حذف نیکل از محیط‌های آبی با استفاده از نانو لوله‌های کربنی

محمدتقی صمدی[1] زهرا کاشی‌تراش اصفهانی[2] فریبا آهنگری[3]
شهین احمدی[3] سید جواد جعفری[4]

(دریافت ۹۰/۱۰/۱ پذیرش ۹۱/۳/۳۰)

چکیده

نیکل یکی از فلزات سنگین در آبهای سطحی است که از جمله اثرات مخرب آن سرطان‌های استخوان و ریه، سیانوزیت، سردردهای مزمن، سرگیجه، درد در ناحیه سینه، سستی بدن و ضعف عمومی بالا است. مطالعه مورد نظر به‌منظور تعیین کارایی نانو لوله‌های کربنی در حذف نیکل از محیط‌های آبی انجام شد. آزمایش‌ها به‌صورت ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای مؤثر در واکنش مانند pH، زمان ماند و غلظت نانو لوله‌های کربنی صورت گرفت و کارایی حذف با استفاده از آزمون آماری فریدمن و نرم‌افزار SPSS-16 مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین راندمان حذف در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو لوله کربنی، pH برابر ۱۰ و زمان ماند ۱۰ دقیقه و به‌میزان ۸۲/۵ درصد برای نمونه با غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل به‌دست آمد. نتایج این طرح نشان داد که نانو لوله‌های کربنی از توانایی بالایی در جذب نیکل با غلظتهای بالا در محیط‌های آبی برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: نیکل، تصفیه، نانو لوله‌های کربنی، فلزات سنگین، جذب

Nickel Removal from Aqueous Environments Using Carbon Nanotubes

Mohammad Taghi Samadi [1] Zahra Kashitarash Esfahani [2] Fariba Ahangari [3]
Shahin Ahmadi[3] Seyed Javad Jafari[4]

(Received Dec. 26, 2011 Accepted June 19, 2012)

Abstract

Nickel is one of the heavy metals in the surface water that its Harmful effects can include bone and lung cancers, cyanosis, chronic headaches, dizziness, and chest pain and body weakness. This study has been performed to determine the efficiency of reducing nickel from aqueous environments by using carbon nanotubes. Experiments were performed in batch reactor and changing effective factors such as pH, time and concentration of carbon nanotubes. Removal efficiency was investigated using a Friedman statistical test, software SPSS-16.The highest removal efficiency was 82.5% at a concentration of 100 mg/L of carbon nanotubes, pH = 10, retention time of 10 min and nickel concentrations of 40 mg/L. The results showed that carbon nanotubes have a high ability to absorb high concentrations of nickel in the aquatic environment.

Keywords: Nickel, Treatment, Carbon Nanotube, Heavy Metal, Absorption.

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان
۲- مدرس دانشگاه جامع علمی کاربردی و دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، دانشگاه صنعت آب و برق، تهران (نویسنده مسئول) ۷۳۱۲۷۸۰ (۰۲۱)
Health.engineering@gmail.com
۳- کارشناس بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
٤- دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

1. Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health and Health Sciences Research Center, Hamedan University of Medical Sciences, Hamdean
2. Instructor of Applied Science and Tech. University and Ph.D. Student of Environmental Eng., Power and Water University of Tech., Tehran (Corresponding Author)(+98 21) 7312780 Health. engineering@gmail.com
3.B.S. of Environmental Health, Faculty of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan
4. Ph.D. Student of Environmental Health Eng., Tarbiat Modares University, Tehran

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

نیکل یکی از عمومی‌ترین فلزات سنگین در آبهای سطحی است. ورود منابع آلوده شهری ممکن است این مقادیر را بیش از پنج برابر حالت عادی افزایش دهد. هر چند مقادیر کم نیکل برای تولید سلول‌های قرمز خون در بدن انسان نیاز است، در مقادیر بالا تا حدودی می‌تواند سمّی باشد. به‌نظر می‌رسد نیکل در کوتاه مدت مشکلاتی ایجاد نمی‌کند اما در طولانی مدت می‌تواند باعث کاهش وزن بدن، صدمه به قلب و کبد، تحریک و حساسیت بالا شود. نیکل می‌تواند در آبزیان تجمع یابد. نیمه عمر نیکل حدود ۱۱ ساعت است. بیشترین غلظت نیکل در استخوان، ریه، کلیه و کبد دیده می‌شود. سمّی‌ترین ترکیب نیکل که اغلب در کارخانه‌ها مشاهده می‌شود، کربونیل نیکل است. سمیّت نیکل به‌صورت آلرژی، سرطان و اختلالات تنفسی دیده می‌شود.

