

Elektrokoagülasyon Prosesi ile Endüstriyel Atıksu Arıtımı

Ceyhun Akarsu

Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Özet

Dünya nüfusundaki önlenemeyen artış ve temiz su kaynaklarındaki görülen azalma, insanların alternatif su arıtma teknolojilerine olan ilgisini arttırmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde su arıtma konusunda yeterli fon ayırmamaktan dolayı yaşanan bilgi eksikliği bazı sıkıntıları da beraberinde getirmektedir. Ülkelerin gelişmişlik göstergelerinden biri olan sanayi de mevcut su kaynaklarını kullanmaktadır. Amaçlanan ise hem insani ihtiyaç için hemde endüstriyel işletmelerde kullanılan su ortamının kirletilmesini engellemektir.

Kimyasal koagülasyon ve flokulasyon yaygın olarak atıksularda kirleticilerin ortamdaki uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Bu sistemler sudaki nutrient, organik madde veya toksik ağır metaller gibi birtakım kirlilik parametrelerinin gideriminde oldukça başarılıdır. Elektrokoagülasyon prosesi sudaki kirlilik parametrelerinin giderilmesinde kimyasal koagülasyonun gelişmiş bir alternatif çeşididir. Bu proses teknolojisinde, metal katyonları proses içerisindeki metal elektrotların suda çözünmesi ile suya geçer. Bu metal katyonlar reakte olup sudaki maddelerin giderilmesini sağlar. Bu proses kapsamında ağır metal giderimi, süspansiyon ve koloidal partikül giderimi, yağ ve gres giderimi, kompleks yapıdaki organik madde giderimi ve bakteri ile virüs giderimi yapılabilir.

Elektrokoagülasyon prosesi diğer arıtım teknoloji ile maliyet ve verim olarak karşılaştırılan çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar elektrokoagülasyon prosesi kullanımı ile ilgili bazı avantaj ve dezavantajlar ortaya koymuştur. Avantajları; İlk yatırım maliyeti alternatif teknolojilerden belirgin miktarda düşüktür. İşletme maliyeti alternatif teknolojilerden belirgin miktarda düşüktür. Düşük enerji ihtiyacı gerektirir. Kimyasal ilavesi yoktur. Fazla bakım gerektirmez. İşgücü ihtiyacı düşüktür. Proses sırasında oluşan çamur miktarı alternatiflerine göre azdır. Suda olması istenmeyen kirleticilerin birden fazlasını tek proses ile giderilmesini sağlar. Dezavantajları; Elektrot, atık su içindeki çözünmüş maddelerin oksidasyonu sonucu oksitlenebilir. Birçok yerde elektrik maliyeti yüksektir (Ancak kullanılması gereken enerji çok düşük olduğundan yüksek bir maliyet oluşturmaz). Atıksudaki süspansiyon maddelerin yüksek iletkenliğe sahip olması istenir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokoagülasyon, endüstriyel atıksu, avantaj ve dezavantajı

Treatment of Industrial Wastewater by Electrocoagulation Process

Abstract

Searching alternative water treatment technologies at any moment has increased based on increasing population and decreasing clean water sources.

In developing countries there is lack of knowledge cause of lack of funds. One of the indicators in developed countries is industry. This industry also use clean water sources for production. Main objective is that provide clean water source both for human use and industrial use.

Chemical coagulation and flocculation commonly has used to treatment. These systems are very effective for removing nutrients, toxic heavy metals and organic matters. Electro coagulation process is an advanced kind

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Mersin University, 33343, Mersin, TURKEY. E-mail address: ceyhunakarsu@hotmail.com.tr, ceyhunakarsu@mersin.edu.tr
Phone: +903243610001/7100, Fax: +903243610032

of chemical coagulation system. At this process, metal ions dissolves in water. Metal ions react with nutrients, organic and inorganic matters, ions and microorganisms in water then they settle. This process also remove oil and gress and complex organic matters too.

Electrocoagulation process compared with other treatment technologies intended for cost and efficiency. These studies show advantages and disadvantages about using electrocoagulation process.

Advantages are initial investment cost is lower than others, operating cost is lower than alternatives, required low energy, does not required any energy, does not required much maintance, amount of produced sludge is less than alternatives, most of undesired pollutants removed in one process.

Disadvantages are electrodes are oxidizable, high electricity cost, need high electrical conductivity in wastewater for higher efficiency.

