

Performance Comparison of Double-Walled Carbon Nanotubes and Active Carbon Derived from Coconut Shells for Naphthalene Adsorption in the Aquatic Solution

A. Ekbatani¹, A. H. Hassani², A. H. Javid³

1. MSc Graduate Student, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Prof., Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) ahhassani@srbiau.ac.ir
3. Prof., Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received Nov. 14, 2019 Accepted Sep. 13, 2020)

To cite this article:

Ekbatani, A., Hassani, A. H., Javid, A. H. 2021. "Performance comparison of double-walled carbon nanotubes and active carbon derived from coconut shells for naphthalene adsorption in the aquatic solution" Journal of Water and Wastewater, 32(2), 103-117. Doi: 10.22093/wwj.2020.208745.2954. (In Persian)

Abstract

One of the hazardous compounds for humans and the environment is polycyclic aromatic hydrocarbons, which are the naphthalene of the precursor of two-ring aromatic hydrocarbons. These compounds are carcinogenic and toxic, they cause anemia and damage to the retina and are also toxic to plants and aquatic animals, these compounds have been identified as priority pollutants by the World Health Organization, yet these compounds are difficult to remove by biological methods. This study was performed in batch in vitro where the effect of parameters such as retention time 15, 30, 45, 60, 90 and 120 minutes, concentration of multi-walled carbon nanotubes and activated carbon from coconut skin 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1 and 2 g/L), solution concentration 1, 5, 10, 15, 20, 50 and 100 mg/L and pH 3, 4, 5, 6, 7 and 8 the concentration of 10 mg/L naphthalene solution in naphthalene removal was investigated. Experimental data of adsorption equilibrium with different Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models are evaluated and analyzed with adsorption kinetics by comparing R^2 coefficient of analysis and analyzed by excel software. Maximum naphthalene adsorption on both carbon nanotubes and



activated carbon nanotube adsorbent at initial concentration of 10 mg/L naphthalene and adsorbent dose equal to 0.75 g/L at pH=7 is an appropriate time to achieve maximum naphthalene adsorption; the balance mode is 90 minutes. The adsorption mechanism is consistent in both adsorbents of Langmuir adsorption isotherm and their coefficient of determination in carbon nanotubes is ($R^2=0.9589$) and in coconut shell activated carbon ($R^2=0.9319$). and both adsorbents are from adsorption synthetics second-degree followers. Multiwalled carbon nanotubes and activated carbon from coconut skin due to their small size, high cross-sectional area as a result of high reactivity, as an adsorbent for removal of naphthalene from water. And the nanotube has a higher absorption than activated carbon from the coconut skin, so it is considered as a better adsorbent because of its affordability and availability.

Keywords: Coconut Skin, Carbon Nanotube, Adsorption Isotherm, Naphthalene, Activated Carbon.



مجله آب و فاضلاب، دوره 32، شماره 2، صفحه: 117-103

مقایسه عملکرد نانولوله‌های کربنی چند جداره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل در حذف نفتالین از محیط‌های آبی

آفرین اکباتانی^۱، امیر حسام حسنی^۲، امیر حسین جاوید^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست،

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و

محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

(نویسنده مسئول) ahassani@srbiau.ac.ir

۳- استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و

محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

(دریافت ۹۸/۸/۲۳ پذیرش ۹۹/۶/۲۳)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

اکباتانی، آ.، حسنی، ا.ح.، جاوید، ا.ح.، ۱۴۰۰، "مقایسه عملکرد نانولوله‌های کربنی چند جداره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل

در حذف نفتالین از محیط‌های آبی" مجله آب و فاضلاب، ۳۲(۲)، ۱۱۷-۱۰۳. Doi: 10.22093/wwj.2020.208745.2954

چکیده

یکی از ترکیبات خطرناک برای انسان و محیط‌زیست هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای PAHs است که نفتالین، مقدم‌ترین هیدروکربن آروماتیک با دو حلقه بنزنی است. این ترکیبات سرطان‌زا و سمی هستند و باعث کم‌خونی و آسیب به شبکیه چشم نیز می‌شوند و برای گیاهان و آبزیان نیز سمی هستند. این ترکیبات خطرناک به‌عنوان سه آلاینده‌ای به‌شماره می‌روند که حذف آنها از سوی سازمان بهداشت جهانی در اولویت قرار گرفته است، در عین حال این ترکیبات توسط روش‌های بیولوژیکی به سختی حذف می‌شوند. این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی ناپیوسته انجام شده که در آن تأثیر پارامترهایی مانند زمان ماند ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه، غلظت نانولوله کربنی چند دیواره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل ۱/۰، ۲۵/۰، ۵/۰، ۷۵/۰، ۱ و ۲ گرم در لیتر، غلظت محلول نفتالین ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و pH معادل ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر محلول نفتالین در حذف نفتالین بررسی شد. داده‌های تجربی تعادل جذب با مدل‌های مختلف ایزوترم جذب لانگمیر و فروندلیچ ارزیابی و همراه با سینتیک جذب از طریق مقایسه ضریب تبیین R^2 بررسی شد و به وسیله نرم‌افزار Excel تحلیل شد. حداکثر جذب سطحی نفتالین بر روی هر دو جاذب، نانولوله‌های کربنی و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل در غلظت اولیه ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین و مقدار دوز جاذب برابر ۰/۷۵ گرم در لیتر در pH برابر ۷ و زمان مناسب برای دستیابی به حداکثر جذب نفتالین و حالت تعادل ۹۰ دقیقه است. مکانیسم جذب در هر دو جاذب ایزوترم جذب لانگمیر سازگار بوده و ضریب تبیین آنها به ترتیب در نانولوله کربنی برابر با $R^2=0/9589$ و در کربن فعال حاصل از پوست نارگیل $R^2=0/9319$ بود و هر دو جاذب از سنتتیک جذب درجه دوم تبعیت می‌کنند. نانولوله‌های کربنی چند جداره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل به دلیل اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد در نتیجه واکنش‌پذیری بسیار زیاد، به‌عنوان جاذب برای حذف نفتالین از آب کارایی زیادی دارد و نانولوله کربنی چند جداره جذب بیشترین نسبت به کربن فعال حاصل از پوست نارگیل دارد، بنابراین به دلیل مقرون به‌صرفه‌بودن و در دسترس بودن آن به‌عنوان جاذب بهتری مورد توجه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پوست نارگیل، نانولوله کربنی، ایزوترم جذب، نفتالین، کربن فعال



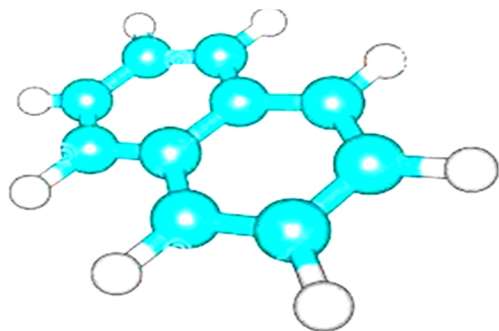


Fig. 1. The molecular structure of naphthalene

شکل ۱- ساختار مولکولی نفتالین

در تمام بافت‌های آزمایش شده تشخیص داده شود که توزیع نسبی آن به شرح زیر است:

پوست < کبد < مغز = خون < عضلات < قلب.

از عوارض مسمومیت با نفتالین کم‌خونی همولیتیک که منجر به خستگی، کم‌اشتهایی، بی‌قراری و اضطراب می‌شود، ایجاد آسیب‌های عصبی در کودکان، آسیب به جگر، تهوع، سردرد، خون‌ریزی، تب، ناراحتی‌های کبدی، تشنج و کما (تماس حاد) سوزش چشم، گیجی، برانگیختگی و شوریدگی، درد شکم، مشکلات مثانه، عرق زیاد، یرقان، از کار افتادن کلیه‌ها و ورم پوست (تماس مزمن) است. با توجه به عوارض فوق سازمان بهداشت جهانی مقدار مجاز آن در آب ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر اعلام کرده است، در نتیجه حذف آن از پساب صنعتی و آب حائز اهمیت است. (Jafapour, 2006).

