



بررسی کارایی نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با پلیمر کاتیونی کیتوزان در حذف کدورت از محلول های آبی

نویسندگان: نگار جعفری^۱، افشین ابراهیمی^۲، حمیدرضا پورزمانی^۳، حمزه اسماعیلی^۴

۱. دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۲. نویسنده مسئول: دانشیار مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

تلفن تماس: ۰۹۱۳۱۶۷۴۲۵۴ E-mail: a_ebrahimi@hlth.mui.ac.ir

۳. دانشیار مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

۴. کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز بهداشت شهرستان تربت حیدریه، معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه

چکیده

مقدمه: کدورت آب به دلیل وجود ذرات، ترکیبات آلی و میکروارگانیسم ها بوجود می آید. مطالعه حاضر به منظور بررسی کارایی نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با پلیمر کاتیونی کیتوزان در حذف کدورت از محلول های آبی طرح ریزی گردید.

روش بررسی: این مطالعه از نوع مداخله ای آزمایشگاهی می باشد. در این مطالعه از تکنیک ترسیب شیمیایی همزمان جهت سنتز نانو ذرات مغناطیسی و پوشش آن با پلیمر کیتوزان استفاده شد و اثرات دوز نانو ذرات مغناطیسی (۴، ۳، ۲، ۱ گرم در لیتر)، pH (در محدوده ۹ و ۶، ۷ و ۴)، زمان ته نشینی (۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۵ دقیقه)، قدرت میدان مغناطیسی خارجی (در محدوده ۰/۷ و ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰) و مقادیر کدورت های اولیه مختلف (۱۰۰۰، ۷۵۰، ۵۰۰، ۲۵۰ NTU) بررسی گردید.

یافته ها: نتایج نشان داد که افزایش دوز نانو ذرات، زمان ته نشینی، قدرت میدان مغناطیسی خارجی و شرایط محیط اسیدی با pH ۵ تا ۶ از عوامل افزایش دهنده راندمان حذف کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوزان بود. با کمک نانو ذرات مورد مطالعه کدورت آب تا حد ۹۹/۵ درصد در شرایط بهینه کاهش یافت.

بحث و نتیجه گیری: نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوزان، کارایی خوبی در حذف کدورت از محلول های آبی نشان داد. استفاده از یک میدان مغناطیسی خارجی توانست به طور موثر زمان ته نشینی فلوک های مغناطیسی را کاهش دهد. لذا کاربرد توام نانو ذرات مغناطیسی مورد مطالعه همراه با میدان مغناطیسی خارجی می تواند کدورت آب های بسیار کدر را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

واژه های کلیدی: نانو ذرات، کیتوزان، کدورت، آب

طلوع بهداشت

دو ماهنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال پانزدهم

شماره: اول

فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۵

شماره مسلسل: ۵۵

تاریخ وصول: ۱۳۹۳/۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۱۲



مقدمه

خصوص مطالعه حذف کدورت از محلول‌های آبی صورت گرفته است. اخیراً نانو ذرات مغناطیسی کاربردهای زیادی در حذف آلاینده‌های زیست محیطی بویژه در حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی داشته است (۹-۷). یکی از دلایل محبوبیت نانو ذرات مغناطیسی این است که می‌توان آنها را به راحتی توسط یک میدان مغناطیسی خارجی از سوسپانسیون جداسازی کرده و مجدداً پس از احیا، استفاده کرد، در حالی که نانو ذرات غیر مغناطیسی به خوبی توسط فرایندهای فیلتراسیون و سانتریفوژ از محلول‌های آبی جدا نمی‌شوند (۱۰، ۷). کیتوزان که یک پلیمر زیستی است، در طبیعت به وفور یافت شده و از زائدات پوسته میگو و خرچنگ دریایی بدست می‌آید. این پلیمر یک پلی آمینوساکارید بوده که دارای خواص متعدد و مفیدی از جمله آنتی باکتریال، آب دوستی، سازگاری و تجزیه پذیری بیولوژیکی بوده، و تمایل قابل ملاحظه‌ای برای ترکیبات درشت مولکول بیولوژیکی دارد. همچنین دارای خصوصیات شیمیایی از جمله خواص پلی کاتیونیک و هیدروژل بوده و دارای گروه‌های عاملی فعال از جمله OH و NH_2 می‌باشد (۱۲، ۱۱). گزارش شده است که این پلیمر در حذف یون‌های فلزی از محلول‌های آبی و به عنوان کمک منعقد کننده در حذف عوامل کدورت و باکتری اشیریشیا کلی کارایی خوبی از خود نشان داده است (۱۳، ۷).