نیکل در اغلب فاضلابهای صنعتی، کارخانجات تولید باتری، کارخانجات پالایش نقره و همچنین در برخی از صنایع تولیدکننده آلیاژهای فلزی و حتی شیرابه حاصل از محلهای دفن به‌وفور یافت می‌شود. از جمله اثرات مخرب نیکل فلزی می‌توان به سرطان‌های استخوان و ریه، سیانوزیت، سردردهای مزمن، سرگیجه، درد در ناحیه سینه، سستی بدن و ضعف عمومی بالا اشاره کرد. به این دلیل سازمان بهداشت جهانی[1] در آخرین اطلاعیه‌های خود مقدار استاندارد نیکل را در آب آشامیدنی کمتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر اعلام نموده‌است [۱-۳].

روشهای مختلفی برای حذف فلزات سنگین از جمله نیکل و خارج نمودن آنها از محیط‌های آبی وجود دارد که به‌طور عمده شامل روشهای شیمیایی و بیولوژیک است. از جمله روشهای شیمیایی می‌توان به خنثی‌سازی ترکیبی به‌کمک سود، آهک یا کربنات سدیم اشاره کرد. روشهای دیگر عبارت‌اند از: حذف فلزات سنگین به‌روش جذب بیولوژیکی از محلولهای آبی، حذف فلزات سنگین از محیط آبی توسط جذب سطحی بر روی پوست موز اصلاح شده، استفاده از خاک اره در حذف فلزات صنعتی، حذف فلزات سنگین از فاضلاب با کمک بیوراکتور غشایی، حذف و یا کاهش غلظت فلزات سنگین سمّی از محیط آبی به‌کمک امواج فراصوتی، پاکسازی پسابهای معدنی از کاتیون‌های سنگین با استفاده از زئوسیت‌های طبیعی ایران [۱-۳].

در دهه‌های اخیر کاربرد نانو فناوری در تصفیه آلاینده‌ها با توجه به سهولت و اقتصادی بودن استفاده از آنها در مقایسه با روشهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی متداول توسعه بیشتری یافته است[۴-۷]. گزارشهای زیادی در مورد استفاده از نانو فناوری به‌عنوان فرایند تصفیه و حذف آلاینده‌ها از محیط زیست وجود دارد. طی تحقیقات به‌عمل آمده، نانو ذره آهن در حالت فلزی قابلیت زیادی در کاهش میزان فلزات سنگین نشان داده است[۵، ۸ و ۹]. رحیمی در بررسی خود امکان استفاده از نانو ذرات آهن به‌عنوان جاذب برای حذف نیکل از پسابهای صنعتی و تأثیر پارامترهای مختلف مانند pH، زمان تماس، غلظت اولیه نیکل و همچنین اثر دز نانو ذره و دما را مورد بررسی قرار داده است. نتایج نشان داده که شرایط بهینه برای دز نانو ذره برابر با ۷ میلی‌گرم در ۱۰ میلی لیتر محلول و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس است [۳].

از طرفی تحقیقات و پیشرفتهای وسیعی در جهان برای شناسایی کاربردهای نانو لوله‌های کربنی[2] در صنعت آب و فاضلاب در حال انجام است و اخیراً قابلیت استفاده از آنها در صنعت آب و فاضلاب مطرح شده است. اما مطالعات صورت گرفته در رابطه با توانایی نانو لوله‌های کربنی در جذب فلزات سنگین بسیار محدود بوده است. در این خصوص می‌توان به مطالعات استفیجی[3] اشاره کرد که به بررسی کاربردها و قابلیت‌های نانولوله‌های کربنی در حذف فلزات سنگین از جمله نیکل پرداخته است و تأثیر فاکتورهای مختلف از جمله pH، زمان واکنش و غلظت نانولوله‌ها را در این خصوص بررسی کرده است. وی مشخص ساخت که در pH برابر ۹ میل ترکیب یون‌های فلزی نسبت به CNTs به‌ترتیب زیر است:

$$Cu(II) > Pb(II) > Co(II) > Zn(II) > Mn(II)$$

و در در pH=7-9 به قرار زیر است[۱۰ و ۱۱]:

$$Cu(II) > Pb(II) > Zn(II) > Co(II) > Ni(II) > Cd(II) > Mn(II)$$

کاندا و همکاران[4] در مطالعه خود مشخص نموده‌اند که نانو لوله‌های کربنی از ظرفیت جذب بالایی به‌عنوان یک جاذب در جذب یون دوظرفیتی نیکل برخوردارند و زمان جذب کوتاهی تا رسیدن به تعادل نیاز دارند [۱۲]. لی و همکاران[5] نیز مطالعاتی بر روی حذف فلز سرب از محیط‌های آبی توسط نانو لوله‌های کربنی با مورفولوژی‌های مختلف انجام داده‌اند که مشخص شد نانو لوله‌های کربنی دارای ترک‌های بیشتر خاصیت جذب بالاتر دارند[۱۳]. نانو لوله‌های کربنی، ساختارهای حلقوی توخالی متشکل از اتم‌های کربن هستند که می‌توانند به شکل تک یا چند جداره آرایش یابند و دارای خواص فلزی یا شبه رسانایی نیز هستند [۵ و ۱۰]. نانولوله‌های کربنی دارای سطح ویژه بسیار بالا، نفوذپذیری

[1] World Health Organization (WHO)

[2] Carbon Nano-Tubes (CNTs)

[3] Stafiej

[4] Kanduha et al.

[5] Li et al.

Archive of SID
www.SID.ir

زیاد و پایداری حرارتی و مکانیکی خوبی هستند. اگر چه تخلخل نانولوله‌های کربنی به‌طور قابل توجهی کوچک است، غشاهای نانولوله‌ای نشان داده‌اند که به‌خاطر سطح داخلی صاف نانولوله‌ها، شدت جریان بیشتر یا یکسانی نسبت به تخلخل‌های بسیار بزرگ‌تر دارند. این مواد بادوام و در برابر گرما مقاومند و تمیز کردن و استفاده مجدد از آنها ساده است. غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند تقریباً همه انواع آلودگی‌های آب را حذف کنند. این آلودگی‌ها می‌توانند شامل باکتری، ویروس، ترکیبات آلی و کدورت باشد [۵، ۱۰-۱۲ و ۱۴]

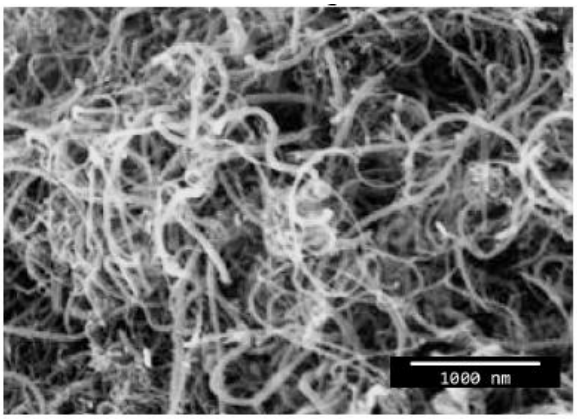
هدف از انجام این مطالعه تعیین کارایی نانو لوله‌های کربنی درحذف نیکل از محیط‌های آبی بود.

جدول ۱- خصوصیات نانولوله کربنی مورد استفاده

شکل ظاهری	پودر سیاه‌رنگ
تعداد دیواره‌ها	۳-۱۵
مساحت سطح ویژه (BET, N2)	Ca ۲۴۰ g/m^2
قطر خارجی/قطر داخلی	۵-۲۰ nm / ۲-۶ nm / ۱-۱۰μm
درصد خلوص کربن	> ۹۵٪
دانسیته	۱۵۰-۳۵۰g/cm^3

