutulduğu zaman siyanür ve KOİ gideriminde pH etkisi gösterilmektedir. pH değeri 10’a düştüğü zaman siyanür ve KOİ giderim verimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Çıkış siyanür, KOİ ve TOC giderim verimlilikleri sırasıyla %99, %96 ve %97’ dir. Bununla birlikte, pH değeri 11 veya 12 olduğu zaman siyanür, KOİ ve TOC giderim verimlilikleri pH 10 değerindeki giderim verimliliği ile benzer olmaktadır. Optimum pH belirlendikten sonra hidrojen peroksit H_2O_2 dozajı araştırılmıştır.

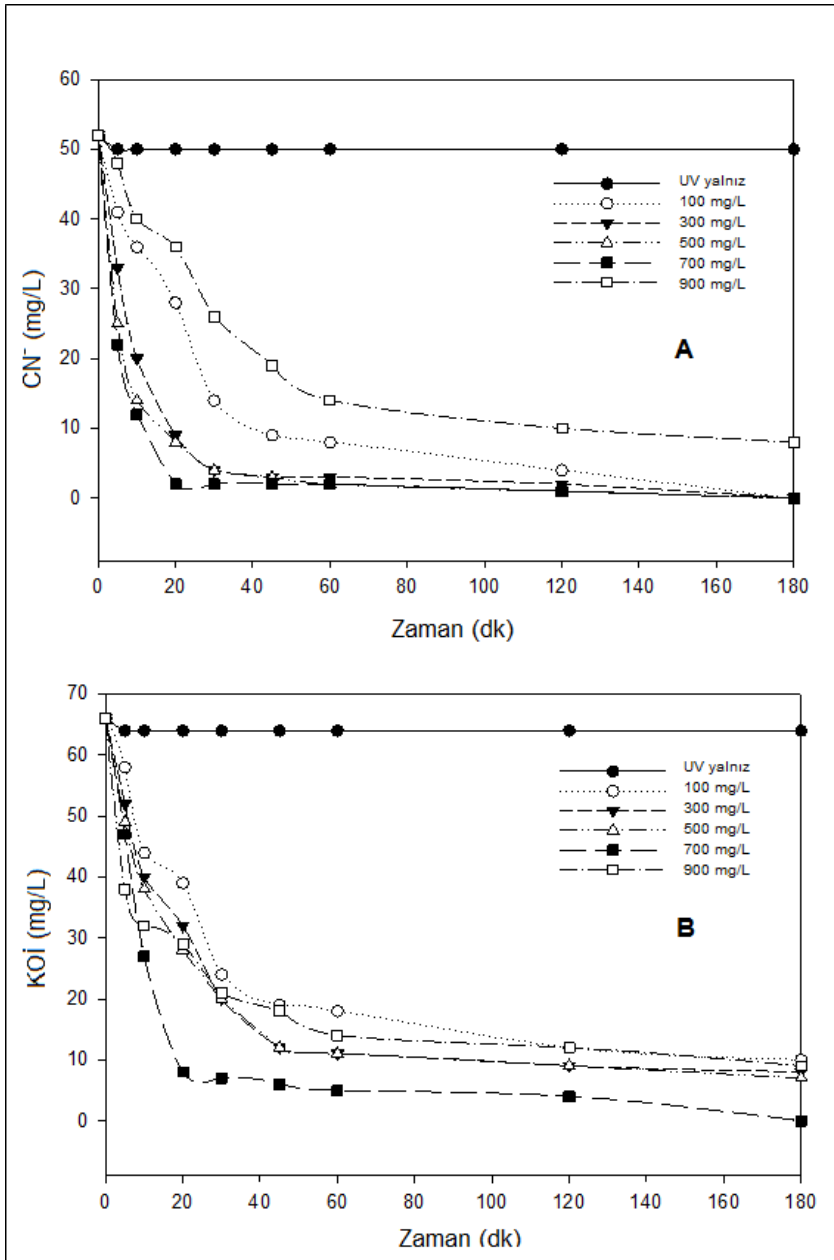


Şekil 5.1. UV/H₂O₂ prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimleri ($CH_2O_2 = 100$ mg/L).

Yonar'a (2005) göre H_2O_2 yüksek konsantrasyonlarında hidroksil radikallerinin ($HO\bullet$) etkin tutucusu gibi davranmaktadır. Eğer H_2O_2 konsantrasyonu optimum dozu aşar ise daha az etkili olan hidroperoksil radikalleri ($HO_2\bullet$) üretilir ve kalan fazlalık hidroksil radikalleri ($HO\bullet$) hızlıca H_2O_2 e dimer oluşturur (De ve ark. 1999, Legrini ve ark. 1993). Hidroperoksil radikalleri ($HO_2\bullet$) bir dizi reaksiyona uğrar ve sulu çözeltide hidrojen peroksit H_2O_2 , HO^{2-} anyonu and oksijen O_2 oluşturmak için ayrışır (Metelista 1971, Venkatadri and Peters 1993).

Ayrıca, hidroperoksil radikalleri ($\text{HO}_2 \bullet$) hidroksil radikallerine ($\text{HO}\bullet$) göre oksidasyon potansiyeli bakımından daha az reaktiftir. Bu nedenle, uygulanan hidrojen peroksit H_2O_2 konsantrasyonu optimizasyon için önemlidir çünkü aşırı H_2O_2 miktarı İleri Oksidasyon Prosesleri'nin artırma verimliliğini düşerebilmektedir (Eul ve ark. 1992).

Şekil 5.2' de sabit pH değeri 10'da değişik H_2O_2 konsantrasyonları uygulanarak UV/ H_2O_2 prosesinde siyanür ve KOİ giderim verimliliği gösterilmektedir. Hidrojen peroksit H_2O_2 konsantrasyonu arttırıldığı zaman, onun radikal tutucu olması nedeniyle reaksiyonu engellemesi gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2. UV/H₂O₂ prosesinde sabit pH 10 değerinde çeşitli H₂O₂ konsantrasyonlarında (a) Siyanür ve (b) KOİ giderimleri .

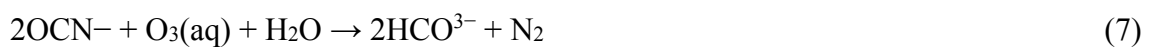
Daha önceki çalışmalarda, diğer organik bileşiklerin fotokimyasal indirgenmesi üzerinde çalışan birçok araştırmacı grup optimum H₂O₂ konsantrasyonunu tanımlamıştır (Azbar ve ark. 2004, De ve ark. 1999, Gulyas 1997, Ho 1986; Ince 1999, Ku ve ark. 1998, Noss and Chyrek 1984, Shu ve ark. 1994).