همان‌طور که اشاره شد هیدروکربن‌های آروماتیک بسیار متنوع بوده و روش‌های مختلفی برای حذف آن از محیط‌های آبی وجود دارد به‌همین دلیل نفتالین را به‌عنوان شاخص انتخاب کرده و مقدار حذف آن به کمک دو جاذب نانولوله کربنی و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل مقایسه شد.

جاذب‌های مختلفی برای حذف آلاینده‌ها از محیط‌های آبی وجود دارد، از جمله جاذب‌هایی که برای حذف نفتالین استفاده می‌شود، می‌توان از فناوری نانو در صنعت تصفیه آب نام برد. یکی از مهم‌ترین شاخه‌های فناوری نانو، نانولوله‌های کربنی چند جداره^۳ هستند که خاصیت جذب خوبی برای ترکیبات مختلف آلی و یون‌های معدنی و هیدروکربن‌های آروماتیک از خود نشان داده‌اند.

۱- مقدمه

امروزه آلودگی منابع آب توسط ترکیبات آلی، یکی از مشکلات مهم در تأمین آب سالم برای مصارف مختلف به‌خصوص مصارف آشامیدنی و بهداشتی تلقی می‌شود، زیرا خطر بهداشتی ناشی از مواد آلی سمی در آب آشامیدنی می‌تواند در مقدار بسیار جزئی حادث شود. همچنین ممکن است آب در اثر ورود مقدار جزئی این ترکیبات به دلیل ایجاد طعم و بو و ظاهر نامطلوب غیرقابل شرب شود.

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای^۱ گروهی از ترکیبات آلی هستند که به‌طور طبیعی از طریق سوختن ناقص زغال سنگ، روغن، گاز، چوب، مواد زائد یا ترکیبات آلی دیگر تولید و در محیط رها می‌شوند. بعضی از این ترکیبات به‌طور مصنوعی نیز در صنایع تولید می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند از راه‌های مختلف وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی شوند.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده توسط پژوهشگران در چند دهه اخیر روی این ترکیبات اثرات بهداشتی متعددی برای این ترکیبات بیان شده است. به‌طوری که سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا^۲ این ترکیبات را در لیست آلاینده‌های بسیار سمی دارای اولویت در منابع آب قرار داده است. بنابراین پایش این ترکیبات در محیط به‌ویژه در هوا، آب و خاک و فاضلاب‌ها از طرف سازمان‌های ذی‌صلاح از جمله سازمان بهداشت جهانی توصیه شده است. گرچه تعداد این ترکیبات بسیار زیاد است ولی ۱۷ ترکیب PAHs به‌عنوان مهم‌ترین ترکیبات در محیط بررسی می‌شوند. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، گروهی از ترکیبات آلی هستند که دارای ۲ یا چند حلقه بنزن هستند. این ترکیبات در سراسر محیط در هوا، آب و خاک پیدا می‌شوند. در هوا ممکن است به ذرات گرد و غبار بچسبند. گرچه اثرات بهداشتی ترکیبات PAHs به‌طور جداگانه دقیقاً مشابه هم نیستند. در شکل ۱ ساختار مولکولی نفتالین نشان داده شده است.

هیدروکربن‌های آروماتیک بسیار متنوع هستند، به همین خاطر در این پژوهش نفتالین به‌عنوان شاخص، برای بررسی انتخاب شد. نفتالین پس از جذب به‌طور گسترده‌ای توزیع می‌شود. نفتالین بسیار سمی و خطرناک است و در چربی به‌مدت دو هفته، می‌تواند

¹ Poly Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

² Environment Protection Agency (EPA)

³ Multi Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs)



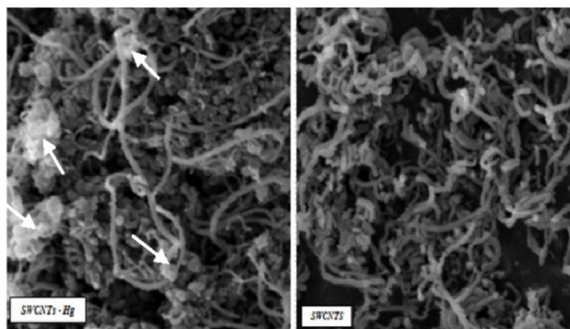


Fig. 2. The TEM image of the multilayer carbon nanotube

شکل ۲- تصویر TEM نانوتیوب کربنی چند جداره



Fig. 3. Activated carbon from coconut skin

شکل ۳- کربن فعال حاصل از پوست نارگیل

نانوتیوب‌های کربنی چند جداره پرداختند (Yang et al., 2010). لونا و همکاران در سال ۲۰۱۱ جذب نفتالین و پیرین از محلول‌های ایزواکتان به وسیله کربن فعال تجاری را بررسی کردند. (Luna et al., 2011).

اووآبور و همکاران در سال ۲۰۱۲ حذف نفتالین از سیستم آبی با استفاده از پوست پرتقال بررسی کردند و به نتایج مشابه رسیدند. (Owabor et al., 2012).

خرسندی در سال ۱۳۹۷ نقش جذب سطحی با کربن فعال در حذف آلاینده‌های محیط‌زیستی فرایندهای متداول بیولوژیکی، ترکیبات بودار و رنگی و فلزات سنگین پساب‌ها به صورت پودر و دانه‌ای، بررسی کرد (Khorsandi, 2001).

ابولی و همکاران در سال ۱۳۹۶ به بررسی اثر جذب کربن فعال بر روی حذف هیدروکربن‌های موجود در پساب نفتی پرداختند (Abouli et al., 1396).

حسینی و همکاران در سال ۱۳۹۶ به بررسی کارایی نانولوله‌های کربنی چند دیواره در حذف هیدروکربن‌های نفتی از محیط آبی پرداختند (Hassani et al., 2017).

(Trojanowicz, 2006).

در شکل ۲، تصویر TEM نانوتیوب کربنی چند جداره نشان داده شده است.

جاذب دیگری که در حذف نفتالین مؤثر است، کربن فعال نام دارد که از ذرات با خلوص زیاد و تخلخل بسیار زیاد تشکیل شده است. یکی از ویژگی‌های کربن فعال توزیع یکنواخت اتم‌های خنثی از یک جنس در سطح جاذب است که منجر به توزیع یکنواخت بار الکتریکی در سطح می‌شود. این خصوصیت تعیین‌کننده رفتار جزئی ماده خواهد بود، به این مفهوم که به آن امکان جذب مولکول‌های آلی بدون توجه به خصوصیات قبلی آنها را می‌دهد. کربن فعال را می‌توان به عنوان مهم‌ترین جاذب استفاده شده در اکثر کاربردهای تجاری و صنعتی دانست.

مواد لازم برای تهیه کربن فعال مواد آلی هستند که می‌تواند منشأ طبیعی یا مصنوعی داشته باشد. ضایعات کشاورزی منبعی برای تهیه کربن فعال با منشأ طبیعی است. در اغلب موارد تمام ترکیبات کربن‌دار گیاهی، حیوانی و یا حتی با منشأ معدنی را در صورتی که به‌طور کامل تصفیه شوند می‌توان به کربن فعال تبدیل کرد. کربن فعال را می‌توان از خون، گوشت، استخوان حیوانات و منابعی یا منشأ گیاهی مانند چوب‌های نرم و سفت، چوب ذرت، دانه قهوه، ساقه برنج، هسته میوه‌ها و ضایعات گیاهی تهیه کرد. کربن فعال همچنین ممکن است از لینگنیت^۱، زغال سنگ نرم و سخت، قیر، باقیمانده مواد نفتی و کربن سیاه هم تولید شود. در این پژوهش حذف نفتالین به کمک دو نوع جاذب نانولوله کربنی چند جداره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل که منشأ گیاهی دارد از محیط‌های آبی مقایسه و بررسی شود. شکل ۳ کربن فعال حاصل از پوست نارگیل را نشان می‌دهد.

گوتواواس و همکاران در سال ۲۰۰۶ به جذب سطحی نفتالین از محلول تری کلرواتیلن بر روی نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره SWCNT پرداختند و یک جذب قوی از نفتالین بر روی سطح خارجی نانولوله کربنی تک دیواره را نشان دادند (Gotovac et al., 2006).

یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی جذب رقابتی نفتالین با ۴-دی‌کلروفنل و ۴-کلروآنیلین بر روی

¹ Lingnite



توزین مواد به‌کار رفته است. دستگاه اسپکتروفتومتر Hach DR6000 آمریکا برای منحنی کالیبراسیون استفاده شد و کوره دیجیتال WiseTherm FH-05 ساخت کره جنوبی برای سنتز کربن فعال حاصل از پوست نارگیل استفاده شد.

۲-۲- مواد مورد استفاده

سایر مواد استفاده شده نیز از شرکت مرک آلمان بود. برای انجام پژوهش ابتدا محلول ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین تهیه و سپس برای تهیه سایر غلظت‌ها استفاده شد. سنجش غلظت نفتالین با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با غلظت ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر توسط اسپکتروفتومتر و معادله بهترین خط برازش به دست آمده با ضریب هم‌بستگی مناسب انجام شد.

همچنین تأثیر فاکتورهای مختلفی مانند زمان تماس ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ دقیقه، غلظت جاذب ۱/۰، ۲۵/۰، ۵۰/۰، ۷۵/۰ و ۱۰۰/۰ میلی‌گرم در لیتر و pH معادل ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در مقدار جذب پژوهش شد. با ثابت نگاه داشتن چند متغیر، کارایی حذف نفتالین به وسیله نانوتیوب کربنی چند جداره بر اساس یک پارامتر متغیر، بررسی شد تا مقدار بهینه متغیرها به دست آید. از بطری‌های شیشه‌ای در بسته ۵۰ میلی‌لیتری برای انجام آزمایش‌ها به تعداد ۵۰ نمونه و با ۲ بار تکرار مجموع ۱۰۰ نمونه استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقدار نفتالین در نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر UV visible در طول موج ۲۷۶ نانومتر اندازه‌گیری شد.

۲-۳- محاسبات جذب

میزان نفتالین جذب شده به وسیله جاذب از معادله زیر محاسبه شد

$$q_e = (c_0 - c_e) \times v / w \quad (1)$$

که در آن

q_e مقدار نفتالین جذب شده به ازای وزن جاذب در زمان تعادل برحسب میلی‌گرم بر گرم، c_0 غلظت اولیه نفتالین در محلول برحسب میلی‌گرم در لیتر، c_e غلظت تعادلی نفتالین در محلول

همچنین فضل‌اللهی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به بررسی ایزوترم و سینتیک جذب نفتالین از محلول‌های آبی توسط نانوتیوب‌های کربنی چند جداره پرداختند (Fazlollahi et al., 2016).

در این پژوهش با هدف مقایسه نانولوله‌های کربنی چند دیواره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل در حذف آلاینده نفتالین از محیط‌های آبی انجام شد و اهداف پژوهش تعیین بیشترین کارایی حذف نفتالین و مقدار بهینه متغیرهای آزمایش مانند زمان تماس، pH، غلظت نانولوله‌های کربنی چند دیواره، غلظت کربن فعال حاصل از پوست نارگیل و غلظت محلول نفتالین بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- دستگاه‌های استفاده شده

این پژوهش تجربی به صورت ناپیوسته و در آزمایشگاه علوم تحقیقات واحد تهران انجام شد.

نانولوله‌های کربنی چند دیواره از شرکت پیشگامان نانومواد خریداری شد که دارای سطح ویژه $233 \text{ m}^2/\text{g}$ قطر داخلی ۳-۵ نانومتر قطر خارجی و طول ۵۰ میکرومتر و درجه خلوص بیشتر از ۹۵ درصد است.

برای بررسی موقعیت قرارگیری گروه‌های عامل در سطح نانوتیوب از تصویر میکروسکوپ الکترونی^۱ و اندازه و ساختار از میکروسکوپ الکترونی عبوردهنده^۲ و سطح مخصوص نانوتیوب‌ها توسط روش بت^۳ استفاده شد که در این راستا از داده‌های شرکت مذکور بهره‌گیری شد. شکل ۲ تصویری از TEM و SEM مربوط به نانوتیوب‌های کربنی چند جداره مصرفی در این پژوهش را نشان می‌دهد. در این پژوهش از نفتالین مرک^۴ آلمان برای تهیه نمونه‌ها استفاده شد.

دستگاه مولتی‌متر Hach HQ40d برای اندازه‌گیری pH محیط آبی به کار رفته است. دستگاه شیکر Heidolph Unimax 2010 ساخت کشور آلمان برای مخلوط کردن مواد است. از دستگاه سانتریفیوژ Sigma 3-18KS آلمان برای جداسازی مواد استفاده شد. دستگاه ترازوی دیجیتال با دقت Sartorius 0.001 آلمان برای

¹ Scanning Electron Microscop (SEM)

² Transmission Electron Microscopy (TEM)

³ Brunauer Emmett & Teller (BET)

⁴ Merck



کردیم تا به درجه محیط برسد و سپس با هاون آنها را کوبیدیم تا کاملاً پودر شوند.

بعد از اینکه پودر زغال فعال را به دست آورده شد آن را داخل پلیت شیشه‌ای قرار داده و با پارافیلیم بسته شد تا این جاذب‌ها رطوبت و آلودگی‌های موجود در آزمایشگاه را به خود جذب نکنند. در ضمن انجام کار، وجود مقداری اکسیژن لازم است تا زغال نسوز و بیشتر از حد مجاز کربن فعال به دست آمده عمل نمی‌آید. زغال‌های فعال تولید شده توسط این روش معمولاً دارای منافذ ریزند و برای جذب مواد از مایعات و گازها مناسب هستند.

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش که در سیستم ناپیوسته انجام شد کارایی حذف نفتالین از محلول‌های آبی به متغیرهای زمان تماس، دوز جاذب، غلظت اولیه نفتالین و pH بستگی داشت.

نتایج بررسی تأثیر زمان تماس بر حذف نفتالین از محلول آبی هم در کربن فعال حاصل از پوست نارگیل و هم نانولوله کربنی چند دیواره برای غلظت اولیه ۱۰ میلی‌گرم در لیتر محلول نفتالین نشان داد میزان جذب در pH برابر ۷ بهترین جذب را دارد و اگرچه میزان جذب نفتالین با افزایش زمان تماس افزایش می‌یابد، اما با افزایش زمان از سرعت جذب نفتالین کاسته می‌شود. به طوری که پس از زمان ۹۰ دقیقه میزان تغییرات بسیار اندک است. بنابراین زمان بهینه جذب نفتالین برای نانوتیوب کربنی چند دیواره و کربن فعال در این پژوهش ۹۰ دقیقه منظور شد.

همچنین میزان دوز هر دو جاذب نیز هر چه بیشتر شود میزان جذب نفتالین بیشتر شده ولی با افزایش دوز جاذب تا یک حدی به حذف نفتالین می‌انجامد و دوباره جذب کاهش می‌یابد که برابر است با ۰/۷۵ گرم بر لیتر از هر دو جاذب و بعد از آن به دلیل پدیده واجذبی در محلول ایجاد کدورت می‌کند و جذب آلاینده کاهش می‌یابد.

با افزایش میزان نفتالین غلظت اولیه نفتالین نیز جذب افزایش یافته و تا زمانی که نقاط دسترسی برای جذب به روی جاذب باشد افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد که این میزان برابر ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است. یافته‌های بیان شده به شرح زیر است:

برحسب میلی‌گرم در لیتر، V حجم محلول برحسب لیتر و W وزن جاذب برحسب گرم است.

درصد حذف نفتالین از محلول با استفاده از معادله زیر محاسبه شد

$$(2) \quad \text{درصد حذف نفتالین} = [(C_0 - C_e) / C_0] \times 100$$

۲-۴- مدل‌های جذب

مدل‌های جذب فروندلیچ و لانگمیر برای آنالیز معادله جذب استفاده شدند و برای تعیین مدل‌های ایزوترمی، غلظت‌های مختلفی از نفتالین ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌های موردنظر برای ۶۰ دقیقه بر روی شیکر با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه و در دمای اتاق قرار داده شد. پس از طی زمان موردنظر نمونه‌ها در سانتریفوژ ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد و بعد از عبور از صافی مقدار جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۷۶ نانومتر قرائت شد (Karimi et al., 2013).

