

بررسی جذب رنگ اسیدی زرد ۱۷ از محلول آبی با استفاده از نانوتیوب‌های کربنی چند جداره

ندا پور جواد*، نصرالله مجیدیان و محمد سمیع پورگیری

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۸

چکیده

صنایع نساجی و رنگرزی از صنایع مهم و پایه هر کشوری بوده و مادر بسیاری از صنایع دیگر محسوب می‌گردد. در این گونه صنایع به دلیل استفاده از انواع رنگ‌ها در فرآیندهای مختلف تولید و پردازش محصولات، فاضلاب حاصل نیز به شدت رنگی بوده و می‌بایست قبل از تخلیه به محیط زیست تصفیه گردد. در پژوهش حاضر، پتانسیل جذب نانوتیوب‌های کربنی چند جداره در جداسازی رنگ اسیدی زرد ۱۷ از محلول آبی با استفاده از روش جذب و روش پاسخ سطح جهت بهینه سازی و مدلینگ فرایند بررسی شده است. آزمایش‌ها به صورت پیوسته (ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری) و در مقیاس آزمایشگاهی با تعیین میزان رنگ جذب شده با توجه به روش پاسخ سطح و روش طراحی مرکب مرکزی صورت پذیرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر غلظت اولیه رنگ و میزان به کار رفته نانوتیوب کربنی، فاکتور مؤثر بر فرایند جذب رنگ از محیط آبی می‌باشد. بهترین شرایط برای جذب رنگ زمان تعادل ۳۰ دقیقه، غلظت رنگ اولیه ۲۴/۴۵ میلی‌گرم در لیتر و دوز جاذب ۷۵/۴۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر با حداکثر راندمان حدود ۹۸/۲۷ درصد به دست آمد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که استفاده از نانوتیوب‌های کربنی در جذب رنگ از محلول‌های آبی با بازدهی بالایی قابل اجراست.

واژگان کلیدی: پساب رنگی، مدل سازی، جذب سطحی، نانوتیوب کربنی چند جداره، رنگ اسیدی زرد ۱۷

مقدمه

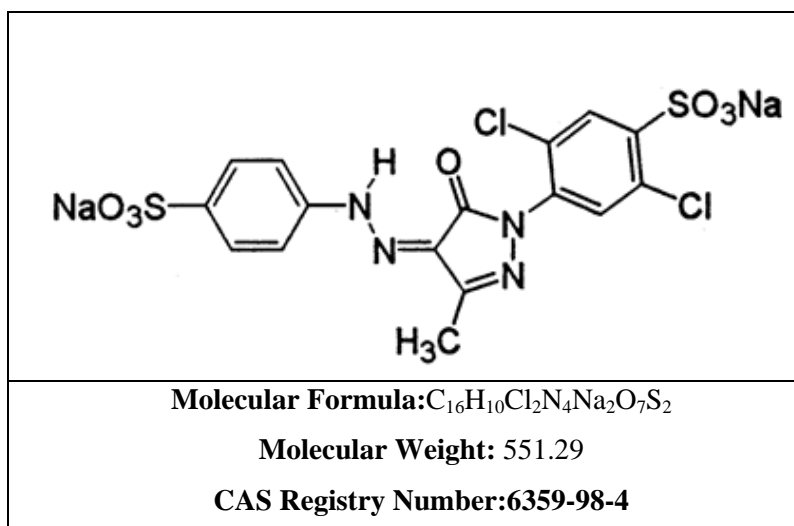
برد (Li *et al.*, 2013; Rezaee *et al.*, 2014). از بین این مواد یا جاذب‌ها، کربن فعال پرکاربردترین جاذب برای کنترل آلودگی زیست محیطی می‌باشد (Long & Yang, 2001; Yao *et al.*, 2010). طبق مطالعات انجام شده محققان گزارش نموده‌اند که نانوتیوب‌های کربنی چند جداره برای حذف دی اکسین ها مؤثرتر از کربن فعال عمل می‌نماید، به همین دلیل امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است (Chen *et al.*, 2009). هدف از مطالعه حاضر، جذب رنگ اسیدی زرد ۱۷ از محلول آبی با استفاده از نانوتیوب‌های کربنی چند جداره می‌باشد و مراحل آزمایش با روش آماری پاسخ سطح بهینه و مدلسازی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

