

## بررسی کارایی پودر ساقه زیره سبز در حذف رنگ متیلن بلو از محیط‌های آبی

سمیه رهدار<sup>۱</sup>

مرتضی احمد آبادی<sup>۲</sup>

ادریس بذرافشان<sup>۳</sup>

محمود تقوی<sup>۴\*</sup>

[taghavi66@yahoo.com](mailto:taghavi66@yahoo.com)

### چکیده

متیلن بلو یک رنگ دانه رایج جهت رنگ‌آمیزی است و می‌تواند باعث سوزش چشم، مشکلات تنفسی، افزایش ضربان قلب، اسهال و استفراغ، التهاب و ورم معده، شوک، سیانوزیس، یرقان، شلی و ناتوانی عضلات و نکروز بافت‌ها در انسان شود. در مطالعه حاضر، پودر ساقه زیره سبز به عنوان یک جاذب ارزان قیمت جهت حذف رنگ متیلن بلو از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گرفته است. مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، کارایی پودر ساقه زیره سبز در حذف رنگ متیلن بلو و اثر متغیرهای تاثیر گذار از جمله (۱۲-۲) pH، زمان تماس واکنش (۲۱۰-۵ دقیقه)، مقدار جاذب (۲-۰/۱ گرم بر لیتر) و غلظت اولیه رنگ (۱۰-۱۰۰ میلی‌گرم) مورد بررسی قرار گرفت. ایزوترم جذب با استفاده از ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمویر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که حداکثر راندمان پودر ساقه زیره در حذف رنگ متیلن بلو برابر با ۹۳ درصد و شرایط بهینه pH برابر با ۱۱، زمان تماس ۹۰ دقیقه، دوز جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر و غلظت اولیه رنگ ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد. هم‌چنین بررسی ایزوترم جذب نشان‌گر تطابق بهتر داده‌های حاصل از مطالعه حاضر با مدل جذب فروندلیچ ( $R^2=0.9913$ ) می‌باشد. بر طبق نتایج مطالعه حاضر پودر ساقه زیره سبز از ظرفیت بالایی در حذف رنگ متیلن بلو از محلول‌های آبی و فاضلاب صنعت نساجی برخوردار است.

**کلمات کلیدی:** حذف رنگ، جذب سطحی، متیلن بلو، جاذب طبیعی، پودر ساقه زیره.

۱- کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زابل، زابل، ایران

۲- عضو هیئت علمی دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تربت جام، تربت جام، ایران

۳- دانشیار، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت- دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

۴- دانشجوی دکتری تخصصی بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران\* (مسوول مکاتبات)

## مقدمه

رنگ‌ها به صورت گسترده و وسیعی در صنعت نساجی، چرم، کاغذ، چاپ، رنگ، سرامیک، چینی، کارخانه‌جات رنگ و صنایع غذایی استفاده شده و یک منبع اصلی و مهم آلودگی محیط‌زیستی هستند (۲،۱). تخلیه فاضلاب‌های این صنایع که حاوی مقادیر زیادی از رنگ می‌باشند نه تنها از لحاظ زیبایی شناختی برای پیکره‌های آبی پذیرنده مضر است بلکه ممکن است برای حیاط آبی سمی باشد (۳). متیلن بلو (MB) متداول‌ترین ماده رنگی استفاده شده در میان دیگر رنگ‌های دسته و طبقه مربوط به خود است (۴). این رنگ دارای کاربردهای فراوان و گسترده‌ای است که شامل رنگ آمیزی کاغذ، رنگ کردن مو به صورت موقت و آبی، رنگ آمیزی پنبه‌ها و پشم‌ها می‌باشد. اگر چه به شدت خطرناک نیست ولی می‌تواند باعث برخی اثرات زیان بار از قبیل: سوزش چشم، مشکلات تنفسی، افزایش ضربان قلب، اسهال و استفراغ، التهاب و ورم معده، شوک، سیانوزیس، یرقان، شلی و ناتوانی عضلات و نکروز بافت‌ها در انسان شود (۲، ۳، ۵). از لحاظ محیط‌زیستی، به علت اثرات مضر این قبیل رنگ‌ها روی محیط‌های آبی، حذف آن‌ها از جریان فاضلاب قبل از تخلیه به منابع آبی مهم است (۷، ۶، ۴، ۱). فرآیندهای تصفیه متفاوتی شامل: تجزیه بیولوژیکی، انعقاد و لخته سازی، اکسیداسیون شیمیایی و جذب روی مواد آلی و غیرآلی به طور گسترده‌ای برای حذف رنگ‌ها از فاضلاب‌ها بررسی شده است (۸). حذف رنگ از فاضلاب‌های رنگی، به خاطر سختی و مشکلات تصفیه این قبیل فاضلاب‌ها، به دلیل مقاوم بودن در مقابل تجزیه و تخریب نوری، تجزیه بیولوژیکی و عوامل اکسید کننده، با روش‌های متعارف و سنتی به عنوان یک چالش مطرح است (۵، ۱). در این میان فرآیند جذب به طور گسترده‌ای در حذف رنگ‌ها و آلاینده‌ها از فاضلاب به کار رفته است. از آن جایی که این فرآیند توانایی تولید فاضلابی با کیفیت بالا را دارد و از لحاظ اقتصادی امکان پذیر بوده و دارای هزینه سرمایه‌گذاری عمومی پایین، سادگی طراحی، سادگی بهره‌برداری، و عدم حساسیت به

