

تصفیه زیستی محلول رنگی حاوی مالاکیت سبز بوسیله‌ی جلبک پرسلول کلادوفورا

علیرضا ختائی^{۱*}، غلامرضا دهقان^۲، مینو پورحسن، الهه عبادی

۱- تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده شیمی، گروه شیمی کاربردی

۲- تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم طبیعی، گروه علوم گیاهی

پیام نگار: a_khataee@tabrizu.ac.ir

زمان دریافت: ۱۳۸۸/۶/۲۱

زمان پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۲۲

چکیده

در سال‌های اخیر توانایی جلبک‌های پرسلول در تصفیه پساب‌های نساجی و رنگرزی که حاوی مواد رنگزای آلی می‌باشند، مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله تصفیه زیستی ماده رنگزای مالاکیت سبز (تری‌فنیل‌متان) به وسیله‌ی جلبک پرسلول کلادوفورا^۱ مورد بررسی قرار گرفته است. جلبک جمع‌آوری شده به وسیله‌ی میکروسکوپ نوری شناسایی شد که نمونه مورد نظر کلادوفورا متعلق به جلبک‌های سبز می‌باشد. گونه‌های جلبکی از دریاچه طبیعی جمع‌آوری شد و بلافاصله مورد استفاده قرار گرفت. تاثیر عواملی نظیر دما، غلظت اولیه ماده رنگزا، وزن جلبک و pH بر کارایی فرایند تصفیه زیستی ماده رنگزا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با افزایش غلظت ماده رنگزا در محدوده ۱۷/۵-۲/۵ ppm، میزان رنگزدایی افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش مقدار جلبک، کارایی فرایند تصفیه زیستی ماده رنگزا زیاد می‌شود. مقدار مطلوب وزن جلبک ۴ گرم وزن تر به دست آمد. پایداری و کارایی جلبک در مدت طولانی کارکرد و همچنین تکرارپذیری آن مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده، تصفیه زیستی کامل محلول رنگی حاوی ۱۰ ppm مالاکیت سبز در حضور جلبک مورد نظر در شرایط مطلوب در مدت ۷ ساعت انجام می‌گیرد.

کلمات کلیدی: تصفیه زیستی، مالاکیت سبز، کلادوفورا، جلبک پرسلول، رنگزدایی

۱- مقدمه

که به نوعی وارد چرخه محیط زیست می‌شوند و آن را آلوده و تخریب می‌کنند. پساب‌های رنگی یکی از مشکل سازترین پساب‌ها از دیدگاه زیست محیطی محسوب می‌شوند [۱ و ۲]. حذف رنگ از پساب‌ها مهمتر از حذف سایر مواد آلی غیررنگی است زیرا غلظت رنگ در آب‌های پذیرنده پساب‌های رنگی ممکن است کمتر از ۱ ppm باشد، ولی رنگ حتی در چنین غلظت پایینی مرئی است و اثرات زیست محیطی خود را به دنبال خواهد داشت [۳]. مواد رنگزای

امروزه یکی از مهمترین زمینه‌های تحقیقاتی در اکثر نقاط جهان، بررسی و ارائه راه‌هایی جهت جلوگیری از آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین زمین‌های زراعی است که همراه با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی صورت می‌گیرد. آن‌چه بیشتر از همه مورد توجه است مسئله پساب‌های صنعتی یا آب‌های آلوده است

1. *Cladophora* Sp.

کنند [۱۳]. علت استفاده از جلبک‌ها در دسترس بودن و نیز رشد سریع آنهاست. دیواره سلولی جلبک‌ها دارای گروه‌های عملکردی: آمینو، کربوکسیل، سولفات، فسفات، ایمیدازول و پروتئین است که قادرند با آلاینده‌های مختلف پیوند تشکیل دهند [۱۵ و ۱۴]. اصطلاح جذب زیستی به ترکیبی از مکانیزم انتقال فعال و غیر فعال برای حذف مواد ناخواسته توسط توده‌های میکروبی اطلاق می‌شود که مزیت آن عدم تولید ضایعات شیمیایی است. حذف رنگ به وسیله‌ی جلبک به توده شدن یون‌های رنگی روی سطحی از زیست‌پلیمرها و همین‌طور انتشار مولکول‌های رنگی از طریق فاز مایع به فاز جامد اطلاق می‌شود [۱۶]. هدف تجزیه زیستی تبدیل مواد آلاینده موجود در پساب به محصولات نهایی بی‌ضرر یا کم‌ضرر است [۵]. جذب زیستی اسید آبی ۲۹۰، ۳۲۴ و ۳۳۴ روی جلبک سبز اسپیروژیر^۱ گزارش شده [۲۰] و جذب زیستی مالاکیت سبز روی فیتوفتورا^۲ بررسی شده است [۸].