رنگ

در این مطالعه رنگ اسیدی زرد ۱۷ در درجه آزمایشگاهی و با خلوص بالا تهیه شد. ویژگی‌ها و ساختار شیمیایی آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

صنعت نساجی از مهم‌ترین صنایع هر کشوری محسوب می‌شود و از صنایع بسیار پرمصرف منابع آبی و به دنبال آن تولید فاضلاب است (Wu, 2007). بر طبق گزارش‌های موجود میزان مصرف آب برای تولید ۱۰۰۰ پوند پارچه در کارخانه‌های تکمیل پنبه و پشم بین ۳۰۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ گالن می‌باشد و در کارخانه‌های تکمیل الیاف مصنوعی به ازای هر ۱۰۰۰ پوند پارچه تولید شده، در حدود ۳۰۰۰ تا ۲۹۰۰۰ گالن آب مورد نیاز می‌باشد (Khosravi *et al.*, 2014). فاضلاب صنایع نساجی علاوه بر دارا بودن مواد رنگی، حاوی مواد دیگری از قبیل مواد شیمیایی آلی، نمک‌های غیر آلی، فلزات سنگین و سورفکتانت‌های غیر یونی می‌باشند. همچنین در این نوع فاضلاب‌ها نسبت BOD به COD کمتر بوده بنابراین تصفیه بیولوژیکی این فاضلاب‌ها بسیار مشکل می‌باشد. جذب سطحی یکی از فرآیندهای مهم در حذف آلودگی‌های زیست محیطی است. از کاربردهای این فرایند می‌توان به استفاده از آن در صنعت و همچنین حذف آلاینده‌های زیست محیطی از هوا، آب و فاضلاب نام



شکل ۱- ساختار فضایی و فرمول شیمیایی رنگ اسیدی زرد ۱۷

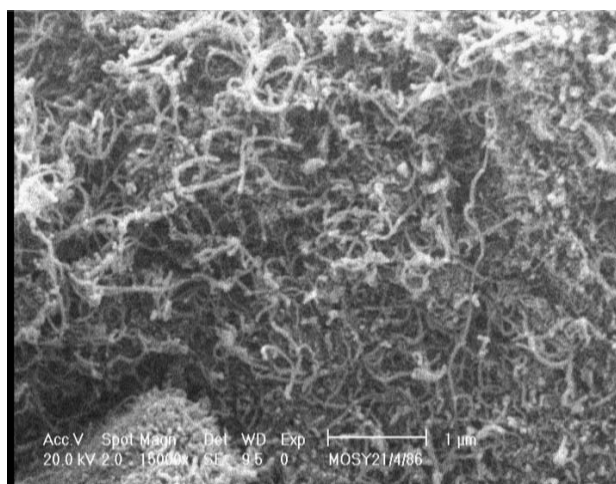
نانوتیوب‌های کربنی

نانوتیوب کربنی چند جداره مورد استفاده در این مطالعه، از پژوهشگاه صنعت نفت ایران تهیه شد.

ویژگی‌های نانوتیوب‌های کربنی در جدول (۱) و شکل (۱) قابل مشاهده است.

جدول ۱- خصوصیات نانوتیوب‌های کربنی

ویژگی	واحد	مقدار
BET	m ² /g	۲۷۰
طول	μm	۱۰
قطر	Nm	۱۰-۳۰
هدایت دمایی	w/Mv	۱۵۰۰



شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی رو بشی از نانوتیوب‌های کربن چند جداره

اجرا و آنالیز

آزمایش‌های جذب در محیط بسته و با استفاده از ارلن‌های در بسته به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر که حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگی بودند، انجام شد. ارلن‌ها به منظور اختلاط مناسب و توزیع رنگ در جهت ممانعت از محدود شدن انتقال جرم بر روی دستگاه همزن مغناطیسی با دور ۱۵۰ دور بر دقیقه (rpm) قرار داده شد. سنجش غلظت رنگ با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با غلظت‌های استاندارد و مشخص ۱ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر توسط اسپکتروفوتومتر UV/Vis و معادله بهترین خط پردازش به دست آمده با ضریب همبستگی مناسب ($R^2 = 0.993$) انجام شد.

