کارایی نانولوله‌های کربنی در تصفیه شیرابه مکان دفن زباله شهری (مطالعه موردی: محل دفن زباله شهر همدان)

زهرا کاشی‌تراش اصفهانی[۱] محمدتقی صمدی[۲] مینا علوی[۳]
ناهید منوچهر پور[۳] ماهم باخانی[۳]

(دریافت ۸۹/۸/۲۰ آخرین اصلاحات دریافتی ۹۰/۸/۷ پذیرش ۹۰/۸/۱۰)

چکیده

ترکیبات آلی و معدنی تولید شده در طی فرایندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی، در اثر نفوذ آب باران به درون مواد زائد مکان دفن و رطوبت موجود در آن شسته شده و شیرابه را تشکیل می‌دهند که این امر نگرانی‌های بهداشتی و محیط‌زیستی فراوانی ایجاد کرده است. مطالعه حاضر به‌منظور تعیین کارایی نانولوله‌های کربنی در کاهش COD، BOD_5، TS و رنگ شیرابه مکان دفن زباله شهر همدان صورت گرفت. آزمایش‌ها به‌صورت ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای مؤثر در واکنش مانند pH، زمان‌ماند و غلظت نانولوله‌های کربنی انجام شد و کارایی حذف با استفاده از آزمون آماری One-Way ANOVA و نرم‌افزار SPSS-16 مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین راندمان حذف در غلظت ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله کربنی، pH برابر ۲/۵ و زمان تماس ۱۰ دقیقه و به‌میزان ۵۸/۲۳ درصد برای COD، ۱۲/۵ درصد برای BOD_5، ٦٦/٨٧ درصد برای TS و ۸۰ درصد برای رنگ به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که نانولوله‌های کربنی از توانایی بالایی در جذب مواد آلی موجود در شیرابه برخوردار هستند و می‌توانند برای تصفیه شیرابه محل دفن همدان به‌عنوان پیش‌تصفیه و یا تصفیه تکمیلی به‌کار روند.

واژه‌های کلیدی: شیرابه، تصفیه، نانو لوله‌های کربنی، همدان

Efficiency of Carbon Nanotubes in Municipal Solid Waste Landfill Leachate (Case Study: Treatment of Hamadan Landfill Leachate)

Zahra Kashitarash Isfahani[1] *Mohammad Taghi Samadi[2]* *Mina Alavi[3]*
Nahid Manuchehrpoor[3] *Maham Bakhani[3]*

(Received Nov. 10, 2010 Revised Oct. 28, 9, 2011 Accepted Oct. 31, 2011)

Abstract

Organic and mineral compounds generated as products of waste mineralization within biological processes and accompanying physical and chemical processes are washed out by percolating rainwater through the deposit of wastes in landfill and form leachate that has created many health and environmental concerns.This study intended to determine the efficiency of reducing COD, BOD_5, TS and color of Hamadan landfill leachate by using carbon nanotubes. Experiments were performed in batch reactor and changing effective factors such as pH, time and concentration of iron nanoparticles .The efficiency of carbon nanotubes were investigated using a statistical test, One-Way ANOVA software SPSS-12. Highest removal efficiency was at concentrations of 2500 mg/ L NZVI, pH = 2.5 and 10 minutes reaction time, 58.23%, 12.5%, 66.87% , 80% for COD, BOD, TS and color, respectively. The project results showed high potential for carbon nanotubes into absorbing organic use for treatment or pretreatment of Hamadan landfill leachate.

Keywords: Leachate, Treatment, Carbon Nanotubes, Hamadan.

۱- مربی گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه جامع علمی کاربردی، تهران
۲- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان (نویسنده مسئول) ٢٥١٢٥٤ (٠٨١١) Samadi@umsha.ac.ir
۳- کارشناس بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان

1. Instructor of Natural Resources and Environment, University of Applied Science and Tech., Tehran.
2. Assos. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan (Correspondig Author) (+98 811) 251254 Samadi@umsha.ac.ir
3. B.S. of Environmental Health, Faculty of Public Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan.