UV tek başına siyanür, KOİ ve TOK gideriminde etkili değildir. Yalnız UV ışığı kullanıldığı zaman, 180 dk radyasyon sonunda 50 mg/L siyanür iyonu, 65.23 mg/L KOİ ve 17.82 mg/L TOK sırasıyla 48 mg/L, 63.25 mg/L ve 17.00 mg/L' ye indirgenmiştir. Ancak, UV ışığı 100 ile 900 mg/L arasında değişen hidrojen peroksit ilavesi ile combine edildiği zaman, toplam siyanür ve KOİ indirgeme oranı daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 5.2) 700 mg/L H₂O₂ ilavesi ile 180 dk. sonunda siyanür, KOİ ve TOK maksimum giderim verimlilikleri sırasıyla %99, %99 ve % 98 olarak hesaplanmıştır. (Çizelge 5.1) Buna rağmen, 900 mg/L H₂O₂ ilavesinde siyanür giderim oranı 700 mg/L H₂O₂ ilavesindeki orana göre daha yavaş olduğu deneylerde gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise oksidasyon prosesinin yavaşlamasına neden olan ve hidroksil radikallerine göre daha az reaktif olan hidroperoksil radikallerinin oluşmasında etkili olan fazlalık H₂O₂ olduğu (Şekil 5.7)'de gösterilmiştir. Böylece, UV/H₂O₂ prosesi için optimum H₂O₂ dozu 700 mg/L ve optimum pH ise 10 elde edilmiştir.

5.2. Ozonlama Deneyleri

Ozon (O₃) yüksek pH değerlerinde siyanür gideriminde son derece etkili bir oksitleyicidir (Kepa ve ark. 2008; Monteagudo ve ark. 2004). Alkali pH değerlerinde, ozonlama giderim verimliliğinin oksidasyondan itibaren hakim reaktif radikaller kullanılarak geliştirildiği bildirilmiştir (Stahelin and Hoigné 1982).

Siyanür siyanat üretmek için ozon ile direk tepkimeye girmektedir. Fazla ozon varlığında, siyanat Denklem 6 ve 7 de gösterildiği gibi bikarbonat iyonlarına ve azot gazına dönüştürülmektedir (Selm 1959; Tyler ve ark. 1951; Zeevalkink ve ark. 1980):



Toplam siyanürün giderimi pseudo-firstorder model izlemektedir. Toplam siyanürün oksidasyon oranı denklem 8 de tanımlanmıştır:

$$r_{CN^-} = (-d_{CCN}/dt) = k_d \cdot CCN \cdot CO_3 + k \cdot OH \cdot C \cdot OH \cdot CCN \quad (8)$$

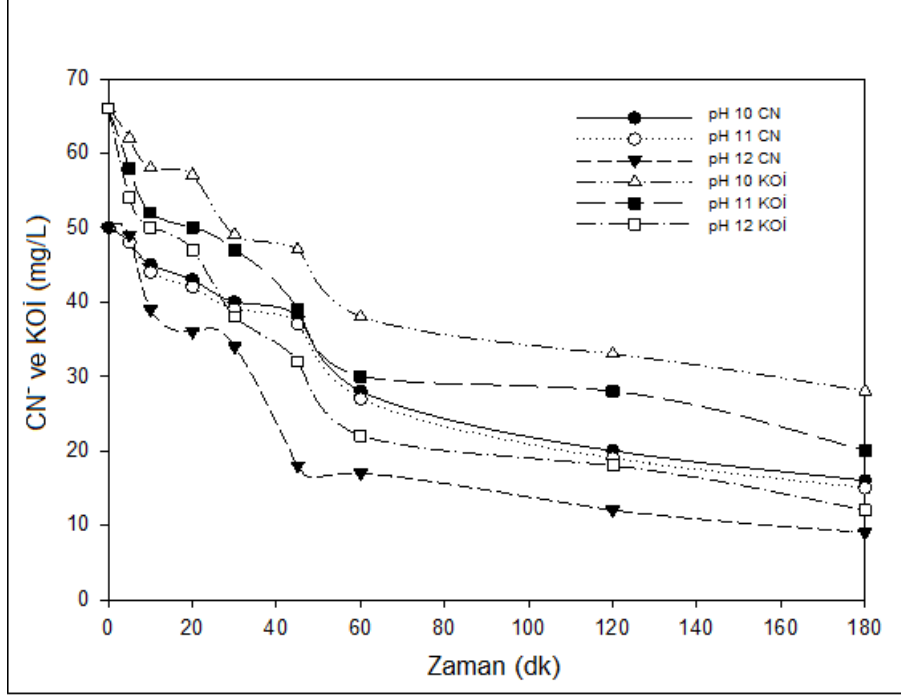
k_d ozon ve siyanür arasındaki reaksiyonun $k \cdot OH$ ise hidroksil radikali ile siyanür arasındaki reaksiyonun oran sabitleridir. Bir yarı-kesikli ozonlama prosesinde, reaksiyon zamanı ile birlikte çözülmüş ozon miktarı artar ve sabit bir değere ulaşır ki bu değer siyanür konsantrasyonu değerinden çok daha düşüktür. Bu sebeplerden dolayı, yukarıda verilen kinetik reaksiyonları literatürde belirtildiği gibi bu durum için sadeleştirilememektedir. Bu nedenle, test edilen sistemin reaktifliğini anlamak ve uygulanan İleri Oksidasyon Prosesleri'nde siyanürün reaktifliğini belirlemek için tamamen deneysel olarak sadece bu sistem için belirlenen reaksiyon oran sabitleri ve bu kinetik sabitler belirlenmektedir.

Karbonatın varlığı İleri Oksidasyon Prosesleri' nin verimliliğini azaltır çünkü karbonat bir radikal tutucu gibi davranmaktadır (Bull and Zeff 1992, Kim ve ark. 1997). Karbonat radikallerinin hidroksil radikallerine göre daha az etkili olması karbonat ile inhibisyonun İleri Oksidasyon Prosesleri' nin çoğunun verimliliğini etkilemektedir. Düşük pH değerleri genelde daha yüksek indirgeme hızlarına yol açan bir radikal tutucunun (özellikle karbonat ve bikarbonat iyonları gibi) etkisini nötrleştirmektedir (Gogate and Pandit 2004). Ozonlama giderim verimliliği hakim reaktif radikaller ile oksidasyon işlemi ile geliştirilmiştir. Ozonun yarılanma süresi saf suda pH 4' te 104 saniyeden pH 10' da 20 saniyeye azaldığı bildirilmiştir (Staelin and Hoigné 1982).