طراحی آزمایش با استفاده از روش پاسخ سطح

هدف از بکارگیری این روش، بهینه نمودن پاسخ می‌باشد. اولین گام، یافتن تابع تقریبی مناسب بین پاسخ و مجموعه متغیرهای مستقل است. این تابع تقریبی معمولاً یک چند جمله‌ای از متغیرهای مستقل است (Hossini & Rezaee, 2014). آزمایش‌های با دو متغیر اصلی مورد نظر شامل میزان رنگ اولیه در محدوده غلظت ۵۰-۱۰ mg/l و میزان نانوتیوب کربن در حدود ۱۰۰-۲۰ mg/l، انجام شد. جدول (۲) محدوده تغییرات فاکتورهای مورد بررسی را ارائه می‌نماید. بر اساس چهار فاکتور اشاره شده تعداد ۱۳ آزمایش برای بهینه سازی فرآیند در نظر گرفته شد که در جدول (۳) نمایش داده شده است. پاسخ سطح

مورد نظر برای ارزیابی شرایط بهینه و مدل حذف بر اساس میزان راندمان حذف تعیین گردید.

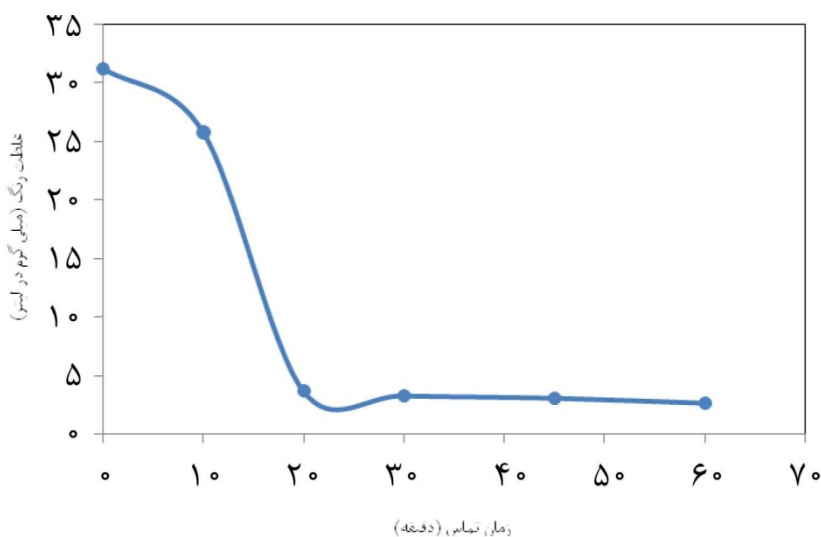
$$Re \% = \frac{(C_1 - C_2)}{C_1} \times 100 \quad (1)$$

C_1 و C_2 به ترتیب غلظت‌های اولیه و نهایی رنگ است.

نتایج

اثر زمان

در مرحله اول برای تعیین زمان تعادل آزمایش جذب رنگ با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر و میزان نانوتیوب کربن ۳۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر انجام پذیرفت. با توجه به شکل (۳) می‌توان دریافت بیشترین میزان جذب در ۳۰ دقیقه ابتدایی جذب صورت گرفته است. با توجه به نتایج این مرحله، در مرحله بهینه سازی زمان تعادل و مناسب جذب برای تمامی آزمایش‌ها ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل ۳- بررسی اثر زمان جذب بر میزان جذب

درجه دو چند وجهی نهایی از مدل حذف رنگ بر اساس فاکتور کد شده و فاکتورهای اصلی به فرم رابطه (۲ و ۳) فراهم گردید. رگرسیون درجه دو چند وجهی نهایی از مدل حذف رنگ بر اساس روش پاسخ سطح با استفاده از فرمول (۳) انجام شد:

آنالیز متغیرها

۱۳ آزمایش بر اساس طراحی مرکب مرکزی و دو فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج منعکس در جدول (۳) مدل تعریف شده برای حذف رنگ معنی دار بود ($P < 0.05$). خلاصه نتایج آماری مدل جذب رنگ در جدول (۴) ارائه شده است. معادله

فرمول (۲)

$$R\% = + 87/78 + 17/11 * A - 8/68 * B + 7/02 * A * B - 7/50 * A^2 - 7/09 * B^2$$

فرمول (۳)

$$R\% = +۳۵/۸۱ + ۱/۲ * CNT + ۰/۴۵ * Conc. + ۰/۰۲ * CNT * Conc. - ۹/۳E-003 * CNT^2 - ۰/۰۳۵ * Conc.^۲$$