مواد سمی و تولید لجن و همچنین دارای کارایی بالایی است (۹، ۵، ۲، ۱). معمول‌ترین جاذب‌های استفاده شده برای این هدف کربن فعال است که به دلیل مساحت سطح زیاد و ظرفیت جذب نسبتا بالا، برای یک محدوده وسیع از رنگ‌ها به طور گسترده‌ای به عنوان یک جاذب استفاده شده است. با این حال کاربردهای آن بخاطر وارداتی و گران قیمت بودن و هزینه بالای احیای محدود شده است (۴، ۱۱، ۱۰). لذا در سال‌های اخیر توجه و علاقه رو به رشد و فزاینده‌ای در استفاده از مواد ارزان قیمت و در دسترس به جای جاذب‌های کربنی صورت گرفته است (۹، ۱۱). برای مثال گل قرمز، خاکستر، کف، سبوس برنج، پوسته صدف، خاکستر فرار باگاس (۱۱)، پوست یا سبوس قهوه، پوست پسته، ساقه پنبه، هسته آلو (۴)، بیش‌ترین جاذب‌های ارزان قیمت بررسی‌شده برای مطالعات رنگ‌زدایی هستند که نیازمند پردازش کم یا بدون پردازش بوده و به راحتی در دسترس هستند و یا قابلیت تجزیه بیولوژیکی داشته و به آسانی دفع می‌شوند (۶). در مطالعه حاضر زایدات ساقه زیره (یک ماده زاید کشاورزی) به عنوان یک جاذب برای حذف رنگ متیلن بلو انتخاب شد. زیره سبز یک گیاه یک ساله از خانواده *Umbelliferae* است. این گیاه یک ادویه و چاشنی مهم درجهان و بومی ایران است (۹). هدف اصلی مطالعه حاضر دستیابی و رسیدن به جذب متیلن بلو روی پودر بدست آمده از ساقه زیره سبز تحت شرایط متفاوت است که اثر چندین پارامتر بهره‌برداری مثل غلظت اولیه رنگ، دوز جاذب، pH اولیه محلول رنگی و زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت. به علاوه ایزوترم‌های تعادلی برای تعیین و تشخیص مکانیسم ممکن در فرایند جذب بررسی شدند.

## ۲- مواد و روش‌ها

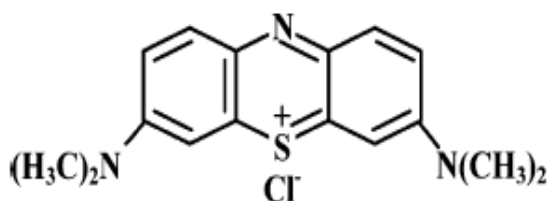
در این مطالعه تجربی که در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد، رنگ کاتیونی متیلن بلو با درجه و خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک آلمان تهیه شد که دارای فرمول شیمیایی  $C_{16}H_{18}N_3SCL.4H_2O$  و وزن ملکولی ۳۱۹/۸۹ گرم بر مول

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M}$$

که در این معادله  $C_0$  و  $C_e$  غلظت اولیه و غلظت تعادلی رنگ در فاز مایع بر حسب میلی گرم بر لیتر می‌باشد.  $V$  حجم محلول ( $L$ ) و  $M$  مقدار جاذب استفاده شده (گرم) می‌باشد. برای بیان کارایی و راندمان حذف رنگ از معادله ۲ استفاده شد. معادله ۲:

$$\% = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \cdot 100$$

که در این معادله  $C_0$  و  $C_f$  نشان دهنده غلظت اولیه و نهایی رنگ (بعد از جذب) است. در مطالعه حاضر همه آزمایشات به صورت ناپیوسته در درجه حرارت  $22 \pm 1^\circ C$ ، و به صورت دو بار تکرار انجام و نتایج به صورت میانگین گزارش شد (۹،۴). در پایان نتایج حاصل از آزمایشات با کمک نرم افزار اکسل در قالب نمودار ارائه شد هم چنین از آزمون آماری رگرسیون خطی جهت تعیین معادلات ایزوترم جذب استفاده شد.



شکل ۱- ساختار شیمیایی رنگ متیلن بلو (۱۱)

#### نتایج:

#### اثر pH

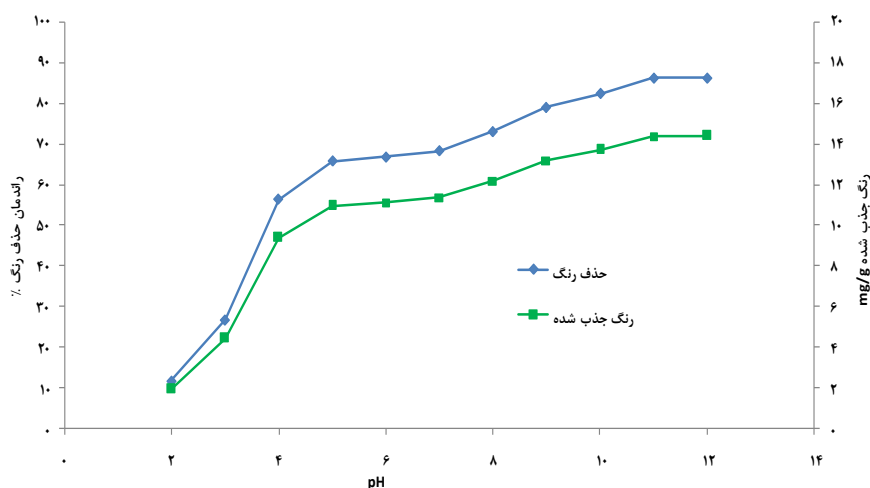
شکل ۲ نشان دهنده اثر pH اولیه محلول، روی جذب رنگ متیلن بلو در در داخل جاذب حاصل از زایدات ساقه زیره سبز می‌باشد. جذب رنگ متیلن بلو روی جاذب حاصل از زایدات ساقه زیره به طور معنی‌داری وابسته به pH محلول است به طوری که با افزایش pH از ۲ تا ۱۲ ظرفیت جذب رنگ افزایش پیدا می‌کند. حداکثر ظرفیت جذب حاصل از ساقه زیره معادل  $14/38$  میلی گرم بر گرم ( $1/86/28$ ) در pH برابر با ۱۱، غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. این