۲- مواد و روشها

این تحقیق یک مطالعه مقطعی کاربردی- بنیادی است که به‌منظور تعیین کارایی نانو لوله‌های کربنی در حذف نیکل از محیط‌های آبی صورت گرفت. خصوصیات نانو لوله‌ها در جدول ۱ و شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق، با توجه به گستردگی مقادیر نیکل در محیط‌های آبی خصوصاً فاضلابهای صنعتی و شیرابه حاصل از محلهای دفن غلظتی از نیکل انتخاب گردید که روشهای قبلی یا قادر به حذف آن نبوده‌اند و یا مقادیر نهایی نیکل آنها بالاتر از حد استاندارد جهانی بوده است. به‌همین‌منظور در مرحله اول طبق روش استاندارد، محلول نیکل از نمک فلزی آن تهیه گردید. به این ترتیب که مقدار ۴/۰۶ گرم نمک کلرونیکل، با فرمول شیمیایی $NiCl_2+4H_2O$ با آب مقطر به حجم یک لیتر رسانده شد. این محلول حاوی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر یون نیکل بود. سپس از این محلول غلظت مورد نظر تهیه گردید که در این رابطه غلظت ۴۰ppm نیکل انتخاب شد. آزمایش‌ها در داخل بشر و به‌صورت ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای pH، زمان ماند و غلظت نانو لوله‌های کربنی صورت گرفت. متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق بر اساس دستورالعمل‌های ارائه شده در کتاب روشهای استاندارد مورد آزمایش قرار گرفتند [۱۵].تأثیر pH در دامنه ۴، ۷ و ۱۰، زمان تماس در مقادیر ۵ و ۱۰ و ۲۵ و ۴۰ دقیقه و نانولوله کربنی در غلظتهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ و ۱۲۵میلی‌گرم در لیتر بر کارایی حذف مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی اثر و کارایی هریک از فاکتورهای ذکر شده، آزمایش‌ها با تغییر هر فاکتور مؤثر در مقادیر متفاوت و با ثابت نگه داشتن سایر فاکتورها در مقدار بهینه صورت گرفت[۱۶]. ابتدا نمونه‌ها برای به‌دست آوردن مقدار مناسبی از نانو لوله کربنی که بتواند نیکل را در حد مطلوب جمع‌آوری کند، آزمایش شدند. مقادیر متفاوت نانو لوله در غلظتهای ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۲۵میلی‌گرم در لیتر، انتخاب و به نمونه‌ها افزوده شد. پس از آن به محلولها اجازه داده شد برای مدت زمان خاصی ساکن باقی بمانند تا نانو لوله در محلول ته‌نشین گردد. سپس نانو لوله از محلول نمونه خارج گردید و باقیمانده نیکل محلول به‌روش جذب اتمی تعیین مقدار شد [۱۵].



شکل ۱- تصویر SEM نانو لوله کربنی مورد استفاده

جهت افزایش ضریب اطمینان و صحت و دقت آزمایش‌ها، عملیات نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها در هر مرحله سه بار تکرار شد [۱۶].

در نهایت با اعمال مقادیر انتخابی، کارایی نانو لوله‌های کربنی با استفاده از آزمون آماری فریدمن[1] و نرم‌افزار SPSS-16 مورد مقایسه قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

نتایج تغییرات زمان تماس، غلظت نانولوله‌های کربنی و pH در شکلهای ۲ تا۴ ارائه شده است.

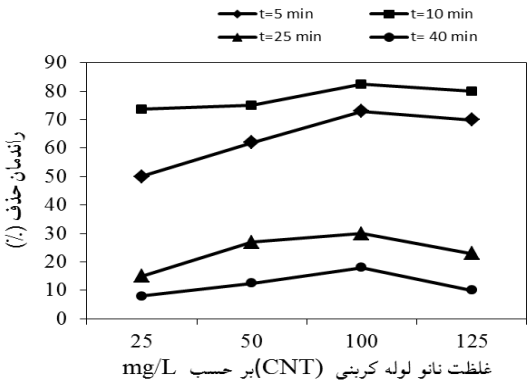
۳-۱- بررسی تأثیر تغییرات همزمان زمان تماس و غلظت نانو لوله کربنی بر کارایی حذف نیکل

در این مرحله از آزمایش‌ها با ثابت در نظر گرفتن pH در مقدار ۱۰ و غلظت نیکل در ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، تأثیر تغییرات همزمان دو

[1] Freidman Test

www.SID.ir
Archive of SID

پارامتر زمان تماس و غلظت نانو لوله کربنی بر کارایی حذف نیکل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- بررسی تأثیر تغییرات زمان تماس و غلظت نانو لوله کربنی بر کارایی حذف نیکل($T=18\pm1\ ^{O}C$ ،pH=10، غلظت نیکل = ۴۰mg/L)