برای تشخیص صحت مدل از روش‌های آماری نشان می‌دهد. استفاده شد. شکل (۴) باقیمانده استیودنتیته داخلی را

جدول ۲- طراحی آزمایش بر اساس روش CCD

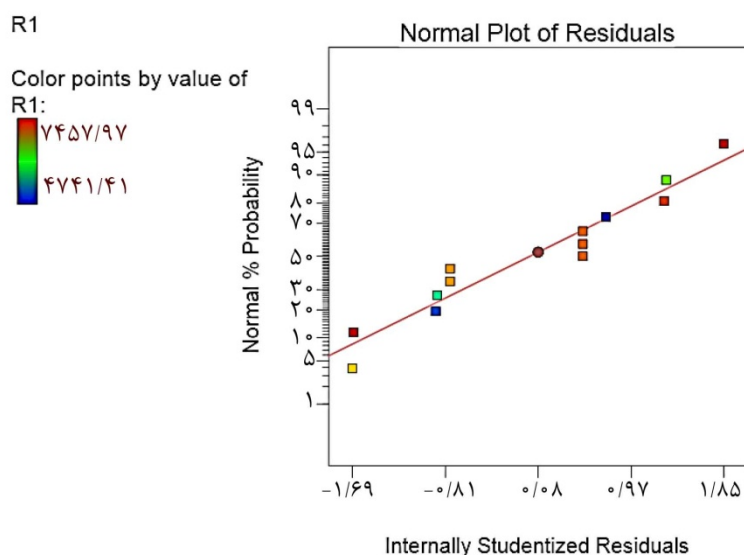
ردیف	A	B	راندمان حاصل از مدل %	راندمان آزمایشگاهی %
۱	۰	۰	۸۷/۷۸	۸۶/۱۱
۲	-۰/۴۱۴	۰	۴۸/۵۹	۴۷/۲۲
۳	-۱	۱	۴۰/۳۸	۴۱/۴۷
۴	۰	۰	۸۷/۷۸	۸۸/۸۹
۵	۰	-۱/۴۱۴	۸۵/۸۸	۸۳/۳۳
۶	۰	۰	۸۷/۷۸	۸۶/۱۱
۷	۱	۱	۸۸/۶۴	۹۰/۵۶
۸	۰	۱/۴۱۴	۶۱/۳۳	۶۰/۰۰
۹	۱	-۱	۹۱/۹۶	۹۴/۷۵
۱۰	۰	۰	۸۷/۷۸	۸۸/۸۹
۱۱	۰	۰	۸۷/۷۸	۸۸/۸۹
۱۲	-۱	-۱	۷۱/۷۸	۷۳/۷۳
۱۳	۱/۴۱۴	۰	۹۶/۹۸	۹۴/۴۴

جدول ۳ - آنالیز متغیرها (ANOVA)

	p-value Prob> F	F Value	Mean Square	Df	Sum of Squares	Source
significant	<۰/۰۰۰۱	۱۲۶/۰۳	۷۵۹/۵	۵	۳۷۹۷/۴۹	Model
	<۰/۰۰۰۱	۳۸۸/۶۸	۲۳۴۲/۲۱	۱	۲۳۴۲/۲۱	A-CNT
	<۰/۰۰۰۱	۱۰۰/۰۲	۶۰۲/۷۰	۱	۶۰۲/۷۰	B-Conc.
	۰/۰۰۰۷	۳۲/۶۹	۱۹۶/۹۷	۱	۱۹۶/۹۷	AB
	<۰/۰۰۰۱	۶۴/۹۹	۳۹۱/۶۱	۱	۳۹۱/۶۱	A^2
	۰/۰۰۰۱	۵۷/۹۷	۳۴۹/۳۲	۱	۳۴۹/۳۲	B^2
			۶/۰۳	۷	۴۲/۱۸	Residual
not significant	۰/۰۸۳۴	۴/۷۴	۱۰/۹۷	۳	۳۲/۹۲	Lack of Fit
			۲/۳۱	۴	۹/۲۶	Pure Error
				۱۲	۳۸۳۹/۶۷	Cor Total