با حداکثر طول موج جذب  $665 \text{ nm} (\lambda_{\text{max}})$  می‌باشد که فرمول شیمیایی آن در شکل ۱ نمایش داده شده است (۱۱). برای انجام فرایند، محلول رنگ استوک ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه و محلول‌های رنگی با غلظت‌های ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر با رقیق‌سازی متوالی محلول استوک با آب مقطر تهیه شد. لازم به ذکر است که با در نظر گرفتن متغیرهای مورد بررسی در این آزمایش و دو بار تکرار، ۱۱۲ آزمایش انجام شد. زایدات ساقه زیره که در واقع به عنوان زایدات کشاورزی شناخته می‌شود، بعد از جمع‌آوری برای حذف ناخالص‌هایی مثل شن، برگ‌ها، ترکیبات محلول و رنگی با آب مقطر شستشو داده شد و در دمای  $110$  درجه سانتی‌گراد برای مدت ۶ ساعت خشک گردید (۹). سپس با استفاده از یک آسیاب خانگی خرد شده و با الک‌های استاندارد ASTM ۳۰ تا ۶۰ مش دانه‌بندی و برای آزمایش استفاده شد (۱۲). جاذب تهیه شده بدون هیچ گونه تصفیه فیزیکی یا شیمیایی بیش‌تر، در یک ظرف بدون منفذ برای استفاده بعدی ذخیره شد. آزمایشات حذف رنگ با برداشتن ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگی با غلظت‌های متفاوت (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) در pH‌های متفاوت (۲ تا ۱۲) و دوز جاذب (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱/۲، ۱/۴، ۱/۶، ۱/۸، ۲ گرم بر لیتر) و زمان تماس متفاوت (۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰ دقیقه) در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه انجام شد (۱۳). pH نمونه‌ها با استفاده از محلول‌های اسید کلریدریک و سود ۰/۱ نرمال تنظیم شد. بعد از زمان مورد نظر، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه برداشته و برای مدت ۳ دقیقه در ۵۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شد. سپس محلول فوقانی در طول موج  $665 \text{ nm}$  با دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis (T80, PG Ltd) برای تعیین غلظت نهایی رنگ متیلن بلو آنالیز شد و سپس مقدار رنگ MB جذب شده ( $q_e$ ) برحسب میلی گرم بر گرم با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (۹).

معادله ۱:

نتایج با یافته‌های ارایه شده توسط سایر محققین هم خوانی

دارد (۱۴، ۱۲، ۱۰، ۸، ۶، ۵، ۱).



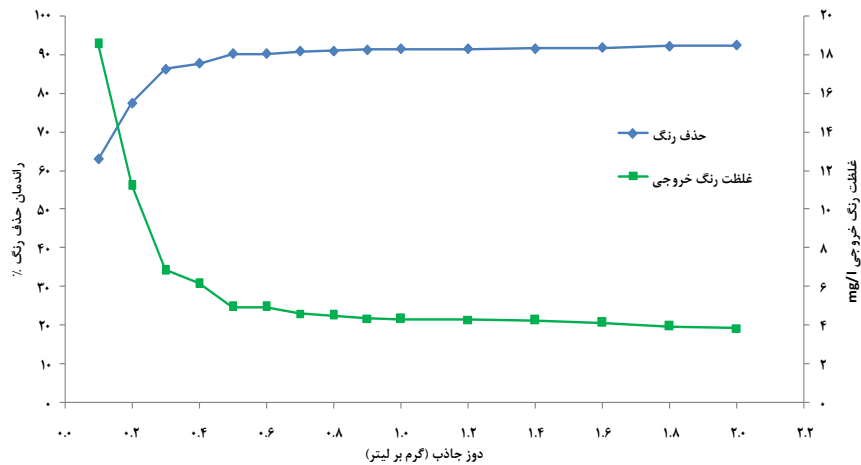
شکل ۲- اثر pH اولیه روی جذب متیلن بلو روی جاذب ساقه زیره (غلظت اولیه رنگ: ۵۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس: ۶۰

دقیقه، دوز جاذب: ۰/۳ گرم بر لیتر، pH: ۲-۱۲)

#### اثر مقدار جاذب

لیتر راندمان حذف رنگ از ۹۰/۰۸ درصد به ۹۲/۲۸ درصد رسید. لذا دوز جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر برای آزمایشات بعدی انتخاب شد. هم چنین با توجه به شکل ۴ با افزایش دوز جاذب از ۰/۵- ۰/۱ گرم بر لیتر مقدار رنگ جذب شده در واحد جرم جاذب به شدت کاهش و از ۳۱/۴۶ میلی گرم بر گرم به ۹ میلی گرم بر گرم کاهش پیدا می کند و با افزایش بیش تر دوز جاذب تا ۲ گرم بر لیتر، مقدار رنگ جذب شده به ۲/۳ میلی گرم بر گرم کاهش می یابد. این نتایج با یافته‌های ارایه شده توسط سایر محققین هم خوانی دارد (۱۴، ۱۲، ۹، ۸، ۴).

غلظت جاذب یک فاکتور مهم است، که تعیین کننده ظرفیت جذب یک جاذب برای یک غلظت معین اولیه از ماده جذب شونده (رنگ) تحت شرایط بهره برداری مشخص است (۹). به منظور تعیین اثر دوز جاذب روی جذب، ۰/۱-۲ گرم بر لیتر جاذب استفاده شد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود با افزایش دوز جاذب از ۰/۵-۰/۱ گرم بر لیتر راندمان حذف رنگ به طور قابل توجهی افزایش می یابد به طوری که درصد حذف رنگ از ۶۲/۹۳ درصد به ۹۰/۰۸ درصد افزایش می یابد و افزایش بیش تر دوز جاذب با یک افزایش ناچیز همراه بود به طوری که با افزایش دوز جاذب از ۰/۵-۲ گرم بر