در مطالعه انجام شده توسط Chin و همکاران، نتایج حاکی از عملکرد خوب نانو ذرات مغناطیسی در حذف کدورت بود. همچنین نتایج نشان داد راندمان حذف کدورت بوسیله تکنیک بذری پاشی تجمعی مغناطیسی (MSA: Magnetic Seeding)

کدورت آب به دلیل حضور ذراتی از قبیل جلبک، رس، سیلت، ترکیبات آلی و میکروارگانیسم‌ها بوجود می‌آید (۱). اهمیت و جنبه بهداشتی مربوط به کدورت شامل چسبیدن میکروارگانیسم‌ها به ذرات، پناه دادن به ویروس‌ها، کیست‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها بوسیله ذرات ریز، تداخل در عمل گندزدایی، به عنوان پیش‌سازهای آلی مربوط به کدورت و مصرف بیشتر کلر است (۲). مقادیر زیاد کدورت باعث بارگذاری بیش از حد (Overloading) واحد فیلتراسیون و کوتاه شدن زمان بهره‌برداری و افزایش دفعات شستشوی معکوس فیلتر می‌شود. در نتیجه در مواقع بحرانی کیفیت آب خروجی از تصفیه‌خانه به استانداردهای مورد نظر نرسیده و راندمان تصفیه‌خانه آب کاهش می‌یابد (۳). تکنیک‌های مرسوم جهت حذف کدورت آب شامل اضافه کردن نمک‌های فلزی (مانند آلومینیوم، آهن و غیره)، ناپایدارسازی ذرات کلوئیدی (انعقاد)، و به دنبال آن لخته‌سازی و ته‌نشینی می‌باشد. معایب این روش شامل مشکلات نگهداری حجم زیادی از مواد شیمیایی، و ارزیابی دقیق نیاز به این مواد، تزریق حجم وسیعی از ترکیبات شیمیایی، تولید لجن با حجم بالا و مشکلات دفع آنها می‌باشد (۴). یافته‌های موجود نشان داده است که جذب مقادیر زیادی آلومینیوم، اثرات خطرناکی بر سلامتی انسان از جمله آنتی میکروبیستیک، نارسایی کلیه و اختلالات استخوانی را به همراه دارد که استفاده از سولفات آلومینیوم (آلوم) به عنوان منعقد کننده متداول در تصفیه‌خانه‌ها را با محدودیت مواجه می‌سازد (۵، ۶). در سال‌های گذشته پژوهش‌های زیادی در



مدل (Velp,T-Are₂) جهت بالا بردن دمای محتویات راکتور آزمایش و از دستگاه التراسونیک مدل (BANDELIN) جهت عمل سونیکیت محتویات راکتور استفاده شد. به این صورت که ابتدا ۲ میلی لیتر از محلول اسید استیک ۱۰٪ به ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر افزوده شد و مقدار ۲ گرم از پلیمر کیتوزان تدریجاً به محلول اضافه و بوسیله یک مگنت با اختلاط بالا هم زده شد. جهت اطمینان از انحلال کیتوزان، محلول به مدت ۲۰ دقیقه بوسیله امواج صوتی سونیکیت (Sonicate) شد. مقدار ۶/۱ گرم از کلرید فریک با ۴/۲ گرم کلرید فروس (نسبت وزنی ۱: ۱/۲۷ یا نسبت مولی ۲ به ۱) به مخلوط قبلی افزوده شد و بوسیله امواج صوتی و در حضور گاز نیتروژن، در دمای بالاتر از ۷۰ درجه و سرعت اختلاط ۱۰۰۰ دور در دقیقه مجدداً مخلوط گردید. همزمان با این کار، محلول ۳۰ درصد سود با دمای ۷۰ درجه و به آرامی به مدت زمان ۲ ساعت به سیستم واکنش اضافه شد. پس از اتمام مرحله افزودن سود، دمای مخلوط در شرایط بالا به ۹۰ درجه افزایش یافته و به مدت یک ساعت مخلوط شد. پس از پایان کار، مخلوط حاصله، ۴ بار با آب مقطر اکسیژن زدایی شده و یک بار با اتانول شسته شد و پس از خنثی سازی pH، محلول رویی جدا شده و قسمت باقیمانده به مدت ۵ ساعت در دمای ۷۰ درجه در آون قرار داده شد. در نهایت پس از پودر کردن و کریستاله کردن نانو ذرات در حضور میدان مغناطیسی، جهت رطوبت زدایی در دسیکاتور قرار داده شد.

جهت آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) و به منظور تشخیص ساختار کریستالی نانو ذرات مغناطیسی ساخته شده از دستگاه

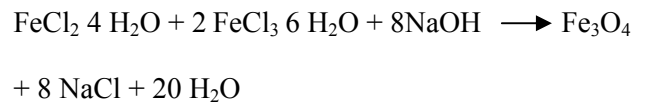
(Aggregation) به دلیل تفاوت در کیفیت منابع آب متفاوت است (۱۴). در مطالعه حذف کدورت های بالا (بیش از NTU ۱۰۰۰۰) با کاربرد میدان مغناطیسی، که توسط Shang-Lien و همکاران صورت گرفت نیز، نتایج عملکرد بسیار خوب میدان مغناطیسی در حذف کدورت را نشان داد (۳).

در سال های اخیر از نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوزان جهت حذف فلزات سنگین از محلول های آبی با راندمان بالا استفاده شده است (۷، ۱۱، ۱۲). با عنایت به مطالب گفته شده هدف اصلی از این مطالعه، بررسی راندمان حذف کدورت از محلول های آبی بوسیله نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با پلیمر کاتیونی کیتوزان بود.