جدول ۴- خلاصه نتایج آماری

۰/۹۸۹	R-Squared	۲/۴۵	Std. Dev.
۰/۹۸۱۲	Adj R-Squared	۷۸/۸۰	Mean
۰/۹۳۵۳	Pred R-Squared	۳/۱۲	C.V. %
۳۳/۹۳۲	Adeq Precision	۲۴۸/۵۹	PRESS

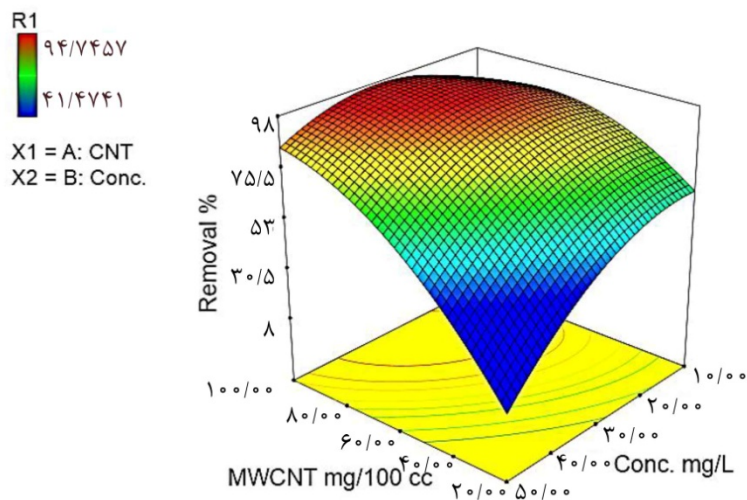


شکل ۴- باقیمانده استیوننتیده داخلی

می‌دهد. با توجه به این شکل، بر هم‌کنش بین دو فاکتور غلظت اولیه رنگ اسیدی زرد ۱۷ و دوزاژ نانوتیوب‌های کربنی دیده می‌شود.

بر هم‌کنش پارامترها

شکل (۵) دیاگرام سه بعدی پاسخ سطحی مربوط به جذب رنگ اسیدی زرد ۱۷ از محلول آبی با استفاده از نانوتیوب‌های کربنی چند جداره مورد بررسی را نشان



شکل ۵- نحوه برهم‌کنش پارامترهای مؤثر بر جذب رنگ

بهینه سازی جذب

در مرحله بهینه سازی، پارامترهای مؤثر بررسی برای اهداف مورد نظر بهینه سازی می‌شوند. برای این منظور برای رسیدن به بیشترین میزان جذب رنگ، مقادیر بهینه تعیین گردید. جدول (۵) میزان بهینه در

جذب رنگ اسیدی زرد ۱۷ را نشان می‌دهد. در شرایط بهینه بیشترین مقدار جذب برابر ۹۸/۷۰ درصد با توجه به اطمینان داخلی ۹۸-۹۳ درصد تعیین شد (جدول ۶).

جدول ۵- مقادیر بهینه توسط روش پاسخ سطح با توجه به حداکثر جذب رنگ

مطلوبیت	غلظت رنگ	میزان CNT	تعداد
۱	mg/L ۲۴/۴۵	mL ۱۰۰ mg / ۷۵/۴۷	۱

جدول ۶- پیش بینی مدل بر اساس اطمینان و تخمین داخلی ۹۵ درصد

پیش بینی %	CI low/۹۵	CI high/۹۵	پاسخ R%
۹۵/۷۰	۹۳/۱۳	۹۸/۲۷	

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه پتانسیل جذب نانوتیوب‌های کربنی چند جداره در جداسازی رنگ اسیدی زرد ۱۷ از محلول آبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اثر غلظت اولیه رنگ و میزان به کار رفته نانوتیوب کربن از فاکتورهای مؤثر بر فرایند جذب رنگ از محیط آبی می‌باشد.

با توجه به شکل (۳) می‌توان دریافت بیشترین میزان جذب در ۳۰ دقیقه ابتدایی جذب صورت گرفته است. میزان جذب سریع و بالا در مراحل اولیه احتمالاً به دلیل وجود محل‌های خالی بسیار بر روی سطح جاذب است، با گذشت زمان این محل‌ها به طور تدریجی توسط مولکول‌های رنگ اشغال شده و میزان جذب رنگ کاهش پیدا کرده است و همین‌طور با افزایش زمان به دلیل افزایش نیروهای دافعه بین مولکول‌های رنگ اشغال محل‌های باقیمانده خالی بسیار مشکل می‌گردد (Shirmardi et al., 2013a).