Bikarbonat, karbonat ve humik maddelerin varlığında hidroksil radikalleri ($HO \bullet$) tutularak ozon ve hidroksil iyonları ($-OH$) ile başlayan kapalı zincir reaksiyonunu kırmaktadır. Arslan'a göre (2000) reaksiyonun orta kısmında radikal-radikal eşleşme prosesleri ile makro ve/veya mikro kirleticiler reaksiyona ilave olarak ortaya çıkmaktadır. Buna ek olarak, ozonun SO_3^{-2} and SO_4^{-2} gibi oksianyonlar oluşturmak için S^{-2} gibi oksitlenebilir iyonlarla tepkimeye girdiği bildirilmiştir (Staelin and Hoigné 1982). Bu oksidantların oluşturulması kolay olup düzenekte sadece iyonun ozon ile etkileşime girmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada başlangıçta siyanür ve $KOİ$ gideriminde pH etkisini araştırmak için değişik pH değerlerinde ($10 < pH < 12$) deneyler yapıldı. Şekil 5.3.' te pH 12 de siyanür, $KOİ$ ve TOK oda sıcaklığında yüksek giderim verimlilikleri gösterildi (Çizelge 5.1) 180 dakika reaksiyon süresi

sonunda araştırılan pH değerlerindeki giderim verimlilikleri (86% CN⁻, 86% KOİ, and 88% TOK) arasında önemli bir değişiklik kaydedilmedi. Ozon kullanım oranları pH 10' da %25 ile pH 12' de %32 aralığında değiştirildi.



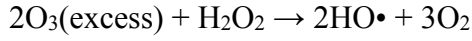
Şekil 5.3. O₃ prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimi (Cozone = 180 mg/sa).

5.3.O₃/UV Deneyleri

Ozon/UV prosesi siyanür, KOİ ve TOK giderim verimliliklerini yükseltmek için deneylerin 3. bölümünde uygulandı. Ozon ilavesi ile birlikte UV fotolizinin birleşiminin faydalı etkisini bildirmek isteyenlerden birileri de Prengle ve Mauk'tur (1978). Kim ve ark. (2003) İleri Oksidasyon Prosesleri'ni kullanarak siyanürü indirgemişler ve toplam siyanür gideriminde O₃/UV prosesinin UV/H₂O₂ (2.72 g/L) prosesine göre daha iyi performans olduğunu belirtmişlerdir.

Stachelin and Hoigné 'e (1982) göre çözülmüş ozon, UV ışığı varlığında hidrojen peroksit üretmek için tepkimeye girmektedir.

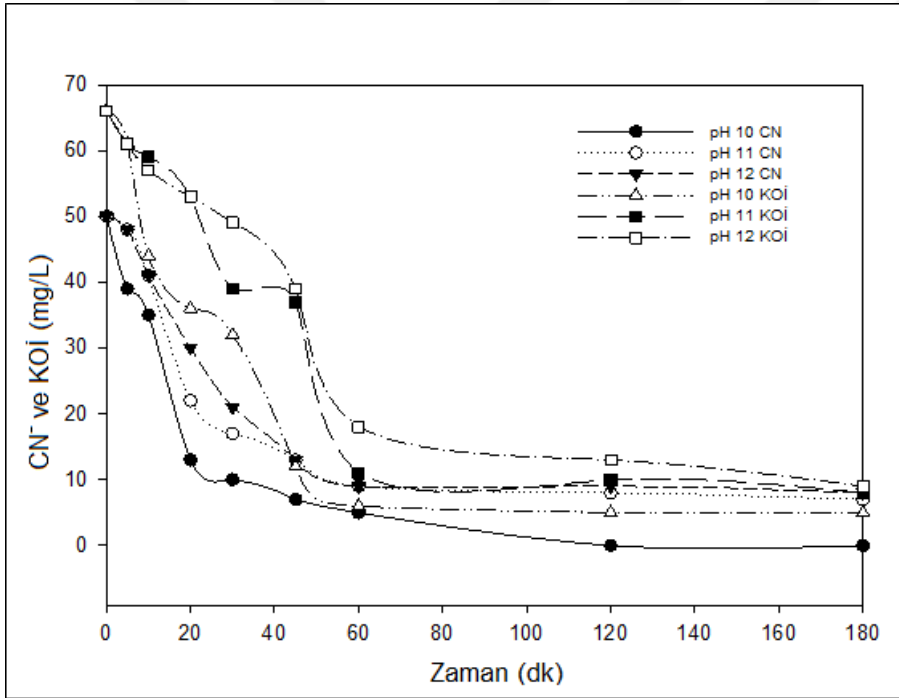




(11)

Bu yöntem oldukça yüksek potansiyele sahip hidroksil radikalleri gibi ($HO\cdot$) oksidanların yerinde üretimini gerektirmektedir (Glaze ve ark. 1982, Paillard 1988).