روش بررسی

این مطالعه از نوع مداخله ای آزمایشگاهی می باشد. مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه همگی دارای خلوص آزمایشگاهی بوده و از شرکت های معتبر مانند مرک و سیگما-آلدریج خریداری شدند. در این مطالعه از تکنیک ترسیب همزمان شیمیایی یون های Fe^{+2} و Fe^{+3} بوسیله NaOH و در حضور پلیمر کیتوزان در شرایط دمای بالا اقدام به سنتز نانو ذرات مغناطیسی گردید (۱۲).

معادله واکنش شیمیایی تشکیل Fe_3O_4 بصورت زیر می باشد:



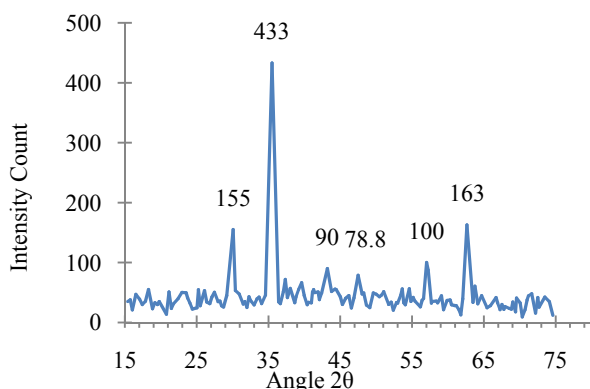
جهت سنتز نانوذرات مغناطیسی از یک همزن با دور ۱۰۰۰ rpm مدل Shimi fann جهت عمل اختلاط، گرم کن مغناطیسی



نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با استفاده از یک دستگاه شیکر دورانی مدل (IKA[®] KS260) با دور ۱۰۰ rpm مخلوط شدند و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دور کند rpm ۳۰ عمل اختلاط انجام گرفت. پس از اتمام آزمایش، کدورت حاصله در مدت زمان ۵ دقیقه اولیه ته نشینی قرائت شد و سپس هر ۱۰ دقیقه یکبار و به مدت ۶۰ دقیقه (زمان‌های ته نشینی ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۵ دقیقه)، کدورت‌های باقیمانده در نمونه‌ها بوسیله یک دستگاه کدورت سنج مدل (2100P HACH) قرائت گردید. همچنین در این آزمایشات اثرات میدان مغناطیسی القایی (در محدوده ۰/۷ و ۰/۵، ۰/۲۵، و صفر تسلا) بر میزان ته نشینی و کارایی حذف کدورت با قرار دادن مگنت مغناطیسی در کف ظرف آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. جهت حصول بهتر نتایج و به حداقل رساندن خطا، تمامی آزمایشات ۳ بار تکرار شد.

یافته‌ها

به منظور شناسایی فازهای تشکیل دهنده و ساختار نانو ذرات مغناطیسی سنتز شده، از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد که نتایج آن در نمودار ۱، نشان داده شده است.



نمودار ۱: الگوی XRD نانوذرات مغناطیسی سنتزی

RD D₈ advance, Bruker, Germany استفاده شد.

جهت تعیین نقطه صفر بار سطحی نانو ذرات سنتزی (PZC: Point of zero charge) ابتدا مقداری از نانو ذرات سنتز شده به ۵۰ میلی لیتر از محلول سدیم کلراید ۰/۱ مولار اضافه شد. جهت تنظیم pHهای اولیه از ۲ تا ۱۲، از محلول‌های ۰/۱ نرمال NaOH یا HCl استفاده گردید. این محلول‌ها سپس به مدت ۴۸ ساعت در شیکر با دور rpm ۱۵۰ و در دمای اتاق مخلوط شدند و در نهایت pH نهایی آنها بوسیله یک دستگاه pH متر (EUTECH 310) اندازه گیری شد.

برای تهیه محلول استوک کدورت مقدار ۲ تا ۳ گرم از پودر کاتولین پس از خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه آن به ۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شده و پس از ۱۲ ساعت سکون جهت هیدراسیون کامل ذرات کاتولین مقدار ۱/۵ لیتر آب مقطر به آن اضافه کرده و مدت ۲۰ دقیقه مخلوط گردید. مخلوط حاصله جهت ته نشین شدن ذرات درشت آن به مدت ۴ ساعت در حالت سکون قرار گرفت. سپس محلول رویی را داخل ظرف جداگانه ریخته و از آن به عنوان محلول استوک استفاده شد. جهت بررسی حذف کدورت بوسیله نانوذرات مغناطیسی از روشی شبیه جارتست استفاده شد. پس از تهیه محلول با کدورت‌های (NTU ۱۰۰۰ و ۷۵۰، ۵۰۰، ۲۵۰)، مقادیر ۵۰ میلی لیتر از هر کدام به ارلن‌های با حجم ۱۰۰ میلی لیتری انتقال داده شده و نانو ذرات مغناطیسی سنتز شده در دوزهای کاری (۴ و ۳، ۲، ۱) گرم در لیتر به آن اضافه شد. سپس pH نمونه‌ها بوسیله سود ۰/۱ نرمال یا اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال (در محدوده ۹ و ۶، ۷، ۴) تنظیم گردید.



