

Investigation of the Use of Chitosan in the Removal of Iron and copper from Soybean Oil¹

Mahsa Nazemi | MSc, Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. microbiol_sci@yahoo.com

Fatemeh Zaboli | Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran (**Corresponding Author**). sama_tanha0123@yahoo.com

Abstract

Objectives: Chitosan is a cationic polymer that removes iron and copper from oils. The aim of this study was to investigate the removal of iron and copper metals from the soybean oil using chitosan.

Methods: Metal removal was performed by adding chitosan to crude soybean oil at 35, 45, 55 and 65°C for 1 hour. Chitosan was used in the amounts of 0.1, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2 and 2.5 g and by measuring the removal efficiency by the atomic absorption apparatus, the most appropriate concentration and reaction temperature were obtained. Also, titratable acidity and color factors at different concentrations and temperatures were investigated.

Results: With increasing the amount of chitosan from 0.1 to 2 g and at 65 and 55°C, the amount of copper removal increased ($P < 0.05$), increasing the concentration of chitosan from 0.1 to 2.5 g caused a significant increase in the amount iron was removed from soybean oil at 45 and 55°C ($P < 0.05$). With increasing chitosan concentration and temperature from 35 to 65°C, the rate of color loss of soybean oil increased significantly ($P < 0.05$). With increasing the concentration of chitosan at concentrations of 1 to 2.5 and 65°C, the acidity decreased significantly ($P < 0.05$).

Conclusion: Chitosan removed heavy metals such as copper and iron, and as its concentration increased, the removal of heavy metals increased. Chitosan can be used as a natural remover to remove heavy metals from food.

Keywords: Chitosan, Soybean Oil, Copper, Iron.

1. **How to Cite:** Nazemi M & Zaboli F. Investigation of the Use of Chitosan in the Removal of Iron and copper from Soybean Oil. *Applied Biology*. 2021; 11(43): 5-20.

Received: 2021/06/08 ; **Revision:** 2021/08/11 ; **Accepted:** 2021/09/10

© the authors <http://sjoapb.journal.qom-iau.ac.ir>

Publisher: Qom Islamic Azad University



بررسی کاربرد کیتوزان در حذف مس و آهن از روغن سویا^۱

مهسا ناظمی^۱ کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد آیت‌الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. microbiol_sci@yahoo.com
فاطمه زابلی^۱ استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد آیت‌الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران (نویسنده مسئول).
sama_tanha0123@yahoo.com

چکیده

هدف: کیتوزان به عنوان یک پلیمر کاتیونی قابلیت حذف آهن و مس را از روغن دارد. هدف این تحقیق بررسی حذف فلزات آهن و مس از روغن سویا با استفاده از کیتوزان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: حذف فلزات با افزودن کیتوزان به روغن خام سویا در دماهای ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱ ساعت انجام شد. از کیتوزان با میزان‌های ۰/۱، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم استفاده گردید و با اندازه‌گیری راندمان حذف توسط دستگاه جذب اتمی، مناسب‌ترین غلظت و درجه حرارت واکنش به دست آمد. همچنین فاکتورهای اسیدیته قابل تیتراسیون و رنگ در غلظت‌ها و دماهای مختلف بررسی شد.

نتایج: با افزایش میزان کیتوزان از ۰/۱ تا ۲ گرم و در ۶۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد میزان حذف مس افزایش یافت ($P < 0/05$). افزایش غلظت کیتوزان از ۰/۱ الی ۲/۵ گرم سبب افزایش معنی‌داری در میزان حذف آهن از روغن سویا در دمای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد شد ($P < 0/05$). با افزایش غلظت کیتوزان و دما از ۳۵ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد، میزان کاهش رنگ روغن سویا به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0/05$). با افزایش غلظت کیتوزان در غلظت‌های ۱ الی ۲/۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد، میزان اسیدیته به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: کیتوزان باعث حذف فلزات سنگین مس و آهن شد و با افزایش غلظت آن میزان حذف فلزات سنگین افزایش یافت. استفاده از کیتوزان به عنوان یک حذف‌کننده طبیعی در حذف فلزات سنگین از مواد غذایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: کیتوزان، روغن سویا، آهن، مس.

۱. روش استاد به این پژوهش: ناظمی م، زابلی ف. بررسی کاربرد کیتوزان در حذف مس و آهن از روغن سویا. بیولوژی کاربردی. ۱۴۰۰؛ ۱۱(۴۳): ۲۰-۵.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸ ؛ تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۵/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹
ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم

۱. مقدمه

معمولاً از عملیات خنثی‌سازی و با کمک فرایندهای معمول نظیر رنگ‌بری و پست بلیچ، جهت رسوب دادن ذرات معلق و فلزات سنگین روغن استفاده می‌شود. این فرایند طی مراحل جداسازی مانند فیلتراسیون ادامه می‌یابد.