تجزیه و تحلیل نتایج این مرحله از آزمایش‌ها توسط آزمون آماری فریدمن (ناپارامتری) انجام گردید که این نتایج اختلاف معنی‌داری برای سطوح زمان تماس در سطوح متغیر غلظت نانو لوله کربنی را نشان می‌دهد ($p\text{-value}<0/05$). یعنی تغییرات زمان تماس و نانو لوله کربنی باعث تغییر کارایی حذف نیکل می‌گردد که این تغییرات به‌صورت افزایشی است. به‌عبارت دیگر افزایش زمان تماس و غلظت نانو ذرات باعث افزایش کارایی حذف می‌گردد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان تماس تا ۱۰ دقیقه و غلظت نانو لوله کربنی تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر کارایی حذف نیکل افزایش می‌یابد. کارایی حذف نیکل در زمان تماس ۵ دقیقه و غلظت نانو ذرات ۰/۱ گرم در لیتر، ۷۳ درصد بوده و با افزایش زمان تماس به ۱۰ دقیقه، این کارایی به ۸۲/۵ درصد افزایش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد که نانو لوله کربنی قادر است در مدت زمان کوتاه‌تری نسبت به سایر حذف کننده‌ها نیکل را از آب حذف نماید. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که به‌علت سطح مؤثر قابل توجه نانو لوله انتخابی، مقدار ۰/۱ گرم نانو لوله بازدهی قابل توجهی دارد و با اطمینان می‌توان گفت که این مقدار از نانو لوله قابلیت حذف ۸۲ درصد یون نیکل را در غلظتهای فوق‌العاده زیاد (۴۰ppm) داراست. در حالی که این مقدار در روشهای مشابه و معتبر قبلی پنج گرم ماده جاذب برای غلظت ۱۵ppm نیکل گزارش شده است. همچنین نتایج حاصله مؤید این مطلب بودند که زمان مناسب برای حذف کامل آلودگی هنگامی که غلظت نیکل ۴۰ ppm است، ۱۰ دقیقه می‌باشد در حالی که درآزمایش‌های متعدد قبلی حداقل زمان مؤثر جهت حذف کامل نیکل یک ساعت گزارش شده است. همچنین مشخص گردید که در بالاتر و پایین‌تر از این مدت زمان، بازدهی نانو لوله برای حذف نیکل به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت[۱].

در مورد کاهش کارایی حذف در زمان بیشتر از ۱۰ دقیقه این‌طور به‌نظر می‌رسد که افزایش زمان تماس بیشتر از ۱۰ دقیقه باعث شده است تا کارایی حذف به‌دلیل رخ دادن پدیده واجذب کاهش یابد. علت افزایش کارایی حذف با افزایش غلظت نانو لوله، افزایش محلهای فعال سطحی جذب و امکان برخورد بیشتر نیکل موجود در محلول با نانو لوله و افزایش واکنش‌های اکسیداسیون و احیا است. اما توجه به این نکته ضروری است که افزایش غلظت نانو لوله از ۰/۱گرم در لیتر به ۱/۲۵ گرم در لیتر در شرایط ذکر شده سبب کاهش کارایی حذف گردید. این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر اضافی یون‌های حاصل از نانو لوله می‌توانند سبب ایجاد کدورت در محلول و مانع انجام عمل تصفیه در اثر ایجاد تداخل و در نتیجه کاهش کارایی تصفیه گردند [۱۰-۱۲]. کاندا و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان دادند که نانو لوله‌های کربنی بالاترین راندمان حذف نیکل را در زمان تعادلی ۱۰ دقیقه و در غلظت ۳۷ میلی‌گرم بر گرم نشان می‌دهند [۱۲].

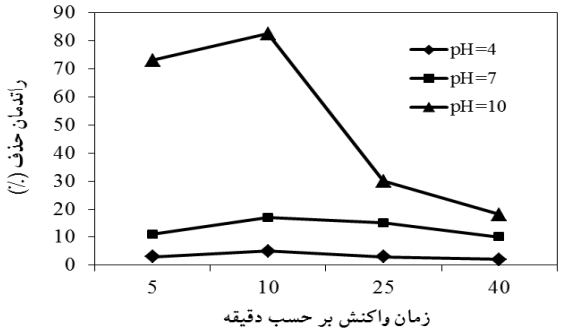
مطالعه رستگار نشان داده است که مقدار ۰/۰۳ گرم نانو پودر آهن قابلیت حذف کامل یون نیکل را در غلظتهای خیلی کم داراست، همچنین زمان مناسب برای حذف کامل آلودگی هنگامی که غلظت نیکل ۱۵ppmاست، ۲۰ دقیقه می‌باشد. همچنین در این پژوهش مشخص گردیده که در بالاتر و پایین‌تر از این مدت زمان، بازدهی نانو پودر برای حذف نیکل به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت [۱]. ایرانشاهی در سال ۱۳۸۷ نشان داده است که با افزایش pH از ۲ به ۱۲، میزان درصد جذب نیکل از ۱۵ درصد به ۹۹/۹۸۵ افزایش می‌یابد. بیشترین جذب نیکل در ده دقیقه اول انجام شده و با افزایش غلظت نانو ذرات از ۲ به ۵، میزان درصد جذب از ۵۰ به ۹۹/۹۸۰ درصد افزایش یافته است. با کاهش pH محلول به مقدار ۲، مقدار ۷۰ درصد از نیکل وا جذب شده که نمایانگر برگشت‌پذیر بودن محدود فرایند واجذب نیکل بر نانو ذرات مگنتیت است [۳].