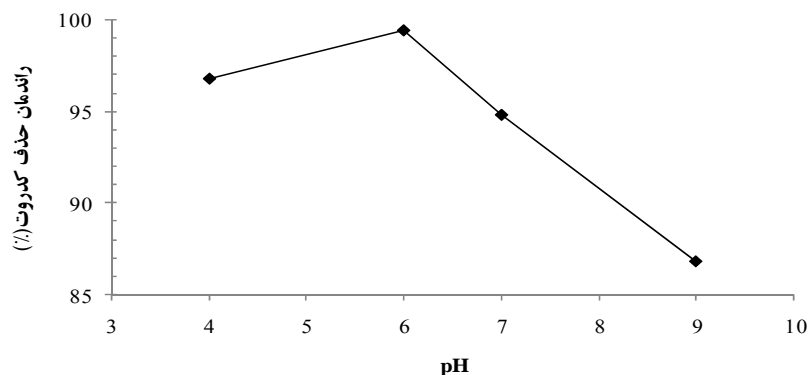
حذف می‌باشد. با مراجعه به این نمودار می‌توان دریافت که وجود مقادیر کمتر کدورت در نمونه‌ها، سبب دستیابی به راندمان‌های حذف بالاتری می‌گردد. نمودار ۵ اثرات ته‌نشینی بر راندمان حذف کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی را نشان می‌دهد.

با افزایش زمان ته‌نشینی، فلوک‌های بیشتری از سوسپانسیون جدا شده و ته‌نشین می‌شوند بطوری که راندمان حذف کدورت از ۹۰ درصد (کدورت نهایی ۲۵ NTU) در مدت زمان ته‌نشینی ۵ دقیقه به ۹۹/۵ درصد (کدورت نهایی ۱/۳ NTU) در مدت زمان ته‌نشینی ۳۰ دقیقه رسید. همچنین در این مطالعه اثر تغییرات میدان مغناطیسی بر کارایی حذف کدورت از محلول‌های آبی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله مشخص گردید که با افزایش شدت میدان مغناطیسی در گستره صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، و ۰/۷ تسلا، مقدار کدورت اولیه ۲۵۰ NTU، بترتیب به ۲۰، ۷، ۴ و ۱/۵ کاهش یافت. بعبارت دیگر کارایی فرایند حذف کدورت از ۹۲٪ به ۹۹/۴٪ افزایش یافت.

همان‌گونه که در این نمودار دیده می‌شود الگوی XRD جهت نانو ذرات مغناطیسی سنتز شده در این مطالعه، مطابق با الگوی نانو ذرات مغناطیسی تجاری بوده و دارای شش پیک در شدت‌های (۴۳۳، ۱۶۳، ۱۵۵، ۱۰۰، ۹۰، ۷۸/۸) بود. نمودار ۲، اثر pH‌های اولیه بین مقادیر ۴ تا ۹ را بر راندمان حذف کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی در کدورت اولیه ۱۰۰ NTU نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار نشان داده شده بیشترین حذف کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی در pH برابر با ۶ صورت گرفته است.

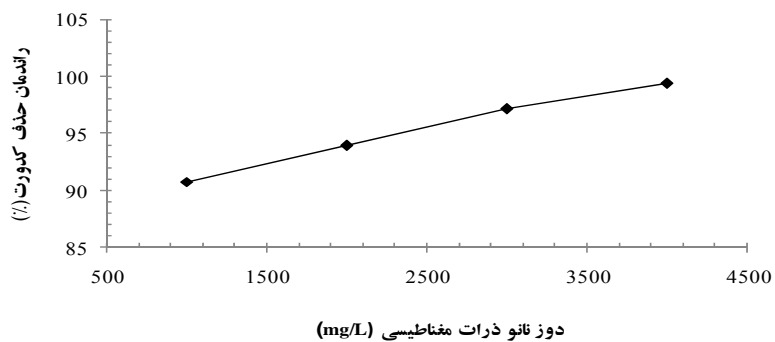
نمودار ۳، راندمان حذف کدورت در برابر دوزهای مختلف نانو ذرات (غلظت ۱ تا ۴ گرم بر لیتر) را توصیف می‌کند. بر اساس این نمودار با افزایش دوز نانو ذرات مغناطیسی، راندمان حذف کدورت از ۹۰/۸ به ۹۹/۵ درصد افزایش یافت، بعبارت دیگر کدورت اولیه آب ۲۵۰ NTU با کارایی حذف ۹۹/۵٪ به کمتر از ۱/۳ NTU کاهش یافت.