۲-۵- سنتیک جذب

در این پژوهش، دو مدل سینتیک درجه اول و درجه دوم بررسی شد. ضریب تعیین برای نشان دادن این موضوع که تا چه اندازه معادله رگرسیونی نمونه‌ها، داده‌ها را به خوبی برازش می‌کند، استفاده شد و مدل‌های مختلف ایزوترم و سینتیک جذب از طریق مقایسه ضریب تعیین R^2 کل تعداد نمونه‌ها به وسیله نرم‌افزار Excel، تحلیل شدند.

۲-۶- روش سنتز کربن فعال

فعال‌سازی در بازه دمایی ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سلسیوس و در حضور بخار انجام می‌شود. این واکنش گرماگیر است و گرمای موردنیاز توسط سوختن ناقص CO و H_2 به صورت زیر تامین می‌شود:

در ابتدا باید پوست نارگیل موجود را داخل کوره دیجیتالی با دماهای مختلف ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۰ دقیقه قرار دهیم تا کربن فعال حاصل از پوست نارگیل را به دست آوریم. بعد از اتمام کار کوره، نمونه‌ها را از کوره خارج کرده صبر



دهد. این نتایج توسط چن و همکاران طی آزمایشاتی در جذب ۲،۴،۶ تری کلرو فنول توسط نانولوله‌های کربنی چند دیواره‌ای که تحت تأثیر مس (II) قرار گرفته بررسی شدند و نتایج یکسانی را به دست آوردند (Chen et al., 2009).

پژوهش‌های راتو و همکاران نشان داد که مکانیسم جذب ترکیبات از محلول‌های آبی توسط نانولوله‌های کربنی خیلی پیچیده است ولی در پژوهش‌های مختلفی جذب یون‌های فلزی دو ظرفیتی از محلول آبی توسط نانولوله‌های کربن به طور عمده نیروهای جاذبه الکترواستاتیکی، جذب ترسیب و برهم‌کنش‌های شیمیایی بین آلاینده‌ها و گروه‌های عملکردی سطحی نانولوله‌های کربنی به عنوان مکانیسم جذب مطرح شده است (Rao et al., 2007).

۲-۳- بررسی زمان تماس بهینه: در این مرحله برای غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از نفتالین ۱ گرم در لیتر از جاذب مورد نظر و در pH برابر ۷ در نظر گرفته شد. روش آماده‌سازی نمونه‌ها کاملاً شبیه مرحله به دست آوردن pH بهینه است. محدوده زمان‌های مورد بررسی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه بوده است. برای هر زمان باید به سرعت نمونه‌ها را از روی شیکر برداشته پس از سانتریفیوژ و عبور از فیلتر سرسرنگی سلولز استات ۰/۴۵ میکرون برای نانوتیوب کربنی چند جداره و همچنین کاغذ صافی برای زغال فعال حاصل از پوست نارگیل میزان جذب قرائت شد (شکل ۵).

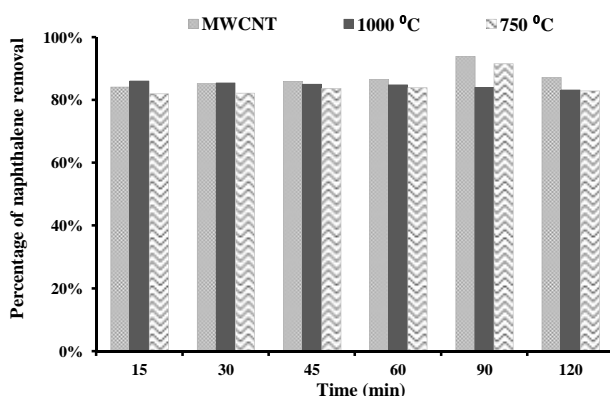


Fig. 5. Removal of naphthalene with different adsorbents to determine optimum contact time at pH=7

شکل ۵ - بررسی حذف نفتالین با جاذب‌های مختلف برای تعیین زمان تماس بهینه در pH برابر ۷

۳-۱- pH معمولاً یک پارامتر مهم و تأثیرگذار بر فرایند جذب نفتالین بر روی جاذب است. نتایج بررسی تأثیر pH بر میزان حذف نفتالین توسط نانولوله‌های کربنی چند دیواره و کربن فعال حاصل از پوست کربن نشان داد pH اثر مشخصی بر فرایند حذف نفتالین دارد و کاهش pH سبب افزایش میزان جذب آن شده است. به نظر می‌رسد pH بهینه برای جذب حدود ۳ است. چون pH مناسب برای آب شرب در حدود pH خنثی است و میزان جذب در pH برابر ۳ از نظر جذب نفتالین تفاوت زیادی با pH برابر ۷ ندارد، در نتیجه pH بهینه، ۷ انتخاب شد (شکل ۴).

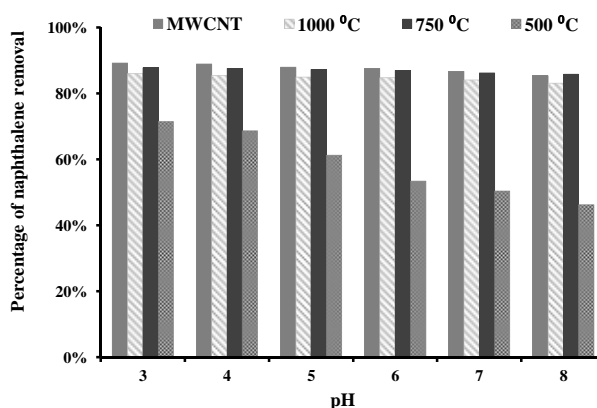


Fig. 4. Comparison of the removal of the naphthalene with different adsorbents for determination of optimum pH

شکل ۴ - مقایسه حذف نفتالین با جاذب‌های مختلف برای تعیین pH بهینه

میزان جذب نفتالین بر سطح جاذب به شدت تحت تأثیر pH بوده و با کاهش میزان pH از ۱۰ به ۳ میزان جذب نفتالین هم بر روی نانولوله و هم کربن فعال افزایش می‌یابد. در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و در pH برابر ۷ در کربن فعال حاصل از پوست نارگیل ۸۶/۱۶ درصد و در pH برابر ۳ میزان جذب به ۸۷/۷۶ درصد افزایش می‌یابد و در نانولوله کربنی با کاهش میزان pH از ۱۰ به ۳ میزان جذب نفتالین افزایش یافته و در pH برابر ۷ میزان جذب نفتالین ۸۶/۶۵ درصد و در pH برابر ۳ میزان جذب نفتالین ۸۹/۲۰ درصد افزایش می‌یابد و بعد از آن شروع به کاهش می‌کند. با تجزیه نفتالین حلالیت و در نتیجه آب‌دوستی آن افزایش می‌یابد که این نیز ممکن است جذب نفتالین را در pH بالاتر pka کاهش



استخراج یون‌های فلزی توسط نانولوله‌های کربنی به نتایج مشابه رسیدند (Stafiej and Pyrzynska, 2008, Kandah and Meunier, 2007, Li et al., 2007) در نتیجه در زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر ۷ بهترین جذب در دوز جاذب ۰/۷۵ گرم بر لیتر انجام شد (شکل ۶).