کیتوزان یک کوپلیمر از گلوکز آمین و N - استیل - D - گلوکز آمین است که به وسیله N دی استیل‌اسیون کیتین از ضایعات خرچنگ و میگو و دیواره سلولی برخی از قارچ‌ها تهیه می‌شود (۱-۳). این کاتیون هم به عنوان کواگولانت و هم فلوکولانت عمل می‌کند و دارای خصوصیات مطلوب و گوناگونی همچون غیر سمی بودن، قابلیت بازیافت، قابلیت تجزیه بیولوژیکی، توانایی منحصر به فرد در انعقاد و لخته‌سازی ذرات معلق و کلوئیدی، جذب روغن و چلاته کردن فلزات سنگین، بدلیل وجود گروه‌های آمینه زیاد است. همچنین به علت ویژگی‌های ساختاری نوری، علت ۵۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف اسید و قلیا طی فرایند تصفیه در pH بالای ۵/۴ و قابلیت خوراکی لجن بدست آمده می‌باشد (۴-۶). با توجه به خاصیت چلاته‌کنندگی فلزات سنگین و باند شدن با اسید و کمک به جداسازی ذرات کلوئیدی از مواد غذایی، کیتوزان به عنوان یک کمک فرایند در تولید روغن شفاف و پایدار مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت و افزایش میزان تولید روغن در کشور و به تبع آن افزایش مصرف، تنوع و صادرات می‌توان صنایع تولید روغن در کشور را گسترش داد. استفاده از یک ماده (مانند کیتوزان) در مقایسه با چندین ترکیب (مانند سیلیکاژل، ژلاتین و بنتونیت) برای حذف فلزات سنگین، با توجه به طبیعی بودن، کم هزینه بودن، نگهداری آسان و قابل دسترس بودن روش قابل توجهی می‌باشد، امروزه مصرف‌کنندگان تمایل بیشتری به مصرف مواد غذایی عاری از مواد شیمیایی دارند، به همین دلیل مطالعات زیادی در زمینه امکان جایگزین کردن ترکیبات طبیعی به جای نگهدارنده‌های شیمیایی در غذاهای مختلف صورت گرفته است (۶-۸).

یکی از این ترکیبات که اخیراً مورد توجه قرار گرفته، کیتوزان می‌باشد که به عنوان ماده نگهدارنده و ضد میکروبی در اشکال گوناگون در مواد غذایی به کار می‌رود. هدف تحقیق حاضر استفاده از کیتوزان تجاری (تهیه شده از پوسته میگو) در شفاف‌سازی روغن است. همچنین اندازه‌گیری غلظت‌های مختلف کیتوزان دردهماهای متفاوت واکنش و میزان حذف فلزات سنگین مس و آهن در روغن نیز بررسی شده است.

۲. روش کار

۲-۱. مکان و زمان انجام مطالعه

آزمون‌های این تحقیق در فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸ در آزمایشگاه کارخانه کشت و صنعت (غنچه، ایران) در شهر ساری استان مازندران، انجام شد. نمونه روغن خام سویا به صورت کاملاً تصادفی از کارخانه غنچه تهیه شد و بدون هیچ تغییری در آزمایشگاه مورد استفاده قرار گرفت. دلیل انتخاب روغن سویا، ارزش تغذیه‌ای و تجاری آن بود.

۲-۲. آماده‌سازی نمونه‌ها

مقادیر مختلف ۰/۱، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم از کیتوزان به دقت وزن و با ۱۰۰ سی‌سی روغن خام سویا (معادل ۹۰ گرم روغن برحسب دانسیته) مخلوط شد. سپس در دماهای ۲۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت (با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه توسط همزن مغناطیسی) در محیط آزمایشگاه هم زده شد و در نهایت فیلتراسیون روغن خام سویا توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صورت گرفت.

۲-۳. آماده‌سازی محلول‌ها

۲ گرم نمونه را در بوته چینی وزن و در زیر شعله سوزانده و به مدت ۱ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به خاکستر تبدیل شد. سپس به آن ۲ سی‌سی اسید نیتریک غلیظ اضافه و روی بن ماری جهت تبخیر اسید نیتریک قرار داده شد. در مرحله بعد، بوسیله آب دیونیزه بوته چینی شستشو داده و به بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد (این محلول آماده برای اندازه‌گیری فلزات مورد نظر است). جهت تهیه محلول‌های منحنی استاندارد، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ppm از محلول استاندارد ۱۰۰۰ ppm تهیه و توسط دستگاه جذب اتمی، مقادیر جذب فلزات آهن و مس تعیین شد (۱۰-۸).

۲-۴. اندازه‌گیری جذب فلزات سنگین و روغن خام

اندازه‌گیری جذب فلزات سنگین از روغن خام سویا توسط دستگاه جذب اتمی انجام شد. همچنین اندازه‌گیری رنگ روغن خام سویا توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (لاوی باند) و اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (میزان اسیدیته چرب آزاد برحسب درصد اسید اولئیک) با استفاده از محلول سود ۰/۱ نرمال و فنل فتالین به عنوان شناساگر، مطابق استاندارد ملی ایران (شماره ۴۱۷۸) انجام شد. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار صورت گرفت (۱۱، ۱۲).