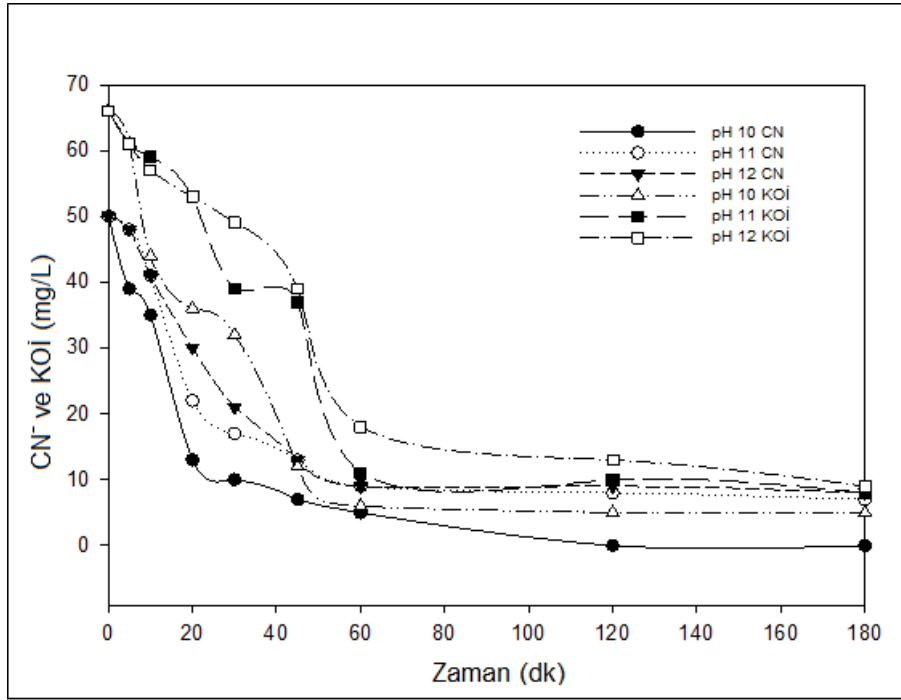
Siyanür, KOİ ve TOK giderimlerinin optimum pH sürelerini bulmak için ozonun hem UV ışığı ile hem de H_2O_2 birleşimi ile kombine edilerek değişik pH değerlerinde belirli aralıklarla numuneye uygulandı. Değişik pH değerlerinde siyanür ve KOİ gideriminde O_3/UV prosesinin etkisi Şekil 5.4' te gösterilmektedir. Oda sıcaklığında pH 10 değerinde siyanür, KOİ ve TOK yüksek giderim verimlilikleri sırasıyla %98, %96 ve %97 olarak bulundu. Tüm çalışılan pH değerleri karşısında aynı giderim verimlilikleri gözlemlendi. O_3/UV birleşik prosesi; siyanür, KOİ ve TOK seviyelerini bu çalışmada uygulanan diğer proseslere göre daha fazla azalttığı belirlendi.



Şekil 5.4. O_3/UV prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimi ($C_{ozon} = 180 \text{ mg/sa}$)

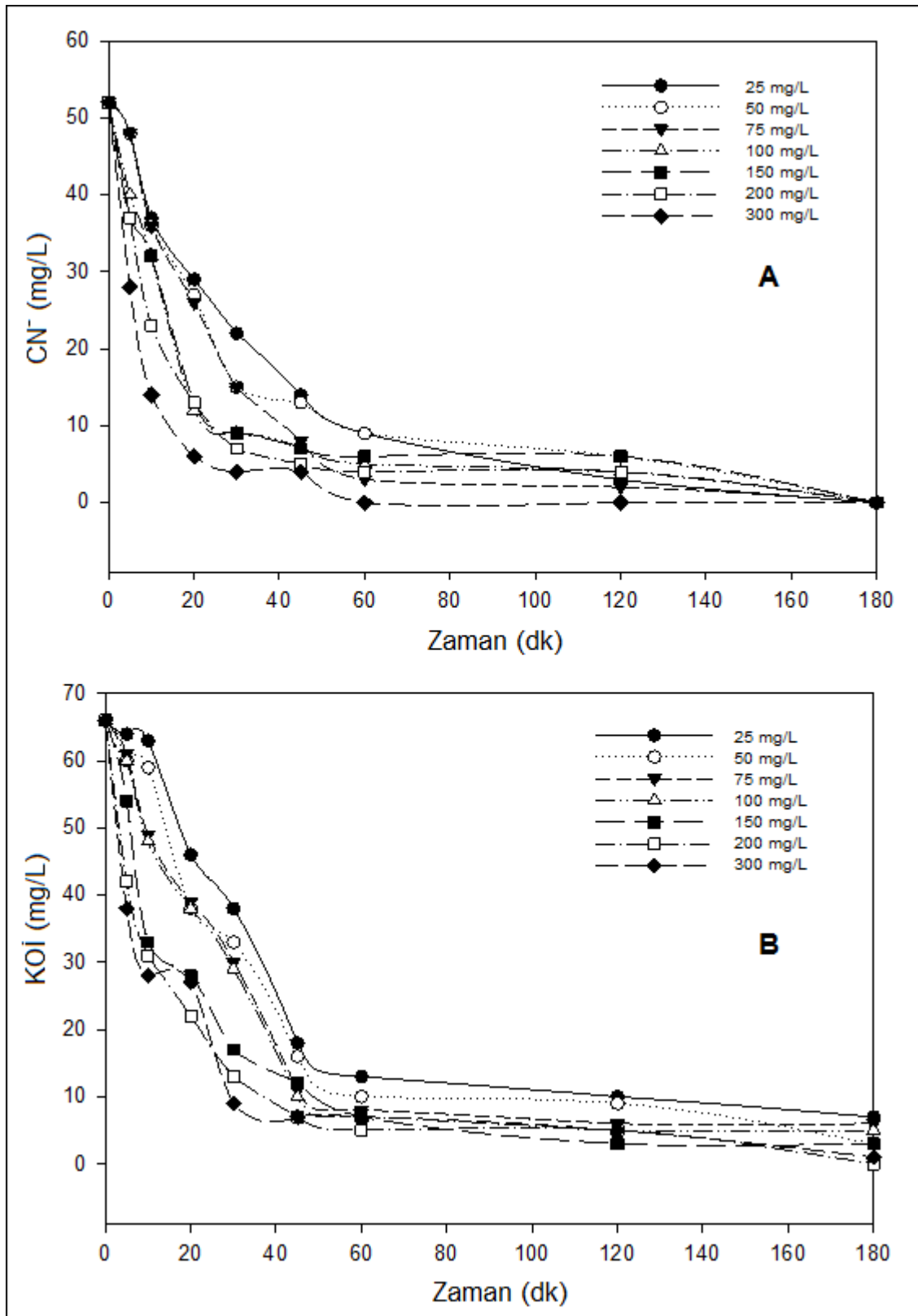
5.4. $O_3/UV/H_2O_2$ DeneYleri

İndirgeme oranını hızlandırmak ve $O_3/UV/H_2O_2$ birleşik prosesinin O_3 ve O_3/UV proseslerine alternatif olarak gösterilmesini sağlamak için aynı ozon miktarı kullanılarak $O_3/UV/H_2O_2$ birleşik prosesi uygulandı. $O_3/UV/H_2O_2$ prosesi için optimum pH değeri Şekil 5.5'te 10 olarak gösterilmektedir.