Keywords: Electrocoagulation process, industrial wastewater, advantages, disadvantages

1. Giriş

Ülkemizde ve dünyada, sanayinin gelişmesine bağlı olarak atıksu arıtımı gün geçtikçe daha önemli sorun oluşturmaktadır. Sanayinin daha ileri gitmesi açısından, fabrikaların yönetmelikteki yasal boşlukları kullanması ve atıksuyun deşarj limitlerinde olması için gerekli arıtım teknolojisinin çok pahalı olması sebebiyle bu tarz kuruluşlar çevreyi bilinçsizce kirletmektedir.

Bu nedenle mevcut kullanılan metot ve teknolojilerin daha yüksek verim ve daha düşük maliyet ile işletilebilen alternatifleri aranmaktadır. Bununla birlikte gün ve gün nüfus artışından dolayı artan endüstriyel üretim artışı tesislerden çıkan atıksu miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu artış arıtım metot ve teknolojilerine yönelik alternatif arayışların daha önemli hal almasına sebep olmuştur[1].

Bu arayışlar sırasında asıl dikkat edilmesi gereken uygulanabilirliği kolay, maliyeti alternatiflerine göre daha düşük, verimi ise daha yüksek teknolojilere yönelik yapılmasıdır. Yakın zamanda bu araştırmalardan biri de elektrokoagülasyon prosesine yönelik yapılan çalışmalardan oluşmaktadır. Kimyasal koagülasyon ile karşılaştırıldığında işletme kolaylığı ve daha yüksek verime sahiptir. Hem içme suyuna hem de endüstriyel atıksu arıtımı için uygulanabilirliği olan elektrokoagülasyon prosesine verilen önem gün geçtikçe artmaktadır..