۱- مقدمه

انواع ترکیبات آلی و معدنی طی فرایندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی، در اثر نفوذ آب حاصل از بارندگی‌ها به درون کانال‌های دفن زباله شسته شده و شیرابه را به‌وجود می‌آورند [۱]. شیرابه همزمان با بهره‌برداری مکان‌های دفن و مدتها بعد از تعطیلی آن تولید می‌شود. ترکیب و مقدار شیرابه به‌عوامل متعددی بستگی دارد که از آن میان می‌توان به عواملی مانند کمیّت مواد زائد و اندازه آن، روش دفن و درجه فشردگی مواد زائد، سن محل دفن، فرایندهای فیزیکی و بیوشیمیایی تجزیه مواد زائد، رطوبت و ظرفیت جذب مواد زائد، میزان بارندگی، میزان تبخیر، توپوگرافی مکان دفن، سیستم لایه‌بندی، هیدروژئولوژی و پوشش گیاهی اشاره کرد [۱و۲].

بیش از ۲۰۰ نوع ترکیب آلی در شیرابه شناخته شده است. این ترکیبات می‌توانند در گروههایی مانند هیدروکربن‌های حلقوی، ترکیبات دوحلقه‌ای، هیدروکربن‌های آروماتیک، الکلها و اترها، اترهای حلقوی، کتون‌ها و اِنون‌ها، اسیدها و استرها، فنول‌ها، فتالات‌ها، فوران‌ها و نیتروژن، فسفر، گوگرد و ترکیبات حاوی سیلیس طبقه‌بندی گردند [۲ و۳]. در میان ترکیبات ذکر شده، ۳۵ ماده به‌عنوان آلاینده‌های اولیه شناخته شده‌اند. این مواد عبارت‌اند از : کلرو و دی کلروبنزن‌ها، تولوئن، اتیل‌بنزن، گزیلن، استایرن، نفتالین، متیل، دی‌متیل، تری‌متیل نفتالین‌ها، ۱ و ۱ بی‌فنیل، فنانترین، H9 فلورن، فلورانتین، پیرن، متیل، تری‌کلرو - تتراکلرو و پنتاکلرو فنل‌ها، نانیل فنول، فتالات‌ها، دی‌بنزوفوران، کلروآنیلین، تری‌بوتیل اسیدفسفریک و تری‌فنیل‌استر [۳، ۴ و ۵]. به‌همین دلیل شیرابه در بسیاری از کشورها به‌عنوان ماده‌ای که خطرات بسیار بالایی برای محیط زیست دارد شناخته شده است. نفوذ شیرابه به داخل خاک و رسیدن آن به سفره‌های آب زیرزمینی به‌علت وجود آلاینده‌هایی نظیر هیدروکربورها، فلزات سنگین و نظایر آنها باعث آلودگی خاک و آبهای زیرزمینی می‌گردد. همچنین حرکت افقی شیرابه در اماکن دفن زباله‌های شهری و خروج شیرابه از سطح خاک در نقاط کم ارتفاع، باعث آلودگی آبهای سطحی شده و چنانچه این آبها مورد استفاده عموم قرار گیرند، شیوع بیماری‌های خطرناک بسیار محتمل خواهد بود [۲ و ۴]. لذا مدیریت صحیح کنترل شیرابه، پتانسیل آلوده‌ساز بودن محل دفن برای منابع آب زیرزمینی و سطحی را تا حدود زیادی کاهش خواهد داد [۳]. از روشهای مختلفی همچون گردش مجدد شیرابه به سلول دفن (تصفیه در محل)، تبخیر شیرابه، تخلیه به تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و تصفیه شیرابه به روشهای مختلف فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی می‌توان برای سامان‌دهی و مدیریت شیرابه استفاده نمود [۱-۴].

استان همدان در گستره‌ای به مساحت ۱۹۵۴۷ کیلومتر مربع، در غرب ایران بین ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است و جزء نواحی سرد و کوهستانی است. مرکز دفن زباله‌های این استان در کیلومتر ۲۳ جاده همدان-تهران قرار گرفته و روزانه حدود ۷۵۰ تن زباله خانگی و ۵ تن زباله بیمارستانی به این مرکز وارد می‌شود [۶]. سن شیرابه این محل دفن حدود ۲ سال است و شیرابه به آرامی از میان خاک با دبی بسیار پایین به درون یک حوضچه تراوش می‌کند.