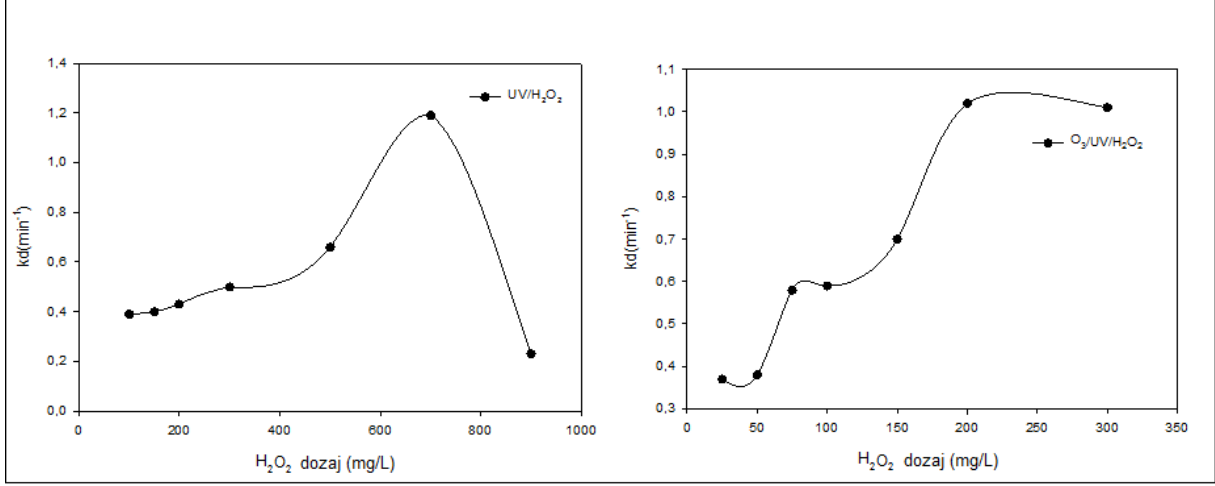


Şekil 5.5. O₃/UV/H₂O₂ prosesinde değişik pH değerlerinde Siyanür ve KOİ giderimi (C_{H2O2} = 100 mg/L)

Optimum pH 10 olarak belirlendikten sonra deneyler pH 10' da 25 ve 300 mg/L arasında değişen hidrojen peroksit konsantrasyonlarında gerçekleştirildi (Şekil 5.6) hidrojen peroksit konsantrasyonu artırıldığı zaman siyanür indirgeme oranı belli belirsiz bir şekilde arttı Şekil 5.7' de gösterilmektedir. Bunun göstergesi, 300 mg/L hidrojen peroksit ilavesinin siyanür giderim verimliliği sonuçlarınının 200 mg/L hidrojen peroksit ilavesi ile siyanür giderim verimliliği sonuçlarından daha yavaş olmasıdır.



Şekil 5.6. O₃/UV/H₂O₂ prosesinde değişik H₂O₂ konsantrasyonlarda (25-300 mg/L H₂O₂) (a) Siyanür ve (b) KOİ giderim verimlilikleri



Şekil 5.7. H₂O₂ dozunun etkisi UV/H₂O₂ and O₃/UV/H₂O₂ proseslerinde birinci kinetik sabiti

O₃/UV/H₂O₂ prosesi için pH 10 ve 200 mg/L hidrojen peroksit konsantrasyonu optimum değer olarak bulundu. Altın üretim çıkış sularından çeşitli İleri Oksidasyon Prosesleri kullanılarak siyanür, KOİ ve TOK giderim verimlilikleri Çizelge 5.1' de özet olarak gösterilmektedir. İleri Oksidasyon Prosesleri ile yapılan tüm bu çalışmalarda siyanür, KOİ ve TOK gideriminde yüksek verimlilikler elde edildi.

O₃/UV, O₃/UV/H₂O₂ (25-300 mg/L) ve UV/H₂O₂ (100-700 mg/L) deneyleri %99 siyanür, %96'nın üzerinde KOİ ve %96'nın üzerinde TOK giderim verimlilikleri ile sonuçlandı. Ancak, O₃ ve UV/H₂O₂ (900 mg/L) deneylerinde %86 siyanür, %86'nın üzerinde KOİ ve %86 TOK gibi daha düşük giderim verimlilikleri görüldü.

Çizelge 5.1. İleri Oksidasyon Prosesleri'nde optimum şartlar altında Toplam Siyanür, KOİ ve TOK giderim verimlilikleri özet tablosu

| İOP | CN⁻ (%) | KOİ (%) | TOK (%) | pH | C_{H2O2} (mg/L) |
|--|-------------------------------|--------------------|--------------------|-----------|------------------------------------|
| UV | 4 | 3 | 4 | 10 | - |
| O₃ | 86 | 86 | 88 | 12 | - |
| O₃/UV | 98 | 96 | 97 | 10 | - |
| H₂O₂/UV | 99 | 99 | 98 | 10 | 700 |
| O₃/H₂O₂/UV | 99 | 99 | 99 | 10 | 200 |

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada Bursa ilinde bulunan bir altın imalat firmasının atıksularında bulunan siyanürün giderilmesi için İleri Oksidasyon Prosesleri'nin (O_3 , O_3/UV , $O_3/UV/H_2O_2$ ve UV/H_2O_2) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Literatürde siyanürün giderilmesi için çeşitli arıtma yöntemleri (biyolojik oksidasyon, aktif karbon üzerinde adsorpsiyon, yüzdürme, demir siyanür çökmesi, hidroliz/ damıtma v.b.) bulunmaktadır. Bu arıtma yöntemlerinin avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle İleri Oksidasyon Prosesleri'nin siyanür gideriminde iyi bir alternatif olabileceği düşünülmüştür.

Kurulan düzenekte atıksu öncelikle UV işleme tabi tutulmuş fakat siyanür gideriminde yeterli sonuç alınmadığı için çalışmaya UV/H_2O_2 prosesi ile devam edilmiştir. UV/H_2O_2 prosesinde 100 mg/L H_2O_2 sabit tutularak farklı pH değerlerinde çalışmalar yapılmış ve optimum pH değeri 10 olarak bulunmuştur. Atıksuya 25-900 mg/L H_2O_2 dozları pH 10 da ilave edilmiş ve deneyler sonunda 700 mg/L H_2O_2 varlığında pH 10'da siyanür, KOİ ve TOK giderim verimlilikleri sırasıyla %99, %99 ve %98 olarak gözlemlenmiştir.

Ozon (O_3) yüksek pH değerlerinde siyanür gideriminde son derece etkili bir oksitleyici olduğundan deneylere ozonlama ile devam edilmiştir. Optimum pH 12 belirlendikten sonra siyanür, KOİ ve TOK giderim verimlilikleri sırasıyla %86, %86 ve %88 olarak gözlemlenmiştir.

Ozonlama prosesindeki düşük giderim verimlilikleri izlendiği için ozonlama prosesine UV ışığı ilave edilerek çalışmalar yapılmıştır. O_3/UV kombinasyonunda optimum pH 10'da siyanür, KOİ ve TOK giderim verimlilikleri sırasıyla %98, %96 ve %97 olarak elde edilmiştir.