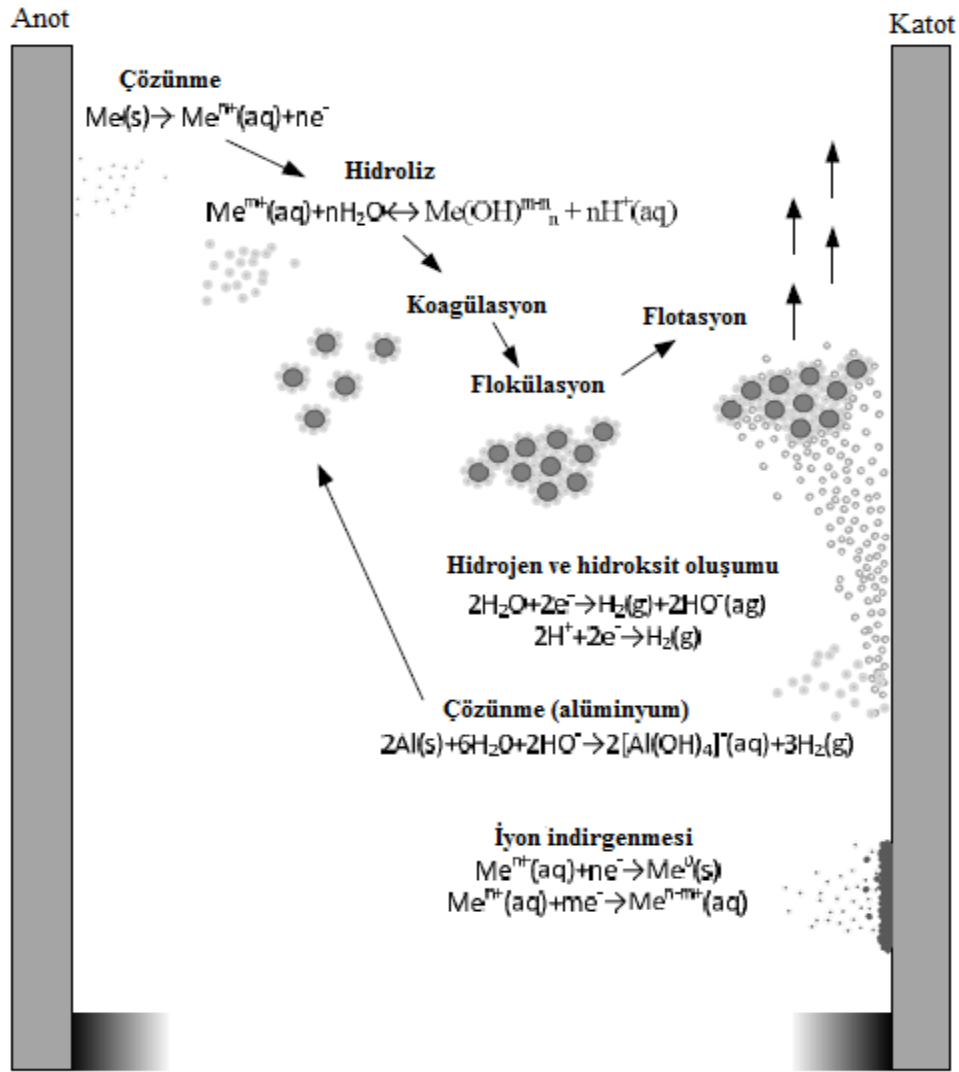
2. Elektrokoagülasyon Prosesi

Bir elektrokimyasal arıtım prosesinde en önemli etkenlerden biri kullanılan elektrotun cinsidir. Elektrokoagülasyon prosesinde genellikle alüminyum (Al^{+3}) ve demir (Fe^{+3} veya Fe^{+2}) elektrotlar kullanılmaktadır. Proses işletim sırasında bu elektrotlar atıksuda reakte olarak $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$ ve $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksit bileşikleri meydana gelmektedir. Bu metal hidroksitler atıksu

ortamındaki farklı kirlilik parametrelerini adsorbe ederek çökmesini sağlar. Kirlenmeler bu sayede atıksudan uzaklaştırılmış olur. Elektrokoagülasyon prosesi çalışma mekanizması Şekil 1. de gösterilmiştir. Bu metod günümüzde birçok sanayi dalında kullanımına başlanmıştır[2].

Elektrokoagülasyon prosesi sırasında 3 temel işlem gerçekleşir.

- 1) Elektrot yüzeyinde gerçekleşen elektrolitik reaksiyonlar
- 2) Metalik iyonların oluşumu
- 3) Koloidal özellikteki kirlenmelerin adsorpsiyon, koagülasyon, sedimentasyon veya flotasyon mekanizmaları ile giderilmesi[3].



Şekil 1. Elektrokoagülasyon Prosesi

Elektrokoagülasyon prosesi ağır metal gideriminde, süspande ve colloidal katıları gideriminde, yağ emülsiyonlarının gideriminde, yağ v egress gideriminde, kompleks organiklerin gideriminde ve mikroorganizmaların gideriminde kullanılabilir.

Elektrokoagülasyon prosesinde kullanılan elektrot çeşitlerinden en yaygını alüminyum ve demirdir. Metalik iyonların yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olması, alüminyum ve demirin alternatiflerine göre kolay ulaşılabilir ve düşük maliyette olması, bu elektrotlar ile kararlı yapıda çamurun elde edilmesi bu elektrotların tercih edilmesinin öncelikli sebeplerindedir. Alüminyum ve demir dışında çelik, grafit ve titanyum gibi maddeler elektrot olarak kullanılabilir.

Elektrokoagülasyon sistemi alışılmış koagülasyon flokulasyon uygulamalarına benzese de bu sistemlere kıyasla birçok avantajı vardır.

- a) Elektrokoagülasyon küçük koloidal partiküllerin kararlı hale getirilip giderilmesinde konvansiyonel koagülasyona oranla daha etkilidir.
- b) Elektrokoagülasyonda daha az ve daha kararlı çamur oluşmaktadır.
- c) Elektrokoagülasyon ekipmanlarının kullanımı ve işletmesi kolaydır.
- d) Elektrokoagülasyonda kimyasal madde eklenmesine gerek yoktur. Bu yüzden işletme ve bakımı daha kolaydır.
- e) Oluşan çamur daha susuzlaştırılabilir yapı sergilemektedir[4,5].
- f) İlk yatırım maliyeti alternative teknolojilerine göre oldukça düşüktür.
- g) Birçok kirletici tek bir proses ile giderilir.

3. Elektrokoagülasyon Prosesinin Uygulanabilirliği

Mevcut avantajları görüldüğünde elektrokoagülasyonun farklı karakteristik özellikteki sanayi atıksularında uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

3.1. Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil sanayi atıksuyunun arıtımı

F. Özyonar ve B. Karagözoğlu 2008 yılında elektrokoagülasyonun tekstil atıksu arıtımına uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek EC prosesinin optimum koşulları belirlenmiştir. Bu koşullar; başlangıç pH:3, akım yoğunluğu 100 A/m² ve elektroliz süresi 20 dk olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar neticesinde TOK, KOİ, renk ve bulanıklık giderme verimleri sırasıyla, %82,6-%72,5- %97,7 ve %98,7'dir. Ayrıca yapılan çalışmada KOİ parametresi açısından, arıtılmış suyun Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen deşarj limit değerini sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak tekstil sanayi atıksuyunun arıtımında EC prosesinin etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur[6].