زمانی‌که سن محل دفن کمتر از ۳ تا ۵ سال باشد، مقدار زیادی ترکیبات آلی در شیرابه وجود دارد که از فاز اول اسیدژنیک از تجزیه بی‌هوازی مواد زائد حاصل می‌گردند. در این مورد هم COD و هم BOD_5 غلظتهای بسیار بالایی خواهند داشت و pH بسیار پایین سبب تولید مقدار قابل ملاحظه‌ای از اسیدهای چرب فرّار در این فاز می‌گردد. نسبت BOD_5/COD ممکن است به‌علت وجود بالای ترکیبات آلی قابل تجزیه بیولوژیکی در این نوع شیرابه به بیشتر از ۰/۷ برسد [۱-۵].

با توجه به وجود مواد سمّی و غیر قابل تجزیه درون شیرابه، تصفیه بیولوژیکی به‌تنهایی قادر به از بین بردن موادآلی غیر قابل تجزیه نبوده و استفاده از فرایندهای فیزیکی-شیمیایی به‌عنوان پیش تصفیه، تصفیه تکمیلی وتصفیه کامل برای رسیدن به استانداردهای موردنظر ضروری به‌نظر می‌رسد [۱-۵].

ذرات نانو به‌دلیل داشتن اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، شکل کریستالی و نظم شبکه‌ای منحصر به فرد و واکنش‌پذیری بسیار زیاد می‌توانند برای تصفیه و تبدیل آلاینده‌ها به مواد کم‌ضرر استفاده شوند [۷ و ۸].

گزارش‌های زیادی در مورد استفاده از نانو تکنولوژی به‌عنوان فرایند تصفیه و حذف آلاینده‌ها از محیط‌زیست وجود دارد [۷]. نانو لوله‌های کربنی[1]، 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 باشند [۹]. تحقیقات و پیشرفتهای وسیعی در جهان برای شناسایی کاربردهای نانو تیوب‌های کربنی در صنعت آب و فاضلاب درحال انجام است و اخیراً قابلیت استفاده از آنها در صنعت آب و فاضلاب مطرح شده است. نانولوله‌های کربنی دارای سطح ویژه بسیار بالا، نفوذپذیری زیاد و پایداری حرارتی و مکانیکی خوبی هستند [۷-۹]. اگر چه تخلخل نانولوله‌های کربنی به‌طور قابل توجهی کوچک است، غشاهای نانولوله‌ای نشان داده‌اند که به‌خاطر سطح داخلی صاف

[1] Carbon Nano- Tubes (CNTS)

نانولوله‌ها، شدت جریان بیشتر یا یکسانی نسبت به تخلخل‌های بسیار بزرگ‌تر دارند. این مواد با دوام و در برابر گرما مقاوم هستند و تمیز کردن و استفاده مجدد از آنها ساده است. غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند تقریباً همه انواع آلودگی‌های آب را حذف کنند. این آلودگی‌ها می‌تواند شامل باکتری، ویروس، ترکیبات آلی و کدورت باشد [۹-۱۲].

در ایران فعالیتهای محدودی در خصوص کنترل شیرابه انجام یافته و قابل پیش‌بینی است که با توجه به افزایش جمعیت و توسعه صنعتی در کشور، تعداد و گستره مراکز دفن افزایش یافته و همه ساله مقادیر زیادی شیرابه به محیط‌زیست تخلیه شود. این امر موجب افزایش خطرات محیط‌زیستی و بهداشتی خواهد گردید. از این رو باید اقداماتی اساسی به‌منظور کنترل مؤثر این گروه از آلاینده‌ها صورت گیرد.

هدف از انجام این مطالعه تعیین کارایی نانولوله‌های کربنی در کاهش غلظت COD، BOD_5، TS و رنگ شیرابه محل دفن زباله شهری همدان بود.