نمودار ۴ نشان دهنده اثر کدورت‌های اولیه مختلف بر راندمان

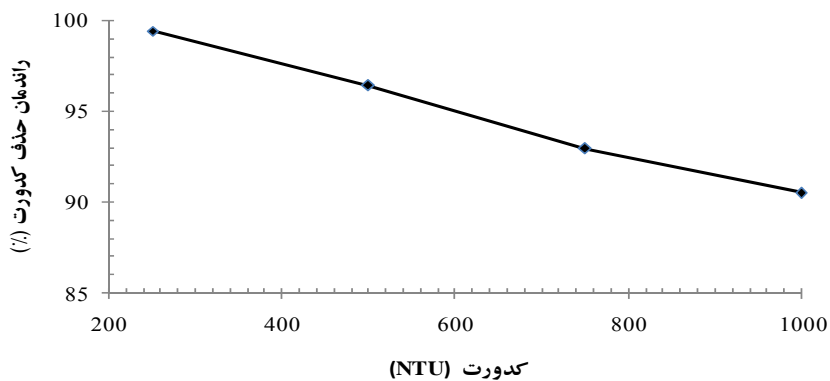


نمودار ۲: اثرات pH بر راندمان حذف کدورت،

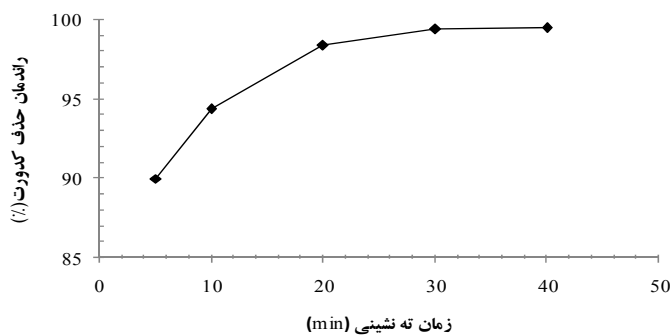
(کدورت اولیه ۲۵۰ NTU، دوز اولیه نانو ذرات ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر، زمان ته‌نشینی ۳۰ دقیقه، میدان مغناطیسی ۰/۷ تسلا)



نمودار ۳: اثرات دوز نانو ذرات مغناطیسی بر راندمان حذف کدورت،
(کدورت اولیه ۲۵۰ NTU، زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه، pH معادل ۶، میدان مغناطیسی ۰/۷ تسلا)



نمودار ۴: اثرات کدورت‌های اولیه بر راندمان حذف کدورت،
(دوز اولیه نانو ذرات ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر، pH معادل ۶، زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه، میدان مغناطیسی ۰/۷ تسلا)



نمودار ۵: اثرات زمان ته نشینی بر راندمان حذف کدورت،
(کدورت اولیه ۲۵۰ NTU، دوز اولیه نانو ذرات ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر، pH معادل ۶، میدان مغناطیسی ۰/۷ تسلا)



بحث و نتیجه گیری

با قرار دادن داده‌های پیک اصلی فاز نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با کیتوزان در فرمول شرر ($D=K\lambda/\beta\cos\theta$) (اندازه متوسط تقریبی نانو ذرات سنتز شده محاسبه گردید، که در آن D ، میانگین اندازه دانه‌های نانو ذرات؛ K ، عدد ثابت برابر با $0.89/\lambda$ ، طول موج تابش اشعه $Cu-K\alpha$ (۰/۱۵۴ نانومتر)، β ، عرض پیک اصلی در نصف شدت آن (بر حسب رادیان) و θ ، موقعیت پیک اصلی بر حسب درجه می‌باشد) (۱۵). در این مطالعه اندازه نانو ذرات سنتزی در پیک اصلی با شدت ۴۳۳، موقعیت پیک اصلی $20\sim 36^\circ$ و $2/\lambda$ آنگستروم برابر با $32/3$ نانومتر محاسبه گردید (نمودار ۱). مهم ترین تکنیک‌ها جهت سنتز نانو ذرات مغناطیسی شامل ترسیب همزمان شیمیائی، تجزیه و یا کاهش حرارتی، سنتز میسل، سنتز هیدروترمال و پیرولیز لیزری می‌باشد (۹). نانو ذرات مغناطیسی سنتز شده Fe_3O_4 در هوای آزاد چندان پایدار نبوده و به راحتی به فرم مگه‌میت تبدیل می‌شوند و همچنین در بسترهای اسیدی نیز حل می‌شوند، بنابراین نیاز به پوشش دادن نانو ذرات سنتز شده با ماده دیگری جهت جلوگیری از اکسید شدن در هوای آزاد ضروری می‌باشد (۱۶، ۱۰). در صورتی که در آزمایش از آب مقطر اکسیژن زدایی شده استفاده نشود و آزمایش بوسیله گاز نیتروژن محافظت نشود، رسوب قهوه‌ای مایل به قرمزی تشکیل می‌شود که نشان دهنده اکسیداسیون Fe_3O_4 به $3Fe(OH)_3$ می‌باشد که نتیجتاً خاصیت مغناطیسی و مغناطش اشباع نانو ذرات مغناطیسی سنتز شده به شدت کاهش می‌یابد (۱۶، ۱۷). همچنین در آزمایش می‌بایست نسبت

مولی Fe^{+3}/Fe^{+2} جهت جلوگیری از کلوخه شدن و اکسید شدن نانو ذرات مغناطیسی در هوای آزاد در حد ۱:۲ باشد (۱۷، ۱۰). دما، pH، قدرت یونی بستر، سرعت اختلاط و سرعت افزودن محلول بازی به واکنش نیز از دیگر عوامل و فاکتورهای تاثیرگذار در سنتز نانو ذرات مغناطیسی می‌باشند که بر اندازه و شکل نانو ذرات تاثیرگذار است (۱۰).

خصوصیت شیمیایی مواد که در آن پتانسیل زتا صفر خواهد شد را نقطه صفر بار سطحی (PZC) می‌گویند. در این pH کل بار سطحی نیز صفر خواهد شد (۱۸). pH_{PZC} نانو ذرات سنتز شده در این مطالعه در حدود $7/7$ بدست آمد. با این حال به دلیل تفاوت و همچنین روش‌های متعدد در سنتز نانو ذرات مغناطیسی مقادیر مختلفی از pH_{PZC} در مقالات از مقدار $3/8$ تا $9/9$ گزارش شده است. اگر در یک نمونه $pH < pH_{PZC}$ باشد، تولید پروتون نسبت به گروه‌های هیدروکسید غالب تر خواهد شد در نتیجه بار سطحی ماده (در اینجا نانو ذرات) مثبت خواهد شد (کاتیونیک) و تمایل به جذب آنیون‌ها را خواهد داشت. در شرایطی که $pH > pH_{PZC}$ باشد تولید گروه‌های هیدروکسید با بار منفی در محلول بیشتر خواهد شد در نتیجه بار سطحی ماده دارای بار منفی شده و تمایل به جذب کاتیون‌ها را پیدا می‌کند (۱۹). از سوی دیگر همان‌گونه که در نمودار ۲ نشان داده شده است بیشترین حذف کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی در pH برابر با ۶ صورت می‌گیرد. با توجه به این که بر اساس مطالعه Chin C و همکارانش، pH_{PZC} ذرات کائولین در حدود $2/5$ گزارش شده است (۱۴)، لذا در pH‌های بالاتر از $2/5$ ذرات کائولین (عامل مولد کدورت) دارای



مطالعات تکمیلی می‌باشد با این حال در مطالعات دیگر مکانیسم حذف مواد معلق توسط نانو ذرات به سه صورت پیشنهاد شده است: مکانیسم هسته‌ای (Nucleation Effect)، مکانیسم تراکمی (Aggregation Effect) و مکانیسم وزنی (Weighting Effect) (۳).

بر اساس نمودار ۳، راندمان حذف کدورت با افزایش دوز نانو ذرات افزایش قابل توجهی یافته است. این افزایش راندمان می‌تواند در نتیجه افزایش سطح و افزایش تعداد سایت‌های جذب فعال بر روی سطح جاذب باشد (۲۱).

از طرفی با توجه به بالاتر بودن وزن مخصوص نانوذرات مغناطیسی، دانسیته تراکم ذرات جمع شده بر روی آن با افزایش دوز این ذرات، افزایش می‌یابد و به دنبال آن سرعت ته‌نشینی فلوک‌های مغناطیسی تشکیل شده نیز زیاد می‌شود که در نهایت منجر به کاهش کدورت در محلول می‌گردد. در این پدیده، نانو ذرات مغناطیسی نقش هسته تراکم را ایفا می‌کنند (۳، ۱۴).

نمودار ۴ نشان می‌دهد که با افزایش کدورت در نمونه‌ها، راندمان حذف کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی نیز کم می‌شود. پلیمر آلی کاتیونی کیتوزان از کمک منعقد کننده‌هایی است که در تصفیه‌خانه‌ها جهت حذف عوامل مولد کدورت به کار گرفته می‌شود. پلیمرهای کاتیونی از طریق مکانیسم پل‌زنی (مجموعه ذره-پلیمر-ذره) و جذب سطحی باعث تولید ذرات به هم پیوسته و فلوک‌های درشت و در نتیجه کاهش کدورت می‌شوند (۲۰). لذا این نتیجه را می‌توان گرفت که پلیمر کیتوزان نیز به عنوان عامل

بار سطحی منفی می‌باشند. همچنین در pH های زیر ۷/۷، نانو ذرات مغناطیسی مورد مطالعه نیز دارای بار سطحی مثبت می‌باشند. از این رو نیروی جاذبه الکترواستاتیک بین ذرات کاتولین و نانو ذرات بیشتر شده و ذرات مولد کدورت به راحتی جذب ذرات نانو می‌شوند. در pH های بالاتر از ۷/۷ گروه‌های عاملی هیدروکسید در نانو ذرات بیشتر تولید شده و در نتیجه نانو ذرات دارای بار منفی می‌شوند. از آنجایی که در این pH هم نانو ذرات و هم کاتولین، دارای بار سطحی منفی می‌باشند، در نتیجه نیروی دافعه الکترواستاتیک بین ذرات نانو و ذرات کاتولین بیشتر شده و راندمان حذف کدورت پایین خواهد آمد. نتایج فوق بیانگر این واقعیت است که بار سطحی به عنوان عامل تاثیر پذیر از pH نقش مهمی در فرایند حذف کدورت بوسیله نانو ذرات مغناطیسی را ایفا می‌کند. در مطالعه Lo و همکاران نیز روند مشابهی با یافته‌های این پژوهش در خصوص تاثیرات pH بر راندمان حذف کدورت ناشی از کاتولین توسط نانو ذرات مغناطیسی نشان داده شده است (۳).