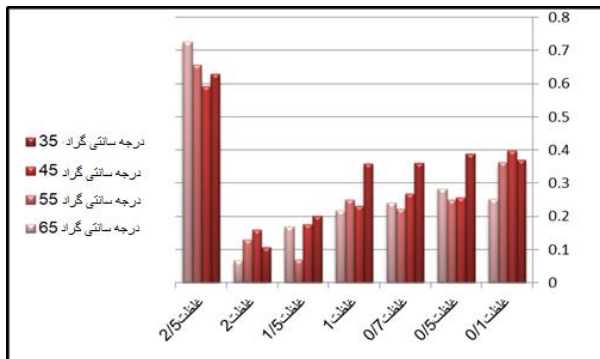
۲-۵. تجزیه و تحلیل آماری

نتایج بدست آمده وارد نرم افزار SPSS 16 شد. جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها، از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف استفاده گردید. همچنین با توجه به اینکه اندازه‌گیری در سه نوبت و در غلظت‌ها و دماهای مختلف صورت گرفت، جهت بررسی اثر دماها و غلظت‌ها (با در نظر گرفتن ماهیت داده‌ها)، از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های مکرر استفاده شد. جهت مقایسه‌های دوتایی متغیرها، از آزمون بنفرونی استفاده گردید ($p \leq 0/05$). همچنین برای ترسیم نمودارهای مربوطه نرم‌افزار اکسل مورد استفاده قرار گرفت.

۳. یافته‌ها

۳-۱. اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر میزان حذف فلز مس از روغن سویا

با افزایش میزان غلظت کیتوزان از ۰/۱ تا ۲ گرم، میزان حذف مس به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0/05$)، اما با افزایش بیشتر غلظت کیتوزان، کاهش در میزان جذب مشاهده شد ($P > 0/05$). بین غلظت‌های ۰/۱ و ۱ گرم، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$). در دمای ۶۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان حذف در ۲ گرم و کم‌ترین میزان حذف در غلظت ۲/۵ گرم بود. در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان حذف در غلظت ۱/۵ و ۲ گرم، و کم‌ترین میزان حذف فلز در غلظت ۲/۵ گرم بود. در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان حذف در غلظت ۱/۵ و ۲ گرم و کم‌ترین میزان حذف در غلظت ۲/۵ گرم مشاهده شد (نمودار ۱).



نمودار ۱- اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر حذف فلز مس از روغن سویا

۲-۳. اثر سطوح مختلف درجه حرارت واکنش بر حذف فلز مس از روغن سویا

در غلظت ۰/۱ گرم، بیشترین میزان حذف در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین میزان حذف در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد ($P < 0/05$). در دو دمای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد، تفاوت معنی‌داری در میزان حذف مشاهده نشد ($P > 0/05$). به طور کلی میزان حذف فلز در دمای ۴۵ کاهش یافت.

در غلظت ۰/۵ و ۰/۷ گرم، بیشترین میزان حذف در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد بود. دماهای ۶۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد نیز تفاوت معناداری با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد نشان ندادند ($P > 0/05$). کم‌ترین میزان حذف در دمای ۳۵ مشاهده شد.

در غلظت ۱ گرم، بیشترین میزان حذف در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بود و دماهای ۵۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد تفاوت معناداری با آن نشان ندادند ($P > 0/05$).

در غلظت ۱/۵ گرم نیز بیشترین میزان حذف در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد ($P < 0/05$) و دماها تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P > 0/05$).

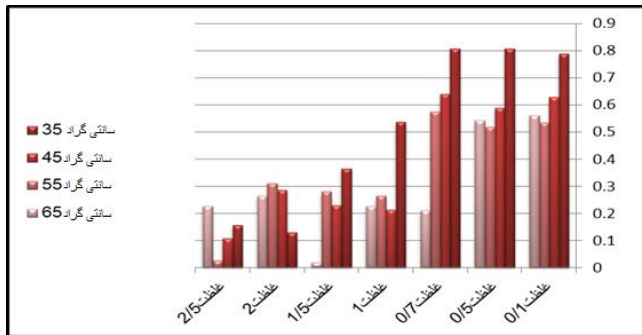
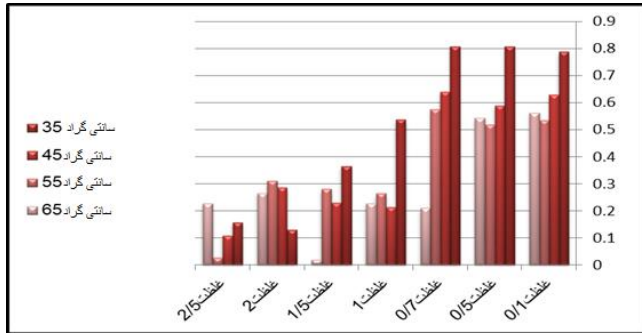
در غلظت ۲ گرم، بیشترین میزان حذف در دمای ۶۵ و کم‌ترین میزان حذف در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود، دماهای ۳۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد نیز تفاوت معناداری با آن نداشتند ($P > 0/05$).

در غلظت ۲/۵ گرم، در چهار دما تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$). میزان حذف مس در اکثر غلظت‌های کیتوزان در دمای ۶۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت.

۳-۳. اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر حذف فلز آهن از روغن سویا

در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان حذف در غلظت ۲ و ۲/۵ گرم بود، اما در دو غلظت تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P > 0/05$). کم‌ترین میزان حذف فلز در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۷ گرم مشاهده شد. در دمای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان حذف در غلظت ۲/۵ گرم و کم‌ترین میزان حذف در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۷ گرم بود. در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان حذف در غلظت ۱/۵ گرم و کم‌ترین میزان حذف در غلظت ۰/۱ گرم مشاهده شد. بین هیچ کدام از غلظت‌ها در دماهای مختلف، تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P > 0/05$). افزایش غلظت کیتوزان از ۰/۱ الی ۲/۵ گرم سبب افزایش معنی‌داری در میزان حذف

فلز آهن از روغن سویا شد ($P < 0/05$) (نمودار ۲).