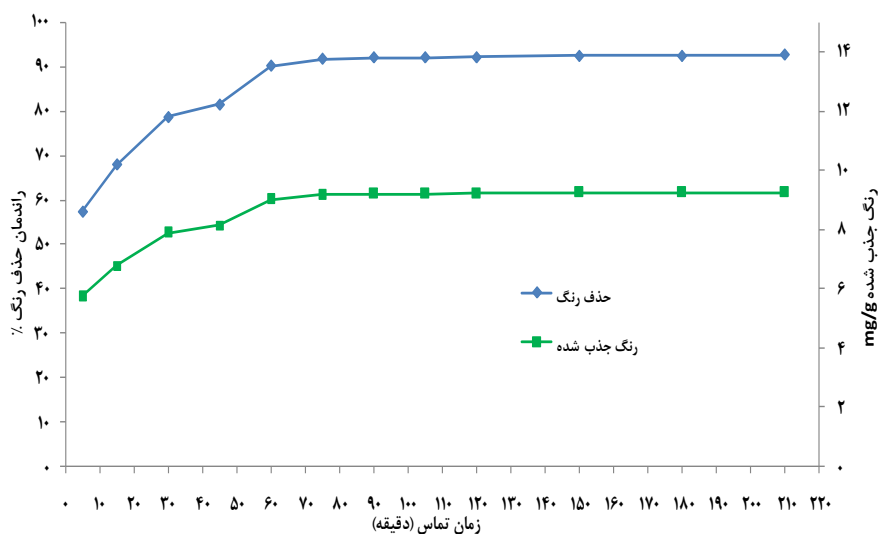


شکل ۳- اثر دوز جاذب در جذب متیلن بلو روی جاذب ساقه زیره غلظت اولیه رنگ: ۵۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس: ۶۰ دقیقه، دوز جاذب: ۲-۰/۱ گرم بر لیتر، pH: ۱.

#### اثر زمان تماس

در واحد جاذب از ۵۷/۵۰ درصد و ۵/۷۵ میلی گرم بر گرم به ۷۸/۷۸ درصد و ۷/۸۷ میلی گرم بر گرم می‌رسد و با افزایش زمان تماس از ۳۰ دقیقه به ۹۰ دقیقه، راندمان حذف رنگ و مقدار رنگ جذب شده در واحد جاذب به ۹۲/۰۲ درصد و ۹/۲ میلی گرم بر گرم می‌رسد و با افزایش زمان تماس تا ۲۱۰ دقیقه راندمان حذف رنگ و مقدار رنگ جذب شده در واحد جاذب به ۹۲/۶ درصد و ۹/۲۶ میلی گرم بر گرم می‌رسد. به طور کلی، نرخ حذف رنگ در ابتدا سریع است و با افزایش زمان به تدریج کاهش می‌یابد تا وقتی که به حالت تعادل برسد. این نتایج با یافته‌های آرایه شده توسط سایر محققین هم‌خوانی دارد (۱۴، ۱۲، ۹، ۸).

زمان تماس بین جاذب و جذب شونده یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی است که روی کارایی فرایند جذب موثر است. شکل ۴ نشان دهنده اثر زمان تماس (۲۱۰-۵ دقیقه)، روی درصد حذف متیلن بلو و ظرفیت جذب روی جاذب ساقه زیره در غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و دوز جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر می‌باشد. ظرفیت جذب و درصد حذف رنگ متیلن بلو روی جاذب در طی مراحل اولیه به طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند و سپس با یک شیب بسیار آرام افزایش می‌یابد و بعد از ۹۰ دقیقه با افزایش زمان تماس به حالت تعادل می‌رسد. از طرف دیگر بر اساس شکل ۵ با افزایش زمان تماس از ۵ دقیقه به ۳۰ دقیقه راندمان حذف رنگ و مقدار رنگ جذب شده

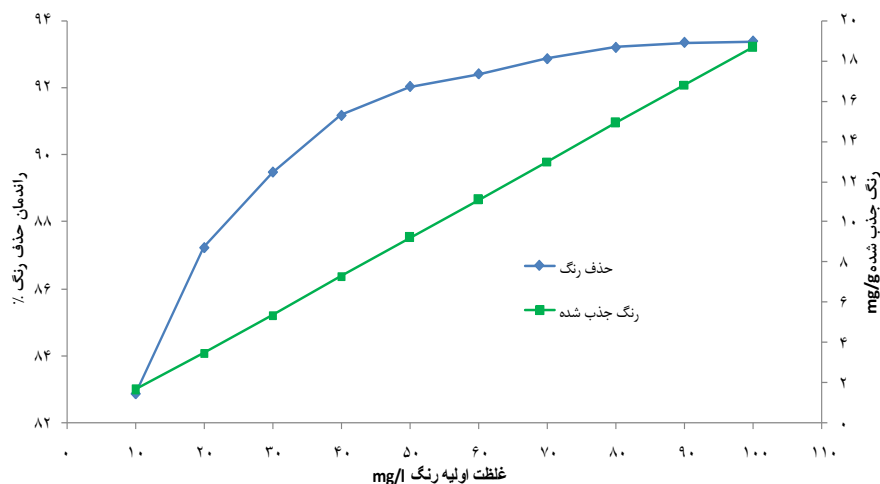


شکل ۴- اثر زمان تماس در جذب متیلن بلو روی جاذب ساقه زیره (غلظت اولیه رنگ: ۵۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس: ۱۲۰-۵ دقیقه، دوز جاذب: ۰/۵ گرم بر لیتر، pH: ۱۱).

#### اثر غلظت اولیه رنگ

غلظت اولیه رنگ کارایی حذف رنگ و ظرفیت جذب رنگ افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که جذب رنگ متیلن بلو روی جاذب حاصل از زایدات ساقه زیره وابسته به غلظت اولیه رنگ است. با افزایش غلظت رنگ از ۱۰۰ - ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان حذف رنگ از ۸۲/۸۶ درصد به ۹۳/۳۷ درصد و مقدار رنگ جذب شده در واحد جرم جاذب از ۱/۶۵ میلی‌گرم بر گرم به ۱۸/۶۷ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافته است.

غلظت اولیه رنگ نیروی محرکه لازم را برای غلبه بر مقاومت انتقال جرم رنگ بین فاز مایع و جامد فراهم می‌کند (۱۵،۹). برای مطالعه اثر غلظت رنگ اولیه روی کارایی حذف رنگ، آزمایشات در مقادیر متفاوت متیلن بلو با ثابت نگه داشتن دیگر پارامترها انجام شد. شکل ۵ نشان دهنده اثر غلظت اولیه رنگ روی ظرفیت جذب و درصد حذف رنگ روی جاذب حاصل از زایدات ساقه زیره در غلظت‌های متفاوت می‌باشد. با افزایش



شکل ۵- اثر غلظت اولیه رنگ در جذب متیلن بلو روی جاذب ساقه زیره (غلظت اولیه رنگ: ۱۰-۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس: ۹۰ دقیقه، دوز جاذب: ۰/۵ گرم بر لیتر، pH: ۱۱).

#### مطالعات ایزوترم جذب

لازم است تا یک تک لایه رنگ تشکیل شود.  $(K_f \text{ mg g}^{-1})$  و  $\frac{1}{n}$  ثابت فروندلیچ به ترتیب در ارتباط با ظرفیت جذب و شدت جذب است (۹). مدل ایزوترم لانگمویر برای جذب سطحی تک لایه بر سطحی حاوی تعداد محدودی از سایت‌های جذب یکسان و مشابه، صحیح بوده و پیوندهای جذب برگشت پذیر فرض می‌شوند و در مدل فروندلیچ، مناطق موجود روی سطح جسم جاذب، یک نواخت نبوده و قدرت جذب متفاوتی دارند (۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۱).

شکل ۶ و ۷ ایزوترم‌های تعادلی برای جذب سطحی رنگ متیلن بلو بر روی جاذب ساقه زیره را نشان می‌دهد. هم‌چنین ضرایب مربوط به این ایزوترم‌ها در جدول ۱ ارائه گردیده است. با توجه به مقدار رگرسیون ( $R^2$ ) هر یک از ایزوترم‌ها، مشخص می‌شود که مدل فروندلیچ با ضریب رگرسیون بالاتر، بهترین مدل در جذب سطحی رنگ متیلن بلو توسط جاذب مورد مطالعه می‌باشد.

مطالعه ایزوترم‌های جذب می‌تواند توصیف کننده چگونگی وقوع واکنش بین ماده جذب شوند با ماده جاذب باشد (۱۴، ۱۶-۱۸). در واقع معادله ایزوترم فراهم کننده ارتباط بین غلظت رنگ در محلول و مقدار رنگ جذب شده بر سطح فاز جامد بوده در شرایطی که هر دو فاز در حال تعادل با یک دیگر قرار دارند (۹). از این رو اطلاعات جذب تعادلی با استفاده از مدل‌های ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ (شکل ۷ و ۸) آنالیز شد. فرم خطی مدل ایزوترم جذب لانگمویر و فروندلیچ در معادله ۳ و ۴ در ادامه آمده است.

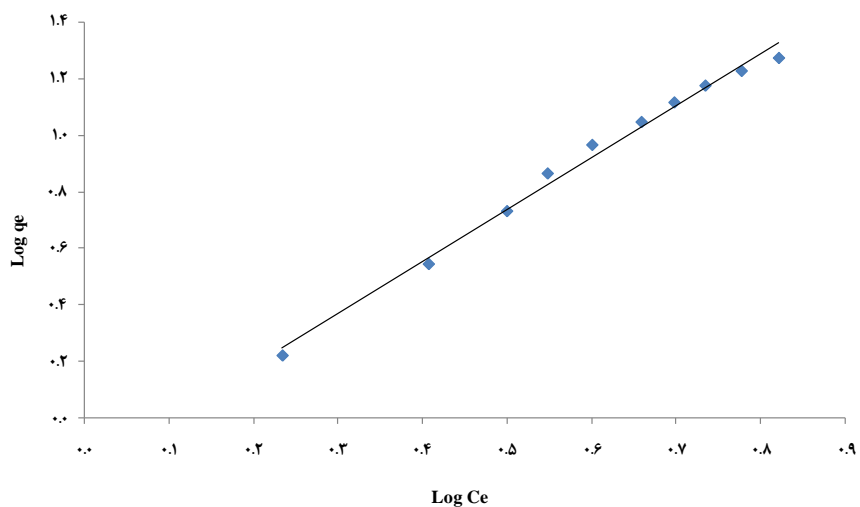
معادله ۳:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L} + \frac{1}{C_e}$$

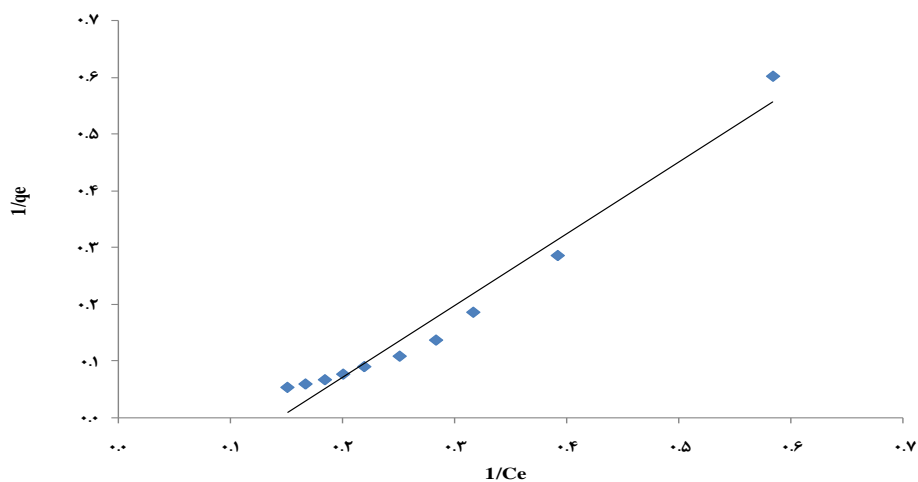
معادله ۴:

$$\text{Log } q_e = \text{Log } K_f + \frac{1}{n} \text{Log } C_e$$

در این جا،  $q_e$  مقدار رنگ جذب شده در مقدار مشخصی از جاذب است  $(\text{mg g}^{-1})$ ،  $C_e$  غلظت تعادلی رنگ متیلن بلو (mg)  $L^{-1}$ ،  $K_L$  ثابت لانگمویر و  $q_m$  حداکثر مقدار رنگ متیلن بلو که



شکل ۶- ایزوترم فروندلیچ برای جذب رنگ متیلن بلو روی جاذب ساقه زیره



شکل ۷- ایزوترم لانگمویر برای جذب رنگ متیلن بلو روی جاذب ساقه زیره

جدول ۱- ضرایب ثابت و ضرایب همبستگی ایزوترم فروندلیچ و لانگمویر

لانگمویر		فروندلیچ	
$q_m(\text{mg/g})$	۵/۵۵	$K_F$ ( $\text{mg/g}(\text{l/mg})^{1/n}$ )	۱/۲
$b (\text{L/mg})$	۰/۱۴۲	$1/n$	۰/۱۸۴
$R^2$	۰/۹۶۳	$R^2$	۰/۹۹۱



## بحث

pH محلول روی بار سطحی جاذب، درجه یونیزاسیون آلاینده‌های متفاوت، تفکیک و جداسازی گروه‌های کاربردی روی جایگاه‌های فعال جاذب و همچنین ساختار ملکول رنگ تاثیر گذار است. از طرف دیگر pH محلول روی ویژگی شیمیایی محیط آبی و جای گاه پیوند سطحی جاذب موثر است بنابراین pH محلول، یک پارامتر مهم کنترل کننده در طی فرایند جذب (به ویژه ظرفیت جذب) می‌باشد (۱، ۹). pH محلول، شیمی محیط آبی و پیوندهای سطح جاذب را تحت تاثیر قرار می‌دهد و لذا pH محلول به عنوان یک پارامتر مهم در طی فرایند جذب رنگ مطرح می‌باشد (۱۴). رنگ‌های یونی به محض انحلال، یون‌های رنگی را در محلول آزاد می‌کنند. جذب این گروه‌های رنگی در سطح جاذب عمدتاً تحت تاثیر بار سطحی جاذب است که تحت تاثیر pH محلول تغییر می‌کند (۸). در pH های اسیدی گونه‌های باردار شده با بار مثبت شروع به غالب شدن می‌کند و سطح جاذب متمایل به بدست آوردن بار مثبت می‌شود. از آن جا که سطح جاذب دارای بار مثبت است، افزایش دافعه الکترواستاتیک بین گونه‌های جذب شونده با بار مثبت و ذرات جاذب با بار مثبت منجر به کاهش جذب کاتیون‌های رنگی می‌شود (۸). به علاوه در pH های اسیدی، افزایش حضور یون‌های  $H^+$  در رقابت با کاتیون‌های رنگ برای اشغال جایگاه‌های جذب موجود در سطح جاذب منجر به کاهش جذب رنگ می‌شود. در حالی که در pH قلیایی تعداد سایت‌های در دسترس دارای بار مثبت کاهش یافته که این امر به مفهوم این است که سایت‌های دارای بار منفی افزایش می‌یابد همان طور که سطح جاذب بار منفی بیشتری را به خود می‌گیرد، کنش و واکنش بین جاذب و ملکول‌های رنگی کاتیونی نیز افزایش می‌یابد. بنابراین ظرفیت جذب سطحی جاذب افزایش می‌یابد که این امر به حذف بیش تر رنگ کاتیونی در pH های قلیایی کمک می‌کند (۱۰، ۱۴). این نتایج با یافته‌های ارایه شده توسط سایر محققین هم‌خوانی دارد (۵، ۸، ۱۰، ۲۲). مطالعه جذب رنگ متیلن بلو

بر روی پوست درخت اکالیپتوس نشان داد که با افزایش pH از ۲ تا ۱۰، راندمان حذف و میزان رنگ جذب شده نیز افزایش می‌یابد. راندمان حذف و میزان رنگ جذب شده در pH برابر با ۱۰ برای رنگ متیلن بلو به ترتیب به ۸۹/۴۵ درصد و ۴۴/۷۳ میلی‌گرم بر گرم رسید (۲۳).

غلظت جاذب یک پارامتر مهم و تاثیر گذار در فرایند جذب بوده و از این رو تعیین کننده ظرفیت جاذب (پودر ساقه زیره سبز) برای یک غلظت اولیه معین از رنگ متیلن بلو است. با افزایش مقدار جاذب از ۰/۵ گرم بر لیتر راندمان حذف رنگ به سرعت افزایش یافته و با افزایش بیش تر جاذب تا ۲ گرم بر لیتر راندمان حذف رنگ افزایش قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. این نتایج بر این اساس قابل تفسیر است که سایت‌های جذب در طی فرایند جذب به صورت اشباع نشده باقی مانده در حالی که تعداد سایت‌های در دسترس برای جذب با افزایش دوز جاذب افزایش می‌یابد (۱۴، ۱۵). هم چنین افزایش بیش تر مقدار جاذب، افزایش معنی داری در راندمان حذف را به دنبال نداشت. این مشاهده‌ها پیشنهاد می‌کند که با افزودن دوز معینی از جاذب، حداکثر جذب حاصل شده و از این رو مقدار آلاینده ثابت باقی می‌ماند. افزایش دوز جاذب منجر به کاهش مقدار رنگ متیلن بلو جذب شده در واحد جرم جاذب می‌گردد که این پدیده با عدم استفاده کامل از ظرفیت جاذب و وجود جایگاه‌های جذب اشباع نشده باقی مانده در طی فرایند جذب ارتباط دارد و از طرفی افزایش در غلظت جاذب باعث تراکم و تجمع ذرات جاذب می‌شود و منجر به کاهش مساحت سطح و یک افزایش در طول مسیر انتشار می‌شود (۴، ۹، ۱۲). این نتایج با یافته‌های ارایه شده توسط سایر محققین هم‌خوانی دارد (۴، ۸، ۱۴، ۱۹، ۲۲، ۲۴). سلمان<sup>۱</sup> و همکاران نیز به بررسی شرایط بهینه تولید کربن فعال از پوست درخت اکالیپتوس به منظور حذف رنگ متیلن بلو پرداختند که تحت شرایط بهینه بازدهی کربن ۲۲/۳ درصد بود و راندمان حذف به ۸۹ درصد رسید (۲۵).

مطالعه جذب رنگ متیلن بلو بر روی جلبک قرمز کاپافییکوس<sup>۱</sup> نشان داد که با افزایش دوز بیومس، راندمان جذب نیز افزایش می‌یابد. به طور مثال راندمان حذف در دوز جاذب ۲ گرم بر لیتر برابر با ۹۴ درصد بود که با افزایش دوز جاذب به ۵ گرم بر لیتر، راندمان حذف به ۹۷ درصد رسید (۲۶).

زمان تماس بین جاذب و جذب شونده یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی است که روی کارایی فرایند جذب موثر است. ظرفیت جذب و درصد حذف متیلن بلو روی جاذب در طی مراحل اولیه به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و سپس با یک شیب ملایم افزایش یافته تا وقتی که بعد از ۹۰ دقیقه به حالت تعادل می‌رسید. به طور کلی نرخ حذف رنگ در ابتدا سریع است اما با افزایش زمان به تدریج کاهش یافته تا وقتی که به حالت تعادل برسد. این پدیده نشان دهنده این حقیقت است که در مراحل اولیه جذب تعداد بیشتری از سایت‌ها و جایگاه‌های سطحی خالی و اشغال نشده برای جذب در دسترس هستند، و بعد از گذشت یک فاصله زمانی، جایگاه سطحی خالی و اشغال نشده باقی مانده برای اشغال شدن با مشکل مواجه می‌شود که به خاطر نیروی دافعه بین ملکول‌های جذب شونده روی فاز جامد و توده مایع باشد (۹، ۱۴، ۱۵). این نتایج با یافته‌های ارایه شده توسط سایر محققین هم‌خوانی دارد (۲، ۵، ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۴، ۲۷، ۲۸). لیم<sup>۲</sup> و همکاران کاربرد پوسته گیاه مارانگ<sup>۳</sup> در حذف رنگ متیلن بلو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش زمان تماس منجر به افزایش راندمان حذف می‌شود. افزایش راندمان حذف سریع بود و در ۳۰ دقیقه ابتدایی فرآیند راندمان حذف رنگ متیلن بلو به بیش از ۶۰ درصد رسید (۲۹).

برای مطالعه اثر غلظت رنگ اولیه روی کارایی حذف رنگ، آزمایشات انجام شد در مقادیر متفاوت متیلن بلو با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها با افزایش غلظت اولیه رنگ، مقدار رنگ جذب شده نیز افزایش می‌یابد به نحوی که می‌توان گفت

حذف رنگ تحت تاثیر غلظت اولیه رنگ می‌باشد. در واقع غلظت اولیه رنگ، یک نیروی محرکه قوی و مهم جهت غلبه بر مقاومت انتقال جرم بین فازهای آبی و جامد فراهم می‌کند به نحوی که افزایش غلظت‌های اولیه سبب افزایش ظرفیت جذب رنگ می‌شود (۱۴، ۱۵، ۲۷). این نتایج با یافته‌های ارایه شده توسط سایر محققین هم‌خوانی دارد (۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۹، ۲۷، ۲۸). جذب رنگ متیلن بلو بر روی زغال زیستی حاصل از پوست بادام زمینی توسط هن<sup>۴</sup> و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی مشخص شد که ظرفیت جذب رنگ متیلن بلو با افزایش غلظت اولیه رنگ از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، از ۹۹/۸۸ میلی‌گرم بر گرم به ۳۱۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم افزایش می‌یابد (۳۰). براساس داده‌های حاصل از مطالعات مربوط به معادلات جذب ضریب هم بستگی مدل فروندلیچ بالاتر از مقدار آن برای مدل لانگمویر بوده که این امر بیانگر تناسب بهتر مدل جذب فروندلیچ جهت توصیف تعادل جذب رنگ متیلن بلو بر روی پودر ساقه زیره سبز است.

### نتیجه گیری

از نتایج مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که پودر ساقه زیره سبز می‌تواند به نحوی موثر و کارآمدی جهت حذف رنگ متیلن بلو از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. راندمان حذف رنگ تابع غلظت اولیه رنگ، زمان تماس، pH و مقدار جاذب است. افزایش در هریک از پارامترهای ذکر شده منجر به افزایش راندمان حذف رنگ متیلن بلو شد. این جاذب قادر به حذف حدود ۹۳/۳۷ درصد رنگ متیلن بلو از محلول‌هایی با غلظت اولیه رنگ ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH برابر با ۱۱ در مدت زمان تماس ۹۰ دقیقه و دوز جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر می‌باشد. جذب رنگ متیلن بلو بر روی پودر ساقه زیره سبز توسط ایزوترم‌های جذب لانگمویر و فروندلیچ بررسی شد که نتایج کارایی بهتر ایزوترم جذب فروندلیچ با داده‌های حاصل از مطالعه حاضر را نشان داد بر اساس نتایج حاصل از مطالعه

1- Kappaphycus alvarezii

2- Lim

3- Artocarpus odoratissimus

4- Han

Removal of methylene blue dye from an aqueous media using superabsorbent hydrogel supported on modified polysaccharide. *Colloid and Interface Science*. 2006;301:55-62.

6. Noroozi B, Sorial GA, Bahrami H, Arami M. Equilibrium and kinetic adsorption study of a cationic dye by a natural adsorbent—Silkworm pupa. *Hazardous Materials*. 2007;B139:167-74.
7. Song J, Zou W, Bian Y, Su F, Han R. Adsorption characteristics of methylene blue by peanut husk in batch and column modes. *Desalination*. 2011;265:119-25.
8. Deng H, Lu J, Li G, Zhang G, Wang X. Adsorption of methylene blue on adsorbent materials produced from cotton stalk. *Chemical Engineering*. 2011;172:326-34.
9. Bazrafshan E, Ahmadabadi M, Mahvi AH. Reactive red-120 removal by activated carbon obtained from cumin herb wastes. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2013;22:584-90.
10. Pavan FA, Mazzocato AC, Gushikem Y. Removal of methylene blue dye from aqueous solutions by adsorption using yellow passion fruit peel as adsorbent. *Bioresource Technology*. 2008;99:3162-5.
11. Tsai WT, Hsu HC, Su TY, Lin KY, Lin CM. Removal of basic dye (methylene blue) from wastewaters utilizing beer brewery waste. *Hazardous Materials*. 2008;154:73-8.
12. Ghanizadeh G, Asgari G. Removal of Methylene Blue Dye from Synthetic Wastewater with Bone Char. *Health & Environ*. 2009;2:104-13.