۳-۲- بررسی تأثیر تغییرات همزمان زمان تماس و pH بر کارایی حذف نیکل توسط نانو لوله کربنی

در این مرحله از آزمایش‌ها غلظت نانولوله کربنی (۰/۱ گرم در لیتر) و غلظت نیکل(۴۰ میلی گرم در لیتر) ثابت در نظر گرفته شد و تأثیر تغییرات همزمان زمان تماس و pH بر کارایی حذف مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج در شکل ۳ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

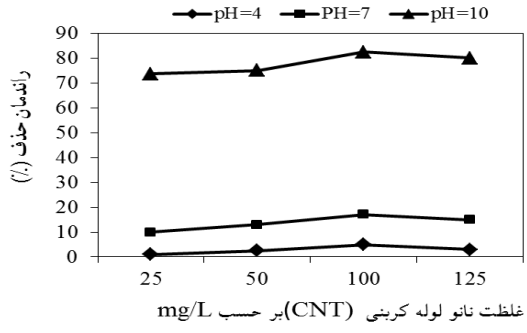


شکل ۳- بررسی تاثیر تغییرات زمان تماس و pH بر کارایی حذف نیکل:($T=18\pm1\ ^{O}C$,$CNT=0.1gL^{-1}$ ، غلظت نیکل = $40\ mgL^{-1}$)

در مورد حذف نیکل توسط نانو لوله کربنی، نتایج آزمون آماری فریدمن (ناپارامتری) برای سطوح زمان تماس در سطوح متغیر pH، اختلاف معنی‌داری به‌دست آمد (p-value <0/05). یعنی تغییرات زمان تماس و pH باعث تغییر کارایی حذف نیکل توسط نانو لوله کربنی می‌گردد که این تغییر با افزایش زمان تماس تا ۱۰ دقیقه به‌صورت افزایشی است. همچنین کارایی حذف با pH رابطه مستقیم دارد (شکل ۳). بر اساس این نتایج با افزایش زمان تماس تا ۱۰ دقیقه در همه مقادیر pH (۴، ۷ و ۱۰)، کارایی حذف نیکل افزایش می‌یابد و در مقادیر بیشتر از ۱۰ دقیقه، کاهش حذف مشاهده می‌شود. برای مثال در pH برابر با ۱۰ با افزایش زمان تماس از ۵ به ۱۰ دقیقه، کارایی حذف از ۷۳ به ۸۲/۵ درصد افزایش می‌یابد. افزایش کارایی در مقادیر pH بالاتر مشهودتر است. یعنی با افزایش زمان تماس از ۵ به ۱۰ دقیقه کارایی حذف در pH های ۴، ۷ و ۱۰ به‌ترتیب ۲، ۶ و ۹/۵ درصد افزایش داشته است. نتایج این تحقیق نشان داد که نانو لوله های کربنی در محدوده pH قلیایی یعنی pH برابر ۱۰ از توانایی بالاتری در حذف نیکل برخوردار هستند. نتایج مطالعات استفیجی و همکاران در رابطه با حذف فلزات سنگین از قبیل کادمیم، نیکل، سرب و مس توسط نانو لوله‌های کربنی از آب و فاضلاب نشان داده است که با افزایش pH از ۵ به ۹ راندمان حذف نانو لوله‌های کربنی افزایش می‌یابد که با این تحقیق همخوانی دارد. استفیجی نتایج تحقیق خود را چنین توجیه کرده است که با افزایش pH ، بار سطحی نانو لوله‌های کربنی بیشتر منفی می‌گردد که این خود سبب ایجاد واکنش‌های الکتروستاتیک می‌گردد و در نتیجه یون‌های فلزی با بار مثبت مانند نیکل را بهتر جذب می‌کنند [۱۰ و ۱۱]. مطالعه لی و همکاران در سال ۲۰۰۳ در رابطه با جذب سرب، مس و کادمیم توسط نانو لوله‌های کربنی نشان داد که بیشترین میزان جذب در دمای اتاق، pH اسیدی (برابر ۵) و غلظت تعادل یون فلزی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اتفاق می‌افتد [۱۴]. مقدار pH نقش مهمی در جذب یون‌های ذره‌ای توسط نانو لوله‌های کربنی ایفا می‌کند. هنگامی‌که pH محلول بالاتر از pHPZC باشد (pH=۸/۵)، بار منفی موجود در سطح سبب ایجاد واکنش‌های الکتروستاتیک می‌گردد که در جذب گونه‌های کاتیونیک (اغلب فلزات سنگین) مؤثر است. اما زمانی‌که pH محلول پایین‌تر از pHPZC باشد(تحت شرایط اسیدی) در سطح نانو لوله‌های کربنی بار مثبت ایجاد می‌گردد که در جذب گونه‌های آنیونی مؤثر است لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که مواد آلی دارای بار منفی در شرایط اسیدی توسط نانولوله‌های کربنی به‌خوبی حذف می‌گردند [۱۰ و ۱۱].