3.2. Kompleks olarak bağlı metal içeren atıksuların elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımı

Kompleks olarak bağlı metal içeren atıksular, bünyelerinde organik kompleks yapıcıların (organik ligandların) bulunduğu atıksulardır. Henüz bu atıksularının arıtımı için uygun bir arıtma teknolojisi tanımlanmamıştır. Bu çalışmada T. Arslan ve ark. 2008 yılında elektrokoagülasyon prosesinin, metal son işlemleri endüstrisi kompleks olarak bağlı metal içeren atıksularına uygulanabilirliği, bir asidik nikel çinko kaplama banyosundan kaynak bazında alınan atıksu numunesi ile bu işlemi takip eden yıkamaları karakterize etmek üzere hazırlanan kompozit numune (TOK=173-207 mg/L; Ni=275-291 mg/L, Zn=226-236 mg/L) kullanılarak araştırılmıştır. paslanmaz çelik elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon uygulaması ile söz konusu atıksulardan nikel ve çinkonun % 100 verimle tamamen giderilebildiğini göstermiştir[7].

3.3. Elektrokoagülasyon prosesi ile mermer atıksularının arıtılması

Mermer işletmeleri, suyun en çok kullanıldığı sektörlerden birisidir. Bu yüzden suyun tekrar arıtılarak işletmeye kazandırılması önem taşımaktadır. Mermer İşletmesinde yeniden kullanılan suda ince boyutlu partiküllerin kalması silme ve cilalama aşamalarında mermeri çizerek ürün kalitesini bozabilmektedir. Bu yüzden mermer işletmesinde tekrar kullanılacak su AKM içermemelidir. M. Solak'ın yaptığı elektrokoagülasyon ile mermer atıksuyunun arıtılabilirliğinin araştırılmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

pH değerinin 9, akım yoğunluğunun yaklaşık 15 A/m², elektroliz süresinin 2 dk olduğu optimum şartlarda paralel-seri bağlı monopolar alüminyum elektrotların kullanıldığı EC prosesi ile %100 AKM giderilmiştir. Paralel-Seri monopolar demir elektrotlarının kullanıldığı EC prosesinde giderim verimi sırasıyla %99.86, %99.94 olarak bulunmuştur. Sonuçlar, tüm elektrot ve bağlantı türleri ile EC prosesinin AKM, bulanıklık gideriminde etkin bir proses olduğunu, işletme maliyeti analizleri paralel bağlı Al elektrodunun, seri bağlı Al elektrot ve Fe elektrot bağlantılarından daha ucuz olduğunu göstermiştir.[8]

3.4. Mezbaha atıksularında elektrokoagülasyon prosesi ile organik madde giderilebilirliğinin araştırılması

Mezbaha atıksuları protein, kan ve yağ kaynaklı yüksek miktarda organik madde yüküne sahiptirler. M. Asselin ve ark. yaptığı çalışmada paslanmaz çelik ve alüminyum elektrotları kullanılarak elektrokoagülasyon prosesi test edilmiştir. Akımın 0,3 amper ve 60 ile 90 dakikalık alıkonma süresi ile %86 BOD %99 yağ ve gress giderimi görülmüştür. Toplam katı madde giderim verimi ve bulanıklık gideriminde %90 verim olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda yapılan çalışmada tesise ait 1m³ 'lük atıksu arıtımı için elektrot, enerji, çamur giderme dahil 0,71\$ maliyet hesabı ile prosesin işletme maliyetinin gayet makul olduğu saptanmıştır[9].

3.5. Tabakhane atıksuyunun elektrokoagülasyon ile arıtılması

Feng J. ve ark. yaptığı çalışmada tabakhane atıksuyunun 1 amperden düşük akımda alüminyum ve paslanmaz çelik elektrotları ile arıtılabilirliğini çalışmışlardır. Tabakhane atıksuyunun arıtılabilirliği kimyasal koagülasyon, biyolojik ve foto parçalama gibi farklı prosesler ile