بررسی قابلیت ارگانسیم‌ها در تجزیه زیستی، جذب سطحی، زیست‌انباشتی و حذف انواع مختلف آلاینده‌ها امروزه از رایج‌ترین پروژه‌های تحقیقاتی به شمار می‌رود. با توجه به منابع، تصفیه پساب‌های حاوی آلاینده‌های شیمیایی مختلف به وسیله جلبک‌ها میسر است. بنابراین هدف پروژه حاضر بررسی عوامل موثر از قبیل غلظت اولیه ماده رنگزا، دما، pH و وزن جلبک کلادوفورا در حذف ماده رنگزای مالاکیت سبز از آب است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ جمع‌آوری و شناسایی نمونه جلبکی

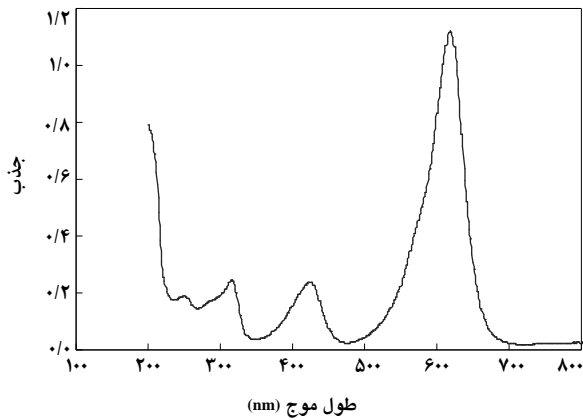
نمونه جلبکی پس از جمع‌آوری از دریاچه طبیعی منطقه ازناو در ۱۵ کیلومتری شهرستان خلخال به آکواریوم آزمایشگاه انتقال داده شد و به وسیله‌ی میکروسکوپ نوری المپوس^۳ مورد شناسایی قرار گرفت. نمونه کلادوفورا، جلبک پرسلول متعلق به خانواده جلبک‌های سبز می‌باشد. این جلبک در جریان‌های آرام آب‌ها و در حاشیه کانال‌ها رشد می‌کند. شکل (۱) نشان دهنده‌ی نمونه کلادوفورا می‌باشد که با میکروسکوپ نامبرده گرفته شده است.

مصنوعی، گروهی از آلاینده‌ها هستند که به طور گسترده در صنایع نساجی، کاغذسازی، چاپ و رنگرزی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. گزارش شده است که بیش از ۱۰۰۰۰ رنگ تجاری وجود دارد که تولید سالانه آنها بیش از 7×10^5 تن است [۴ و ۱]. بیشتر مواد رنگزا به خاطر ساختار شیمیایی‌شان، در مقابل نور خورشید، آب و بسیاری از مواد شیمیایی مقاوم‌اند و رنگ‌دایی بسیاری از مواد رنگزا به خاطر ساختار پیچیده آنها بسیار مشکل است [۵ و ۶]. ثابت شده است که روش‌های سنتی تصفیه پساب‌هایی که حاوی مواد رنگزای نساجی هستند، به خاطر پایداری شیمیایی این آلاینده‌ها غیر موثر می‌باشند. گستره وسیعی از روش‌ها برای حذف مواد رنگزای آلی از آب‌ها و پساب‌ها جهت کاهش تماس آنها با محیط زیست توسعه یافته است. از جمله رایج‌ترین روش‌ها برای حذف رنگ، اکسایش زیست‌شناختی، ترسیب شیمیایی و جذب سطحی به وسیله‌ی کربن فعال است ولی این روش‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیستند [۷ و ۸]. روش جذب سطحی ارزان‌ترین روش برای حذف رنگ از آب‌های آلوده است و جذب سطحی مالاکیت سبز روی کربن فعال گزارش شده است [۹].

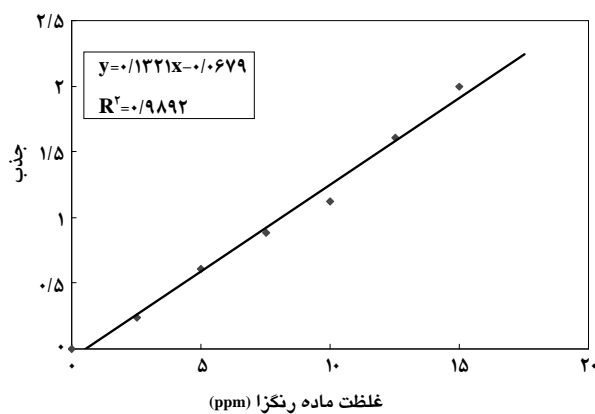
مواد رنگی بر اساس ساختار شیمیایی به اسیدی، بازی، آزو، دی آز و... تقسیم می‌شوند [۱۰ و ۱۵]. ماده رنگزای مالاکیت سبز از گروه رنگ‌های تری‌آریل‌متان و از دسته رنگ‌های کاتیونی است. مالاکیت سبز از مهمترین و پرمصرف‌ترین مواد رنگزای این گروه است که در رنگرزی کتان، چرم، ابریشم، پارچه، نایلون و کاغذ از آن استفاده می‌شود [۱۶ و ۱۱]. مالاکیت سبز در حال حاضر به خاطر خطراتی که برای مصرف‌کنندگان و موجودات آبی در بردارد، مثل اثرات زیان‌بار برای دستگاه‌های ایمنی، تناسلی، گوارشی، تنفسی و غیره همچنین تولید ترکیبات سرطانزا و سمی از آن، به عنوان یکی از بحث-برانگیزترین ترکیبات در آمده است [۱۲ و ۱۱].

در سال‌های اخیر مطالعات در مورد برخی از میکروارگانسیم‌ها متمرکز شده که دارای قابلیت جذب زیستی و یا تجزیه زیستی در پساب‌ها هستند. میکروارگانسیم‌های متنوعی که دارای توانایی حذف آلاینده‌ها می‌باشند عبارتند از: برخی از باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها. تصفیه زیست‌شناختی روش موفق در حذف آلاینده‌های آلی از پساب‌هاست. موجودات زنده قادرند مواد آلی را به وسیله‌ی آنزیم‌ها متابولیزه کرده و آن‌ها را به دی‌اکسیدکربن، آب و انرژی تبدیل

1. *Spirogyra rhizopus*
2. *Pithophthora* Sp.
3. Olympus



شکل ۲- طیف جذبی مالاکیت سبز در ناحیه UV-VIS (شرایط عمل: $\text{pH} = 8/5$, $\text{ppm} = 10$, [رنگ])

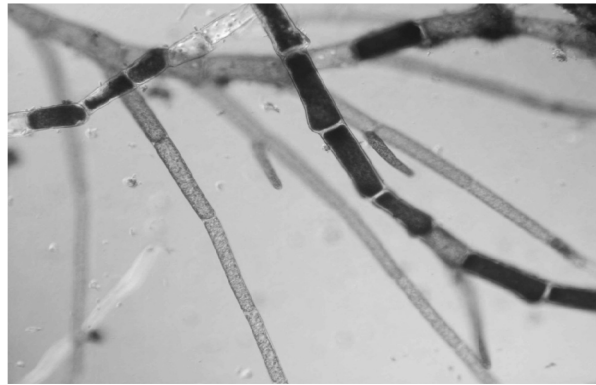


شکل ۳- نمودار درجه بندی جهت اندازه گیری غلظت رنگ مالاکیت سبز در نمونه های مجهول ($\lambda_{\text{max}} = 619 \text{ nm}$)

$$\text{درصد حذف رنگ} = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

۲-۴ اندازه گیری COD^۱ محلول حاوی مالاکیت سبز

COD کلیه محلول های حاوی آلاینده مالاکیت سبز به روش آمپول اندازه گیری شد [۲۱]. به این ترتیب که ابتدا ۱/۵ ml محلول هاضم (پتاسیم دی کرومات) در داخل ویال های مخصوص COD ریخته شده و سپس به آن ۳/۵ ml محلول کاتالیزگر سولفات نقره اضافه گردید. در این حالت، ویال ها در تاریکی و در دمای اتاق قرار داده شدند تا سرد شوند. پس از سرد شدن ویال ها، به آرامی ۲/۵ ml از محلول حاوی آلاینده و یا محلول استاندارد به آنها اضافه شد و مخلوطها به



شکل ۱- تصویر کلاروفورا با میکروسکوپ نوری

۲-۲ روش تصفیه زیست شناختی در سیستم ناپیوسته

کلیه کارهای عملی این پروژه در یک سیستم ناپیوسته انجام گرفت. آزمایش ها در ارلن های ۲۵۰ میلی لیتری، حاوی ۱۰۰ میلی لیتر محلول رنگی مالاکیت سبز و زیست توده جلبکی مورد نظر انجام گرفت. برای مشخص کردن اثرات عوامل محیطی و عملیاتی، کارائی حذف رنگ در سیستم ناپیوسته با تغییر دادن عوامل مورد نظر اعم از غلظت ابتدایی رنگ (۲/۵-۱۷/۵ ppm)، غلظت جلبک (۶-۱۵/۵ گرم)، دمای محیط (۴۵-۵ °C)، pH (۸/۵-۱/۵) انجام پذیرفت. pH های محلول های آزمایشی با استفاده از محلول های رقیق شده NaOH و H_2SO_4 تنظیم شدند. تمام آزمایش ها در شرایط ساکن در دستگاه انکوباتور انجام گردید.

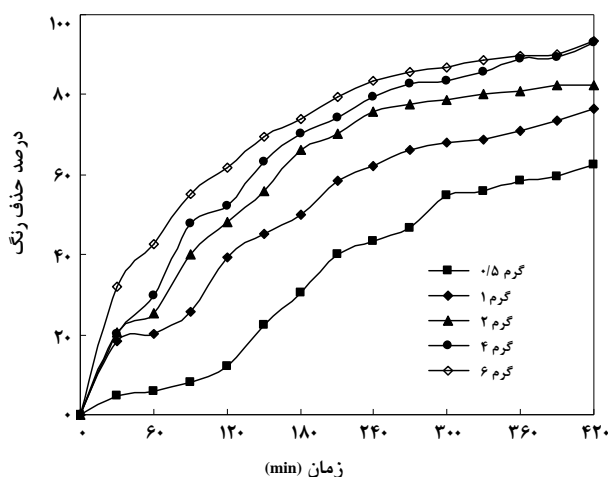
۲-۳ روش اندازه گیری رنگ مالاکیت سبز

شکل حاصل از رسم طیف جذبی محلولی از رنگ در محدوده ۸۰۰-۲۰۰ نانومتر به وسیله دستگاه طیف نورسنج یا اسپکتروفوتومتر ($S_2000 \text{ UV/VIS}$)، پیک جذبی قوی در طول موج ۶۱۹ نانومتر نشان می دهد (شکل (۲)). بعد از تعیین طول موج بیشینه، محلول هایی با غلظت های متفاوت از رنگ تهیه گردید و جذب آنها در طول موج ۶۱۹ نانومتر اندازه گیری شد و نمودار درجه بندی رسم گردید. در این پروژه غلظت رنگ مالاکیت سبز در مراحل مختلف به وسیله این نمودار به دست آمده است (شکل (۳)).

برای رسم نمودارهای لازم از رابطه زیر که بیانگر درصد تجزیه ماده اولیه رنگ می باشد استفاده شد. در این رابطه C_0 بیانگر غلظت اولیه رنگ بر حسب (ppm) و C غلظت رنگ در زمان مورد مطالعه بر حسب (ppm) است.

1. Chemical Oxygen Demand

استفاده از رابطه (۱) به دست آمد. با توجه به شکل (۴) با افزایش وزن جلیک، درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد، که این موضوع در ارتباط با افزایش سطح جلیک و افزایش مکان‌های پیوندی است که عوامل اصلی تجربه زیستی می‌باشند [۱۸ و ۱۷].



شکل ۴- اثر وزن جلیک کلایونفوراً در حذف رنگ مالاکیت سبز (شرایط عمل: pH = ۸/۵، دما ۲۵°C، ۱۰ ppm، [رنگ])

۲-۳ بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ در حذف مالاکیت سبز
 به منظور پی بردن به اثر غلظت‌های رنگ در حذف آن، غلظت‌های مختلف مالاکیت سبز (۲/۵-۱۷/۵ ppm) تهیه شد و پس از افزودن ۴ گرم نمونه جلیکی، به مدت ۷ ساعت در دمای ۲۵°C در انکوباتور قرار داده شد و هر ۳۰ دقیقه از محلول‌ها نمونه برداری شد. سپس بر اساس نمودار درجه‌بندی، غلظت رنگ در نمونه و درصد حذف با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند سیستم مورد مطالعه به صورت وابسته به غلظت عمل کرده و یک آستانه غلظتی برای افزایش درصد حذف رنگ وجود دارد. همچنین، با توجه به شکل (۵) مشخص گردید که با افزایش غلظت رنگ درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. دلیل این مشاهده به این صورت قابل توجیه است که با افزایش غلظت رنگ تعداد برخوردهای بین رنگ و جلیک بیشتر شده و در نتیجه باعث پیشرفت مراحل جذب و تصفیه زیستی می‌شود [۱۷ و ۲۰].

۳-۳ بررسی تأثیر pH در حذف رنگ مالاکیت سبز
 برای بررسی تأثیر pH در حذف رنگ مالاکیت سبز، محلول‌های

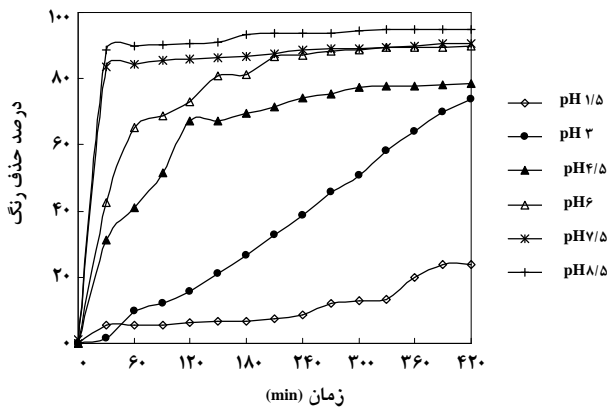
شدت هم زده شدند و پس از انجام این مراحل، ویال‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۵۰°C در آون قرار داده شدند. پس از ۲ ساعت محلول‌ها از آون خارج شدند و پس از سرد شدن، جذب آن‌ها توسط دستگاه طیف نورسنج خوانده شد. برای اندازه‌گیری مقدار COD مقدار اکسید کننده‌ی احیا شده (به صورت Cr^{+3}) از طریق طیف نورسنجی اندازه‌گیری شد. کروم سه ظرفیتی به رنگ سبز بوده و در طول موج ۴۲۰ nm دارای پیک جذبی می‌باشد. بنابراین ابتدا هر یک از حجم‌های ارائه شده از محلول استاندارد پتاسیم هیدروژن فتالات در جدول (۱) به حجم ۵۰ ml رسانده شد و پس از انجام مراحل ارائه شده جذب آن‌ها در ۴۲۰ nm اندازه‌گیری شد. COD هر یک از محلول‌های پتاسیم هیدروژن فتالات تهیه شده برای رسم منحنی درجه‌بندی در مقابل آن ارائه شده است (جدول (۱)).

جدول ۱- داده‌های ارائه شده جهت رسم منحنی درجه‌بندی برای اندازه‌گیری COD

حجم محلول پتاسیم هیدروژن فتالات در داخل ویال (ml)	COD (mg/l)
۱	۵
۲	۱۰
۴	۲۰
۶	۳۰
۸	۴۰
۱۰	۵۰

۳- نتایج و بحث

۱-۳ بررسی تأثیر وزن جلیک در حذف رنگ مالاکیت سبز
 به منظور پی بردن به اثر وزن جلیک در حذف رنگ مالاکیت سبز از وزن‌های مختلف زیست توده جلیکی (۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۶ گرم) استفاده شد. بدین منظور ۱۰۰ ml از محلول‌های رنگی تهیه شده به غلظت ۱۰ ppm از رنگ مالاکیت سبز و جلیک در داخل انکوباتور در دمای ۲۵°C به مدت ۷ ساعت قرار گرفت و در این مدت در فواصل زمانی معین از محلول نمونه برداری گردید و میزان جذب آن در طول موج بیشینه جذب مربوط به مالاکیت سبز اندازه‌گیری شد و بر اساس نمودار درجه‌بندی غلظت رنگ در نمونه و درصد حذف با

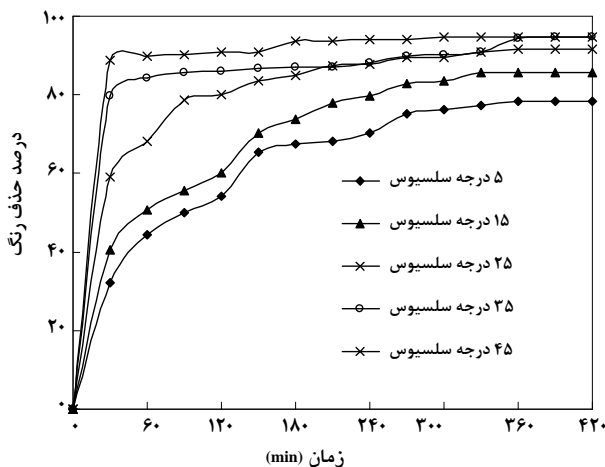


شکل ۶- اثر pH در حذف رنگ مالاکیت سبز با استفاده

از جلبک کلادوفورا

(شرایط عمل: دما 25°C ، وزن جلبک 4g ، 10 ppm [رنگ])

نمونه و درصد حذف با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد. نتایج حاصل در شکل (۷) نشان داده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود میزان رنگزدایی در اثر افزایش دما افزایش می‌یابد. نتایج حاصل، نشان دهنده‌ی گرمازا بودن فرایند رنگزدایی مالاکیت سبز به وسیله‌ی گونه جلبکی کلادوفورا می‌باشد [۱۷].



شکل ۷- تاثیر دماهای مختلف بر حذف رنگ مالاکیت سبز با

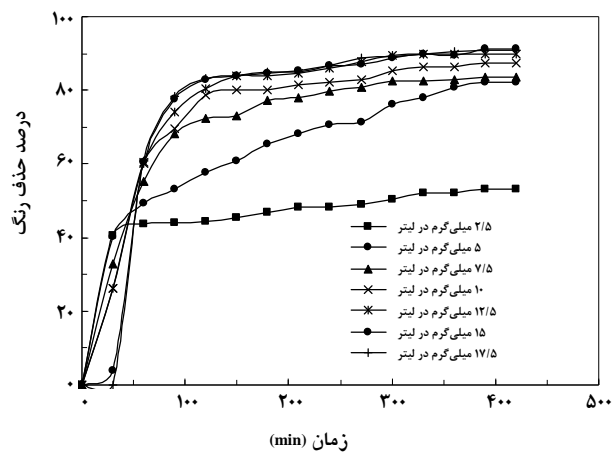
استفاده از جلبک کلادوفورا

(شرایط عمل: وزن جلبک 4g ، 10 ppm [رنگ]، $\text{pH} = 8/5$)

۳-۵ بررسی اثر زیست توده مرده جلبکی در حذف رنگ

مالاکیت سبز

به منظور بررسی اثر زیست توده مرده جلبکی، محلول‌هایی با غلظت 10 ppm تهیه گردید و مقادیر بهینه توده جلبکی که به وسیله



شکل ۵- اثر غلظت اولیه ماده رنگزا در حذف مالاکیت

سبز با استفاده از جلبک کلادوفورا

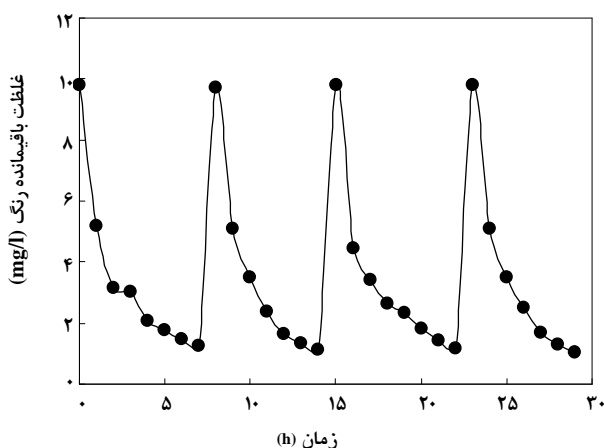
(شرایط عمل: $\text{pH} = 8/5$ ، دما 25°C ، وزن جلبک 4g)

رنگی به غلظت‌های 10 ppm در pH های $1/5$ - $8/5$ تهیه شدند و به هر کدام از آنها وزن مطلوب نمونه‌ی جلبکی 4g اضافه گردید و سپس در مدت 7 ساعت در انکوباتور در دمای 25°C قرار داده شد و در هر 30 دقیقه از محلول نمونه برداری شد و بعد از خواندن جذب نمونه‌ها بر اساس نمودار درجه‌بندی غلظت رنگ در نمونه و درصد حذف با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش pH درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد (شکل (۶)). این موضوع در ارتباط با نقطه ایزوالکتریک است که برای گونه‌های جلبکی نقطه ایزوالکتریک، 3 گزارش شده است [۱۹ و ۱۸]. در pH های بالای این نقطه، بار سطح جلبک منفی می‌شود و میزان جذب سطحی ماده رنگزای کاتیونی مالاکیت سبز رنگ افزایش می‌یابد و در pH پایین این نقطه، بار سطح جلبک مثبت می‌شود و جذب سطحی ماده رنگزای مالاکیت سبز کاهش می‌یابد [۱۸ و ۱۷]. در برخی منابع به رابطه خطی بین افزایش pH و جذب رنگ کاتیونی اشاره شده است [۱۸].

۳-۴ بررسی تاثیر دما در حذف رنگ مالاکیت سبز

برای بررسی تاثیر دماهای مختلف (5 - 45°C) در حذف رنگ مالاکیت سبز، محلول‌های رنگی به غلظت‌های 10 ppm تهیه شد و به محلول‌ها مقدار مطلوب نمونه‌ی جلبکی 4g گرم افزوده شد و در مدت 7 ساعت، مشابه قسمت‌های قبل از محلول‌ها نمونه‌برداری شد و بعد از خواندن جذب آن‌ها بر اساس نمودار درجه‌بندی، غلظت رنگ در

واکنش، دوباره غلظت محلول رنگی به ۱۰ ppm رسانده شد تا تکرار دوم انجام گیرد. جذب محلول‌ها در فواصل معین خوانده شد و غلظت باقی مانده از مالاکیت سبز به وسیله نمودار درجه‌بندی محاسبه گردید. این عمل تا ۴ بار به طور متوالی تکرار شد و نمودارهای مربوطه رسم گردید (شکل ۹). تکرارهای متوالی حذف ماده رنگزا نشان دهنده‌ی توانایی بالای جلیک کلادوفورا در فرایند تصفیه زیستی می‌باشد.

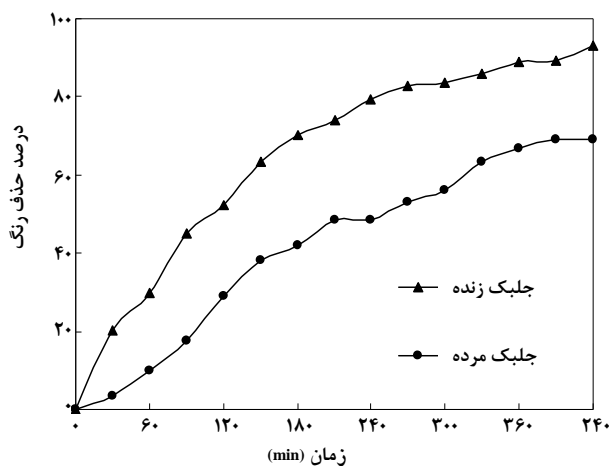


شکل ۹- اثر تکرارهای متوالی در رنگزدایی مالاکیت سبز با استفاده از کلادوفورا (شرایط عمل: pH=۸/۵، وزن جلیک ۰.۴ g، ۱۰ ppm [رنگ]).

۳-۷ اندازه‌گیری COD محلول مالاکیت سبز قبل و بعد از حذف

COD محلول حاوی آلاینده مالاکیت سبز به روش مذکور در قسمت (۲-۴) اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل نشان داد که میزان COD قبل از حذف، ۲۰ (mg/l) است و ۷ ساعت بعد از فرایند تصفیه زیستی با استفاده از کلادوفورا مقدار COD مساوی (۶ mg/l) می‌باشد. بنابراین میزان COD به اندازه‌ی ۷۰٪ کاهش یافته است. شکل (۱۰) طیف جذبی مالاکیت سبز را طی فرایند رنگزدایی به وسیله جلیک کلادوفورا از ابتدای واکنش تا ۷ ساعت پس از فرایند رنگزدایی نشان می‌دهد. به طوری که مشخص است کاهش جذب ماده رنگزا، و در نهایت، حذف ماده رنگزا پس از ۷ ساعت در ارتباط با رنگزدایی گونه جلیکی می‌باشد.

اتوکلاو (به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰°C تحت فشار $1/5 \text{ Kgf cm}^2$) کشته شده‌اند به محلول اضافه شدند. سپس محلول‌ها به مدت ۷ ساعت در دمای ۲۵°C داخل انکوباتور قرار داده شدند. شکل (۸) مقایسه نتایج رنگزدایی به وسیله‌ی زیست توده مرده و زنده را نشان می‌دهد. علی‌رغم اینکه سلول‌های جلیکی در این آزمایش کشته شده‌اند ولی باز هم مشاهده می‌شود که مقادیر قابل توجهی از رنگ را حذف می‌کنند. دلیلی که برای این فرایند می‌توان عنوان کرد این است که احتمالاً اتوکلاو کردن به خاطر ایجاد گسیختگی در سلول‌ها باعث افزایش سطح دیواره سلولی می‌شود. همچنین با توجه به شکل (۸) مشخص می‌گردد که میزان رنگزدایی به وسیله جلیک زنده بیشتر از توده جلیکی اتوکلاو شده (جلیک مرده) است که این موضوع نشان دهنده‌ی انجام فرایند تصفیه زیستی در حضور جلیک زنده می‌باشد [۹ و ۶].

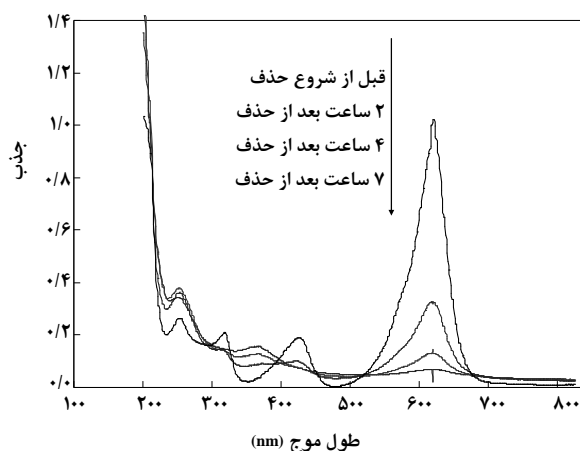


شکل ۸- مقایسه عملکرد زیست توده مرده کلادوفورا و گونه جلیکی زنده در حذف رنگ مالاکیت سبز (شرایط عمل: pH=۸/۵، دما ۲۵°C، وزن جلیک ۰.۴ g، ۱۰ ppm [رنگ]).

۳-۶ استفاده متوالی از جلیک کلادوفورا در رنگزدایی مالاکیت سبز

به منظور استفاده متوالی از جلیک کلادوفورا در حذف رنگ، ابتدا محلولی از مالاکیت سبز به غلظت ۱۰ ppm تهیه شد و پس از افزودن مقدار مطلوب از نمونه جلیکی (۴ گرم) کلادوفورای محلول در انکوباتور قرار گرفت و در فواصل زمانی معین جذب آن به وسیله‌ی دستگاه طیف نورسنج خوانده شد. پس از گذشت ۷ ساعت از شروع