اساس کار تئوری انعقاد استفاده از یک نمک فلزی مثل سولفات آلومینیم و فریک جهت ناپایداری عوامل کلوئیدی و حذف آنها از محلول‌های آبی می‌باشد (۲۰).

با این حال نانو ذرات مغناطیسی سنتزی حالت نمکی ندارند در نتیجه در هنگام اضافه کردن به محلول آبی تبدیل به هیدروکسید فلزی (یون فلزی) در نتیجه فرایند هیدرولیز نمی‌شوند. بنابراین شاید نتوان تئوری‌های انعقاد در خصوص حذف عوامل کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی را مطرح کرد. اگرچه در این باره نیاز به



مغناطیسی و کاهش زمان ته‌نشینی یافت شد (۱۴، ۳). به عبارت دیگر می‌توان این نتیجه را گرفت که جهت رسیدن به راندمان بالاتر حذف کدورت در شرایط بدون استفاده از میدان مغناطیسی خارجی، زمان بیشتری جهت ته‌نشینی فلوک‌های مغناطیسی لازم است و استفاده از میدان مغناطیسی این زمان را به حداقل می‌رساند. در این مطالعه سنتز نانوذرات مغناطیسی و پوشش دادن آن با پلیمر کیتوزان به عنوان روش جدیدی جهت حذف کدورت از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج آزمایشات نشان داد که افزایش دوز نانو ذرات، افزایش زمان ته‌نشینی، افزایش قدرت میدان مغناطیسی خارجی و شرایط محیط اسیدی با pH ۵ تا ۶ از عوامل افزایش دهنده راندمان حذف کدورت می‌باشد. همچنین با کمک این ذرات می‌توان کدورت آب را با راندمان ۹۹/۴ درصد در شرایط بهینه کاهش داد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی دانشجویی شماره ۲۹۰۱۸۸ مصوب معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی اصفهان و مرکز تحقیقات محیط زیست در سال ۱۳۹۰ بوده که بدینوسیله از هر دو اداره تقدیر و تشکر می‌گردد.

References

- 1-Kawamura S. Integrated design and operation of water treatment facilities: Wiley; 2000.
- 2-Salud OMDl, Suiza. Guidelines for drinking-water quality: Surveillance and control of community supplies: World Health Organization; 1997.
- 3-Lo S, Wang Y, Hu C .High turbid reduction during the storm period by applied magnetic field. J Environ Eng Manage 2007; 17(5): 365-70.

کمک متعقدکننده، فرایند حذف کدورت بوسیله نانو ذرات مغناطیسی را افزایش می‌دهد.

همچنین با توجه به نمودار ۵ می‌توان دریافت که با افزایش زمان ته‌نشینی، شیب منحنی راندمان حذف کدورت به صفر نزدیک می‌شود، بطوری که از ۲۰ دقیقه تا ۴۰ دقیقه تنها ۱/۰۴ درصد افزایش راندمان مشاهده شد. دلیل این امر این است که با گذشت زمان، سرعت ته‌نشینی فلوک‌ها کاهش می‌یابد و به مقداری می‌رسد که با افزایش بیشتر زمان ته‌نشینی تغییری در حذف کدورت (ته‌نشینی بیشتر فلوک‌ها) رخ نمی‌دهد. در این مطالعه از یک مگنت جهت ایجاد میدان مغناطیسی و بررسی تاثیر آن بر راندمان حذف کدورت توسط نانو ذرات مغناطیسی در مرحله ته‌نشینی فلوک‌ها استفاده شد. با مراجعه به نمودار ۵ می‌توان دریافت که در مدت زمان ته‌نشینی ۳۰ دقیقه، راندمان حذف کدورت در حالت بدون استفاده از میدان مغناطیسی ۹۲ درصد می‌باشد. در حالی که در مدت زمان مشابه و در حضور میدان مغناطیسی با قدرت ۰/۷ تسلا راندمان حذف به ۹۹/۴ افزایش یافته است. دلیل این امر افزایش سرعت ته‌نشینی فلوک‌های مغناطیسی در نتیجه کاربرد میدان مغناطیسی می‌باشد. در مطالعات دیگر نتایج مشابهی در خصوص افزایش راندمان حذف کدورت با کاربرد میدان