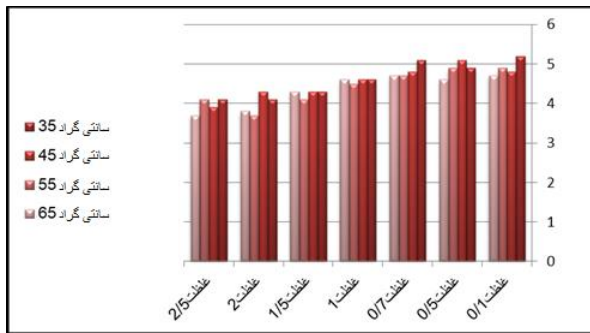
نمودار ۲- اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر حذف فلز آهن از روغن سویا

۳-۴. اثر سطوح مختلف درجه حرارت واکنش بر حذف فلز آهن از روغن سویا

در غلظت ۰/۱، ۰/۵ و ۱ گرم کمترین میزان حذف آهن در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. در غلظت ۰/۷ گرم، بیشترین میزان حذف در دمای ۶۵ و کمترین میزان در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. با افزایش دما از ۳۵ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد، افزایش معناداری در میزان حذف فلز آهن از روغن سویا مشاهده شد ($P < 0/05$). در غلظت ۱/۵ گرم بیشترین میزان حذف در دمای ۶۵ و کمترین میزان حذف در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. در غلظت ۲ گرم بیشترین میزان حذف در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود. در غلظت ۲/۵ گرم نیز بیشترین میزان حذف در دمای ۴۵ و ۵۵ و کمترین میزان حذف در دمای ۳۵ و ۶۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به طور کلی بین هیچ کدام از دماها در غلظت‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$).

۳-۵. اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر میزان رنگ روغن سویا

غلظت‌های مختلف کیتوزان بر میزان کاهش رنگ قرمز روغن سویا در چهار دما معنی‌دار بود ($P < 0/05$). بیشترین میزان کاهش رنگ در غلظت‌های ۱/۵ الی ۲، و کم‌ترین میزان کاهش رنگ در غلظت‌های ۰/۱ الی ۱ گرم بود. بین دماها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0/05$). به طور کلی با افزایش غلظت کیتوزان، میزان رنگ به طور معنی‌داری کاهش یافته بود ($P < 0/05$) (نمودار ۳).



نمودار ۳- اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر رنگ قرمز روغن سویا

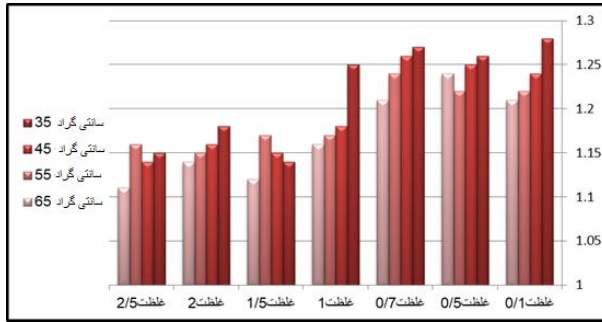
۳-۶. اثر سطوح مختلف درجه حرارت واکنش بر میزان رنگ روغن سویا

در غلظت‌های ۰/۷ و ۰/۱ گرم، کم‌ترین میزان کاهش اسیدیته در دمای ۳۵ درجه بود. در غلظت ۰/۵ گرم، بیشترین میزان کاهش اسیدیته در دمای ۶۵ درجه بود، در غلظت‌های ۱، ۰/۵ و ۲ گرم بیشترین میزان کاهش اسیدیته در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، و در غلظت ۲/۵ گرم، بیشترین میزان کاهش اسیدیته در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بود. بین هیچ کدام از دماها در غلظت‌های مختلف، تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P > 0/05$). با افزایش دما از ۳۵ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد، میزان کاهش رنگ روغن سویا به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0/05$).

۳-۷. اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر اسیدیته قابل تیتراسیون روغن سویا

در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان کاهش اسیدیته در غلظت‌های ۱/۵ الی ۲ و کم‌ترین میزان در غلظت‌های ۰/۱ الی ۱ بود. در دمای ۴۵، ۶۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد، بیشترین میزان کاهش اسیدیته در غلظت‌های ۱ تا ۲/۵ گرم مشاهده شد. کم‌ترین میزان کاهش اسیدیته در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۷ گرم بود. بین هیچ کدام از دماها در غلظت‌های مختلف، تفاوت

معناداری مشاهده نشد ($P > 0/05$). با افزایش غلظت کیتوزان میزان اسیدیته کاهش یافت، این کاهش در غلظت‌های ۱ الی ۲/۵ بود ($P < 0/05$) (نمودار ۴).