حاضر می‌توان نتیجه گیری نمود که پودر ساقه زیره سبز ظرفیت بالایی در جذب رنگ متیلن بلو از محیط‌های آبی برخوردار بوده و لذا می‌تواند به عنوان یک راه کار عملی جهت حذف این نوع رنگ از پساب‌های صنعت نساجی که از این نوع رنگ استفاده می‌نمایند مورد استفاده قرار گیرد.

#### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس‌گزاری خود را از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی زاهدان و کارشناسان آزمایشگاه شیمی‌آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی زاهدان به خاطر کمک‌های بی‌دریغ شان اعلام می‌دارند.

#### منابع

1. Ai L, Zhou Y, Jiang J. Removal of methylene blue from aqueous solution by montmorillonite/CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> composite with magnetic separation performance. *Desalination*. 2011;266:72-7.
2. Chatterjee S, Kumar A, Basu S, Dutta S. Application of Response Surface Methodology for Methylene Blue dye removal from aqueous solution using low cost adsorbent. *Chemical Engineering*. 2012;181-182:289-99.
3. Yi JZ, Zhang LM. Removal of methylene blue dye from aqueous solution by adsorption onto sodium humate/polyacrylamide/clay hybrid hydrogels. *Bioresource Technology*. 2008;99:2182-6.
4. Yang J, Qiu K. Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal. *Chemical Engineering*. 2010;165:209-17.
5. Paulino A, Guilherme M, Reis A, Campese G, Muniz E, Nozaki J.

- of walnut shell. health in the field . 1;2013.
20. Samarghandy MR, Hoseinzade E, Taghavi M, Hoseinzadeh S. Biosorption of Reactive Black 5 from aqueous solution using Acid-treated biomass from Potato Peel Waste. *Bioresources*. 2011;6(4):4840-55.
  21. Zarrabi M, Noori Sepehr M, Amrollahi M, Taghavi M. Biosorption of fluoride by apple pulp from aqueous solution. *koomesh*. 2015;16(2):213-9.
  22. Ertas M, Acemioglu B, Alma MH, Usta M. Removal of methylene blue from aqueous solution using cotton stalk, cotton waste and cotton dust. *Hazardous Material*. 7-183: 421;2010.
  23. Afroze S, Sen TK, Ang M, Nishioka H. Adsorption of methylene blue dye from aqueous solution by novel biomass *Eucalyptus sheathiana* bark: equilibrium, kinetics, thermodynamics and mechanism. *Desalination and Water Treatment*. 2015:1-21.
  24. Reddy MS, Ahmed MSM, Aswini C. Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solution by Neem Leaf Powder. *Research and Reviews*. 2013;2:218-28.
  25. Salman J, Abid F. Optimization Study of Preparation *Eucalyptus* Trees Activated Carbon for Removal of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution. *Advances in Physics Theories and Applications*. 2015;42:27-32.
  26. Vijayaraghavan J, Bhagavathi Pushpa T, Sardhar Basha SJ, Vijayaraghavan K, Jegan J. Evaluation of Red Marine Alga *Kappaphycus alvarezii* as Biosorbent for Methylene Blue: Isotherm, Kinetic, and Mechanism
  13. Janos P, Coskun S, pilarova V, Rejnek J. Removal of basic (Methylene Blue) and acid (Egacid Orange) dyes from waters by sorption on chemically treated wood shavings. *Bioresource Technology*. 2009;100:1450-3.
  14. Bazrafshan E, Mostafapour FK. Evaluation of color removal of Methylene blue from aqueous solutions using plant stem ash of *Persica*. *North Khorasan University of Medical Sciences*. 2012;4.۳۲-۵۲۳:
  15. Bazrafshan E, Mostafapour FK, Barikbin B. Decolorization of Reactive Red 198 by means of pistachio-nut shell ash. *Birjand University of Medical Sciences*. 2012;19:266-76.
  16. Bazrafshan E, Mostafapour FK, Rahdar S, Mahvi AH. Equilibrium and thermodynamics studies for decolorization of Reactive Black 5 (RB5) by adsorption onto MWCNTs. *Desalination and Water Treatment*. 2014:1-11.
  17. Taghavi M, Zazouli MA, Yousefi Z, Akbari-adergani B. Kinetic and isotherm modeling of Cd (II) adsorption by l-cysteine functionalized multi-walled carbon nanotubes as adsorbent. *Environmental monitoring and assessment*. 2015;187(11):1-10.
  18. Zazouli MA, Yousefi Z, Taghavi M, Akbari-adergani B, Cherati JY. Cadmium Removal from Aqueous Solutions using L-cysteine Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes *J Mazand Univ Med Sci*. 2013;23(98):37-47.
  19. Mansoorian HJ, Mahvi AH, Mostafapoor FK, MostafaAlizadeh. Equilibrium and synthetic studies of methylene blue dye removal using ash

29. Lim LBL, Priyantha N, Hei Ing C, Khairud Dahri M, Tennakoon DTB, Zehra T, et al. Artocarpus odoratissimus skin as a potential low-cost biosorbent for the removal of methylene blue and methyl violet 2B. *Desalination and Water Treatment*. 2015;53(4):964-75.
30. Han X, Chu L, Liu S, Chen T, Ding C, Yan J ,et al. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution using Porous Biochar Obtained by KOH Activation of Peanut Shell Biochar. *BioResources*. 2015;10(2):2836-49.
- Studies. *Separation Science and Technology*. 2015;50(8):1120-6.
27. Kushwaha AK, Gupta N, Chattopadhyaya MC. Removal of cationic methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution by waste materials of Daucus carota. *Saudi Chemical Society*. 2014;18:200-7.
28. Kafi Z, Ganjidoust H, Ayati B. Study of Dye Removal from Aqueous Solution Using Sawdust and Clay. *Modares Civil Engineering*. 2011;11:67-76.