denenmiştir. Kimyasal koagülasyon için gerekli olan kimyasallar ikincil kirliliğe sebep olmaktadır[10,11]. Yüksek enerji ihtiyacından dolayı fotodegradasyon prosesinin de dezavantajı vardır[12]. Biyolojik parçalama diğer alternatif teknolojilere göre ucuz olsa da atıksuda bulunan toksik etkiideki maddeler yüzünden verim oldukça düşüktür. Bu nedenledir ki elektrokoagülasyon teknoloji ile yapılan bu çalışmalar büyük bir önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmada ise çeliğin alüminyuma göre sülfat gideriminde daha yüksek verime sahip olduğu, giderim veriminin %90 olduğu saptanmıştır. Bu proseste farklı olarak önce çelik elektrot ile koagülasyon sonra filtreleme sonra ise alüminyum elektrotu ile koagülasyon işlemi uygulanmıştır. Sistem bu şekilde çalıştırıldığında ise kimyasal oksijen ihtiyacı, amonyum, toplam organik karbon, sülfat ve renk giderim oranları sırasıyla %68, %43.1, %55.1, %96.7 ve %84.3 olarak saptanmıştır[13].

4. Değerlendirme

Elektrokoagülasyon prosesi işletme açısından maliyeti düşük ve kolay işletilebilir bir proses olduğu görülmektedir. Çalışmalar incelendiğinde aynı proses birbirinden farklı karakteristik özellik gösteren atıksularda verimli olarak çalıştırılması mümkündür. Kirlilik sebebi organik yük, ağır metal, yağ ve gress, boyar madde, sülfat veya akm gibi değişse de prosesin bu farklı kirlilikleri gideriminde başarılı olduğu çalışmalar sonucunda saptanmıştır. Sistem pH'ı, elektrot cinsi, akım, işletme süresi gibi değişkenler ile optimum çalışma standartları üzerinde daha fazla çalışmanın devam ettiği elektrokoagülasyon prosesi şimdiden birçok endüstri kuruluşunun çözümü haline gelmiştir.

Kaynaklar

- [1] Üstün, G.E., Solmaz, S.K.A, Kestioğlu, K., Organize sanayi bölgelerinde atıksu arıtımı, Uludağ üniversitesi mühendislik-mimarlık fakültesi dergisi, 2004;9-1
- [2] Holt P.K., Barton, G.W., Wark, M., Mitchell, C.A., A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation, Colloids Surf; 2002, p. 211- 233.
- [3] Mollah M.Y.A., Schennach R., Parga J.P., Cocke D.L., Electrocoagulation (EC)-Science and applications, Journal of Hazardous Materials 2001, B84: 29-41,
- [4] İlhan F., Kurt U., Apaydin Ö., Arslankaya E., Gönüllü M.T., Elektrokimyasal arıtım ve uygulamaları: Kati Atık Sızıntı Suyu Çalışması, Türkay-2007.
- [5] Alinsafi A., Khemis M., Pons M.N., et. al., “Electro-coagulation of reactive textile dyes and textile wastewater”, Chemical Engineering and Processing 44 2005, 461-470
- [6] Özyonar F., Karagözoğlu B., Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil sanayi atıksuyunun arıtımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2012, 28:1, p. 29-37.

[7] Arslan T., Kabdaşlı I., Arslan-Alaton İ., Ölmez T., Tünay O., Kompleks Olarak Bağlı Metal İçeren Atıksuların Elektrokoagülasyon Prosesi İle Arıtımı , Itüdergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü, 2008, 18:1, p. 42-52.

[8] Solak M., Kiliç M., Elektrokoagülasyon prosesi ile mermer atıksularinin aritilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta 2007.

[9] Asselin M., Drogui P., Benmoussa H., Blais J., Effectiveness of electrocoagulation process in removing organic compounds from slaughterhouse wastewater using monopolar and bipolar electrolytic cells, Chemosphere 2008, 72, p. 1727–1733.

[10] Bajza Z., Hitrec P., Muzic M., Influence of different concentrations of $Al_2(SO_4)_3$ and anionicpolyelectrolytes on tannery wastewater flocculation. Desalination 2004, 171:1, p. 13–20.

[11] Song Z., Williams C.J., Edyvean R.G.J., Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. Desalination 2004, 164:3, p. 249–259.

[12] Sun G.X., Cai X., Yu C.Z. et al., TiO_2 photocatalytic degradation of organical and prospect of the technology in tannery wastewater treatment. China Leather 2006, 35:9, p. 33–36.

[13] Feng J., Sun Y., Zheng Z., Zhang J., Li S., Tian Y., Treatment Of Tannery Wastewater By Electrocoagulation, Journal Of Environmental Sciences 2007, 19, p. 1409–1415.