- 4-Rahmani Alir. Removal of water turbidity by the electrocoagulation method. *J Res Health Sci (JRHS)*. 2008; 8(1): 18-24.
- 5-Miller RG, Stober J. Occurrence of aluminum in drinking water. *J Am Water Works Association* 1984; 76(1): 84-91.
- 6-Srinivasan P, Viraraghavan T. Characterisation and concentration profile of aluminium during drinking-water treatment. *Water SA* 2004; 28(1): 99-106.
- 7-Fan L, Luo C, Lv Z, Lu F, Qiu H. Preparation of magnetic modified chitosan and adsorption of Zn^{2+} from aqueous solutions. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 2011; 88(2): 574-81.
- 8-Hu J, Chen G, Lo I. Removal and recovery of Cr (VI) from wastewater by maghemite nanoparticles. *Water Res* 2005; 39(18): 4528-36.
- 9-Lu AH, Salabas EL, Schüth F. Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application. *Angewandte Chemie Int Edition* 2007; 46(8): 1222-44.
- 10-Wu W, He Q, Jiang C. Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies. *Nanoscale res lett* 2008; 3(11): 397-415.
- 11-Yuwei C, Jianlong W. Preparation and characterization of magnetic chitosan nanoparticles and its application for Cu(II) removal. *Chemic Engineer J* 2011; 168(1): 286-92.
- 12-Zhou L, Wang Y, Liu Z, Huang Q. Characteristics of equilibrium, kinetics studies for adsorption of Hg(II), Cu(II), and Ni(II) ions by thiourea-modified magnetic chitosan microspheres. *J Hazard Material* 2009; 161(2-3): 995-1002.
- 13-Divakaran R, Sivasankara Pillai V. Flocculation of river silt using chitosan. *Water Res* 2002; 36(9): 2414-8.
- 14-Chin C, Fan ZG. Magnetic Seeding Aggregation Of High Turbid Source Water. *J Environ Engineer Manage* 2010; 20(3): 145-50.
- 15-Shen YF, Tang J, Nie ZH, Wang YD, Ren Y, Zuo L. Preparation and application of magnetic Fe_3O_4 nanoparticles for wastewater purification. *Separation Purification Technol* 2009; 68(3): 312-9.
- 16-Faraji M, Yamini Y, Rezaee M. Magnetic nanoparticles: synthesis, stabilization, functionalization, characterization, and applications. *J Iran Chem Soc* 2010; 7(1): 1-37.



-
- 17-Kim D, Zhang Y, Voit W, Rao K, Muhammed M. Synthesis and characterization of surfactant-coated superparamagnetic monodispersed iron oxide nanoparticles. *J Magnetism Magnetic Material* 2001; 225(1): 30-6.
- 18-Lyklema J. *Fundamentals of interface and colloid science*: Academic Pr; 2005.
- 19-Illés E, Tombácz E. The role of variable surface charge and surface complexation in the adsorption of humic acid on magnetite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2003; 230(1-3): 99-109.
- 20-Qasim SR, Motley EM, Zhu G. *Water works engineering: planning, design, and operation*: Prentice Hall; 2000.
- 21-Moussavi G, Talebi S, Farrokhi M, Sabouti RM. The investigation of mechanism, kinetic and isotherm of ammonia and humic acid co-adsorption onto natural zeolite. *Chemic Engineer J* 2011; 171(3): 1159-69.



Performance Evaluation of Magnetic Nanoparticles Coated with Chitosan as a Cationic Polymer in Turbidity Removal from Aqueous Solution

Jafari N(MS.c)¹, Ebrahimi A(Ph.D)², Pourzamani HR(Ph.D)², Esmaeili H(M.Sc)³

1. PhD student of Environmental Health Engineering, Student Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
2. Associate Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
3. Corresponding Author: Associate Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3. MS.c of Environmental Health Engineering, Torbat-e-Heydariyeh Health Center, Health Vice Chancellor of Torbat-e-Heydariyeh University of Medical Sciences, Khorasan Razavi, Iran.

Abstract

Introduction: Water turbidity is caused by some particles, organic compounds and microorganisms. This study aimed to evaluate the performance of magnetic nanoparticles coated with chitosan as a cationic polymer in turbidity removal from aqueous solution.

Methods: In this empirical study, the chemical co-precipitation technique was used to synthesize the magnetic nanoparticles coated by chitosan polymer. The effect of magnetite nanoparticles doses (1, 2, 3 and 4 g/l), pH(in the range of 4, 6, 7 and 9), settling time (5, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 min), external magnetic field strength(in the range of 0, 0.25, 0.5 and 0.7 Tesla) and initial various turbidity values (250, 500, 750 and 1000 NTU) were studied.

Results: The study results showed that increasing the dose of nanoparticles, settling time, the external magnetic field, and the acidic conditions in the pH range of 5-6 were considered as the agents of increasing turbidity removal performance by chitosan-coated magnetic nanoparticles. Using the studied nanoparticles in the optimal conditions, the water turbidity decreased up to 99.5%.

Conclusion: As the study findings revealed chitosan-coated magnetic nanoparticles showed a good performance in turbidity removal from aqueous solutions. Using the external magnetic field could significantly reduce the settling time of magnetic flocs. As a result, simultaneous use of the studied magnetic nanoparticles with the external magnetic field can significantly reduce the turbidity of high turbid waters.

Keywords: Chitosan; Nanoparticles; Turbidity; Water