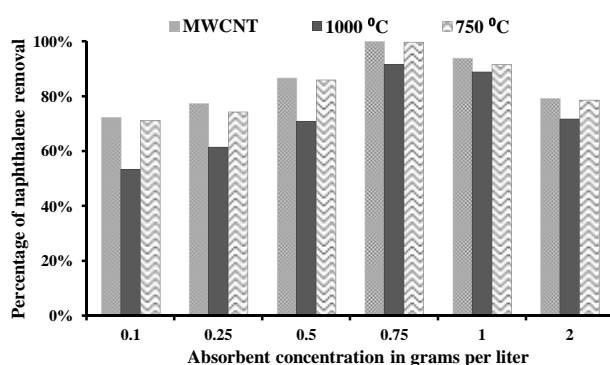


Fig. 6. Removal of naphthalene at different concentrations of adsorbents and naphthalene concentration of 10 mg/L, 90 min time and pH=7

شکل ۶ - بررسی حذف نفتالین با غلظت‌های مختلف جاذب‌ها در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر ۷

احرام‌پوش و همکاران از نتایج تأثیر غلظت جاذب بر حذف نفتالین دریافتند، با افزایش غلظت نانوتیوب کربنی و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل به‌عنوان جاذب از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر به ۲ میلی‌گرم در لیتر حذف نفتالین افزوده می‌شود، زیرا با افزایش مقدار جاذب نانولوله کربنی در محلول تعداد محل‌های جذب قابل‌دسترس که در عملیات جذب شرکت می‌کنند، افزایش می‌یابد و امکان برخورد نفتالین موجود در محلول با نانولوله کربنی و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل بیشتر است (Ehrampoush et al., 2012) بنابراین به‌طور منطقی درصد جذب هم بیشتر می‌شود. در رابطه نیز سو و همکاران در نتایج مشابهی در حذف سرب توسط نانولوله کربنی به‌دست آوردند (Xu et al., 2008). همچنین لو و همکاران نیز دریافتند که با افزایش غلظت نانولوله کربنی در محلول بر میزان جذب Ni^{2+} افزوده می‌شود (Lu et al., 2006).

۳-۴ - نتایج تأثیر غلظت اولیه محلول نفتالین بر میزان جذب آن توسط نانولوله کربنی چند دیواره نشان داد که افزایش غلظت

نتایج نشان داد که میزان جذب نفتالین با افزایش زمان تماس افزایش می‌یابد که این یافته نیز با یافته‌های مدرکیان و همکاران مطابقت نشان داد (Madrakian et al., 2011). احتمالاً این افزایش جذب سطحی به‌دلیل افزایش برخورد مولکول‌های نفتالین با سطح نانولوله‌های کربنی و سطح کربن فعال بوده است که با یافته‌های سعیدجو و همکاران مطابقت دارد (Saadatjou et al., 2009).

اگرچه میزان جذب نفتالین با افزایش زمان تماس افزایش می‌یابد، اما با افزایش زمان از سرعت جذب نفتالین کاسته می‌شود. به‌طوری‌که پس از زمان ۹۰ دقیقه مقدار تغییرات بسیار اندک است و در زمان ۹۰ دقیقه، غلظت به حالت تعادل می‌رسد. دلیل کاهش سرعت جذب نفتالین با افزایش زمان تماس را می‌توان در اشباع شدن نقاط جذب موجود بر سطح نانوتیوب کربنی و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل دانست که در این رابطه احرام‌پوش و همکاران در پژوهشی با عنوان بررسی کارایی نانولوله‌های کربنی چند جداره اصلاح شده با هیپوکلریت کلسیم در حذف بنزن از محلول‌های آبی هم به این نتیجه رسیدند که زمان بیشتر از زمان تعادل به‌دلیل واجدبی ایجاد کدورت در محلول می‌کند و کارایی حذف پایین می‌آید (Ehrampoush et al., 2012) محوی و همکاران نیز در حذف جیوه توسط نانولوله کربنی به این نتیجه دست یافتند (Mahvi, 2011).

۳-۳ - نتایج بررسی تأثیر غلظت هر دو جاذب بر میزان جذب نفتالین نشان داد، با افزایش غلظت نانوتیوب کربنی و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل از ۰/۱ به ۲ میلی‌گرم در لیتر به مقدار درصد حذف نفتالین افزوده می‌شود، اما توجه به این نکته ضروری است که با افزایش دوز جاذب تا ۰/۷۵ گرم بر لیتر در شرایط بیان شده کارایی حذف افزایش یافته و از آن به بعد با کاهش روبرو می‌شود. ابتدا با افزایش میزان جاذب نقاط دسترسی آلاینده نفتالین بیشتر شده در نتیجه باعث جذب بیشتر می‌شود، اما با افزایش غلظت جاذب بیشتر از ۰/۷۵ گرم در لیتر به دلیل اشباع شدن جاذب می‌توانند سبب ایجاد کدورت در محلول و باعث توقف عمل حذف در اثر ایجاد تداخل و در نتیجه کاهش کارایی جاذب می‌شود. استافیچ و پیرزنیسکا در مورد



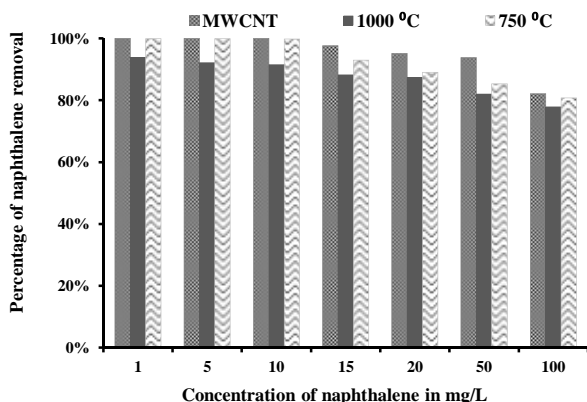


Fig. 7. Effect of naphthalene concentration on its removal by adsorbents at 0.75g/L concentration, 90 min time and pH=7

شکل ۷ - بررسی اثر غلظت نفتالین در حذف آن توسط جاذب‌ها با

غلظت ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر ۷

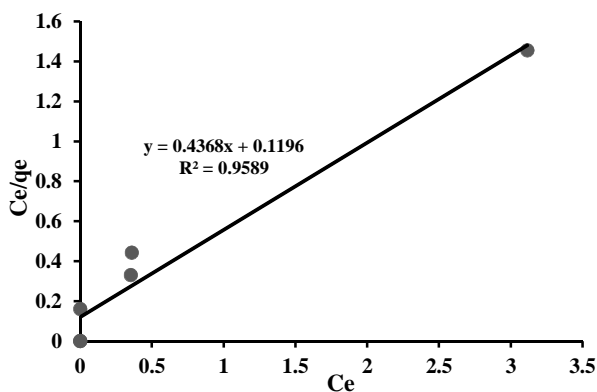


Fig. 8. Langmuir isotherm for naphthalene adsorption on multilayer carbon nanotube

شکل ۸ - ایزوترم لانگمیر مورد بررسی در جذب نفتالین بر روی

نانوتیوب کربنی چند جداره

دیواره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل هر دو از ایزوترم جذب لانگمیر تبعیت می‌کند.

مطابق شکل‌های ۸ و ۹ ضریب تعیین (R^2) در جذب نفتالین با استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره برای مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ به ترتیب برابر با ۰/۹۵۸۹ و ۰/۷۸۸۸ است. نتایج نشان داد که مدل لانگمیر با داده‌های جذب تعادلی نفتالین برازش یافته است. مطابق شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ضریب تعیین (R^2) در جذب نفتالین با استفاده از کربن فعال سنتز شده در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس برای مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ به ترتیب برابر با ۰/۹۳۱۹ و ۰/۷۵۳۳ است. نتایج نشان می‌دهد که مدل

اولیه محلول نفتالین سبب افزایش درصد حذف نفتالین می‌شود. با افزایش غلظت اولیه نفتالین از ۱ میلی‌گرم در لیتر به ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در pH برابر ۷ و زمان تماس ۹۰ دقیقه، کارایی حذف افزایش یافت. این امر به خاطر افزایش نیرو محرکه گرادیان غلظت با غلظت اولیه بیشتری از نفتالین است که در ۱۰ میلی‌گرم در لیتر غلظت نفتالین بیشترین میزان جذب را دارد. در غلظت‌های کمتر، نسبت تعداد اولیه مول‌های نفتالین به مکان‌های جذب در دسترس کم است و در نتیجه مقداری از جذب مستقل از غلظت اولیه خواهد بود. مور و همکاران نیز به نتایج مشابه در طی جذب رنگ‌های اسیدی در ایزوترم تعادل کیتوزان به دست آوردند (Murr et al., 2005).

در غلظت‌های زیاد به نظر نمی‌رسد که مولکول‌های نفتالین در سطح خارجی جاذب به صورت تک لایه جذب شوند (Karagozoglu et al., 2007).