در تحقیق حاضر، غلظت رنگ اولیه ۲۴/۴۵ میلی‌گرم در لیتر و دوز جاذب ۷۵/۴۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر با حداکثر راندمان حدود ۹۸/۲۷ درصد بدست آمد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار جذب صورت پذیرفته در غلظت‌های پایین رنگ و دوز های

بالا تر نانوتیوب‌های کربنی می‌باشد. بیشترین و کمترین میزان جذب انجام شده به ترتیب برابر ۹۶/۹۸ و ۴۰/۳۸ درصد به دست آمده است. از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر فرایند جذب، مقدار ماده جاذب می‌باشد. در این مطالعه با افزایش مقدار ماده جاذب از ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر راندمان حذف تقریباً بیش از دو برابر شده است. افزایش درصد راندمان حذف رنگ در نتیجه افزایش مقدار ماده جاذب این گونه توجیه می‌شود که با افزایش مقدار ماده جاذب، مساحت سطح بیشتری موجود است که این افزایش سطح جاذب منجر به افزایش راندمان حذف رنگ می‌گردد (Shirmardi et al., 2013b). غلظت رنگ یکی دیگر از متغیرهایی است که می‌تواند بر روی فرایند حذف رنگ اثرگذار باشد. با افزایش غلظت اولیه رنگ راندمان حذف رنگ توسط جاذب کاهش یافت که این کاهش راندمان حذف، به دلیل اشباع شدن محل‌های خالی بر روی سطح جاذب در غلظت‌های بالاتر رنگ است (Shirmardi et al., 2012).

در تحقیقی که توسط Xiong و همکاران در سال ۲۰۱۰ صورت گرفت، تعادل و دینامیک جذب رنگ متیلن بلو (Methylene Blue) روی نانو تیوب‌های

راندمان حدود ۹۸/۲۷ درصد می‌باشد. با توجه به نتایج می‌توان گفت که استفاده از ناتیوب‌های کربنی در جذب رنگ از محلول‌های آبی با بازدهی بالایی قابل اجراست.

منابع

- Chen, G. C., Shan, X. Q., Zhou, Y. Q., Shen, X. E., Huang, H. L. & Khan, S.U. 2009. Adsorption kinetics, isotherms and thermodynamics of atrazine on surface oxidized multiwalled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1-3): 912-918.
- Gong, B., Wang, G. M., Zeng, C. P., Yang, C. G., Niu, Q. Y., Niu, W. J. & Zhou, J. L. 2009. Removal of cationic dyes from aqueous solution using magnetic multi-wall carbon nanotube nanocomposite as adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 164:1517-1522.
- Hossini, H. & Rezaee, A. 2014. Optimization of nitrate reduction by electrocoagulation using response surface methodology. *Health Scope*, 3 (3): 1-6.
- Khosravi, R., Fazlzadehdavil, M., Barikbin, B. & Hossini, H. 2014. Electro-decolorization of Reactive Red 198 from aqueous solutions using aluminum electrodes systems: modeling and optimization of operating parameters. *Desalination and Water Treatment*: 54(11):1-9.
- Li, Y., Du, Q., Liu, T., Peng, X., Wang, J., Sun, J., Wang, Y., Wu, S., Wang, Z. & Xia, Y. 2013. Comparative study of methylene blue dye adsorption onto activated carbon, graphene oxide, and carbon nanotubes. *Chemical Engineering Research and Design*, 91(2): 361-368.
- Li, Z., Di, J., Ding, D., Wu, Z., Luan, Y. & Zhu, Y. H. 2005. Adsorption thermodynamic, kinetic and desorption studies of Pb^{2+} on carbon nanotubes. *Water Research*, 39:605-609.
- Long, R.Q. & Yang, R.T. 2001. Carbon nanotubes as superior sorbent for dioxin removal. *Journal of the American Chemical Society*, 123(9): 2058-2059.
- Qu, F., Huang, S., Yu, G., Chen, J. & Kong, S. 2008. Magnetic removal of dyes from