۲- مواد و روشها

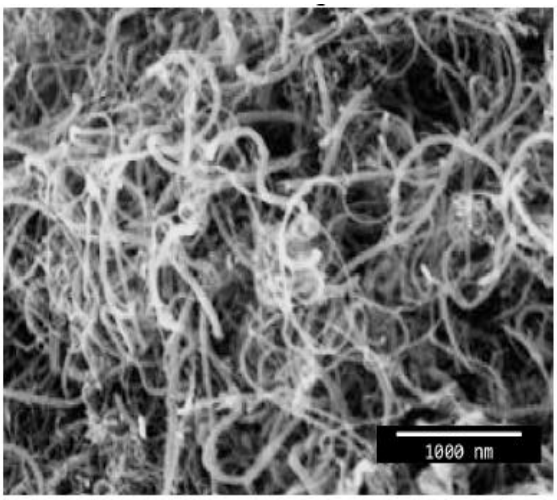
این تحقیق حاصل یک مطالعه مقطعی کاربردی- بنیادی است که به‌منظور تعیین کارایی نانولوله‌های کربنی در کاهش COD، BOD_5، TS و رنگ شیرابه مرکز دفن زباله شهر همدان صورت گرفت. خصوصیات نانولوله‌های کربنی در جدول ۱ و شکل ۱ مشاهده می‌شود. نمونه‌های شیرابه در بطری‌هایی از جنس پلی‌اتیلن از محل دفن جمع‌آوری شد و مطابق با روشهای استاندارد در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید [۱۳]. نمونه‌های شیرابه تا رسیدن به غلظت COD مناسب، توسط آب مقطر رقیق‌سازی شدند. جدول ۲ خصوصیات شیرابه خام را نشان می‌دهد. بعد از تعیین خصوصیات شیرابه خام برای به حداقل رساندن اثر ذرات روی واکنش‌های اکسیداسیون، ذرات درشت با استفاده از سانتریفیوژ حذف شدند.

آزمایش‌ها در داخل بشر و به‌صورت ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای pH، زمان ماند و غلظت نانولوله‌های کربنی صورت گرفت. متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق براساس دستورالعمل‌های ارائه شده در استاندارد متد مورد آزمایش قرار گرفتند [۱۳]. تأثیر pH در دامنه ۲/۵، ۴/۵ ، ۶/۵ و ۸/۵، زمان تماس در مقادیر ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ دقیقه و نانولوله کربنی در غلظتهای ۱۲۵۰، ۲۵۰۰،۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر کارایی حذف مورد بررسی قرار گرفت.

به‌منظور بررسی اثر و کارایی هر یک از فاکتورهای ذکر شده درکاهش COD، BOD_5، TS و رنگ توسط نانولوله‌های کربنی، آزمایش‌ها با تغییر هر عامل مؤثر در مقادیر متفاوت و با ثابت نگه‌داشتن سایر عاملها در مقدار بهینه، انجام شد. برای افزایش ضریب اطمینان و صحت و دقت آزمایش‌ها، عملیات نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها در هر مرحله سه بار تکرار گردید.

جدول ۱- خصوصیات نانولوله کربنی مورد استفاده

شکل ظاهری	پودر سیاه‌رنگ
تعداد دیواره‌ها	۳-۱۵
مساحت سطح ویژه (BET, N_2)	Ca.240 g/m^2
قطر خارجی/قطر داخلی/ طول	۱-۱۰μm/۲-۶nm/۵-۲۰nm
درصد خلوص کربن	>۹۵٪
دانسیته	۱۵۰-۳۰۰g/cm^3



شکل ۱- تصویر SEM نانولوله کربنی مورد استفاده

بعد از اتمام آزمایش‌ها، با استفاده از نتایج حاصله و با توجه به غلظت اولیه COD، BOD_5، TS و رنگ ، کارایی حذف در مراحل مختلف با استفاده از رابطه ۱محاسبه گردید

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \qquad (۱)$$

که در این رابطه

C_i و C_f به‌ترتیب غلظت اولیه و غلظت نهایی COD، BOD_5، TS و رنگ شیرابه هستند. سپس مقادیر بهینه هر یک از متغیرهای مورد بررسی انتخاب و در نهایت با اعمال مقادیر انتخابی، کارایی نانولوله‌های کربنی با استفاده از مدل‌های رگرسیون نرم‌افزار SPSS-16 مورد مقایسه قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

شیرابه خام پس از انتقال به آزمایشگاه آنالیز شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات شیرابه خام

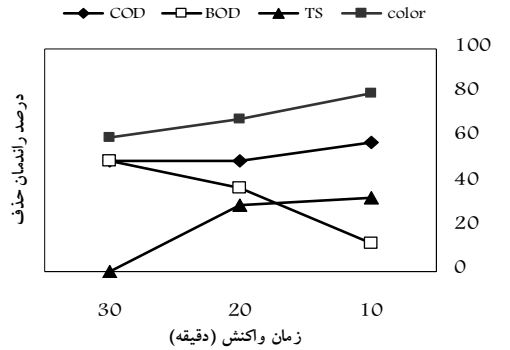
پارامتر	مقدار
BOD_5 (mg/L)	۲۰۰۰۰
COD(mg/L)	۸۵۰۰۰
TS(mg/L)	۲۰۰۰۰۰
pH	۶/۱۳
رنگ (mg/L Pt- Co)	۱۵۰۰۰