در پژوهشی نیز که توسط گوتوواک و همکاران در مورد جذب نفتالین بر روی نانولوله کربنی تک دیواره انجام شد نتایج نشان داد که جذب نفتالین به صورت چند لایه اتفاق افتاد. این موضوع نشان می‌دهد برخورد مناسبی بین مولکول‌های نفتالین و سطح نانولوله‌های کربنی وجود دارد (Gotovac et al., 2006).

در عین حال با افزایش غلظت اولیه محلول نفتالین، بر میزان q_e که نشان دهنده نسبت مقدار نفتالین جذب شده به مقدار جاذب است افزوده می‌شود. همچنین افزایش غلظت اولیه رسیدن به زمان تعادل را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد، اما به طور مؤثری مقدار نفتالین جذب شده در واحد وزن نانولوله کربنی یعنی مقدار q_e را افزایش می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت که اگر مقدار جاذب بدون تغییر باقی بماند، مقدار نفتالین جذب شده روی جاذب با افزایش غلظت اولیه نفتالین موجود در محلول افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است تا غلظت ۱۰ میلی‌گرم افزایش جذب انجام می‌شود و بعد از آن به دلیل عدم دسترسی به نقاط جذب در هر دو جاذب کاهش یافت (شکل ۷).

ایزوترم‌های جذب لانگمیر و فروندلیچ برای فرایند جذب نفتالین توسط نانولوله کربنی چند دیواره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل بررسی شد و مقدار R^2 ایزوترم جذب فروندلیچ و مقدار R^2 ایزوترم جذب لانگمیر، بیانگر این مطلب است که فرایند جذب نفتالین بر سطح نانولوله کربنی چند



لانگمیر با داده‌های جذب تعادلی نفتالین برازش یافته است.

۳-۵- به منظور بررسی سینتیک جذب نفتالین بر نانولوله‌های چند جداره و کربن فعال حاصل از پوست کربن داده‌های حاصل از پژوهش، غلظت نفتالین ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و ۰/۷۵ گرم در لیتر دوز جاذب در pH برابر ۷ در زمان ۹۰ دقیقه مورد بررسی و میزان مطابقت نتایج با مدل‌های درجه اول و دوم بررسی شد. نتایج نشان داد که سینتیک جذب نفتالین بر کربن فعال حاصل از پوست کربن از معادله درجه دوم $R^2=0/996$ ، و در نانولوله‌های کربنی چند جداره نیز از مدل سینتیک درجه دو پیروی می‌کند. $R^2=0/999$ (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

سینتیک جذب در کربن فعال حاصل از پوست نارگیل در معادله درجه یک برابر است با $R^2=0/80$ و در نانولوله کربنی چند جداره برابر است با $R^2=0/85$.

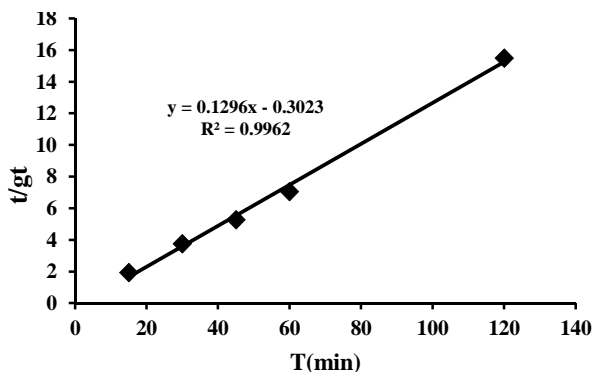


Fig. 12. Kinetic modeling of Naphthalene adsorption by activated carbon synthesized at 750°C using the second order equation of kinetic

شکل ۱۲- مدل سازی سینتیکی جذب سطحی نفتالین توسط کربن فعال سنتز شده در ۷۵۰ درجه سلسیوس با استفاده از معادله سینتیکی معادله مرتبه دوم

با توجه به مقدار به دست آمده در نمودار می‌توان نتیجه گرفت که سینتیک جذب در نانولوله کربنی و کربن فعال به دست آمده از پوست نارگیل از معادله درجه دو تبعیت می‌کند.

جدول ۱ نتایج حاصل از مدل لانگمیر و فروندلیچ برای نانولوله کربنی چند جداره است.

نوع مطلوبیت فرایند جذب در مدل لانگمیر می‌تواند با استفاده $RL > 1$ جذب نامطلوب، $RL = 1$ جذب خطی، $RL = 0$ جذب برگشت پذیر و $0 < RL < 1$ جذب مطلوب را نشان می‌دهد. بر اساس

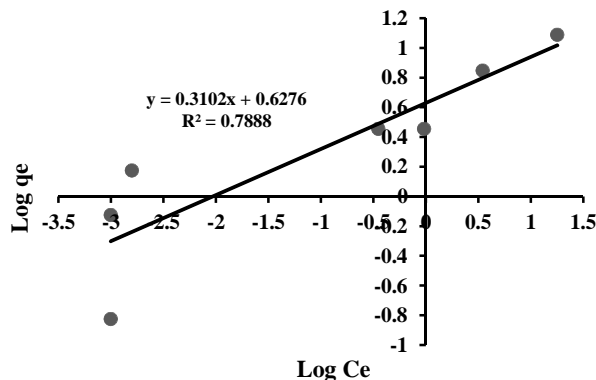


Fig. 9. Freundlich isotherm for naphthalene adsorption on multilayer carbon nanotube

شکل ۹- ایزوترم فروندلیچ مورد بررسی در جذب نفتالین بر روی نانوتیوب کربنی چند جداره

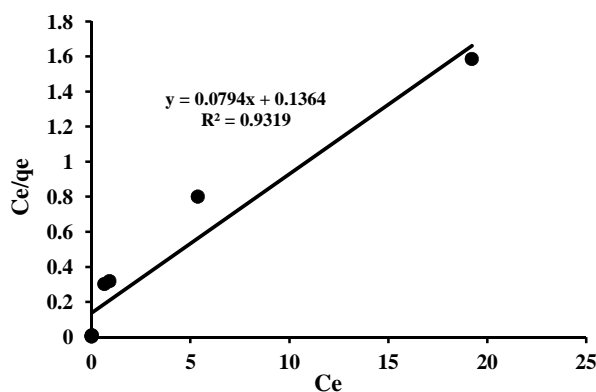


Fig. 10. Langmuir isotherm for naphthalene adsorption on synthesized activated carbonate 750 °C

شکل ۱۰- ایزوترم لانگمیر مورد بررسی در جذب نفتالین بر روی کربن فعال سنتز شده در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس

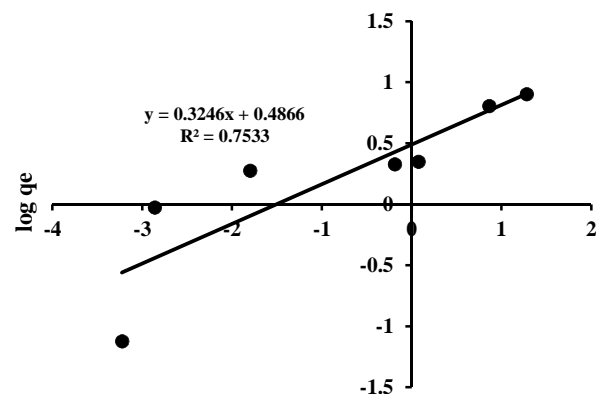


Fig. 11. Freundlich isotherm for naphthalene adsorption on synthesized activated carbonate 750 °C

شکل ۱۱- ایزوترم فروندلیچ مورد بررسی در جذب نفتالین بر روی کربن فعال سنتز شده در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس



جدول ۱- مقدار پارامترهای مدل‌های ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ در جذب نفتالین توسط نانولوله کربنی چند جداره

Table 1. Parameter values of Langmuir and Freundlich isotherm models for naphthalene adsorption by multiwalled carbon nanotubes

Model	Freundlich				Langmuir				
	Parameter	n	K_f	1/n	R ²	b	a	R ²	R _L
QTY	3.2	4.088	0.3125	0.7888	0.822	12.903	0.9589	0.008	10.606