İndirgeme oranını hızlandırmak ve $O_3/UV/H_2O_2$ birleşik prosesinin O_3 ve O_3/UV proseslerine alternatif olarak gösterilmesini sağlamak için aynı ozon miktarı kullanılarak $O_3/UV/H_2O_2$ birleşik prosesi uygulanmıştır. Bu proseste pH 10 ve 200 mg/L hidrojen peroksit konsantrasyonu optimum değer olarak bulunmuş ve siyanür, KOİ ve TOK giderim verimlilikleri sırasıyla %99, %99 ve %99 olarak elde edilmiştir.

Çalışılan tüm prosesler farklı reaksiyon oranları göstermiştir. İleri Oksidasyon Prosesleri' nde toplam siyanür giderimi pseudo-first order kinetiği ile tanımlanmıştır.

Sonuç olarak tüm kombinasyonlar arasında toplam siyanür giderim oranı UV/H₂O₂ (700 mg/L) O₃/UV/H₂O₂ proseslerinde en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Fakat UV/H₂O₂ prosesinde hidrojen peroksit kullanım miktarı (700 mg/L) O₃/UV/H₂O₂ (200 mg/L) prosesindeki hidrojen peroksit kullanım miktarından fazla olduğu ve bu da tesis üretim maliyetini artırdığından altın atıksularından siyanür gideriminde en uygun proses O₃/UV/H₂O₂ olarak seçilmiştir.



Kaynaklar

Adams, M.D. 1994. "Removal of Cyanide from Solution Using Activated Carbon." *Minerals Engineering* 7 (9): 1165–1177.

Akcil A., Karahan A.G., Ciftci H. et al., 2003. Biological Treatment of Cyanide by Natural Isolated Bacteria (*Pseudomonas* sp.). *Minerals Engineering*, 16: 643-649.

Anonim, 1970. Sanayide En Çok Rastlanan Zehirli ve Tehlikeli Maddeler. *T.C. Çalışma ve Bakanlık İşçi Sağlığı Genel Müdürlüğü*, Ankara, 140,231,246,247,249.

Anonim, 1997. Dünya’da altın madenciliği. Madencilik Bülteni, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları*, 5:3-7.

Anonim, 2007. Çevre Kirliliğinin Nedenleri.

<http://cevreonline.com/cevrekr/cevrekirlilik%20nedenleri.htm>

APHA/AWWA/WEF. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed. Washington, DC, USA: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.

Arslan, I. 2000. "Treatment of Reactive Dye-Bath Effluents by Heterogeneous and Homogeneous Advanced Oxidation Processes." Ph.D. thesis, Bogaziçi University, Turkey.

Arslan, I., and I.A. Balcioglu. 1999. "Degradation of Commercial Reactive Dyestuffs by Heterogenous and Homogenous Advanced Oxidation Processes: A Comparative Study." *Dyes and Pigments* 43: 95.

Atak, S. 1997. Türkiye’de altın madenciliği. *Madencilik Bülteni, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları*, 54:22-23.

Augugliaro, V., V. Loddo, G. Marci, L. Palmisano, and M.J. Lopez- Murioz. 1997. "Photocatalytic Oxidation of Cyanides Inaqueous Titanium Dioxide Suspensions." *Journal of Catalysis* 166: 272.

Aurelle, Y. 1996. "Cyanide Removal." In *Chemical Water Treatment*, edited by H. Roques, 423–475. Weinheim: VCH.

Azbar, N., T. Yonar, and K. Kestioglu. 2004. "Comparison of Various Advanced Oxidation Processes and Chemical Treatment Methods for COD and Color Removal from a Polyester and Acetate Fiber Dyeing Effluent." *Chemosphere* 55: 35.

Bilgin, A. 2003. Sulardaki Siyanürün Klinoptilolit Adsorpsiyonuyla Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.

Boikess R., Breslauer K., Edelson E., 1986. Elements of Chemistry, General, Organic, and Biological. *Prentice-Hall.*, 768p

Botz, M. ve Mudder, T., 2000. “Modeling of natural cyanide attenuation in tailings impoundments”, *Journal of Minerals and Metallurgical Processing*, 228-233.

Botz M.M. 2001. Overview of Cyanide Treatment Methods. *Mining Environmental Management, Mining Journal Ltd., London, UK.*, 28-30.

Botz, M., Mudder, T., Akcil, A., 2004. “Cyanide treatment: physical, chemical and biological processes”, Chapter 6.2.1 in *Advances in Gold Ore Processing*, ed. M. Adams. Elsevier Ltd., Amsterdam, (in press).

Bull, R.A. and J.D. Zeff. 1992. “Hydrogen Peroxide in Advanced Oxidation Processes for Treatment of Industrial Processes and Contaminated Groundwater.” *Proceedings of the 1st International Symposium for Chemical Oxidation Technology for the 90s*, Nashville, TN, edited by W. W. Eckenfelder, A. Bowers, and J.A. Roth, 26. Lancaster, PA: Technomic Publishing Co

Canbazoğlu, M. 1996. Dünya’da altın ve gümüş madenciliğinde kullanılan sıvı atık arıtma teknikleri. *Türkiye’de Altın Madenciliği, Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı*, Ankara, 75-108.

Çabuk, A., Kolankaya N. 2012. Toxicity and Biological Treatment of Cyanide. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 30: 20-38

Dash, R.R., C. Balomajimder, and A. Kumar. 2009. “Removal of Cyanide from Water and Wastewater Using Granular Activated Carbon.” *Chemical Engineering Journal* 146 (3): 408–413.

De, A.K., B. Chaudhuri, S. Bhattacharjee, and B.K. Dutta. 1999. “Estimation of OH• Radical Reaction Rate Constant for Phenol Using UV/H₂O₂ Photo Oxidation.” *Journal of Hazardous Materials* 64: 91.

Ebbs, S. 2004. “Biological Degradation of Cyanide Compounds.” *Current Opinion in Biotechnology* 15 (3): 231–236.

Eul, W., G. Scherer, and O. Helmling. 1992. “Practical Applications of Hydrogen Peroxide for Wastewater Treatment.” In *Proceedings of the 1st International Symposium for Chemical Oxidation Technology for the 90s*, Nashville, TN edited by W.W. Eckenfelder, A.R. Bowers, and J.A. Roth, 68. Lancaster, PA: Technomic Publishing Co.