۳-۱- تعیین تأثیر تغییرات زمان تماس بر کارایی حذف

نتایج حاصل از تأثیر تغییرات زمان تماس در غلظت ثابت ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر CNT و pH ثابت ۲/۵ بر کارایی حذف COD، BOD_5، TS و رنگ در شکل ۲ ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل نتایج این مرحله از آزمایش‌ها توسط آزمون آماری One-Way ANOVA انجام گردید که این نتایج، اختلاف معنی‌داری برای سطوح مختلف زمان تماس را نشان می‌دهند. (برای BOD_5 ، COD ، TS و رنگ p-value<0/05). یعنی تغییرات زمان تماس باعث تغییر کارایی حذف BOD_5، COD ، TS و رنگ می‌گردد که این تغییرات در مورد BOD_5 به‌صورت افزایشی و در مورد COD، TS و رنگ به‌صورت کاهشی است. به‌عبارت دیگر افزایش زمان تماس بیشتر از ۱۰ دقیقه باعث کاهش کارایی حذف در شاخصهای COD، TS و رنگ می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش زمان تماس با کارایی حذف COD، TS و رنگ رابطه معکوس دارد به‌گونه‌ای که زمان تماس بهینه برای COD، TS و رنگ ۱۰ دقیقه است و با افزایش زمان تماس تا ۳۰ دقیقه کارایی حذف COD، TS و رنگ کاهش می‌یابد در حالی‌که در رابطه با BOD_5 با افزایش زمان تماس تا ۳۰ دقیقه، افزایش راندمان حذف رخ می‌دهد که دلیل آن می‌تواند مربوط به کندتر بودن سرعت واکنش BOD_5 نسبت به COD، TS و رنگ با استفاده از روش نانو لوله‌های کربنی باشد.

بالا بودن کارایی حذف COD، TS و رنگ در زمان کوتاه ۱۰ دقیقه مشخص می‌سازد که نانولوله‌های کربنی از توانایی بالایی در جذب مواد آلی موجود در شیرابه برخوردار هستند تا جایی‌که در زمان ۱۰ دقیقه واکنش کامل می‌گردد و بعد از آن میزان حذف کاهش می‌یابد. اما تصفیه مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی (BOD) به زمان بیشتر از ۳۰ دقیقه نیاز دارد. کاندا و همکاران[1] در سال ۲۰۰۶ نشان دادند که نانولوله‌های کربنی بالاترین راندمان حذف نیکل را در زمان تعادلی ۱۰ دقیقه و در غلظت ۳۷ میلی‌گرم بر گرم نشان می‌دهند [۱۱].



شکل ۲- بررسی تأثیر تغییرات زمان واکنش بر کارایی حذف COD، BOD_5، TS و رنگ شیرابه محل دفن زباله شهر همدان (pH= ۲/۵ ، غلظت نانولوله کربنی= ۲/۵گرم در لیتر)

۳-۲- تعیین تأثیر تغییرات pH بر کارایی حذف

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۲ در این مرحله از آزمایش‌ها زمان تماس ۱۰ دقیقه به‌عنوان زمان تماس ثابت درنظر گرفته شد و تأثیر تغییرات pH بر کارایی حذف در غلظت ثابت ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر CNT مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به نتایج آزمون آماری One-Way ANOVA برای سطوح متغیر pH نیز اختلاف معنی‌داری به‌دست آمد (p-value <0/05). یعنی تغییرات pH باعث تغییر کارایی حذف COD، BOD_5، TS و رنگ توسط نانولوله‌های کربنی می‌گردد (شکل ۳). نتایج این تحقیق نشان داد که نانولوله‌های کربنی در محدوده pH اسیدی از توانایی بالاتری در حذف موادآلی و رنگ شیرابه برخوردار هستند یعنی با افزایش مقدار pH از ۲/۵ تا ۶/۵ کارایی حذف COD، BOD_5، TS و رنگ کاهش می‌یابد.

نتایج مطالعات آنا استفیجی و همکاران[2] در رابطه با حذف فلزات سنگین از قبیل کادمیم، نیکل، سرب و مس توسط نانولوله‌های کربنی از آب و فاضلاب نشان داده است که با افزایش pH از ۵ به۹ راندمان حذف نانولوله‌های کربنی افزایش می‌یابد اما نتایج این تحقیق نشان داد که pH برابر ۲/۵ بیشترین راندمان حذف را در تصفیه BOD_5،COD.TS و رنگ شیرابه دارد [۹ و۱۰].