- solutions by photo-Fenton and Fenton-like processes", J. Photochem. Photobiol. A: Chem., 161, 87-93, (2003).
- [3] N. Daneshvar, D. Salari, A. Niaei, M.H. Rasoulifard, A.R. Khataee, "Immobilization of TiO₂ nanopowder on glass beads for the photocatalytic decolorization of an azo dye C.I. Direct Red 23", J. Environ. Sci. Heal., 40, 1605-1617, (2005).
- [4] N. Daneshvar, A. Aleboyeh, A.R. Khataee, "The evaluation of electrical energy per order (E_{EO}) for photooxidative decolorization of four textile dye solutions by the kinetic model", Chemosphere, 59, 761-767, (2005).
- [5] A. Özer, G. Akkaya, M. Turabik, "The removal of acid red 274 from waste water: combined biosorption and biocoagulation with *Spirogyra rhizopus*", Dye Pigments, 71, 83-89, (2005).
- [6] T. Robinson, G. McMullan, R. Marchant, P. Nigam, "Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposal alternative", Bioresource Technol., 77, 247-255, (2001).
- [7] A.R. Khataee, M. Pourhassan, M. Ayazloo, "Biological Decolorization of C.I. Basic Green 4 Solution by *Chlorella* sp: Effect of Operational Parameters", Chin. J. Appl. Environ. Biol., 15(1), 110-114, (2009).
- [8] K. Vasanth Kuma, V. Ramamurthi, S. Sivanesan, "Biosorption of malachite green, a cationic dye onto *Pithophora* sp., a fresh water algae", Dye Pigments, 69, 102-107, (2005).
- [9] B.H. Hameed, M.I. El-Khaiary, "Kinetics and equilibrium studies of malachite green adsorption on rice straw-derived char", J. Hazard. Mater., 153, 701-708, (2007).
- [10] T.V.N. Padmish, K. Jagaraghavan, G. Sekaran, M. Velan, "Batch and column studies on biosorption of acid dye on fresh water macroalga *Azolla filiculoides*", J. Hazard. Mater., 125, 121-129, (2005).
- [11] C. Zahang, Y. Jing, "Adsorption of malachite green from aqueous solution onto carbon prepared from *Arunda donax* root", J. Hazard. Mater., 150, 774-782, (2008).
- [12] S. Srivastava, R. Sinha, D. Roy, "Toxicological effects of malachite green", Aqua. Toxicol., 66, 319-329, (2004).
- [13] N. Daneshvar, A.R. Khataee, M.H. Rasoulifard, M. Pourhassan, "Biodegradation of dye solution containing *Malachite Green*: optimization of effective parameters using Taguchi method", J. Hazard. Mater., 143, 214-219, (2007).
- [14] A. Aravindhan, J. Raghava, B. Unni Nai, "Removal of yellow dye from aqueous solution by sorption on green alga *Caulerpa scalpelliformi*", J. Hazard. Mater., 142, 68-76, (2006).
- [15] A. Meral, "Biosorption of Acid Blue 290 (AB 290) and Acid Blue 324 (AB 324) dyes on *Spirogyra rhizopus*", J. Hazard. Mater., 135, 355-364, (2006).



شکل ۱۰- طیف جذبی مالاکیت سبز طی فرایند رنگزدایی به وسیله‌ی جلبک کلادوفورا (شرایط عمل: pH=۸/۵، وزن جلبک ۴ g، ۱۰ ppm [رنگ])

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این کار پژوهشی نشان داد که با افزایش وزن جلبک، درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد که این موضوع در ارتباط با افزایش سطح جلبک و افزایش مکان‌های پیوندی است. همچنین، فرایند تصفیه زیستی مالاکیت سبز، وابسته به غلظت عمل کرده و یک آستانه غلظتی برای افزایش درصد حذف رنگ وجود دارد. مشخص شد با افزایش غلظت ماده رنگزا، درصد حذف آن افزایش می‌یابد. همچنین مشخص گردید با افزایش pH درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. حذف رنگ با افزایش دما بیشتر می‌شود که نشانگر گرمازا بودن فرایند تصفیه زیستی مالاکیت سبز است. نتایج، کاهش میزان COD را هم به میزان ۷۰٪ نشان داد.

در ادامه این کار پژوهشی می‌توان از روشهای طراحی آزمایش جهت تعیین شرایط بهینه با انجام حداقل آزمایش‌ها بهره گرفت. همچنین می‌توان با استفاده از آنالیزهای دستگاهی، مواد حد واسط تشکیل شده طی فرایند تخریب زیستی ماده رنگزا را تعیین کرد.

مراجع

- [1] Z. Aksu, "Application of biosorption for the removal of organic pollutants", Process Biochem., 40, 10-997, (2005).
- [2] M. Neamtu, A. Yediler, I. Siminiceanu, A. Kettrup, "Oxidation of commercial reactive azo dye aqueous

- [16] N. Daneshvar, M. Ayazloo, A.R. Khataee, M. Pourhassan, "Biological decolorization of dye solution containing Malachite Green by microalgae *Cosmarium* sp", *Bioresource Technol.*, 98, 1176–1182, (2007).
- [17] A.R. Khataee, G. Dehghan, E. Ebadi, M. Zarei, M. Pourhassan, "Biological treatment of a dye solution by macroalgae *Chara* sp.: effect of operational parameters, intermediates identification and artificial neural network modeling", *Bioresource Technol.*, 101, 2252–2258, (2010).
- [18] K. Vasanthkumar, S. Sivanesan, V. Ramamurthi, "Adsorption of malachite green onto *Pithophora* sp., a fresh water algae: Equilibrium and kinetic modeling", *Process Biochem.*, 40, 2865–2872, (2005).
- [19] G. Cetinkaya Donmez, Z. Aksu, A. Ozturk, T. Kutsal, "A comparative study of some algal", *Process Biochem.*, 34, 885–892, (1999).
- [20] Ö. Ayla, T. Meral, "Biosorption of Acid Blue 290 (AB 290) and Acid Blue 324 (AB 324) dyes on *Spirogra rhizopus*", *J. Hazard. Mater.*, 135, 355–364, (2006).
- [21] American Public Health Association (APHA), "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" 17th ed, Washington (DC), USA, (1989).