نمودار ۴. اثر سطوح مختلف غلظت کیتوزان بر اسیدیته قابل تیتراسیون روغن سویا

۳-۸. اثر سطوح مختلف درجه حرارت واکنش بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون روغن سویا

در غلظت ۰/۱ گرم، کم‌ترین میزان کاهش در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد، و بیشترین میزان کاهش اسیدیته در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد، در غلظت ۰/۵ گرم بیشترین میزان کاهش در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و در غلظت ۰/۷ گرم، بیشترین میزان کاهش در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. در غلظت ۱ گرم نیز کم‌ترین میزان کاهش در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و بیشترین میزان کاهش در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بود. در غلظت‌های ۱/۵، ۲ و ۲/۵ گرم، بیشترین میزان کاهش در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. به طور کلی تفاوت معنی‌داری بین دماها وجود نداشت ($P > 0/05$). با افزایش دما میزان اسیدیته به طور معنی‌داری افزایش یافت، بهترین میزان کاهش اسیدیته در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد ($P > 0/05$).

۴. بحث

در این تحقیق میان درجه حرارت واکنش و غلظت کیتوزان بر حذف مس از روغن سویا اثر متقابل و معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده اثر مثبت کیتوزان در حذف مس از روغن سویا می‌باشد. مطابق نتایج به دست آمده، غلظت‌های کم‌تر از ۱ گرم کیتوزان تاثیر کمی بر حذف مس از روغن سویا و در غلظت‌های بیشتر از ۲ نتیجه معکوس در حذف فلز از روغن سویا وجود داشت. همچنین بهترین دمای واکنش دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بود. با توجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت که با افزودن غلظت ۲ گرم کیتوزان در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به روغن سویا،

بیشترین میزان حذف فلز مس به دست می‌آید. دلیل حذف فلز مس توسط کیتوزان را می‌توان به دلیل وجود گروه‌های آمینه زیاد (محتوی بالای اتم‌های نیتروژن) در زنجیره‌های پلیمری کیتوزان دانست که سبب ایجاد بار الکتریکی مثبت قوی در کیتوزان شده است و به همین دلیل دارای خاصیت چلاته‌کنندگی فلزات سنگین مانند آهن و مس و باند شدن با اسید است. همچنین خاصیت کاتیونی کیتوزان سبب جذب آنیون‌های فلزی و رنگ‌های آنیونی از طریق مکانیسم الکترواستاتیک شده است (۱۰). کیتوزان به دلیل خاصیت چلاته‌کنندگی قوی، بر ظرفیت جذب بالای یون‌های فلزهایی مانند مس، سرب، جیوه و اورانیوم از فاضلاب‌ها به دلیل محتوی بالای نیتروژن به عنوان عامل دهنده الکترون عمل می‌کند (۱۰، ۱۳). با افزایش غلظت جاذب، میزان جذب برای هر دو یون افزایش می‌یابد. بنابراین، می‌توان این پارامتر را یکی از پارامترهای موثر در جذب یون‌های آهن و مس دانست. با افزایش غلظت جاذب، نقاط فعال که توانایی جذب یون‌ها را دارند، افزایش می‌یابند. در این بررسی با افزایش دما، میزان جذب برای هر دو یون افزایش یافت، از این رو می‌توان فرایند جذب هر دو یون را فرایند گرماگیر دانست (۱۴-۱۲). علت کاهش میزان حذف فلزات از روغن سویا با افزایش غلظت بیشتر کیتوزان در ۲/۵ گرم را می‌توان اینگونه توصیف کرد که با افزایش دوز جاذب تعدادی از شبکه‌های جذب موجود (تعداد جایگاه‌های قابل دسترس) برای تعامل جاذب‌ها و کارایی جاذب برای حذف یون‌های فلزی افزایش می‌یابد. اما همه جاذب‌ها نشان دادند که با افزایش بیشتر مقدار جاذب، افزایش بیشتری در جذب مشاهده نمی‌شود و کاهش در ظرفیت جذب را خواهیم داشت که می‌تواند به دو دلیل باشد: با افزایش دوز جاذب در غلظت و حجم یون مس (II) ثابت، شبکه‌های جذب اشباع نشده‌ای خواهیم داشت. علاوه بر این، غلظت یون‌های فلزی در سطح جذب‌کننده و غلظت یون‌های فلزی محلول به حالت تعادل با یکدیگر هستند و جاذب در تماس با جذب شونده (یون‌های فلزی) پس از زمان تعادل، تأثیر چندانی بر مقدار جذب نخواهد داشت (۱۷-۱۵). در مقایسه با یک مطالعه پس از بررسی دماهای واکنش ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ گرم از کیتوزان با افزودن ۲ گرم کیتوزان در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به روغن دیزل حداکثر میزان حذف فلز مس را به دست آورد که مطابق نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌باشد (۱۸). در یک مطالعه، بررسی ظرفیت جذب توسط کیتوزان دست نخورده و اصلاح شده شیمیایی نشان دادند که کیتوزان اصلاح شده توانایی جذب بالاتری برای حذف فلز مس (II) نسبت به کروم (VI)، نیکل (II)، جیوه (II)، کادمیوم (II) و پالادیوم (VI) دارد (۱۹). در تحقیق دیگری جذب رقابتی کادمیوم (II) توسط جاذب کیتوزان-

