



مطالعه فرآیند جذب سطحی ۴ نیترو زایلن از محلول‌های آبی بر روی اکسید گرافن

پروین غریبانی

گروه شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

parvingharbani@yahoo.com

چکیده

۴ نیترو زایلن از جمله ترکیبات خطرناک و سمی می‌باشد که از پساب‌های صنایع تولید کننده انواع حشره کش‌ها وارد منابع آبی شده و باعث آلوده شدن ذخایر آبی و محیط زیست می‌شود. در این مقاله، از اکسید گرافن برای حذف ترکیب سمی ۴ نیترو زایلن از محلول‌های آبی به روش جذب سطحی استفاده شد. در این راستا اثر پارامترهای مختلف از جمله غلظت اولیه ۴ نیترو زایلن، زمان تماس، pH آغازین، دوز جاذب و دما بر روی حذف ۴ نیترو زایلن مطالعه شد. نتایج نشان داد که فرآیند جذب سطحی در ۹۰ دقیقه به تعادل می‌رسد و مقدار حذف ۴ نیترو زایلن با افزایش دوز جاذب و دما افزایش می‌یابد. بیش‌ترین میزان حذف نیز در pH=۷ رخ داد. اما افزایش غلظت ۴ نیترو زایلن رابطه معکوس با درصد حذف داشته و با افزایش غلظت ۴ نیترو زایلن درصد حذف کاهش می‌یابد. مطابق نتایج ۰/۰۰۱ گرم از اکسید گرافن قادر به حذف ۹۵/۶۹٪ از ۴ نیترو زایلن در غلظت اولیه 10000 mg L^{-1} و در pH=۶/۶ است. بنابراین اکسید گرافن جاذب پرقدرتی برای حذف ترکیب سمی ۴ نیترو زایلن می‌باشد.

کلید واژه: ۴ نیترو زایلن، جذب سطحی، اکسید گرافن.

مقدمه

آب مایعی است که حیات بدون آن میسر نیست و فراوان‌ترین ماده مرکب بر روی سطح کره زمین و بستر اولیه حیات به شکلی که امروزه می‌شناسیم آب می‌باشد. با وجود این حجم عظیم آب، تنها دو درصد از آب‌های کره زمین شیرین و قابل شرب است و امروزه این منابع محدود آب شیرین قابل دسترس در معرض انواع آلودگی‌های شیمیایی و میکروبی قرار گرفته و آلاینده‌های فراوانی از طریق فاضلاب‌های صنعتی و کودهای شیمیایی منابع حیاتی انسان‌ها را به طور جدی تهدید می‌نماید. این آلودگی‌های آب شرب در سایه توسعه تمدن جدید و صنعتی شدن جوامع، فاضلاب‌های صنعتی، مواد سمی، فلزات سنگین و آلودگی‌های مضر که برای سلامتی موجود تهدید به حساب می‌آیند از قبیل اسیدیته آزاد، مواد قلیایی، گازهای سمی، مواد رادیو اکتیو، میکروارگانسیم‌های بیماری‌زا، چربی و روغن و... وارد آب‌های شیرین قابل دسترس می‌شوند [۱]. پیشرفت‌های اخیر نشان می‌دهد بسیاری از مسائل مربوط به کیفیت آب با استفاده از نانوذرات، نانوفیلتراسیون یا دیگر محصولات حاصل از فناوری نانو می‌تواند حل و یا بهبود بخشیده شود. یکی دیگر از کاربردهای بالقوه و سودمند، استفاده خلاقانه از نانو ذرات برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی است.

امروزه بسیاری از این فناوری‌ها برای تصفیه مؤثر آب وجود دارند که اغلب بسیار پر هزینه و زمانبر می‌باشند [۲]. بنزن و تولوئن از سیالات خروجی صنایعی مانند صنایع نساجی، صنایع چوب، محصولات دخانی و شیمیایی به محیط اطراف تخلیه می‌شوند. به علاوه، اتیل بنزن و زایلن در تولید حشره-کش‌ها، انواع شوینده‌ها، لاک الکل‌ها و رنگ‌ها مورد استفاده هستند [۳] برای حذف آلاینده‌ها از روش‌های مختلف فیزیکی (مثل فیلتراسیون غشایی، میکرو فیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، جذب سطحی، انعقاد و ته‌نشینی) و شیمیایی (مثل روش‌های بیولوژیکی و فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته) استفاده شده است [۴]. جذب سطحی عبارت است از یک فرآیند فیزیکی یا فیزیکو شیمیایی که در آن یک