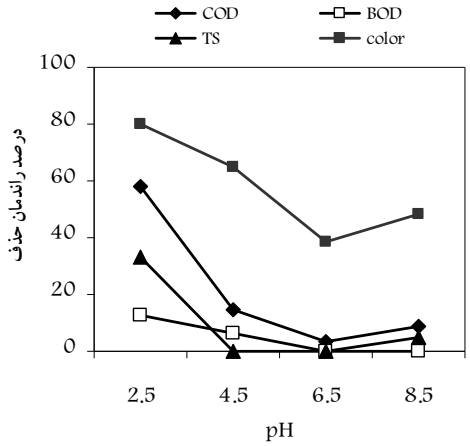
مطالعه لی و همکاران[3] در سال ۲۰۰۳ در رابطه با جذب سرب ، مس و کادمیم توسط نانولوله‌های کربنی نشان داد که بیشترین میزان جذب در دمای اتاق، pH اسیدی (برابر ۵) و غلظت تعادل یون

[1] Kandaha et al.

[2] Anna Stafiej et al.
[3] Li et al.

فلزی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اتفاق می‌افتد [۱۴ و ۱۵].

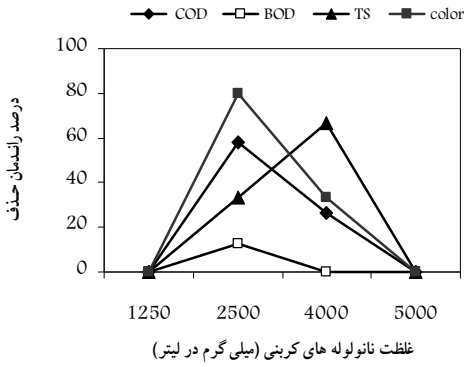
مقدار pH، نقش مهمی در جذب یون‌های ذره‌ای توسط نانولوله‌های کربنی ایفا می‌کند. هنگامی‌که pHمحلول بالاتر از pHPZC باشد (pH=۸/۵)، بار منفی موجود در سطح، سبب ایجاد واکنش‌های الکتروستاتیک می‌گردد که در جذب گونه‌های کاتیونیک (اغلب فلزات سنگین) مؤثر است. اما زمانی‌که pH محلول پایین‌تر از pHPZC باشد (تحت شرایط اسیدی) در سطح نانولوله‌های کربنی بار مثبت ایجاد می‌گردد که در جذب گونه‌های آنیونی مؤثر است لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که موادآلی دارای بار منفی در شرایط اسیدی به‌خوبی حذف می‌گردند. همچنین در pH برابر ۶/۵ و حدود آن، به‌سبب خنثی شدن بار سطحی نانو لوله‌های کربنی کاهش شدید جذب هردو گونه کاتیونی و آنیونی مشاهده می‌گردد [۹ و ۱۰].



شکل ۳- بررسی تأثیر تغییرات pH بر کارآیی حذف COD، BOD_5 ، TS و رنگ شیرابه محل دفن زباله شهر همدان (زمان واکنش= ۱۰ دقیقه، غلظت نانولوله کربنی= ۲/۵گرم در لیتر)

۳-۳- تعیین تأثیر تغییرات غلظت CNT بر کارایی حذف

در شکل ۴ نتایج حاصل از تغییرات غلظت CNT بر کارایی حذف COD، BOD_5، TS و رنگ شیرابه مرکز دفن همدان در مقادیر ثابت pH برابر ۲/۵ و زمان ماند ۱۰ دقیقه ارائه شده است. آزمون آماری One-Way ANOVA اختلاف معنی‌داری را برای سطوح مختلف غلظت نانولوله‌های کربنی در رابطه با BOD_5، COD، TS و رنگ، نشان داد (p-value<0/05). یعنی تغییرات غلظت نانولوله‌های کربنی بر کارایی حذف مؤثر است. نتایج نشان می‌دهد که در مقادیر pH و زمان ماند ثابت، با افزایش غلظت نانولوله از ۱۲۵۰میلی‌گرم در لیتر به ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیترکارایی حذف COD و BOD_5 و رنگ و TS افزایش می‌یابد. علت افزایش کارایی حذف با افزایش غلظت نانولوله، افزایش محلهای فعال سطحی جذب و امکان برخورد بیشتر موادآلی و غیرآلی موجود در شیرابه با نانولوله است. اما توجه به این نکته ضروری است که افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی از ۲۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط ذکر شده سبب کاهش ارایی حذف COD، BOD_5، رنگ و TS می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر اضافی یون‌های حاصل از نانو لوله‌های کربنی می‌تواند سبب ایجاد کدورت در شیرابه و مانع انجام عمل تصفیه در اثر ایجاد تداخل و در نتیجه کاهش راندمان تصفیه گردند [۱۱و۱۲].