اپیکلروهیدرین- تری فسفات که از طریق واکنش عرضی کووالانسی و یونی کیتوزان با اپیکلروهیدرین و تری فسفات تشکیل شد، بررسی شده است. ایزوترم جذب سطحی کاهش قابل ملاحظه مس و تعامل قوی جاذب با مس را آشکار ساخت (۲۰). گروه‌های آمینه در زنجیره پلیمری کیتوزان علاقه به تشکیل پیوند کووالانسی با یون‌های فلزی را دارند و ظرفیت اتصال بالا کیتوزان با مس و وانادیوم به دست آمده در مقایسه با کربن فعال کیتوزان بسیار موثرتر است. در این تحقیق میان درجه حرارت واکنش و غلظت کیتوزان بر حذف فلز آهن از روغن سویا اثر متقابل مستقیمی وجود داشت که نشان‌دهنده اثر مثبت کیتوزان در حذف فلز آهن از روغن سویا بود (۲۱، ۲۲). میزان حذف فلز آهن از روغن سویا با افزایش غلظت کیتوزان از ۱/۵ تا ۲/۵ گرم، روند کاهشی نامنظمی را طی کرد. همچنین بهترین دمای واکنش، دماهای ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد بود. با توجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت که افزودن غلظت بیشتر کیتوزان به روغن سویا در ۴۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش میزان حذف فلز آهن می‌شود. بررسی تعادلی و سینتیکی جذب آهن II توسط جاذب کیتوزان نشان داد که جذب تعادلی یون‌های آهن II از آب توسط جاذب کیتوزان در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. نتایج همچنین نشان داد که حداکثر ظرفیت جذب آهن ۲۸ میلی‌گرم بر گرم و در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، و حداکثر میزان جداسازی آهن ۸۶٪ و در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است (۲۳-۲۱). بنابراین، می‌توان گفت که دانه‌های کیتوزان جهت حذف یون‌های فلزی آهن و رنگ عمل می‌کنند. عمل کلاته‌کنندگی مربوط به حضور تعداد زیادی گروه‌های عاملی مانند استوآمید، آمین نوع اول و گروه‌های هیدروکسیل می‌باشد. به دلیل اینکه کیتوزان، حاوی مقادیر بالایی از گروه‌های آمین و هیدروکسیل است، توانایی جذب بسیار بالایی را در حذف انواع متعددی از فلزات مانند مس، کروم، نقره، پلاتینیوم و سرب به صورت فیزیکی و شیمیایی دارد. همچنین با افزایش pH محلول، گروه‌های آمین موجود در کیتوزان با درجات متفاوت پروتونه می‌شوند، به این دلیل تعداد مکان‌هایی که روی این ماده جهت به‌دام انداختن و کلاته کردن یون‌های فلزی وجود دارد، ممکن است از دسترس خارج شود و در نتیجه میزان حذف نیز کاهش یابد. همچنین زمانی که میزان غلظت یون‌های فلزی بالا است، مکان‌های بیشتری را اشغال می‌کنند، اما با پر شدن مکان جذب توسط فلزات در غلظت‌های بالای فلز، واکنش جذب و بالطبع حذف فلز کاهش می‌یابد، زیرا مکان‌های به‌دام انداختن فلزات اشباع است (۲۲، ۲۳). ترکیب کیتوزان با سایر مواد نیز به منظور حذف فلزات کاربرد دارد. بررسی جذب آهن و یون‌های منگنز از محلول‌های آبی توسط غشاء متخلخل ترکیب کیتوزان/ پلی اتیلن گلیکول نشان

داد که در ۶۰ دقیقه تعادل جذب به دست آمده برای آهن (II) و یون منگنز (II) غشاء کیتوزان/ پلی اتیلن گلیکول، ظرفیت جذب بالاتری را برای آهن (II) نسبت به یون منگنز (II) دارد. با افزایش نسبت غشای ترکیب کیتوزان/ پلی اتیلن گلیکول ظرفیت جذب یون‌های فلزی افزایش یافته بود. همچنین تحقیقاتی که روی ظرفیت جذب یون‌های آهن (II) و آهن (III) در محلول آبی توسط کیتوزان و کراس لینک کیتوزان با سیستم جذب دسته‌ای انجام شد، نشان داد که کیتوزان و کراس لینک کیتوزان گلو تار آلدنید، اپیکلروهیدرین و اتیلن گلیکول اثر در جذب یون‌های آهن (II) و آهن (III) به طور مطلوبی موثر بودند (۲۴-۲۱).