ماده در سطح و یا فصل مشترک دو فاز، تغلیظ و جمع می‌شود. این دو فاز می‌توانند، مایع-مایع، گاز-مایع یا مایع-جامد باشند. جذب سطحی بر روی جاذب‌های مختلف، روشی ساده‌ای از تصفیه است. انواع جاذب‌ها عبارتند از: رزین‌ها و پلیمرهای کربونیزه شده، استخوان چوب، جاذب‌های پلیمری، سیلیکاژل، آلومین فعال شده، خاک رس‌ها، کربن فعال، جاذب‌های طبیعی، نانو جاذب‌ها. گرافن تک لایه ماده‌ای دو بعدی است که از شبکه کربنی شش ضلعی با ضخامت یک اتم با الکترون‌های π غیر موضعی تشکیل شده است. در حالت کلی سوسپانسیون‌های گرافن می‌توانند تا ۵ لایه داشته باشند که تحت عنوان گرافن با تعداد لایه‌های کم شناخته می‌شوند [۵].

در سال ۲۰۰۹، جذب سطحی مولکول فرم آلدهید بر روی گرافن ساده و آلومینیوم‌دار بررسی شد. آن‌ها نشان دادند که گرافن آلومینیوم‌دار به علت دارا بودن انرژی جذب بالا جاذب بهتری نسبت به گرافن ساده است [۶]. در سال ۲۰۱۱، ماترا ۶ و همکارانش نشان دادند که مواد نانو کربنی توانایی جذب هیدروژن، کربن دی اکسید و متان را دارا می‌باشند. نانو لوله‌های کربنی و گرافن به عنوان جاذب‌های مناسب برای این مواد در نظر گرفته شدند. آن‌ها نشان دادند که جذب هیدروژن روی این مواد در فشارهای بالا، به مقادیری بیش از ۴-۳٪ وزنی می‌رسد. همچنین ذخیره‌سازی شیمیایی هیدروژن برای گرافن، به بیش از ۵٪ وزنی می‌رسد. آن‌ها میزان جذب CO_2 بر روی گرافن را در دمای ۱۹۵ کلوین و فشار ۰/۱۱ مگاپاسکال، حدود ۴۵٪ وزنی و در دمای ۲۹۸ کلوین و فشار ۵ مگاپاسکال ۵۱٪ وزنی گزارش کردند [۷]. در سال ۲۰۱۲، چیا و دیگران از گرافن اکسید برای حذف متیلن بلو از محلول آبی استفاده کردند. مطالعات سینتیکی و ترمودینامیکی اعم از تأثیر pH (۳-۷) و غلظت اولیه متیلن بلو (۴۰۰-۱۰۰ mg/L) برای تعیین بازده جذب گرافن اکسید انجام شد. نتایج نشان دادند که ظرفیت جذب ماکزیمم گرافن اکسید برای متیلن بلو می‌تواند به بیش از ۷۰۰ mg/L برای محلول ۳۰۰ mg/L برسد. همچنین مدل سنتیکی شبه

- روش کار

کلیه آزمایشات در یک بالن ۲۵۰ میلی‌لیتر روی همزن مغناطیسی انجام یافت. بدین ترتیب که ابتدا از محلول ۴ نیترو زایلین با غلظت ۱۰۰۰۰ mg/L تهیه شده بود. سپس جذب این محلول‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis اندازه‌گیری شد. مقدار مشخصی از اکسید گرافن به محلول اضافه شد و محلول هم زده شد. در فواصل زمانی ۵ الی ۱۲۰ دقیقه، هر ۵ دقیقه یکبار نمونه برداری شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از میکروفیلتر ۰/۲ فیلتر شده و پس از اطمینان از شفافیت محلول، مقدار جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis اندازه‌گیری شد. سپس تأثیر پارامترهای pH، دما، زمان، مقدار گرافن و غلظت محلول ۴ نیترو زایلین بررسی شد. درصد حذف ۴ نیترو زایلین بر روی گرافن از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$\% \text{Removal} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

A_0 جذب محلول خام ۴ نیترو زایلین و A_t جذب در هر لحظه می‌باشد. بعد از پیدا کردن درصد حذف در هر لحظه، نمودار درصد حذف بر حسب زمان رسم شد.

- روش آنالیز

دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis از شرکت HACH ساخت کشور آمریکا با مدل ۱۵۷-۵۰۰۰ DR برای آنالیز ۴ نیترو زایلین در هر لحظه مورد استفاده قرار گرفت. از دستگاه همزن مغناطیسی ZMSV4 شرکت زاگ شیمی ایران برای یکنواخت سازی و همگن نمودن محلول‌ها استفاده شد. برای اندازه‌گیری pH محلول‌ها از دستگاه pH متر ۳۱۱۰-WTW ساخت کشور آلمان استفاده شد.

درجه دوم بهتر از درجه اول فرایند را توصیف می‌کند [۸]. در سال ۲۰۱۲، فن ۲ و همکارانش جذب سطحی Li را بر روی گرافن با استفاده از محاسبات DFT بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که در نسبت Li/C کم‌تر از ۱/۶ برای گرافن تک لایه، انرژی جذب میزان قابل قبولی است [۹]. در سال ۲۰۱۲، وهاب ۳ و همکارانش جذب سطحی CO_2 ، H_2O ، O_2 و Ti و Cu را بر روی گرافن بررسی کردند. این تحقیق با استفاده از محاسبات مدل مولکولی انجام شد. آن‌ها نشان دادند که جذب مولکول‌های O_2 ، CO_2 ، H_2O تأثیر بسیار کمی بر روی خواص الکترونیکی گرافن دارد [۱۰].

در سال ۲۰۱۳، پانکت ۴ و همکارانش جذب سطحی سدیم ددسیل سولفات را بر روی صفحات گرافن در سیستم‌های آبی برای مقادیر مختلف گرافن و سدیم ددسیل سولفات بررسی کردند. در غلظت‌های کم SDS (کم‌تر از ۱۲ میکرومتر)، تبادل مولکول‌های بین یون‌های هیدرونیوم و سدیم مشاهده شد. برای گرافن با نسبت کربن به اکسیژن ۱۸، جذب سطحی SDS روی گرافن در غلظت ۱۲ میکرومتر اشباع می‌شود. همچنین غلظت تراکم سطحی بحرانی برای تشکیل میسل سطحی بر روی گرافن در حدود ۱/۵ میلی‌متر برای SDS اندازه‌گیری شد. آن‌ها سطح گرافن در دسترس برای جذب SDS را $600 \text{ m}^2/\text{g}$ تخمین زدند [۱۱].

در این تحقیق در نظر است حذف ترکیب سمی ۴ نیترو زایلین با استفاده از اکسید گرافن مورد بررسی قرار گرفته و اثر pH، دز جاذب، غلظت آلاینده، دما و مدت زمان تماس بررسی شود.

مواد و روش‌ها

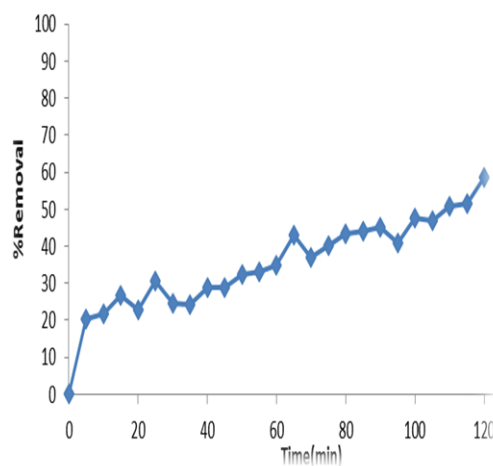
اکسید گرافن با درصد خلوص ۹۹٪، تعداد لایه‌ها کم‌تر از ۲۰، ضخامت لایه‌ها: ۴-۱/۵ nm، فاصله صفحات ۰/۳۴۹ nm از شرکت نانو سان و ۴ نیترو زایلین، اتانول، سدیم هیدروکسید و اسید کلریدریک از شرکت مرک خریداری شدند.

نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نتایج مربوط به اثر پارامترهای مختلف نظیر اثر مدت زمان تماس، مقدار جاذب، pH، غلظت اولیه ۴ نیترو زایلین و دما بر روی حذف ۴ نیترو زایلین توسط اکسید گرافن گزارش شده است.

- بررسی اثر مدت زمان تماس

از عوامل مهم و تعیین کننده در جذب سطحی، مدت زمان تماس می‌باشد. بدین منظور محلول ۱۰۰۰۰ mg/L از ۴ نیترو زایلین، تهیه شد و به داخل آن ۰/۰۰۱ gr نانوگرافن اضافه شد. سپس محلول به مدت ۱۲۰ دقیقه به کمک همزن مغناطیسی همزده شد. به منظور تعیین مقدار جذب سطحی ۴ نیترو زایلین روی گرافن در زمان‌های مختلف و نیز به دست آوردن زمان بهینه تماس، از محلول حاصل در فواصل زمانی ۵ دقیقه نمونه برداری صورت گرفت و بعد از فیلتر محلول، غلظت ۴ نیترو زایلین با استفاده از معادله کالیبراسیون و درصد حذف آن با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد [۱۲]. شکل ۱ اثر مدت زمان تماس بر مقدار جذب سطحی ۴ نیترو زایلین بر روی اکسید گرافن را نشان می‌دهد.



نمودار ۱: نمودار اثر مدت زمان تماس بر مقدار جذب سطحی ۴ نیترو

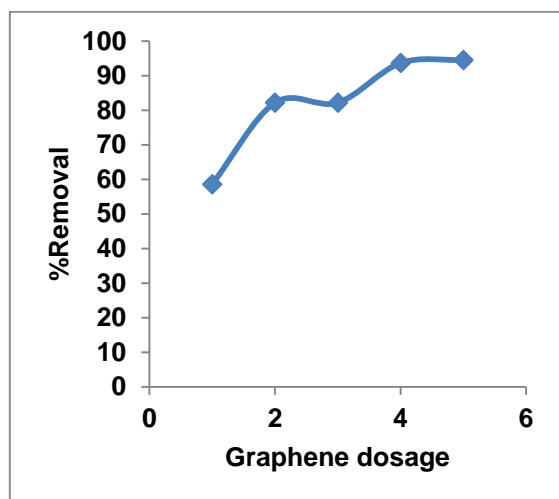
زایلین بر روی اکسید گرافن

pH=6.6, Graphene Oxide=0.001gr, [4-Nitroxylen]=10000mg/L]

با توجه به شکل (۱)، با افزایش مدت زمان تماس رفته رفته بر مقدار جذب سطحی ۴ نیترو زایلین افزوده می‌شود. به دلیل اینکه تا زمان ۹۰ دقیقه مقدار جذب ثابت می‌ماند، این زمان به عنوان زمان بهینه واکنش تعیین شد.

- بررسی تأثیر مقدار اکسید گرافن

به منظور بررسی اثر مقدار جاذب بر روی جذب سطحی ۴ نیترو زایلین، تأثیر مقادیر مختلفی از اکسید گرافن به مقدار ۰/۰۰۵ gr، ۰/۰۰۴ gr، ۰/۰۰۳ gr، ۰/۰۰۲ gr، ۰/۰۰۱ gr بر روی میزان جذب ۴ نیترو زایلین مورد آزمایش قرار گرفت. شکل ۲ درصد حذف ۴ نیترو زایلین را بر حسب مقادیر مختلفی از گرافن نشان می‌دهد.



نمودار ۲: نمودار درصد حذف ۴ نیترو زایلین بر حسب مقدارهای

مختلفی از گرافن

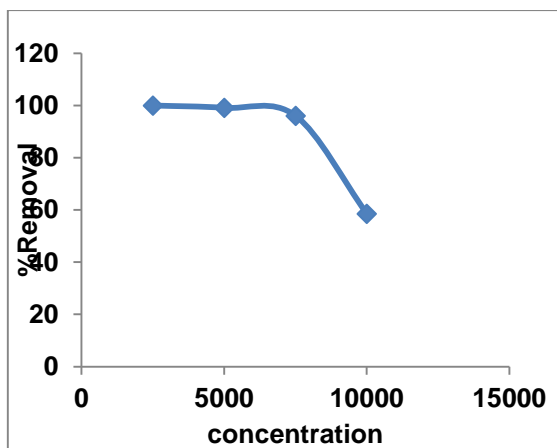
pH=6.6, [4-Nitroxylen]=10000mg/L]

مطابق نمودار ۲ مشاهده می‌شود که ابتدا با افزایش مقدار نانوگرافن از ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲ گرم، میزان جذب ۴ نیترو زایلین افزایش می‌یابد و سپس تا مقدار ۰/۰۰۳ ثابت می‌ماند. سپس دوباره افزایش یافته و در ۰/۰۰۴ گرم از گرافن به بیشترین مقدار خود می‌رسد. ولی بعد از این مقدار از میزان جذب ۴ نیترو زایلین کاسته می‌شود. میزان افزایش اولیه جذب ۴ نیترو زایلین بر روی نانوگرافن به این دلیل است که مقدار جاذب افزایش یافته، در نتیجه مساحت سطح ویژه بیشتری در دسترس بوده و باعث افزایش میزان جذب ۴ نیترو زایلین شده

دارای بار سطحی مثبت و در $pH > 6$ دارای بار سطحی منفی و در $pH = 6$ بدون بار سطحی هست. زیرا در $pH = 6$ هم اکسید گرافن و هم ۴ نیترو زایلن بدون بار هستند، لذا در این شرایط بیش‌ترین درصد جذب ۴ نیترو زایلن بر روی اکسید گرافن انجام خواهد شد.

- اثر غلظت اولیه ۴ نیترو زایلن

برای بررسی اثر غلظت اولیه ۴ نیترو زایلن، ۴ محلول از آن به غلظت‌های mg/L ۱۰۰۰۰، ۷۵۰۰، ۵۰۰۰، ۲۵۰۰ تهیه شد. سپس محلول‌ها جداگانه به داخل ارلن ۲۵۰ میلی لیتر انتقال داده شده و ۰/۰۰۱ گرم گرافن به آن اضافه شد و واکنش به مدت ۱۲۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از نمونه برداری و فیلتراسیون، جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis خوانده شده و مقدار غلظت و درصد حذف محاسبه شد. نمودار ۴ درصد حذف ۴ نیترو زایلن به وسیله گرافن را بر حسب غلظت‌های مختلفی از ۴ نیترو زایلن نشان می‌دهد.



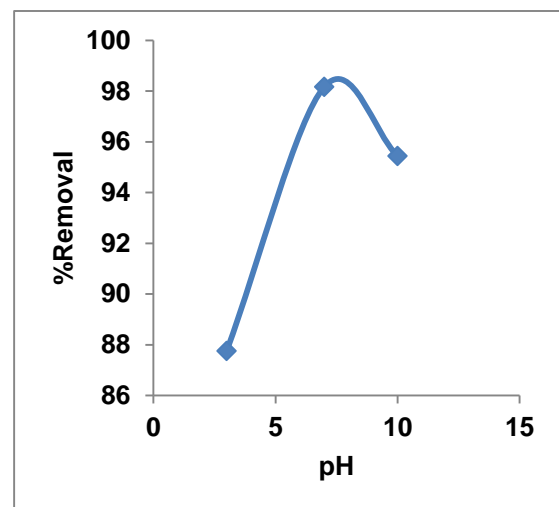
نمودار ۴: نمودار درصد حذف ۴ نیترو زایلن به وسیله گرافن در غلظت‌های مختلفی از ۴ نیترو زایلن
 $pH=6.6$; Graphene Oxid= 0.001gr

نمودار ۴، درصد جذب نانوگرافن بعد از ۱۲۰ دقیقه زمان تماس و غلظت‌های اولیه ۴ نیترو زایلن mg/L ۱۰۰۰۰، ۷۵۰۰، ۵۰۰۰ به ترتیب ۶۱/۵۸، ۹۶/۹۹، ۱۰۰ درصد به دست آمد. دلیل کاهش درصد حذف با افزایش غلظت ۴ نیترو زایلن این است که در لحظات اولیه جایگاه‌های جذب

است و دلیل کاهش میزان جذب در مقادیر بالاتر از ۰/۰۰۴ گرم مربوط به درگیر شدن نانوگرافن در داخل محلول و ایجاد برهمکنش ما بین آن‌ها و در نتیجه کاهش میزان جذب زایل خواهد بود [۱۵-۱۳].

- اثر pH

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر روی فرآیند جذب سطحی اثر pH می‌باشد. جهت تعیین مناسب‌ترین pH، بعد از تهیه محلول mg/L ۱۰۰۰۰ از ۴ نیترو زایلن، pH محلول در محدوده ۱۰، ۷، ۳ تنظیم شد. pH محلول اولیه برابر ۶/۶ بود. بعد از تنظیم pH ۰/۰۰۱ گرم اکسید گرافن به داخل محلول افزوده شده و واکنش به مدت ۱۲۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی دنبال شد. بعد از نمونه برداری و فیلتراسیون، مقدار غلظت و درصد حذف در هر لحظه محاسبه شد. نمودار ۳ نیز درصد حذف ۴ نیترو زایلن را بر حسب pH بر روی گرافن نشان می‌دهد.



نمودار ۳: نمودار درصد حذف ۴ نیترو زایلن بر روی گرافن بر حسب pHهای مختلف
 $[4\text{-Nitroxylenes}] = 10000 mg/L$; Graphene Oxid = 0.001gr

نکته قابل توجه در این نمودار این است که با افزایش pH محلول، درصد جذب ۴ نیترو زایلن روی گرافن افزایش یافته و بعد از $pH = 7$ درصد جذب کاهش می‌یابد. pH_{zpc} اکسید گرافن در حدود ۶ می‌باشد در واقع اکسید گرافن در $pH < 6$

حذف نیز در $\text{pH}=7$ اتفاق افتاد. مطابق نتایج در شرایط بهینه ماکزیمم حذف ۴ نیترو زایلن حدود ۹۵/۶۹٪ بود.