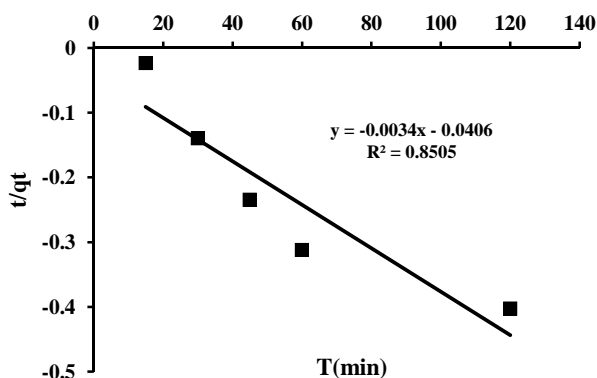


Fig. 15. Kinetic modeling of naphthalene adsorption by multi-walled carbon nanotubes using first-order kinetic equation

شکل ۱۵- مدل‌سازی سینتیکی جذب سطحی نفتالین توسط نانوتیوب کربنی چند جداره با استفاده از معادله سینتیکی شبه مرتبه اول

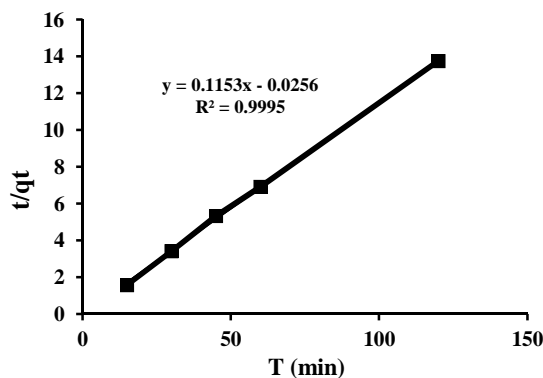


Fig. 13. Kinetic modeling of naphthalene adsorption by multilayer carbon nanotube using second order equation of kinetic

شکل ۱۳- مدل‌سازی سینتیکی جذب سطحی نفتالین توسط نانوتیوب کربنی چند جداره با استفاده از معادله سینتیکی معادله مرتبه دوم

در مورد مدل ایزوترمی فروندلیچ نیز مقدار n مقیاسی از شدت جذب است. n کمتر از ۱ نشان‌دهنده جذب ضعیف، n بین ۱ تا ۲ بیانگر جذب متوسط و n بین ۲ تا ۱۰ بیانگر جذب مطلوب است. با توجه به این که مقدار n به دست آمده در جذب نفتالین توسط نانوتیوب کربنی چند جداره مطابق جدول ۱ برابر ۳/۲ است. از این رو مدل ایزوترمی فروندلیچ نیز از نظر ریاضی مطلوب است. از طرفی دیگر n بیانگر نحوه توزیع ذرات مواد جذب‌شونده متصل شده به سطح ماده جاذب است، به گونه‌ای که 1/n با مقدار صفر تا ۱ بیانگر ناهمگنی سطح است. هر چه به صفر نزدیک‌تر شود ناهمگنی سطح افزایش می‌یابد.

اگر مقدار آن کمتر از یک شود بیانگر جذب ایزوترم فروندلیچ خواهد بود. با توجه به این که مقدار عددی 1/n برابر ۰/۳۱۲۵ بوده و بین صفر و ۱ قرار دارد می‌توان گفت که سطح جاذب حالت ناهمگنی دارد. مقدار ثابت فروندلیچ نتایج حاصل از RL را تأیید می‌کند.

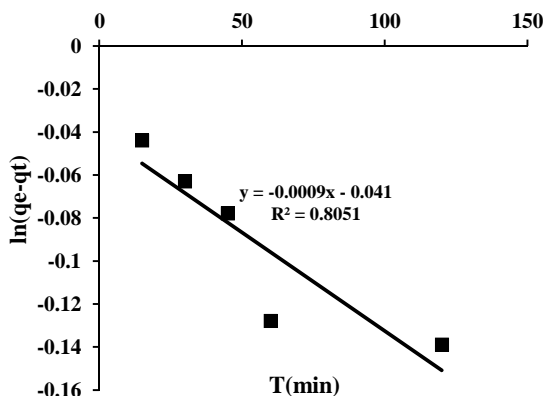


Fig. 14. Kinetic modeling of naphthalene adsorption by activated carbon synthesized at 750 °C using first-order kinetic equation

شکل ۱۴- مدل‌سازی سینتیکی جذب سطحی نفتالین توسط کربن فعال سنتز شده در ۷۵۰ درجه سلسیوس با استفاده از معادله سینتیکی شبه مرتبه اول

مقدار RL محاسبه شده مدل لانگمیر، ۰/۰۰۸ بوده که بین صفر تا ۱ است، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند جذب نفتالین توسط نانولوله کربنی چند جداره مطلوب است.



جدول ۲- مقدار پارامترهای مدل‌های ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ در جذب نفتالین توسط کربن سنتز شده در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس

Table 2. Parameters of isotherm and Freundlich models in naphthalene adsorption by multi-walled carbon nanotubes at 750 °C

Model	Freundlich				Langmuir					
	Parameter	n	K _f	1/n	R ²	b	a	R ²	R _L	K _L
QTY	3.08	3.066	0.325	0.753	0.58	12.59	0.9319	0.007	7.302	

جدول ۳- مقدار R² معادلات شبه‌مرتبه اول و شبه‌مرتبه دوم برای جذب نفتالین با دو جاذب

Table 3. R² values of pseudo-first-order and pseudo-second-order equations to adsorb naphthalene with two adsorbents

Naphthalene	Multi-walled carbon nanotube		Activated carbon	
	Order of equation	Quadratic equation	Order of equation	Quadratic equation
	0.8505	0.9995	0.8051	0.9962

فرایند جذب نفتالین از محلول‌های آبی توسط نانولوله‌های کربنی چند جداره و کربن فعال حاصل از سوزاندن پوست نارگیل در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس از سینتیک جذب شبه‌مرتبه دوم به‌طور کامل تری تبعیت می‌کند (جدول ۳).

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی حذف نفتالین از محیط‌های آبی توسط جاذب نانولوله کربنی چند دیواره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل انجام شد. بر اساس نتایج، کارایی حذف نفتالین به وسیله نانولوله‌های کربنی چند جداره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل از محلول با افزایش زمان تماس و افزایش دوز جاذب و افزایش غلظت اولیه نفتالین و کاهش pH، افزایش می‌یابد. به‌طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که حداکثر ظرفیت جذب سطحی نفتالین توسط نانولوله‌های کربنی چند دیواره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل در شرایط pH برابر ۷ و غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نفتالین و ۰/۷۵ گرم در لیتر دوز جاذب در زمان تماس ۹۰ دقیقه اتفاق افتاده است.

نتایج نشان داد که اگرچه میزان جذب نفتالین با افزایش زمان تماس افزایش می‌یابد، اما از سرعت جذب نفتالین کاسته می‌شود. به‌طوری که پس از زمان ۹۰ دقیقه میزان تغییرات بسیار اندک است. همچنین ایزوترم جذب نفتالین روی نانوتیوب‌های کربنی

جدول ۲ نتایج حاصل از مدل لانگمیر و فروندلیچ برای کربن فعال حاصل از پوست نارگیل است.

پیرو نتایج حاصل از مدل لانگمیر این نتیجه به‌دست آمد که جذب به‌صورت تک لایه رخ داده است.