۳-۳- بررسی تأثیر تغییرات همزمان غلظت نانولوله کربنی و pH بر کارایی حذف نیکل

در این مرحله از آزمایش‌ها، زمان تماس (۱۰ دقیقه) و غلظت نیکل (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) ثابت در نظر گرفته شد و با تغییر غلظت نانولوله کربنی و pH، تأثیر این دو پارامتر بر کارایی حذف مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج در شکل ۴ داده شده است.



شکل ۴- بررسی تاثیر تغییرات غلظت نانولوله کربنی و pH بر کارایی حذف نیکل (زمان تماس ۱۰ دقیقه و$T=18\pm1\ ^{O}C$ ، غلظت نیکل = $40\ mgL^{-1}$)

آزمون آماری فریدمن نشان دهنده اختلاف معنی‌داری برای سطوح مختلف غلظت نانو لوله کربنی در سطوح متغیر pH برای نیکل بود (p-value<0/05). یعنی تغییرات pH و غلظت نانو لوله کربنی بر کارایی حذف مؤثر است. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، افزایش غلظت تأثیر چندانی در کارایی حذف نداشته است. مثلاً با افزایش غلظت از ۵۰ به ۱۰۰، میزان کارایی کمتر از ۱۰ درصد افزایش داشته است بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که در اینجا عامل اصلی تغییر کارایی، pH است.

بر اساس این نتایج در pH های مختلف، افزایش غلظت نانو لوله کربنی تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش کارایی حذف می‌گردد. در pH برابر ۷ با افزایش غلظت نانو ذرات از ۰/۰۵ به ۰/۱ گرم در لیتر، کارایی حذف نیکل از ۱۳ به ۱۷ درصد افزایش می‌یابد. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شده است با افزایش pH ، کارایی

Archive of SID

www.SID.ir

حذف افزایش می‌یابد. با افزایش pH از ۴ به ۱۰ در غلظت نانو لوله کربنی ۰/۱ گرم در لیتر، کارایی حذف نیکل از ۵ به ۸۲/۵ درصد می‌رسد. در غلظت نانو لوله کربنی ۰/۰۵ گرم در لیتر، کارایی با تغییر pH از ۴ به ۱۰، ۷۲/۵ درصد افزایش نشان می‌دهد. چون محدوده تغییرات کارایی حذف در اثر تغییر pH بیشتر از محدوده آن در هنگام تغییر غلظت نانو لوله کربنی است، به‌نظر می‌رسد که pH در مقایسه با غلظت نانو لوله کربنی تأثیر بیشتری بر کارایی حذف داشته باشد و با افزایش pH اثر غلظت نانو لوله کربنی کمرنگ‌تر می‌شود. اثر pH به‌تنهایی و بدون اضافه کردن نانو لوله نیز مورد بررسی قرار گرفت و کارایی حذف نیکل در این حالت حدود ۴۲ درصد بود که با اضافه نمودن نانو لوله این کارایی به بیش از دو برابر افزایش یافت.

در pH بالا تغییرات غلظتهای نانو لوله کربنی تأثیر کمی بر میزان کارایی حذف دارد. بنابراین غلظت نانو لوله کربنی نسبت به pH تأثیر کمتری بر کارایی حذف دارد و pH فاکتور مهم‌تری در فرایند محسوب می‌شود. افزایش محلهای فعال سطحی برای جذب نیکل و افزایش واکنش‌های اکسیداسیون احیای ناشی از افزایش غلظت نانولوله کربنی و تأثیر نیروی جاذبه ناشی از بارهای غیرهمنام بین نیکل و نانو لوله کربنی در pH های بالا را می‌توان از علل حذف بیان نمود.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از فناوری نانو در حذف آلاینده‌های زیست محیطی از جمله روشهایی است که در سالهای اخیر توجه زیادی را به‌خود جلب کرده است. در این تحقیق حذف نیکل با استفاده از نانو لوله‌های کربنی با تاکید بر تغییرات pH، زمان تماس، غلظت نیکل و غلظت نانو لوله‌های کربنی مورد بررسی قرار گرفت.