Ford, J., R. Hernandez, and M. Zappi. 2005. “Bench Scale Evaluation of Advanced Oxidation Processes for Treatment of a Cyanide-Contaminated Wastewater from an Engine Manufacturing Facility.” *Environmental Progress* 25(1): 32–38.

Freeman, H.M. 1989. *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. New York: McGraw-Hill.

Glaze, W.H., G.R. Peyton, S. Lins, F.Y. Huang, and J.L. Burleson. 1982. “Destruction of Pollutants in Water with Ozone in Combination with Ultraviolet Radiation.” *Environmental Science and Technology* 16: 454–458.

Gogate, P.R., and A.B. Pandit. 2004. “A Review of Imperative Technologies for Wastewater Treatment II: Hybrid Methods.” *Advances in Environmental Research* 8: 553–597.

Greenwood N.N., Earnshaw A. 1984. *Chemistry of Elements. Butterworth, Heinemann, 1542.*

Gulyas, H. 1997. “Processes for the Removal of Recalcitrant Organics from Industrial Waste Water.” *Water Science and Technology* 36: 9–16.

Gümü, s, G. 2001. “A New Spectrophotometric Method for Determination of Cyanide.” High Graduate Thesis, Istanbul Technical University, Sciences Institute, Istanbul.

Ho, C.P. 1986. “Photooxidation of 2,4-Dinitro Toluene in Aqueous Solution in the Presence of Hydrogen Peroxide.” *Environmental Science and Technology* 20: 260–267.

Hoigné J., and H. Bader. 1979. “Ozonation of Water: Oxidation Competition Values for Reactions (of OH) of Different Types of Waters Used in Switzerland.” *Ozone Science and Engineering* 1: 357–372.

http://www.geocities.com/siyanürlealtin/yazi/2002/işletme_html, (06.11.2003).

Ince, H.N. 1999. “Critical Effects of Hydrogen Peroxide in Photochemical Dye Degradation.” *Water Research* 33: 1080–1084.

International Ozone Association (IOA). 1987. “Idiometric Method for the Determination of Ozone in a Process Gas.” Standardisation Committee- Europe, European African Group, 001/87 (F). Paris: International Ozone Association.

Kepa, U., E. Stanczyk-Mazanek, and L. Stepniak. 2008. “The Use of the Advanced Oxidation Process in the Ozone Hydrogen Peroxide System for the Removal of Cyanide from Water.” *Desalination* 223: 187–193.

Kestioğlu, K., T. Yonar, and N. Azbar. 2003. “Feasibility of Physico-chemical Treatment and Advanced Oxidation Processes (AOPs) as a Means of Pretreatment of Olive Mill Wffluent (OME).” *Process Biochemistry* 40(7): 2409–2416.

Kim, S.J., K.H. Oh, S.H. Lee, S.S. Choi, and K.C. Lee. 1997. “Study on Secondary Reaction and Fate of Hazardous Chemicals by Oxidants.” *Water Science and Technology* 36 (12): 325–331.

Kim, Y.J., T.I. Qureshi, and K.-S. Min. 2003. “Application of Advanced Oxidation Processes for the Treatment of Cyanide Containing Effluent.” *Environmental Technology* 24 (10): 1269–1276.

Kosaku, O. 1975. “Cyanide Decomposition by Alkaline Chlorination.” *Chem. Abstr.* 87: 28569.

Ku, Y., L.S. Wang, and Y.S. Shen. 1998. “Decomposition of EDTA in Aqueous Solution by UV/H₂O₂ Process.” *Journal of Hazardous Materials* 60: 41–55.

Legrini, O., E. Oliveros, and A.M. Braun. 1993. “Photochemical Process for Water Treatment.” *Chemical Reviews* 93: 671–698.

Logsdon, M.J., Hagelstein K., Mudder T.I. 1999. Management of Cyanide in Gold Production, *International Council on Metals and the Environment*, Canada, 44.

Metelista, D.I. 1971. “Mechanisms of Hydroxylation of Aromatic Compounds.” *Russian Chemical Reviews* 40: 563–580.

Monteagudo, J., L. Rodriguez, and J. Villasen. 2004. “Advanced Oxidation Processes for Destruction of Cyanide from Thermoelectric Power Station Waste Waters.” *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 79: 117–125.

Mudliar R., S.S. Umare, D.S. Ramteke, and S.R. Wate. 2009. “Energy Efficient—Advanced Oxidation Process for Treatment of Cyanide Containing Automobile Industry Wastewater.” *Journal of Hazardous Materials* 164: 1474–1479.

Noss, C.I., and R.H. Chyrek. 1984. “Tertiary Treatment of Effluent from Holston AAP Industrial Liquid Waste Water Treatment Facility UV Radiation and H₂O₂ Studies TNT, RDX, HMX, TAX and SEX.”

Technical Report-98308, ADA, 141135. Fort Detrick, Frederic, MD: U.S. Army Medical Bioengineering Research and Development Laboratory.

Öngür, T. 2003. Siyanürle altın madenciliği ve halk sağlığı.

Paillard, H., R. Brunet, and M. Dore. 1988. “Conditions Optimales d’application du System Oxydant Ozone-Peroxide d’hydrogene.” *Water Research* 22: 91.

Patil, Y.B., and K.M. Paknika. 2000. “Development of a Process for Biodetoxification of Metal Cyanides from Waste Waters.” *Process Biochemistry* 35 (10): 1139–1151.

Prengle, H.W., and C.E. Mauk, Jr. 1978. “Ozone/UV Oxidation of Pesticides in Aqueous Solution, Ozone/Chlorine Dioxide Oxidation Products of Organic Materials.” In *American Institute of Chemical Engineers Symposium Series*, edited by R.G. Rice and J.A. Cotruva, 302–320. Cleveland, OH: International Ozone Association. 178, 228.

Priyadarshan, G. 2000. *Removal and Stabilization of Cyanide from Process Waters*. Reno: University of Nevada.

Rathi, A., H.K. Rajor, and R.K. Sharma. 2003. “Photodegradation of Direct Yellow-12 Using UV/H₂O₂/Fe²⁺.” *Journal of Hazardous Materials B* 102: 231.

Raybuck S.A. 1992. Microbes and Microbial Enzymes for Cyanide Degradation. *Biodegradation*, 3: 3-18.

Sarla, M., M. Pandit, D.K. Tyagi, and J.C. Kapoor. 2004. “Oxidation of Cyanide in Aqueous Solution by Chemical and Photochemical Process.” *Journal of Hazardous Materials* 116 (1–2): 49–56.