شکل ۴- بررسی تأثیر تغییرات غلظت نانولوله کربنی بر کارآیی حذف COD، BOD_5 ، TS و رنگ شیرابه شیرابه محل دفن زباله شهر همدان : (pH = ۲/۵ و زمان واکنش = ۱۰ دقیقه)

۴- نتیجه‌گیری

نانو لوله‌های کربنی یک عامل تصفیه ابداعی است که می‌تواند آلاینده‌های زیادی را حذف نماید. از جمله این آلاینده‌ها می‌توان به فلزات سنگین، حشره‌کشها، علف کشها، رنگها و هیدروکربن‌های کلرینه اشاره نمود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که نانولوله‌های کربنی می‌توانند در مدت زمان کوتاهی در حد ۱۰ دقیقه و در pH برابر ۲/۵ به راندمان حذف ۵۰ درصد برسند که این راندمان برای یک مرحله تصفیه بدون استفاده از هیچ ماده منعقدکننده‌ای، راندمان قابل توجهی است. در این فرایند با افزایش pH، کارایی حذف کاهش یافت و در pH اسیدی(pH برابر ۲/۵) بیشترین حذف صورت گرفت. بیشترین میزان حذف BOD_5 ، COD، TS و رنگ شیرابه در غلظت ۲/۵ گرم در لیتر نانولوله کربنی رخ داد.

۵- قدردانی

نویسندگان این مقاله به این وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم‌پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان به‌خاطر حمایت مالی و فراهم نمودن امکانات لازم کمال تشکر را داشته و از خانم مهندس فاطمه ناظمی و آقای مهندس ذوالقدرنسب به‌خاطر همکاری در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶- مراجع

1- Zgajnar Gotvajn, A., Tisler, T., and Zagorc-Koncan, J. (2009). "Comparison of different treatment strategies for industrial landfill leachate." *J. of Hazardous Materials*, 162, 1446-1456.

2- Li, R. (2009). "Management of landfill leachate." Final Thesis, TAMK University of Applied Sciences Degree Programme of Environmental Engineering, Thesis supervisor Senior Lecturer :EevaLiisa Viskari,Commissioned by TAMK University of Applied Sciences.

3- Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., and Moulin, P. (2008). "Landfill leachate treatment: Rewiew and opportunity." *J. of Hazourdous Materials*, 150, 468-493.

4- Debra, R. (2007). *Long-term treatment and disposal of landfill leachate*, Final Report, University of Central Florida Department of Civil and Environmental Engineering College of Engineering, Florida.

5- Yahh Kilic, M., Kestioglu, K., and Taner, Y. (2007). "Landfill leachate treatment by the combination of physicochemical methods with adsorption process." *J. Biol.Environ*., Sci., 1(1), 37-43.

6- Department of Hamadan Environment Protection. (2007). *Report of Hamadan special waste production and management*, Hamdan. (In Persian)

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

8- USEPA. (2005). *Workshop on nanotechnology for site remediation*, U.S. Department of Commerce Washington, DC.

9- Stafiej, A., and Pyrzynska, K. (2008). "Extraction of metl ions using carbon nanotubes." *J. of Microchemical*, 89, 29-33.

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

11- Kandaha, M.I., and Meunier, J.L. (2006). "Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes." *J. of Hazardous Materials*, 146 (1-2), 283-288.

12- 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: Conference Series*, 61, 698-702.

13- APHA., and WPCF. (2005). *Standard method for the examination of water and wastewater*, 21th Ed., American Public Health Association Publication, Washington, D.C.

14- Dhermendra, K., Tiwari, J. B., and Prasenjit, S. (2008). "Application of nanoparticles in wastewater Treatment." *J. of World App. Sci.*, 3(3), 417-433.

15- Savage, N., and Mamadou, S. D. (2005). "Nanomateruals and water purification." *Opportunities and Challenges*, 7, 331-342.