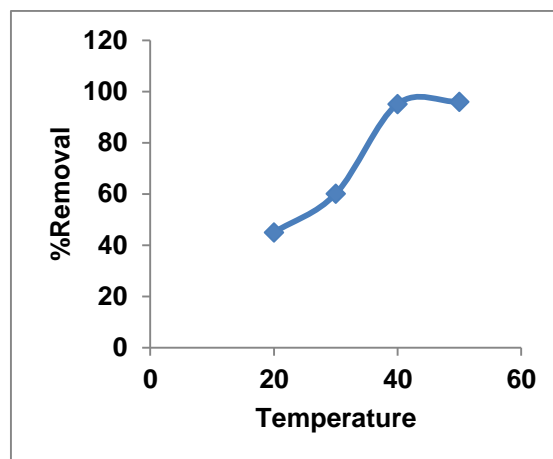
منابع

- [1] Andrew, G., Hsieh, Christian Punckt., Sibel Korkut, and Ilhan A. Aksay., 2013, Adsorption of Sodium Dodecyl Sulfate on Functionalized Graphene Measured by Conductometric Titration, *The Journal of Physical Chemistry*, 117, 23216-23223.
- [2] Chin Hua, Chia., Nur Fazlinda, Razali., Mohd Shaifal, Sajab., Sarani, Zakaria., Nay ming, Huang, and Hong Ngee, Lim., 2013, Methylene Blue Adsorption on Graphene Oxide, *Sains Malaysiana*, 42, 819-826.
- [3] Christie, R.M., 2007, *Environmental Aspects of Textile Dyeing*. England: WoodHead.
- [4] Curridal, M.L., Comparelli, R., Cozzli, P.D., Mascolo, G., Agostiano, A., 2003., Colloidal oxide nanoparticles for the photocatalytic degradation of organic dye, *Mater. Sci. Eng.*, 23 2003, 285-289.
- [5] Daneshvar, N., Rabbani, M., Modirshahla, N., Behnajady, M.A., 2004, Kinetic modeling of photocatalytic degradation of acid red 27 in UV/TiO₂ process, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 157, 39-45.
- [6] Hilal, S., Wahaba Salam, H., Alib Adi M. Abdul Hussein., 2012, Adsorption of H₂O, CO₂, O₂, Ti and Cu on Graphene: A molecular modeling approach, *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 12, 06.
- [7] Lin, H.M., Tzeng, S.J., Hsiau, P.J., Tsai, W.L., 1998, Electrode effects on gas sensing properties of nano crystalline zinc oxide, *Nanostruct. Mater.*, 10, 465-477.
- [8] Mishra, A.K., Arockiadoss, T., Ramaprabhu, S., 2010, Study of removal of azo dye by functionalized multi walled carbon nanotubes. *Chemical Engineering Journal*. 162, 1026-1034.
- [9] Ozdemir, O., Turan, M., Turan, A.Z., Faki, A., 2009, Engin A.B. Feasibility analysis of color removal from textile dyeing wastewater in a fixed-bed column system by surfactant-modified zeolite (SMZ). *Journal of Hazardous Materials* 166, 647-654.
- [10] Tokumoto, M.S., Santilli, C.V., 2017, Preparation of ZnO nano particles and colon structural study of the molecular precursor, *J.Sol-Gel Sci*, 2003, 547-551.
- [11] Urmimala Maitra, K S., Subrahmanyam, K., Gopala krishnan, Nitesh, Kumar., Ram, Kumar, and A, Govindaraj., 2012, Potential of nanocarbons and related substances as adsorbents and chemical storage materials for H₂, CO₂ and other gases, *Indian Journal of Chemistry, Section A: Inorganic, Physical, Theoretical and Analytical Chemistry*, 51 15-31.
- [12] Xiaofeng, Fan., W.T., Zheng, and Jer-Lai, Kuo., 2012, Adsorption and Diffusion of Li on Pristine and Defective Graphene, *American Chemical Society*, 50, 345-765.
- [13] Zollinger(ED), H., 1991, *Color Chemistry. Synthesis, properties and Applications of organic Dyes and pigments*, Zndreviseded., VCH.
- [14] Auta, M., & Hameed, B. H., 2011, Optimized waste tea activated carbon for adsorption of Methylene Blue and Acid Blue 29 dyes using response surface methodology, *Journal of Chemical Engineering*, 175, 233-243.
- [15] upta, V.K., 2009, Application of Low-cost adsorbent for dye removal A review, *J. Environ. Manage.*, 90, 2313-2342.
- [16] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., 2001, Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *J Bio Technol.*; 77:247-55.
- [17] Dhaouadi, H., M Henni, F., 2008, Textile mill effluent decolorization using crude dehydrated sewage sludge. *J. Chem. Eng.*; 138:111-19.
- [18] Sohrabi, M. R., Moghri, M., Fard Masoumi, H. R., Amiri, S., Moosavi, N., 2015, Optimization of Reactive Blue 21 removal by Nanoscale Zero-Valent Iron using response surface methodology, *Arabian Journal of Chemistry*.

اشباع شده و در غلظت‌های بالاتر جایگاهی برای جذب بیش تر رنگ وجود ندارد [۱۹-۱۶].

- اثر دما

نمودار ۵ تأثیر دما را روی درصد حذف ۴ نیترو زایلن نشان می‌دهد.



نمودار ۵: نمودار درصد حذف ۴ نیترو زایلن بر روی نانوگرافن در

دماهای مختلف

$\text{pH}=6.6$; Graphene Oxid=0.001gr; [4-Nitroxylylene]=10000mg/L

مطابق نمودار ۵ با افزایش دما، مقدار حذف ۴ نیترو زایلن بعد از ۳۰ درجه به شدت افزایش می‌یابد و این نشان‌دهنده وابستگی شدید واکنش به دما می‌باشد. در حقیقت افزایش دما باعث افزایش سرعت نفوذ مولکول‌های جذب شونده از میان محلول به سطح داخلی جاذب می‌شوند. لذا با افزایش دما میزان جذب افزایش می‌یابد [۲۰].

- نتیجه‌گیری

در این کار تحقیقی، ترکیب ۴ نیترو زایلن از محلول‌های آبی به روش جذب سطحی با استفاده از اکسید گرافن حذف شد. اثر پارامترهای موثر غلظت اولیه ۴ نیترو زایلن، زمان تماس، pH آغازین، دوز جاذب و دما بر روی حذف ۴ نیترو زایلن مطالعه شد. نتایج نشان داد که حذف ۴ نیترو زایلن با افزایش دوز جاذب و دما افزایش و با افزایش غلظت ۴ نیترو زایلن کاهش می‌یابد. بیش‌ترین میزان

[19] Al-Degs, Y., S. El-Barghouthi, M. I., El-Sheikh, A. H, and Walker, G. M., 2008, Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon, *DyesPigm.* 77, 16-23.

[20] Daneshvar, N., Rabbani, M., Modirshahla, N., Behnajady, M.A., 2004, Kinetic modeling of photocatalytic degradation of acid red 27 in UV/TiO₂ process, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 157, 39-45.