Selm, R.P. 1959. “Ozone Oxidation of Aqueous Cyanide Waste Solution in Stirred Batch Reactors and Packed Towers.” In *Ozone Chemistry and Technology. Advances in Chemistry Series*, No. 21, edited by CS Applied Publications, 66–77. Washington, DC: American Chemical Society.

Shu, H.Y., C.R. Huang, and M.C. Chang. 1994. “Decolorisation of Monoazodyes in Wastewater by Advanced Oxidation Process: A Case Study of Acid Red I and Acid Yellow 23.” *Chemosphere* 29: 2597.

Skoog D.A., West D.M., Holler, F.J. 1996. *Fundamentals of Analytical Chemistry. 7th edition, Saunders College Publishing.*

Staelin, J., and J. Hoigné. 1982. “Decomposition of Ozone in Water: Rate of Initiation by Hydroxide Ions and Hydrogen Peroxide.” *Environmental Science and Technology* 16: 676–681.

Syed, S. 2012. “Recovery of Gold from Secondary Sources—A Review.” *Hydrometallurgy* 115–116: 30–51.

The Mining Bulletin. 1997. Gold Mining in Turkey. Accessed January 2013. http://www.maden.org.tr/yayinlar/dergi_goster.php?kodu=856.

Turan, Nazlı A., L. Altaş, and H. Büyükgöçer. 2003. “The Advanced Treatment Methods on Cyanide Removal. V.” National Environmental Engineering Conference, 492–497, Ankara.

Tyler, R.G., W. Maske, M.J. Westin, and W. Matthews. 1951. “Ozonation of Cyanide Wastes.” *Sewage and Industrial Wastes* 23: 1150.

Türkman, A., 1990. Yeraltısuyunda siyanür kirliliği ve kontrolü. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu DEBÇAĞ 53 No.lu Proje*, 8-9.

Uyar, T. 2001. Organik Kimya. *Güneş Kitabevi*, Ankara, 560 s.

Valsero, M.H., R. Molina, H. Schikora, M. Müller, and J.M. Bayona. 2013. “Removal of Cyanide from Water by Means of Plasma Discharge Technology.” *Water Research* 47 (4): 1701–1707.

Venkatadri, R., and R.W. Peters. 1993. “Chemical Oxidation Technologies: Ultraviolet Light/Hydrogen Peroxide, Fenton’s Reagent and Titanium Dioxide Assisted Photocatalysis.” *Hazardous Waste and Hazardous Materials* 10: 107–149.

Vohra, M.S. 2011. “Removal of Thiocyanate from Synthetic Wastewater using TiO₂ Mediated Photocatalytic Degradation Process.” *Fresenius Environmental Bulletin* 20 (5A): 1308–1313.

Yonar, T., G.K. Yonar, K. Kestioglu, and N. Azbar. 2005. “Decolorisation of Textile of Using Homogeneous Photochemical Oxidation Processes.” *Coloration Technology* 121: 258–264.

Yonar, T. 2005. Fotokimyasal oksidasyon yöntemiyle organik kirliliklerin giderilmesi ve bu yöntemin küçük yerleşim bölgelerinden kaynaklanan atıksulara uygulanması. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Young, C.A., S.P. Cashin, and F.E. Diebold. 1995. “Photolysis for Cyanide and Nitrate Remediation of Water.” In *Separation Processes: Heavy Metals, Ions and Minerals*, edited by M. Misra, 61. Warrendale, PA: TMS.

Yüce, E., 1997. Altın Madenciliği ve Çevre, *Yurt Madenciliği Geliştirme Vakfı*, Ankara, 32-34.

Zeevalkink, J.A., D.C. Visser, P. Arnoldy, and C. Boelhouwer. 1980. “Mechanism and Kinetics of Cyanide Ozonation in Water.” *Water Research* 14: 1375–1385.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Saire ÖZÇİFTÇİ
Doğum Yeri Tarihi :Bursa, 14.10.1984
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :İnegöl Turgutalp Anadolu Lisesi
Lisans :Dokuzeylül Üniversitesi
Yüksek Lisans :Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum ve Yıl :Bayras Mobilya San.ve Tic.Ltd.Şti. / 2011
İletişim :(530) 746-22-23
Yayımları :Yonar, T., Mert, B.K., Sivrioğlu, Ö., Özçiftçi, S.2014.
Treatment of jewellery manufacturing effluent containing cyanide using ozone-based photochemical advanced oxidation processes. *Ozone: Science & Engineering.*, 36: 196–205.

T.C
YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
ULUSAL TEZ MERKEZİ

TEZ VERİ GİRİŞİ VE YAYIMLAMA İZİN FORMU

| | |
|--------------------------|--|
| Referans No | 10066751 |
| Yazar Adı / Soyadı | SAİRE ÖZÇİFTÇİ |
| Uyruğu / T.C.Kimlik No | TÜRKİYE / 26971376876 |
| Telefon | 5307462223 |
| E-Posta | saireozciftci@hotmail.com |
| Tezin Dili | Türkçe |
| Tezin Özgün Adı | Siyanür İçeren Kuyumculuk Sektöründen Kaynaklanan Atıksuların Ozon Esaslı Fotokimyasal Oksidasyon Prosesleri ile Arıtımının Araştırılması |
| Tezin Tercümesi | Cyanide Containing Jewellery Manufacturing Wastewater Using Based Photochemical Advanced Oxidation Processes |
| Konu | Çevre Mühendisliği = Environmental Engineering |
| Üniversite | Uludağ Üniversitesi |
| Enstitü / Hastane | Fen Bilimleri Enstitüsü |
| Bölüm | Çevre Mühendisliği Bölümü |
| Anabilim Dalı | Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı |
| Bilim Dalı | Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Bilim Dalı |
| Tez Türü | Yüksek Lisans |
| Yılı | 2015 |
| Sayfa | 48 |
| Tez Danışmanları | DOÇ. DR. TANER YONAR 12700766964 |
| Dizin Terimleri | Siyanür=Cyanide |
| Önerilen Dizin Terimleri | siyanür=cyanide fotokimyasal oksidasyon prosesleri=photochemical oxidation processes kuyumculuk=jewellery ozon=ozone uv=uv hidrojen peroksit=hidrogen peroxide |
| Kısıtlama | Yok |

Yukarıda bilgileri kayıtlı olan tezin, bilimsel araştırma hizmetine sunulması amacı ile Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi Veri Tabanında arşivlenmesine ve internet üzerinden tam metin erişime açılmasına izin veriyorum.

24.02.2015

İmza: 