کربنی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های تعادلی برای بررسی ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جذب رنگ روی نانو تیوب‌های کربنی از مدل لانگمویر تبعیت می‌کند و با افزایش دما میزان جذب نیز افزایش نشان داد. بیشترین ظرفیت جذب متیلن بلو بر روی جاذب ۵/۳۵-۷/۶۴ میلی گرم به ازای هر گرم جاذب (mg/g) در دماهای مختلف بود. Qu و همکاران در سال ۲۰۰۸ نانو ذرات Fe_2O_3 را از طریق واکنش‌های شیمیایی روی سطح نانو تیوب‌های کربنی چند دیواره (MWCNTs) قرار دادند. ویژگی بارز این فرآیند حذف مغناطیسی نانو تیوب‌های پوشش داده شده به وسیله Fe_2O_3 به کمک میدان مغناطیسی بود. جذب رنگ‌ها (متیلن بلو و قرمز خنثی) بر روی ذرات حاصله نشان داد که زمان تعادل ۶۰ دقیقه می‌باشد و ظرفیت جذب برای متیلن بلو و قرمز به ترتیب ۳/۴۲ mg/g و ۵/۷۷mg/g بود. در تحقیق دیگری که توسط Gong و همکاران در سال ۲۰۰۹ انجام گرفت نانو تیوب‌های چند دیواره مغناطیسی شده که خاصیت خود را از قرارگیری نانو ذرات اکسید آهن بر روی نانو تیوب‌ها به دست آورده بودند، برای حذف رنگ‌های کاتیونی به کار رفتند. نتایج نشان داد جذب رنگ روی نانو تیوب‌های حاصله از مدل فروندلیچ پیروی می‌کرد.

Li و همکاران ۲۰۰۵ پس از بررسی سنتیک و ترمودینامیک جذب سرب روی نانو تیوب‌های کربن گزارش کردند که در زمان کوتاهی، سرب جذب نانو تیوب‌ها شده و بازجذبی آن به سهولت با تغییر pH محیط به حدود ۲ به وسیله اضافه کردن HCl و HNO_3 با راندمان تقریبی ۱۰۰ درصد امکان پذیر است. نتایج این مطالعه نشان داد که اثر غلظت اولیه رنگ و میزان به کار رفته نانو تیوب کربنی، فاکتور مؤثر بر فرایند جذب رنگ از محیط آبی می‌باشد. بهترین شرایط برای جذب رنگ زمان تعادل ۳۰ دقیقه بدست آمد. غلظت رنگ اولیه ۴۵/۲۴ میلی گرم در لیتر و دوز جاذب ۷۵/۴۷ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر با حداکثر

- Water Treatment*, 51(34-36):6507-6516.
- Shirmardi, M., Mesdaghinia, A., Mahvi, A.H., Nasser, S. & Nabizadeh, R. 2012. Kinetics and equilibrium studies on adsorption of acid red 18 (Azo-Dye) using multiwall carbon nanotubes (MWCNTs) from aqueous solution. *Journal of Chemistry*, 9(4):2371-2383.
- Wu, C. H. 2007. Adsorption of reactive dye onto carbon nanotubes: equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of hazardous materials*, 144(1-2):93-100.
- Xiong, L., Yang, Y., Maia, X., Suna, W., Zhang, C., Wei, D., Chen, Q. & Ni, J. 2010. Adsorption behavior of methylene blue onto titanate nanotubes. *Chemical Engineering Journal*, 156: 313–320.
- Yao, F., Xu, M., Chen, Z., Xu, Z. & Zhu, Y. 2010. Adsorption behavior of methylene blue on carbon nanotubes. *Bioresource Technology*, 101:3040-3046.
- aqueous solution using multi-walled carbon nanotubes filled with Fe₂O₃ particles. *Journal of Hazardous Materials*, 160:643-647.
- Rezaee, A., Hossini, H. & Rastegar, S. 2014. Statistical screening of hexavalent chromium biosorption by *Sargassum*. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, 1(1): 36-42.
- Shirmardi, M., Mahvi, A.H., Hashemzadeh, B., Naeimabadi, A., Hassani, G. & Niri, M.V. 2013a. The adsorption of malachite green (MG) as a cationic dye onto functionalized multi walled carbon nanotubes. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30(8): 1603-1608.
- Shirmardi, M., Mahvi, A.H., Mesdaghinia, A., Nasser, S. & Nabizadeh, R. 2013b. Adsorption of acid red18 dye from aqueous solution using single-wall carbon nanotubes: kinetic and equilibrium. *Desalination and*