نانو لوله‌های کربنی یک عامل تصفیه ابداعی است که می‌تواند آلاینده‌های زیادی را حذف نماید. از جمله این آلاینده‌ها می‌توان به فلزات سنگین، حشره‌کشها، علف‌کشها، رنگها، هیدروکربن‌های کلرینه اشاره نمود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نانو لوله‌های کربنی می‌توانند در مدت زمان کوتاهی در حد ۱۰ دقیقه و در pH برابر ۱۰، راندمان حذف معادل ۸۵ درصد داشته باشند که این راندمان برای غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر نیکل که غلظت بالایی است، راندمان قابل توجهی است. در این فرایند، با افزایش pH، کارایی حذف افزایش یافته و در pH قلیایی(pH= ۱۰) بیشترین حذف صورت گرفت.

۵- قدردانی

از خانم مهندس فاطمه ناظمی و آقای مهندس ذوالقدر نسب به خاطر همکاری در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

1- Rastgar, F., Keshavarzi, S., and Ghayeb, Y. (2006). *Heavy metals removal from water using nano-particles and osmosis, in Isfahan university of Technology*, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Persian)

2- Iranshahi, D., Abedini, A., Malakautikhah, J., and faghai., Z., (2008). *Nickel metal ions removal from industrial wastewater in non-aerobic conditions using magnetic iron oxide nanoparticles*, Engineering Chemistry - Process Design of Tehran University, Tehran University, Tehran. (In Persian)

3- Rahimi, S. (2011). Nickle removal from industrial wastewater using iron nanoparticles, *First Environmental Remediation Technologies Conference*, Sharif University of Tech., Tehran.

4- Tratnyek, P.G., and Johnson, R.L. (2006). *Nanotechnologies for environment cleanup*, Oregon Health and Science University, Portland, OR.

5- Kashitarash Esfahani, Z., Samadi, M.T., Alavi, M., Manuchehrpoor, N., and Bakhani, M. (2012). "Efficiency of carbon nanotubes in municipal solid waste landfill leachate treatment (case study: Hamadan landfill leachate)." *J. of Water and Wastewater*, 82, 67-72. (In Persian)

6- Kashitarash Esfahani, Z. (2011). *Investigating of the efficiency of carbon Nano-tubes in the decreasing COD, BOD_5, TS and color of landfills leachate,* Find Report, Hamadan University of Medical Science, Hamedan.

7- Kashitarash Esfahani, Z., Samadi, M.T., Naddafi, K., Afkhami, A., and Rahmani, A.R. (2012). "Application of iron nanaoparticles in landfill leachate treatment (Case study: Hamadan landfill leachate)." *Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering (IJEHSE),* (Impress). (In Persian)

8- Sung, H., and Francis, I. (2006). *Nanotechnology for environmental remediation*, Springer Science + Business Media, USA.

Archive of SID
www.SID.ir

9- Samadi, M.T., Kashitarash Esfahani, Z., and Naddafi, K. (2013). "Comparison the efficiency of fenton and "nZVI + H2O2" in municipal solid waste landfill leachate treatment (Case study: Hamadan landfill leachate)." *International Journal of Environmental Research (IJER)*, 7(1), 187-194.

10- Stafiej, A., and Pyrzynska, K. (2008). "Extraction of metal ions using carbon nanotubes." *Microchemical Journal*, 89, 29-33.

11- Stafiej, A., and Pyrzynska, K. (2007). "Adsorption of heavy metal ions with carbon nanotubes." *Separation and Purification Technology*, 58, 49-52.

12- Kandaha, M.I., and Meunier, J.-L. (2007). "Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes." *J. of Hazardous Materials*, 12(1-2), 283-288.

13- Li, Y.H., Zhu, Y., Zhao, Y., Wu, D., and Luan, Z. (2006). "Different morphologies of carbon nanotubes effect on the lead removal from aqueous solution." *Diamond and Related Materials*, 15, 90-94.

14- Li, Y.H., Zhao, Y., M., Hu, W. B., Ahmad, I., Zhu, Y. Q., Peng, X.J. and Luan, Z.K. (2007). "Carbon nanotubes the promising adsorbent in wastewater treatment." *J. of Physics*, 61, 698-702.

15- APHA. and WPCF. (2005). *Standard method for the examination of water and wastewater*, 21th Ed., Washingon, D.C.

16-Rahmani, A.R., Kashitarash Esfahani, Z., and Abbassi, M. (2011). "Investigating iron removal from water by using of pumice stone." *J. of Water and Wastewater*, 78, 39-45. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir