

ÇİNKO-NİKEL ALAŞIM KAPLAMA ATIKSULARININ KİMYASAL ARITABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Melike YALILI KILIÇ*¹ 
Pınar KUMBASAR*¹ 

Alınma:08.02.2023; düzeltme:23.03.2023; kabul: 17.04.2023

Öz: Çeliğin galvanizlenmesi, çelik yüzeyini korozyondan korumak için uzun yıllardır uygulanan önemli bir endüstriyel işlemdir. Çinko-nikel alaşım kaplama, diğer çinko alaşım kaplama teknolojilerine kıyasla daha iyi mekanik özelliklere, daha yüksek korozyon direncine sahip olduğundan birçok endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir. Ağır metal kaplama endüstrisi proseslerinde kullanılan çeşitli kimyasallar ve hammaddeler sonucunda bu endüstriden kaynaklanan atıksular ciddi bir çevre sorunu yaratmaktadır. Bu sebeple ağır metal kaplama endüstrisinden kaynaklanan atıksularda çevre üzerinde toksik etkiye sahip olduğu bilinen kirleticiler deşarj limitleriyle sınırlandırılmıştır. Atıksularda ağır metallerin kontrolüne yönelik artan talep, daha etkili ve daha ekonomik arıtma yöntemlerinin araştırılmasına yol açmıştır. Bu çalışmada, Bursa Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi içerisinde faaliyet gösteren tesise ait, çinko-nikel kaplama atıksularının Diplexin Zn-07 koagülantı ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda atıksuyun pH'ı %48'lik NaOH ile 8,51 değerine getirildiğinde, 0,14 mL Diplexin Zn-07 koagülantının dozlanmasıyla %98,65 çinko giderme verimi, %99,33 nikel giderme verimi elde edilmiştir. 1 m³ atıksuyun arıtılması için kullanılan kimyasalların maliyeti 1,83 Euro olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çinko-Nikel Alaşım Kaplama Atıksuları, Metal Kaplama Endüstrisi Atıksuları, Atıksu Arıtma, Kompleks Olarak Bağlı Ağır Metal İçeren Atıksuların Arıtılması, Diplexin Zn-07, Maliyet.

Investigation of Chemical Treatability of Zinc-Nickel Alloy Plating Wastewater

Abstract: Galvanizing of steel is an important industrial process that has been used for many years to protect the steel surface from corrosion. Zinc-nickel alloy plating is widely preferred in many industries because it has better mechanical properties and higher corrosion resistance compared to other zinc alloy plating technologies. Various chemicals and raw materials used in heavy metal coating industry processes and wastewater from this industry create a serious environmental problem. For this reason, pollutants known to have toxic effects on the environment are limited to the discharge limits for wastewater originating from the heavy metal coating industry. Control of heavy metals in wastewater has become important and has led to the research for more efficient and economical treatment methods. In this study, the treatability of zinc-nickel coated wastewater of the facility operating in Bursa Nilüfer Organized Industrial Zone with Diplexin Zn-07 coagulant was investigated. As a result of the studies, the pH of the wastewater was brought to a value of 8.51 with %48 NaOH. 0.14 mL of Diplexin Zn-07 coagulant was dosed. Thus, 98.65% zinc removal efficiency and 99.33% nickel removal efficiency were obtained. The cost of chemicals used to treat 1 m³ of wastewater is calculated as 1.83 Euros.

Keywords: Zinc-Nickel Alloy Plating Wastewater, Metal Plating Industry Wastewater, Wastewater Treatment, Treatment of Complexly Bound Heavy Metal Containing Wastewater, Diplexin Zn-07, Cost.

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/Bursa
İletişim Yazarı: Melike YALILI KILIÇ (myalili@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Metalleri dış etkilere korumak için yüzeylere çeşitli koruyucu yöntemler uygulanır. Metallerin veya alaşımların korozyon direnci ihtiyacını karşılamayan geleneksel çinko kaplamanın, kademeli olarak çinko bazlı alaşım kaplamayla ikame edildiği bilinmektedir (Chang ve diğ., 2009). Farklı çinko bazlı alaşım kaplamalar (Zn-Ni, Zn-Co, Zn-Fe) arasında ileri düzeyde korozyona dayanıklılık, homojen alaşım kompozisyonu girişkenliği, yüksek ısı direnci, lehimlenebilirlik ve pürüzsüz yüzey görüntüsü gibi avantajları sebebiyle çinko nikel alaşım kaplama vazgeçilmez bir alternatif haline gelmiştir (Bhat ve Manjunatha, 2020).

Çinko-nikel alaşım kaplama elektrolitik (elektro kaplama) uygulanan bir prosestir. Elektro kaplama uygulanan potansiyel ya da akım vasıtası ile iletken bir taban malzeme üzerine metal filminin biriktirilmesi olarak tanımlanabilir (Yüksel, 2007). Kullanım kolaylığı, düşük maliyet ve kaplama hızının yüksek olması gibi etkenlerden dolayı elektro kaplama metal alaşım üretimi için en uygun yöntemlerden biridir. Çinko-nikel elektrodepozisyonu için farklı tipte banyolar (asit tipi ve alkali tipi) kullanılır (Ghaziof ve Gao, 2014). Çinko-nikel alaşımında, içindeki Zn/Ni oranına bağlı olarak η - (% 1 Ni), α ve β (% 30 Ni) δ - ($\text{Ni}_3\text{Zn}_{22}$) ve γ - ($\text{Ni}_5\text{Zn}_{21}$) fazlarının tespit edildiği belirlenmiştir (Petrauskas ve diğ., 2005). Maksimum korozyon koruması, nikel içeriği % 8-15 olan γ ($\text{Ni}_5\text{Zn}_{21}$) fazlı alaşım tarafından sergilenmektedir (Conrad ve diğ., 2015). Bununla birlikte çinko-nikel kaplama banyoları metal tuzları, kompleks oluşturmalar, pH tamponları ve ayrıca organik ve organometalik katkı maddeleri içerir (Tunay ve diğ., 2004). Yüzey işlem endüstrisi üretim proseslerinde kullanılan çok çeşitli kimyasallar ve hammaddeler sonucunda bu endüstriden kaynaklanan atıksularda, deşarj edildikleri alıcı ortamlarda meydana getirdikleri kirlilik nedeniyle çevre üzerinde toksik etkiye sahip olduğundan, dikkatle değerlendirilmesi gereken bir konu olarak gündeme gelmektedir.

Atıksuda organik kirleticiler ve ağır metaller bir arada bulunduğunda, durum tek bir kirletici varlığına kıyasla daha karmaşık hale gelir, çünkü organik kirleticiler ve ağır metaller arasında etkileşimler (özellikle kompleksleşme) meydana gelebilir (Ye ve diğ., 2020). Kompleks oluşturmalar, banyo stabilitesini iyileştirmek (çökelmeyi önlemek), kaplama oranını, kristalizasyon mekanizmasını, film homojenliğini ve parlaklığı kontrol etmek için genellikle elektro kaplama banyolarına eklenir (Anwar ve diğ., 2020). Metal kaplama atıksularında en yaygın kompleks oluşturmalar ve bunların göreceli ağır metal bağlama kapasiteleri göz önüne alındığında, etilendiamintetraasetik asit (EDTA), nitrilotriasetik asit (NTA), süksinik asit, tartarik asit, malik asit, laktik asit önemli olanlar olarak alınabilir (Tunay ve diğ., 1994). Özellikle kaplama banyolarında kullanılan bu kompleks yapıcı organik maddeler çözelti içinde kalma eğilimindedirler. Bu sebeple kompleks metaller çeşitli pH koşulları altında oldukça kararlı olduğundan, atıksuyun klasik yöntemlerle arıtılmasını zorlaştırır.

Zn-Ni elektro kaplama atıksuyunun tipik kirletici parametreleri toplam organik karbon (TOK), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), çinko, nikel ve klorürdür. Zn-Ni alaşımlarının çoğu asit elektrolitleri ile elde edilir, ancak bazıları alkali işlemler de kullanılmaktadır (Müller ve diğ., 2002). Her iki banyonun avantajları ve dezavantajları vardır. Genel olarak, asit banyosu daha yüksek katalitik akım verimliliği (CCE) sergiler ve substrat üzerinde zayıf birikinti dağılımına sahiptir, alkali banyolar ise daha düşük CCE'ye sahip olma eğilimindedir ve çok iyi plaka dağılımı sergiler, ancak arıtma prosesinin seçimini etkileyen kompleksler içerir (Chandrasekar ve diğ., 2009). Kompleks yapıcı maddelerin atıksudaki TOK içeriğine katkısı %90'dır (Kabdaşlı ve diğ., 2009).

Ağır metallerin elektrokaplama atıksuyundan uzaklaştırılması için kimyasal çökelme, elektrokoagülasyon (Arslan ve diğ., 2008), elektroliz (Gyliene ve diğ., 2004) adsorpsiyon (Wang ve diğ., 2020), membran teknolojileri (Molinari ve diğ., 2007), fenton benzeri oksidasyon (Fu ve diğ., 2012) ve biyolojik yöntem gibi çok sayıda fiziksel ve kimyasal teknik bildirilmiştir (Liu ve diğ., 2021). Arslan ve diğ. (2008) yaptıkları deneysel çalışmalarda elektrokoagülasyon prosesi ile uygun işletme koşullarında söz konusu atıksularda %100 nikel ve çinko giderimi, %50 TOK giderimi elde etmişlerdir. Fu ve diğ. (2012) kompleks olarak bağlı ağır metal içeren atıksuyu

arıtma için gelişmiş fenton prosesi kullanılmışlar ve optimum koşullarda %98,4 oranında nikel ve %78,8 oranında KOİ gidermişlerdir. Hidroksit çöktürme yöntemi, uygulama kolaylığı ve ekonomik olması nedeniyle en uygun arıtma teknolojisi olarak kabul edilmektedir (Arslan ve diğ., 2008). Diğer yandan kompleks metaller hidroksit çöktürmesi ile verimli bir şekilde uzaklaştırılmazlar (Tunay ve Kabdaşlı, 1994). Ancak modifiye edilmiş hidroksit çöktürmesi (yüksek pH çökmesi), kompleks yapıcı ajanların tercihli olarak bağlandığı kimyasalların eklenmesi ve pH'ın artırılmasıyla giderilmek istenen metalin serbest kalmasına ve hidroksit olarak çökmesine neden olur (Tunay ve diğ., 2004).

Bu çalışmanın amacı, Zn-Ni kaplama endüstrisinden kaynaklanan kompleks olarak bağlı ağır metal içeren atıksuların, Diplexin Zn-07 kimyasalının kullanımı ile çinko ve nikelin birlikte giderimi üzerine etkilerinin incelenmesidir.

2. MATERYAL VE METOT

DeneySEL çalışmada kullanılan kompozit numuneler, Bursa Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi içerisinde faaliyet gösteren bir tesisten temin edilmiştir. Tesiste 45 kişi çalışmakta olup, kataforez, çinko ve çinko alaşımları kaplama hizmeti vermektedir. Tesiste iki adet kataforez hattı, iki adet çinko kaplama hattı, bir adet çinko-nikel alaşım kaplama hattı bulunmaktadır. Zn-Ni kaplama prosesinde ön işlem basamakları alkali temizleme, asidik temizleme ve elektrolitik temizleme şeklindedir. Korozyon direncini arttırmak için Zn-Ni kaplama üzerine pasivasyon ve üst lak uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Tesiste üretim faaliyetlerinden oluşan atıksuların Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen deşarj parametrelerine uygun olarak arıtılması gerekmektedir.

Zn-Ni kaplama prosesinde kaynaklanan atıksular, alkali, asidik ve durulama atıksuları olmak üzere üç ayrı hat ile taşınmaktadır. Oluşan atıksular betonarme bir havuza dökülmektedir. Zn-Ni kaplama proselinin çıkış atıksuyunu karakterize etmek için bu betonarme havuzdan farklı günlerde alınan iki atıksu numunesi için deneyler yürütülmüştür. Atıksu numuneleri nitrik asit ile pH'ı 2 olacak şekilde asitlendirilmiş ve muhafaza edilmiştir. KOİ testleri kapalı reflukspektrometrik metodu ile gerçekleştirilmiştir. Atıksudaki çinko ve nikel konsantrasyonları ise indüktif olarak eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-OES) tayini yöntemi ile analiz edilmiştir. pH ölçümleri WTW inolab pH 7110 masa tipi pH metre ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan Diplexin Zn-07 kimyasal Almanya'daki Farber&Schmid AG firmasından, kostik, hidroklorik asit ve nitrik asit ise yerel üreticilerden temin edilmiş olup, doğrudan kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Atıksu ana kirletici parametreler açısından analiz edilmiştir. Tablo 1'de atıksuların analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Atıksu Kirletici Parametreleri Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Atıksu Numunesi 1	Atıksu Numunesi 2
KOİ	mg/L	235,71	278
Nikel	mg/L	16	16,42
Çinko	mg/L	145	156
pH	-	6,62	7,04

Diplexin Zn-07, ağır metalleri atıksudan uzaklaştırmak için kullanılan özel bir koagülanıttır. Bu özel kimyasalın üreticisi Farber&Schmid AG, Diplexin Zn-07 için güçlü kompleks oluşturucuların varlığında bile tüm metallerin güvenli bir şekilde elimine edilmesini mümkün kıldığını ifade etmektedir. Diplexin Zn-07 için Farber&Schmid AG'nin önerdiği pH aralığı 4,0 ile 13,0 olmakla birlikte, optimum pH aralığı 6,0 ile 9,0 arasındadır. Flok yapısının artırılması ve

daha iyi ağır metal giderme verimlerine ulaşmak için Diplexin Zn-07, anyonik polielektrolit ile desteklenmiştir.

Farklı günlerde temin edilen atıksu numunesi 1 ve atıksu numunesi 2 için ayrı deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir kompozit numune, 500 ml'lik beherlere alınmış, aynı anda dört deneyin gerçekleştirilebildiği jar testi düzeneği hazırlanmıştır. Kompozit numunelerin başlangıç pH'ları sabit tutularak; önce Diplexin Zn-07 dozlanarak 150 devir/dak. hızda 15 dakika süreyle hızlı karıştırma gerçekleştirilmiştir ve flokların oluşması için 0,5-1,5 mL aralığında anyonik polielektrolit dozlanarak 30 devir/dak. hızda 10 dakika yavaş karıştırma işlemi ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra oluşan floklar 30 dakika boyunca çökelmenin gerçekleşmesi için bırakılmıştır. Üst fazda oluşan supernatantta KOİ, nikel ve çinko parametreleri analizlenmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'de sırasıyla atıksu numunesi 1 ve atıksu numunesi 2'nin kimyasal arıtma sonucundaki değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Atıksu Numunesi 1 Uygulama Sonuçları

Diplexin Zn-07 Dozaj Miktarı (ml)	KOİ		Çinko		Nikel	
	Konsantrasyon Değeri (mg/L)	Giderme Verimi (%)	Konsantrasyon Değeri (mg/L)	Giderme Verimi (%)	Konsantrasyon Değeri (mg/L)	Giderme Verimi (%)
-	235,71*	-	145*	-	16*	-
0,03	69,88	70,35	96,14	33,69	10,92	31,76
0,05	55	76,67	72,13	50,26	9,04	43,5
0,10	33,15	85,94	35,67	75,4	4,14	74,15
0,14	21	91,09	22,56	84,44	2,67	83,31

*Kompozit numune karakteri

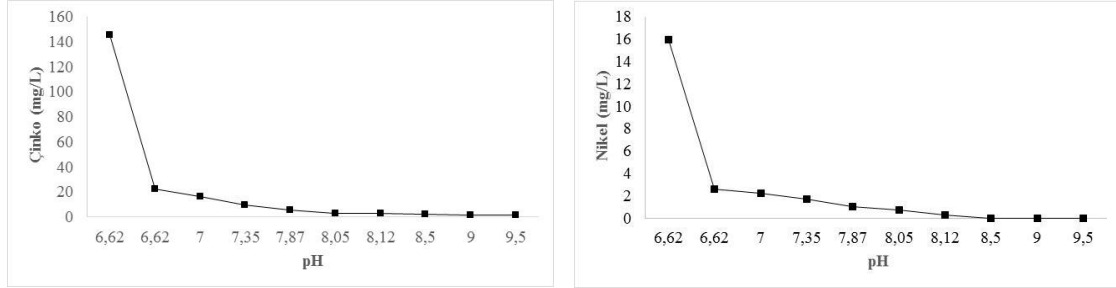
Tablo 3. Atıksu Numunesi 2 Uygulama Sonuçları

Diplexin Zn-07 Dozaj Miktarı (ml)	KOİ		Çinko		Nikel	
	Konsantrasyon Değeri (mg/L)	Giderme Verimi (%)	Konsantrasyon Değeri (mg/L)	Giderme Verimi (%)	Konsantrasyon Değeri (mg/L)	Giderme Verimi (%)
-	278*	-	156*	-	16,42*	-
0,03	57,38	79,36	100,82	35,37	9,89	39,78
0,05	49,71	82,12	60,61	61,15	8,05	51
0,10	25,02	91	29,77	80,92	3,17	80,68
0,14	13,68	95,08	12,68	91,88	2,06	87,45

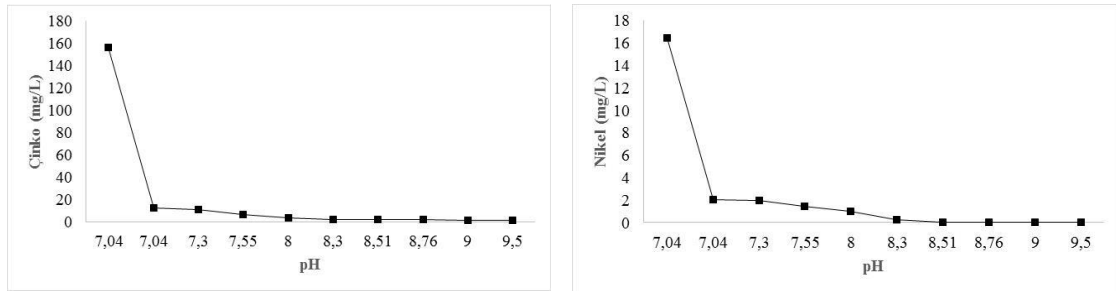
*Kompozit numune karakteri

Başlangıç pH'ında, Diplexin Zn-07 kimyasalının dozlanması ile metal giderimi üzerindeki etkisinin önemli ölçüde olduğu gözlenmiştir. Atıksu 1 numunesinde başlangıç pH değeri 6,62 iken 0,14 ml Diplexin Zn-07 dozlandığında ulaşılan çinko giderme verimi %84,44, nikel giderme verimi ise %83,31'dir. Atıksu 2 numunesinde başlangıç pH değeri 7,04 iken 0,14 ml Diplexin Zn-07 dozlandığında ulaşılan çinko giderme verimi %91,88, nikel giderme verimi ise %87,45'tir. pH'ın çinko ve nikel giderme verimleri üzerindeki etkisini incelemek için, her iki numunede de deneyler tekrarlanmıştır. Deneylerde, optimum pH aralığının belirlenmesi için %37'lik hidroklorik asit (HCl) ve sıvı %48'lik kostik (NaOH) kullanılmıştır. Sabit Diplexin Zn-07 dozajında (0,14 ml) bir seri koagülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Atıksu numunesi 1'in pH değeri, 0,9 ml %48'lik NaOH ile 8,5 değerine getirildiğinde, çinko giderme verimi %91,52, ulaşılan konsantrasyon 2,15 mg/L iken, nikel giderme verimi %98,75, ulaşılan konsantrasyon ise 0,14 mg/L olarak kaydedilmiştir. Atıksu numunesi 2 ile yapılan deneylerde pH değeri, 0,8 ml %48'lik NaOH ile 8,51 değerinde getirildiğinde çinko giderme verimi %98,65, ulaşılan

konsantrasyon ise 2,11 mg/L, nikel giderme verimi %99,33, ulaşılan konsantrasyon ise 0,11 mg/L olarak kaydedilmiştir. Atıksu numunesi 1 ve atıksu numunesi 2 için farklı pH değerlerinde nikel ve çinko giderimleri sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1:
Atıksu numunesi 1 için farklı pH değerlerinde çinko ve nikel giderimleri



Şekil 2:
Atıksu numunesi 2 için farklı pH değerlerinde çinko ve nikel giderimleri

Metallerin çöktürülmesindeki zorluk, metallerin pH'a karşı çözünürlük eğrileriyle ilgili benzerliklerinden dolayı çözelti birkaç metalik türe sahip olduğunda ortaya çıkar (Costa ve diğ., 2022). Kompleks olarak bağlı ağır metaller yüksek çözünürlüğe sahiptir, biyolojik olarak parçalanmaları zordur ve özellikle geniş bir pH aralığında kararlıdır (Wang ve diğ., 2018). Basit kimyasal nötralizasyon ve çöktürme yöntemleri kullanılarak arıtılan atıksu, genellikle emisyon standartlarını karşılamaz (Zhu ve diğ., 2019). Mevcut teknolojilerin çoğu ile kompleks olarak bağlı ağır metallerin uzaklaştırılması oldukça zordur (Strawn ve Baker, 2009). Diplexin Zn-07 kimyasalının metal gidermedeki etkisini karakterize edebilmek amacıyla, daha önce bildirilen araştırmalara dayanarak, hidroksit çökeltme ve sülfid çökeltme süreci değerlendirilmiştir (İslamoğlu ve diğ., 2006). Yürütülen hidroksit çöktürmesi uygulamalarında pH 10 ve 11’de çinkonun %100 verimle giderildiği, ancak kompleks olarak bağlı metallerin maksimum giderim verimliliğinin tek bir çökeltme pH değerinde elde edilemeyeceği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Arslan, 2008; Chen ve diğ., 2018). Çözelti pH’ı nikel giderimi için de önemli parametrelerden biridir (Malakootian ve diğ., 2012). Nikeli hidroksitleri şeklinde çöktürmek için, Tsai ve diğ., 2020, pH 12’de çöktürme sıcaklığını 50°C’ye getirerek %98,3’lük yüksek nikel giderimi elde etmelerine rağmen kompleks oluşturmaya maddelerin varlığında çöktürme hızının azaldığını ifade etmişlerdir. Jerroumi ve diğ. (2020) nikel ve sülfid arasındaki 1:1 stokiometrik oran ile yaptıkları çalışmada sentetik çözelti için pH 5’de %90’ın üzerinde nikel giderim verimi elde etmiş olmalarına rağmen, endüstriyel atıksu için nikelin hem kompleksler

oluşturma eğiliminin olması, hem de muhtemelen pH'ın hızlı artmasıyla birlikte çökeltinin yeniden çözünmesinden dolayı giderim veriminin %62 olduğunu göstermişlerdir. Öte yandan Kabdaşlı ve diğ. (2009) ön arıtmanın uygulanması yoluyla, kompleks oluşturucu maddelerin tamamen yok edilebilir ya da geleneksel çökelmeyi engellemeyen bir forma dönüştürülebilir olduğunu ifade etmiş, ancak ön arıtma yöntemleri olarak kullanılan indirgeme ve oksidasyon prosesleri için kullanılan kimyasalların yüksek maliyeti ve toksisitesi gibi birçok dezavantaja sahip olduğunu belirtmişlerdir.

4. SONUÇ

Sanayileşme ve hızlı kentleşme ile geniş bir kullanım alanı bulan demir ve çelik, inşaat ve yapı, otomotiv endüstrisi, bağlantı elemanları sektörü, makine imalatı, havacılık ve uzay endüstrisi ve savunma sanayi endüstrisinin ana yapı malzemesidir. Demir ve çelik malzemeler zaman içerisinde korozyona uğrar ve yüzey yapısının özelliklerini kaybederler. Bu sebeple metalleri dış etkilerden korumak için yüzeylere çeşitli kaplama yöntemleri uygulanır. Ağır metal kaplama prosesleri çevre için metal kirliliğine sebep olan endüstriyel faaliyetlerden biridir.

Ağır metal kaplama proseslerindeki sorunun önemi dünyada ve ülkemizde endüstriyel üretimin artmasıyla birlikte büyük miktarlarda atıksu üretimi ile ilgilidir. Ağır metaller, çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle deşarj edildikleri ortamlardaki kirletici miktarını azaltmak için deşarj parametreleri ile sınırlandırılmıştır. Bu sebeple, ağır metal içeren endüstriyel atıksular, insan ve çevre sağlığı açısından deşarj edilmeden önce arıtılmalı ve bu tip atıksuların arıtılması için ileri teknolojiler geliştirilmelidir.

Zn-Ni kaplama prosesinden kaynaklanan atıksuların, Diplexin Zn-07 koagülantı kullanılarak ağır metallerin çöktürme yöntemiyle atıksudan uzaklaştırılmasının araştırıldığı bu çalışmada, pH'ın ve Diplexin Zn-07 koagülantının dozaj miktarının giderim verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonuçları pH 8,5 değerinde, 0,14 mL Diplexin Zn-07 dozajında ve uygun işletme koşullarında %98'in üzerinde çinko ve nikel giderimlerinin mümkün olduğunu göstermiştir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, Tablo 15.5: Metal Sanayii (Elektrolitik Kaplama, Elektroliz Usulüyle Kaplama) atıksularının alıcı ortama deşarj standartlarında yer alan çinko ve nikel kirletici parametreleri için deşarj limitleri sağlanmıştır. Bununla birlikte atıksu hem yüksek pH değerlerine getirilmediği, hem de kompleks oluşturuculara tercihli bağlanan kimyasalların kullanılmaması sebebiyle kimyasal tüketiminde önemli avantajlar elde edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan kimyasal tüketimi 1,83 Euro/m³ atıksu olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, Diplexin Zn-07 koagülantı ile basit çöktürme yöntemleri kullanılarak kompleks olarak bağlı ağır metal gidermede etkin ve ekonomik bir arıtma yöntemi olduğunu ortaya koymuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

YAZAR KATKISI

Melike YALILI KILIÇ ve Pınar KUMBASAR çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikrinsel içeriğin eleştirel incelemesi ile son onay ve tam sorumluluk kısımlarına eşit oranda katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

1. Anwar, S., Khan, F., Zhang, Y. (2020) Electrochemical Analysis Of An Electrodeposited Zn-Ni Alloy Films Contained EDTA Stable Baths In 3.5 Wt% NaCl Solutions, *Materials Today: Proceedings*, Cilt 28, Bölüm 2, 532-537. doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.214
2. Arslan, T., Kabdaşlı, I., Alaton, İ., Ölmez, T., Tünay, O. (2008) Kompleks Olarak Bağlı Metal İçeren Atıksuların Elektrokoagülasyon Prosesi İle Arıtımı, *İTÜ Dergisi*, Cilt 18, Sayı 1, 42-52.
3. Arslan, T. (2008) *Kompleks Olarak Bağlı Ağır Metal İçerikli Atıksuların Elektrokoagülasyon İle Arıtımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Bhat, R.S. ve Manjunatha, K., B. (2020) Corrosion Performance Of Zinc Based Binary And Ternary Alloy Coatings, *Chemical Data Collections*, Cilt 28. doi.org/10.1016/j.cdc.2020.100440
5. Chen, Q., Yao, Y., Li, X., Lu, J., Zhou, J., Huang, Z. (2018) Comparison of Heavy Metal Removals From Aqueous Solutions By Chemical Precipitation And Characteristics Of Precipitates, *Journal of Water Process Engineering*, Cilt 26, 289-300. doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.003
6. Chandrasekar, M., S., Srinivasan, S., Pushpavanam, M. (2009) Properties Of Zinc Alloy Electrodeposits Produced From Acid And Alkaline Electrolytes, *Journal Of Solid State Electrochemistry*, Cilt 13, 781-789. doi:10.1007/s10008-008-0607-2
7. Chang, L., M., Chen, D., Liu, J., H., Zhang, R., J. (2009) Effects Of Different Plating Modes On Microstructure And Corrosion Resistance Of Zn-Ni Alloy Coatings, *Journal of Alloys and Compounds*, Cilt 479, Bölüm 1-2, 489-493. doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.12.108
8. Conrad, H., A., McGuire, M., R., Zhou, T., Coskun, M., İ., Golden, T., D. (2015) Improved Corrosion Resistant Properties Of Electrochemically Deposited Zinc-Nickel Alloys Utilizing A Borate Electrolytic Alkaline Solution, *Surface and Coatings Technology*, Cilt 272, 50-57. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.04.025
9. Costa, J., M., Costa, J., G., Neto, A., F. (2022) Techniques Of Nickel(II) Removal From Electroplating Industry Wastewater: Overview And Trends, *Journal Of Water Process Engineering*, Cilt 46. doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102593
10. Fu, F., Xie, L., Tang, B., Wang, Q., Jiang, S. (2012) Application Of A Novel Strategy—Advanced Fenton-Chemical Precipitation To The Treatment Of Strong Stability Chelated Heavy Metal Containing Wastewater, *Chemical Engineering Journal*, Cilt 189-190, 283-287. doi.org/10.1016/j.cej.2012.02.073
11. Ghaziof, S. ve Gao, W. (2014) Electrodeposition Of Single Gamma Phased Zn-Ni Alloy Coatings From Additive-Free Acidic Bath, *Applied Surface Science*, Cilt 311, 30, 635-642. doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.05.127
12. Gyliene, O., Aikaite, J., Nivinskiene, O. (2004) Recovery Of EDTA From Complex Solution Using Cu(II) As Precipitant And Cu(II) Subsequent Removal By Electrolysis, *Journal Of Hazardous Materials*, Cilt 116, Bölüm 1-2, 119-124. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.026
13. İslamoğlu, S., Yılmaz, L., Özbelge, H., O. (2006) Development Of A Precipitation Based Separation Scheme For Selective Removal and Recovery Of Heavy Metals from Cadmium Rich Electroplating Industry Effluents, *Separation Science And Technology*, Cilt 41, Bölüm 15. doi:10.1080/01496390600851665

14. Jerroumi, S., Amerine, M., Nour, H., Lekhlif, B., Jamal, J., E. (2020) Removal Of Nickel Through Sulfide Precipitation And Characterization Of Electroplating Wastewater Sludge, *Water Quality Research Journal*, Cilt 55, Bölüm 4, 345-357. doi:10.2166/wqrj.2020.116
15. Kabdaşlı, I., Arslan, T., Arslan, A., I., Ölmez, H., T., Tünay, O. (2009) Complexing Agent And Heavy Metal Removals From Metal Plating Effluent By Electrocoagulation With Stainless Steel Electrodes, *Journal Of Hazardous Materials*, Cilt 165, Sayı 1-3, 838-845. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.065
16. Liu, Y., Liu, G., Wang, H., Wu, P., Yan, Q., Vayenas, D., V. (2021) Elongation The Duration Of Steel Anode With Polypyrrole Modification During The Electrocoagulation Treatment Process Of Electroplating Wastewater, *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, Cilt 9, Bölüm 2. doi.org/10.1016/j.jece.2020.104969
17. Malakootian, M., Yousefi, N., Fatehizadeh, A., Ginkel, S., W., V., Ghorbani, M., Rahimi, S., Ahmadian, M. (2015) Nickel (II) Removal From Industrial Plating Effluent By Fenton Process, *Environmental Engineering And Management Journal*, Vol 14, No.4, 837-842. doi:10.30638/eej.2015.093
18. Molinari, R., Poerio, T., Argurio, P. (2007) Chemical And Operational Aspects In Running The Polymer Assisted Ultrafiltration For Separation Of Copper(II)-Citrate Complexes From Aqueous Media, *Journal Of Membrane Science*, Cilt 295, Bölüm 1-2, 139-147. doi.org/10.1016/j.memsci.2007.03.002
19. Müller, C., Sarret, M., Benballa, M. (2002) Complexing Agents For A Zn-Ni Alkaline Bath, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Cilt 519, Bölüm 1-2, 85-92. doi.org/10.1016/S0022-0728(01)00725-2
20. Petrauskas, A., Grinceviciene, L., Cesuniene, A., Matulionis, E. (2005) Stripping Of Zn-Ni Alloys Deposited In Acetate-Chloride Electrolyte Under Potentiodynamic And Galvanostatic Conditions, *Surface And Coatings Technology*, Cilt 192, Bölüm 2-3, 299-304. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.08.191
21. Strawn, D., G. ve Baker, L., L. (2009) Molecular Characterization Of Copper In Soils Using X-ray Absorption Spectroscopy, *Environmental Pollution*, Cilt 157, Bölüm 10, 2813-2821. doi.org/10.1016/j.envpol.2009.04.018
22. Tsai, T., H., Chou, H., W., Wu, Y., F. (2020) Removal Of Nickel From Chemical Plating Waste Solution Through Precipitation And Production Of Microsized Nickel Hydroxide Particles, *Separation And Purification Technology*, Cilt 251. doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117315
23. Tunay, O., Kabdaşlı, I., Taşlı, R. (1994) Pretreatment Of Complexed Metal Wastewaters, *Water Science And Technology*, Cilt 29, Bölüm 9. doi:10.2166/wst.1994.0494
24. Tunay, O. ve Kabdaşlı, N., I. (1994) Hydroxide Precipitation Of Complexed Metals, *Water Research*, Cilt 28, Bölüm 10. doi:10.1016/0043-1354(94)90022-1
25. Tunay, O., Kabdaşlı, I., Hung, Y. (2004) Handbook Of Industrial And Hazardous Wastes Treatment, Second Edition, Basel, ISBN: 978-082-4741-143.
26. Wang, T., Cao, Y., Qu, G., Sun, Q., Xia, T., Guo, X., Jia, H., Zhu, L. (2018) Novel Cu(II)-EDTA Decomplexation By Discharge Plasma Oxidation And Coupled Cu Removal By Alkaline Precipitation: Underneath Mechanisms, *Environmental Science & Technology*, Cilt 52, Bölüm 14, 7884-7891. doi:10.1021/acs.est.8b02039
27. Wang, H., Wang, H., Zhao, H., Yan, Q. (2020) Adsorption And Fenton-Like Removal Of Chelated Nickel From Zn-Ni Alloy Electroplating Wastewater Using Activated Biochar

Composite Derived From Taihu Blue Algae, *Chemical Engineering Journal*, Cilt 379. doi.org/10.1016/j.cej.2019.122372

28. Ye, S., Chen, Y., Yao, X., Zhang, J. (2021) Simultaneous Removal Of Organic Pollutants And Heavy Metals In Wastewater By Photoelectrocatalysis: A Review, *Chemosphere*, Cilt 273. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128503
29. Yüksel, B. (2007) *Ni-Fe-B Ve Co-Ni-Fe-B Üçlü Ve Dörtlü Alaşımların Elektrolitik Olarak Kaplanması, Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
30. Zhu, Y., Fan, W., Zhou, T., Li, X. (2019) Removal Of Chelated Heavy Metals From Aqueous Solution: A Review Of Current Methods And Mechanisms, *Science Of The Total Environment*, Cilt 678, 253-266. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.416