در این تحقیق میان درجه حرارت واکنش و غلظت کیتوزان بر رنگ روغن سویا اثر متقابل وجود داشت که نشان‌دهنده اثر مثبت کیتوزان در کاهش رنگ روغن سویا می‌باشد. مطابق نتایج به دست آمده میزان کاهش رنگ روغن سویا با افزایش غلظت کیتوزان از ۰/۱ الی ۲/۵ گرم روند کاهشی را طی کرد، همچنین بهترین دمای واکنش دمای ۶۵ به دست آمد. با توجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت که افزودن غلظت بیشتر کیتوزان به روغن سویا در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بود که موجب کاهش رنگ روغن سویا شد. در مقایسه با این نتایج افزایش دما اثر مثبتی بر مقدار رنگ‌بری دارد. افزایش دما از یک طرف باعث حرکت سریع‌تر مولکول‌های رنگ به سمت جاذب شده و همچنین مکان‌های جذب ماده رنگ‌زا بر روی جاذب راحت‌تر در دسترس آن قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، مقدار جاذب پارامتر مهمی در تعیین ظرفیت جذب رنگ می‌باشد. این پدیده را می‌توان به افزایش مکان‌های سطح تماس جاذب و افزایش بیشتر دسترسی به مکان‌های جذب توسط مولکول‌های ماده رنگ‌زا و در نتیجه افزایش فرصت و شانس برخورد مولکول‌های رنگ با ذرات جاذب نسبت داد. جذب رنگ روغن را نیز می‌توان به خواص جذبی و کاتالیکی کیتوزان نسبت داد. رنگدانه‌هایی که در روغن به صورت محلول یا ذرات کلوئیدی موجود می‌باشند، بر روی سطح کیتوزان از طریق جاذبه الکترواستاتیک جذب می‌شوند و هیچ گونه تغییر شیمیایی جدیدی اتفاق نمی‌افتد. کاروتن و برخی از رنگدانه‌ها تحت تاثیر خواص کاتالیکی کیتوزان (که به حضور یون‌های آمینه پروتونه ناشی از طبیعت کاتیونی کیتوزان نسبت داده می‌شود) شکسته شده و موجب کاهش رنگ روغن می‌گردد (۲۴). جذب رنگ‌های آنیونی، کاتیونی و یون‌های فلزی سنگین توسط کامپوزیت کیتوزان ثابت شده است. مکانیسم جذب منحصر به فرد کامپوزیت کیتوزان را می‌توان به طبیعت کاتیونی آن نسبت داد. آمین‌های پروتونه در زنجیره پلیمری کامپوزیت کیتوزان می‌تواند یون‌های فلزی و مولکول‌های رنگ را از طریق جاذبه الکترواستاتیک جذب کند (۲۵).

سریع و بسیار کارآمد رنگ، تحت شرایط قلیایی با استفاده از هیدروژل مغناطیسی کیتوزان- آهن (III) نشان داد که هیدروژل مغناطیسی کیتوزان- آهن (III) دارای راندمان بالا در جذب اسید و رنگ‌های راکتیو تحت شرایط قلیایی و خاصیت مغناطیسی قوی بسیار زیاد است و می‌تواند برای تصفیه رنگ‌های قلیایی از پساب‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۲۶، ۲۷). در پژوهش حاضر نیز میان درجه حرارت واکنش و غلظت کیتوزان بر اسیدپته قابل تیتراسیون روغن سویا اثر متقابل معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده اثر مثبت کیتوزان در کاهش اسیدپته قابل تیتراسیون روغن سویا می‌باشد. مطابق نتایج به دست آمده میزان اسیدپته قابل تیتراسیون روغن سویا با افزایش غلظت کیتوزان از ۰/۱ تا ۲/۵ گرم روند کاهشی را طی کرد. همچنین بهترین دمای واکنش، دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد بود. با توجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت که افزودن غلظت بیشتر کیتوزان به روغن سویا در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش اسیدپته قابل تیتراسیون روغن سویا می‌شود، زیرا کیتوزان دارای خاصیت باند شدن با اسید است و این خاصیت باعث کاهش اسیدپته روغن سویا می‌شود. مطابق نتایج به دست آمده در این تحقیق کیتوزان دارای توانایی جذب یون‌های فلزی و حذف فلزات سنگین و اسیدهای چرب مانند از روغن می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که کیتوزان به علت راحتی و درصد بالای توانایی حذف فلزات از محیط، در بین روش‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک جاذب خوب در حذف غلظت‌های کم فلزات سنگین مانند مس و آهن به عنوان یک ماده موثر و ارزان قیمت عمل نماید. جذب مولکول‌های رنگ‌زا، توسط کیتوزان در این بررسی ثابت شد. این روش موثر، ارزان، دارای پتانسیل جذب بالا و بازیابی بهتر می‌باشد که با مقدار مصرف کم، قدرت جذب بالایی دارد و قابل استفاده است.

۶. تقدیر و تشکر

محققان این پژوهش مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت‌الله‌آملی اعلام می‌نمایند.

References

1. Elieh-Ali-Komi D & Hamblin MR. Chitin and chitosan: production and application of versatile biomedical nanomaterials. *Int J Adv Res (Indore)*. 2016; 4(3): 411-427.
2. Sedaghat Boroujeni L, Hojjatoleslami M & Gharachorloo M. The effect of purification process on heavy metals in soyabean oil. *JFTN*. 2017; 15(1): 35-44.
3. Zhang S, Li J, Li J, Du N, Li D, Li F & Man J. Application status and technical analysis of chitosan-based medical dressings: a review. *RSC Adv*. 2020; 10(56): 34308-22.
4. Ngah WS & Fatinathan S. Adsorption characterization of Pb (II) and Cu (II) ions onto chitosan-tripolyphosphate beads: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *J Environ Manage*. 2010; 91(4): 958-69.
5. Kuczajowska-Zadrożna M, Filipkowska U & Józwiak T. Adsorption of Cu (II) and Cd (II) from aqueous solutions by chitosan immobilized in alginate beads. *J Environ Chem Eng*. 2020; 8(4): 103878.
6. El Hamdaoui L, El Marouani M, Kifani-Sahban F & El Moussaouiti M. Synthesis, Characterization and Pyrolysis Kinetics of Chitosan-N-Phenylacetamide in an Ionic Liquid 1-Butyl-3-Methylimidazolium Chloride. *Biointerface Res Appl Chem*. 2021; 11(3): 10287-92.
7. Jaworska MM, Antos D & Górak A. Review on the application of chitin and chitosan in chromatography. *React Funct Polym*. 2020; 152: 104606.
8. Narasagoudr SS, Hegde VG, Chougale RB, Masti SP & Dixit S. Influence of boswellic acid on multifunctional properties of chitosan/poly (vinyl alcohol) films for active food packaging. *Int J Biol Macromol*. 2020; 154: 48-61.
9. Wu FC, Tseng RL & Juang RS. A review and experimental verification of using chitosan and its derivatives as adsorbents for selected heavy metals. *J Environ Manage*. 2010; 91(4): 798-806.
10. Dimzon IK, Ebert J & Knepper TP. The interaction of chitosan and olive oil: effects of degree of deacetylation and degree of polymerization. *Carbohydr Polym*. 2013; 92(1): 564-70.
11. Valasques GS, Dos Santos AM, De Souza VS, Teixeira LS, Alves JP, De Jesus Santos M, Dos Santos WP & Bezerra MA. Multivariate optimization for the determination of cadmium and lead in crude palm oil by graphite furnace atomic absorption spectrometry after extraction induced by emulsion breaking. *Microchem J*. 2020; 153: 104401.
12. Oshima S, Nakamura H & Kobayashi H. Estimation of degradation indices of oil-filled transformer based on the color data of insulating oil. *IEEEJ Trans Electr Electron Eng*. 2021; 16(6): 882-7.
13. Ngah WW, Teong LC & Hanafiah MM. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*. 2011; 83(4): 1446-56.
14. Laus R & De Fávère VT. Competitive adsorption of Cu (II) and Cd (II) ions by chitosan crosslinked with epichlorohydrin-triphosphate. *Bioresour Technol*. 2011; 102(19): 8769-76.
15. Mu R, Liu B, Chen X, Wang N & Yang J. Adsorption of Cu (II) and Co (II) from aqueous solution using lignosulfonate/chitosan adsorbent. *Int J Biol Macromol*. 2020; 163: 120-7.

16. Mashile GP, Dimpe KM & Nomngongo PN. A biodegradable magnetic nanocomposite as a superabsorbent for the simultaneous removal of selected fluoroquinolones from environmental water matrices: isotherm, kinetics, thermodynamic studies and cost analysis. *Polymers*. 2020; 12(5): 1102.
17. Trikkaliotis DG, Christoforidis AK, Mitropoulos AC & Kyzas GZ. Adsorption of copper ions onto chitosan/poly (vinyl alcohol) beads functionalized with poly (ethylene glycol). *Carbohydrate Polymers*. 2020; 234: 115890.
18. Dai B, Cao M, Fang G, Liu B, Dong X, Pan M & Wang S. Schiff base-chitosan grafted multiwalled carbon nanotubes as a novel solid-phase extraction adsorbent for determination of heavy metal by ICP-MS. *J Hazard Mater*. 2012; 219-220: 103-10.
19. Da Silva Alves DC, Healy B, Pinto LAA, Cadaval TRS Jr & Breslin CB. Recent developments in chitosan-based adsorbents for the removal of pollutants from aqueous environments. *Molecules*. 2021; 26(3): 594.
20. Doshi B, Ayati A, Tanhaei B, Repo E & Sillanpää M. Partially carboxymethylated and partially cross-linked surface of chitosan versus the adsorptive removal of dyes and divalent metal ions. *Carbohydr Polym*. 2018; 197: 586-597.
21. Negm NA, Hefni HH, Abd-Elaal AA, Badr EA & Abou Kana MT. Advancement on modification of chitosan biopolymer and its potential applications. *Int J Biol Macromol*. 2020; 152: 681-702.
22. Khodadadi M, Saghi MH, Azadi NA & Sadeghi S. Adsorption of chromium VI from aqueous solutions onto nanoparticle sorbent: Chitozan-Fe-Zr. *J Mazandaran Univ Med Sci*. 2016; 26(141): 70-82.
23. Fouda-Mbanga BG, Prabakaran E & Pillay K. Carbohydrate biopolymers, Lignin based adsorbents for removal of heavy metals (Cd²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺) from wastewater, regeneration and reuse for spent adsorbents including latent fingerprint detection: a review. *Biotechnol Rep*. 2021: e00609.
24. Liu T, Yang X, Wang ZL & Yan X. Enhanced chitosan beads-supported Fe (0)-nanoparticles for removal of heavy metals from electroplating wastewater in permeable reactive barriers. *Water Res*. 2013; 47(17): 6691-700.
25. Aliabadi M, Irani M, Ismaeili J & Najafzadeh S. Design and evaluation of chitosan/hydroxyapatite composite nanofiber membrane for the removal of heavy metal ions from aqueous solution. *J Taiwan Inst Chem Eng*. 2014; 45(2): 518-26.
26. Lei C, Wang C, Chen W, He M & Huang B. Polyaniline@ magnetic chitosan nanomaterials for highly efficient simultaneous adsorption and in-situ chemical reduction of hexavalent chromium: Removal efficacy and mechanisms. *Sci Total Environ Sci*. 2020; 733: 139316.
27. Ren Y, Abbood HA, He F, Peng H & Huang K. Magnetic EDTA-modified chitosan/SiO₂/Fe₃O₄ adsorbent: preparation, characterization, and application in heavy metal adsorption. *Chem Eng J*. 2013; 226: 300-11.