بر اساس مقدار R_L محاسبه شده مدل لانگمیر، ۰/۰۰۷ بوده که

بین صفر تا ۱ است، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند جذب نفتالین

توسط کربن فعال حاصل از سوزاندن پوست نارگیل در دمای ۷۵۰

درجه سلسیوس مطلوب است. با توجه به این که مقدار n برای مدل

ایزوترم فروندلیچ به‌دست آمده در جذب نفتالین توسط کربن فعال

حاصل از سوزاندن پوست نارگیل در دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس

مطابق جدول ۲ برابر ۳/۰۸ است، از این رو مدل ایزوترمی

فروندلیچ نیز از نظر ریاضی مطلوب است. با توجه به این که مقدار

عددی 1/n برابر ۰/۳۲۴۶ بوده و بین صفر و ۱ قرار دارد می‌توان

گفت که سطح جاذب حالت ناهمگنی دارد. مقدار ثابت فروندلیچ

نتایج حاصل از R_L را تأیید می‌کند. از مقدار فاکتور بدون بعد

R_L مشخص می‌شود، به‌طوری که مقدار نمودارها و جداول برای

بررسی سینتیک شبه‌مرتبه اول و دوم جذب سطحی نفتالین، با

استفاده از نانولوله کربنی چند جداره و کربن فعال سنتز شده ترسیم

شده است. همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، R² های

سینتیک جذب شبه‌مرتبه دوم نسبت به مقدار R² سینتیک جذب

شبه‌مرتبه اول مقدار بیشتری دارند. این نتایج نشان می‌دهد که



توجه به پژوهش‌های انجام شده قبلی میتوان این جاذب‌ها را احیا و چندین مرتبه مورد استفاده قرار داد (Bina et al., 2012). بنابراین در یک نتیجه‌گیری کلی، به دلیل گران قیمت بودن نانولوله کربنی، کربن فعال حاصل از پوست نارگیل به دلیل خلل و فرج و سطح متخلخل و توزیع بار اتم خنثی در سطح خود و در نتیجه توزیع بار الکتریکی یکنواخت آن و همچنین به دلیل ارزان بودن و در دسترس بودن می‌تواند جایگزین مناسب‌تری نسبت به نانولوله کربنی برای حذف آلاینده‌های آلی خصوصاً نفتالین از آب و فاضلاب باشد.

۵- قدردانی

از پرسنل آزمایشگاه آب و فاضلاب واحد علوم و تحقیقات که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند تشکر و قدردانی می‌شود.

چند جداره و کربن فعال حاصل از پوست نارگیل از ایزوترم لانگمیر و مکانیسم جذب نفتالین بر روی نانولوله‌های کربنی از سنتیک جذب درجه دوم تبعیت می‌کند. ظرفیت جذب بالای نانولوله‌های کربنی در حذف آلاینده‌های آلی به علت ساختار منفذدار این نانولوله‌ها و وجود مقدار زیادی از گروه‌های عملکردی سطحی در آنها است. به دلیل اندازه کوچک نانولوله‌های کربنی چند جداره و سطح مقطع زیاد آنها، شکل کریستالی و نظم شبکه‌ای منحصربه‌فرد و در نتیجه واکنش‌پذیری بسیار زیاد و عملکرد قابل توجه حذف، به عنوان جاذب در حذف آلاینده‌های آلی به خصوص برای حذف نفتالین از محلول‌های آب می‌تواند کاربرد زیادی داشته باشد. محدودیت‌های این پژوهش قیمت بالای نانولوله‌های کربن است که می‌توان برای جبران این موضوع، با

References

- Abouli, M., Pour Khabbaz, H. & Yosefan, N. 2018. Effect of activated carbon adsorbent on removal of hydrocarbons in petroleum effluent. *The 4th International Conference on Environmental Planning and Management*. University of Tehran, Iran. (In Persian)
- Bina, B., Pourzamani, H., Rashidi, A. & Amin, M. M. 2012. Ethylbenzene removal by carbon nanotubes from aqueous solution. *Journal of Environmental and Public Health*, 817187. (In Persian)
- Chen, G. C., Shan, X. Q., Wang, Y. S., Wen, B., Pei, Z. G., Xie, Y. N., et al. 2009. Adsorption of 2,4,6-trichlorophenol by multi-walled carbon nanotubes as affected by Cu(II). *Water Research*, 43(9), 2409-2418.
- Ehrampoush, M., H. Pourzamani, H. R. & Pezashki Najafabadi, M. 2012. Benzene removal from aqueous solution by surface modified carbon nanotubes using calcium hypochlorite. *Journal of Health System Research*, 8(6), 1058-1067. (In Persian)
- Fazlollahi, S., Hassani, A. H., Borghei & Pourzamani, H. 2016. Investigation of isotherm and kinetics of naphthalene adsorption from aqueous solutions by multiwall carbon nanotubes. *Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 24, 162-173. (In Persian)
- Gotovac, S., Hattori, Y., Noguchi, D., Miyamoto, J., Kanamaru, M., Utsumi, S., et al. 2006. Phenanthrene adsorption from solution on single wall carbon nanotubes. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110, 16219-16224.
- Hassani, A. H., Fazlollahi, S., Borghei, M. & Pourzamani, H. 2017. Evaluation of the efficiency of multi-walled carbon nanotubes for removal of petroleum hydrocarbons from aqueous solution (naphthalene case study). *Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 129-141. (In Persian)
- Jafapour, M. 2006. Evaluation of bioreactor and advance proceedings of seminar of environmental engineering. *Tarbiat Modares University Journal*, 6, 8-11. (In Persian)
- Kandah, M. I. & Meunier, J. L. 2007. Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials*, 146, 283-288.



- Karagozolu, B., Tasdemir, M., Demirbas, E. & Kobya, M. 2007. The adsorption of basic dye (Astrazon Blue FGRL) from aqueous solutions onto sepiolite, fly ash and apricot shell activated carbon: kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, 147, 297-306.
- Karimi, B., Rajaei, M., Habibi, M., Esvand, M. & Abdollahy, M. 2013. Effect of UV/H₂O₂ advanced oxidation processes for the removal of naphthalene from the water. *Journal of Arak University of Medical Sciences*, 16(9), 50-64. (In Persian)
- Khorsandi, H. 2001. The role of surface adsorption with activated carbon in the removal of environmental pollutants. *Journal of Urmia University of Medical Sciences*, 11(4), p298. (In Persian)
- Li, Y., Zhao, Y., Hu, W., Ahmad, I., Zhu, Y., Peng, X., et al. 2007. Carbon nanotubes-the promising adsorbent in wastewater treatment. *Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing*, 61(1), p140.
- Lu, C., Chiu, H. & Liu, C. 2006. Removal of zinc (II) from aqueous solution by purified carbon nanotubes: kinetics and equilibrium studies. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45, 2850-2855.
- Luna, F. M. T., Araújo, C. C., Veloso, C. B., Silva, I. J., Azevedo, D. C. & Cavalcante, C. L. 2011. Adsorption of naphthalene and pyrene from isooctane solutions on commercial activated carbons. *Adsorption*, 17, 937-947.
- Madrakian, T., Afkhami, A., Ahmadi, M. & Bagheri, H. 2011. Removal of some cationic dyes from aqueous solutions using magnetic-modified multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials*, 196, 109-114.
- Mahvi, A. H. 2011. Study of inorganic mercury removal by carbon nanotubes multi-walled and single-walled. *Tehran University of Medical Science Journal*, 16, 8-32
- Murr, L., Garza, K., Soto, K., Carrasco, A., Powell, T., Ramirez, D., et al. 2005. Cytotoxicity assessment of some carbon nanotubes and related carbon nanoparticle aggregates and the implications for anthropogenic carbon nanotube aggregates in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2, 31-42.
- Owabor, C., Agarry, S. & Jato, D. 2012. Removal of naphthalene from aqueous system using unripe orange peel as adsorbent: effects of operating variables. *Desalination and Water Treatment*, 48, 315-319.
- Rao, G. P., Lu, C. & Su, F. 2007. Sorption of divalent metal ions from aqueous solution by carbon nanotubes: a review. *Separation and Purification Technology*, 58, 224-231.
- Saadatjou, N., Rasoulifard, M. & Heidari, A. 2009. Removal of Basic Red 46 using low-cost adsorbent of hardened paste of portland cement from contaminated water. *Journal of Color Science and Technology*, 2(4), 221-226. (In Persian)
- Stafiej, A. & Pyrzyńska, K. 2008. Solid phase extraction of metal ions using carbon nanotubes. *Microchemical Journal*, 89, 29-33.
- Trojanowicz, M. 2006. Analytical applications of carbon nanotubes: a review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 25, 480-489.
- Xu, D., Tan, X., Chen, C. & Wang, X. 2008. Removal of Pb (II) from aqueous solution by oxidized multiwalled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials*, 154, 407-416.
- Yang, K., Wu, W., Jing, Q., Jiang, W. & Xing, B. 2010. Competitive adsorption of naphthalene with 2, 4-dichlorophenol and 4-chloroaniline on multiwalled carbon nanotubes. *Environmental Science and Technology*, 44, 3021-3027.

