



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال نهم، شماره‌ی ۳۳  
زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۹-۱۴

## بهینه‌سازی شرایط عملیاتی در تولید نیمه صنعتی پارافین کلره

داوود کاه فروشان

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

Email: Kahforoushan@sut.ac.ir

محمدرضا مونس

گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

حسین حضرتی

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

Email: h.hazrati@sut.ac.ir

### چکیده

با توجه به کاربردهای وسیع پارافین کلرینه شده سازگار با محیط زیست در صنعت و وجود مواد اولیه آن (پارافین و کلر) در کشور، تولید صنعتی این ماده ضرورت می‌یابد. هدف از این تحقیق بررسی عوامل موثر فرآیندی در تولید نیمه صنعتی این ماده می‌باشد. لذا با استفاده از یک پایلوت نیمه صنعتی تاثیر درجه حرارت و میزان گاز کلر بر کیفیت محصول پارافین کلره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کلرینه کردن پارافین به روش حرارتی در محدوده دمایی ۷۵-۷۰ شروع شده و در محدوده دمایی واکنش ۹۰-۸۰ بهترین کیفیت محصول به دست می‌آید. علاوه بر این با توجه به حجم راکتور پایلوت مورد استفاده که حدود ده لیتر بود، بهینه میزان کلر ورودی حدود ۱/۴ لیتر بر دقیقه تعیین شد. آن هم چنین مشخص شد در مقدار کلر بالاتر از این مقدار محصولی با درصد کلرینه پایین تر و دانسیته کم تر به دست می‌آید.

**کلید واژه:** پارافین کلره، روش حرارتی، تولید نیمه صنعتی، بهینه‌سازی.

## مقدمه

پارافین‌های صنعتی کلردار محصولاتی هستند که با انجام واکنش کلریناسیون هیدروکربن‌ها و به صورت متداول از هیدروکربن‌هایی با کربن ۱۰ تا ۳۰ به دست می‌آیند و حاوی ۲۰ تا ۷۰ درصد وزنی کلر می‌باشند [۱]. این ترکیبات کاربردهای متنوعی در صنعت دارند که از این جمله می‌توان به عنوان کاهش دهنده آتش‌گیری، پوشش پارچه‌های ضد آب، نرم‌کننده در صنایع پلیمری، جلوگیری‌کننده از خوردگی، آب‌بند، الاستیک‌ها و بهبود دهنده خواص رنگ‌ها و جلاها اشاره کرد [۲-۳-۴]. به طور کلی اساس فرآیند تولید پارافین کلره‌ها وارد کردن گاز کلر به ترکیب ساختمانی پارافین‌ها است که در غیاب هرگونه محلولی و در بازه دمایی  $60^{\circ}\text{C}$  -  $100^{\circ}\text{C}$  انجام می‌گیرد [۵]. دماهای خارج از گستره فوق مناسب نمی‌باشند چون باعث ایجاد واکنش‌های نامطلوب می‌گردد و محصولات تولید شده سیاه رنگ و ناپایدار می‌شوند. میزان کلریناسیون و ترکیب نهایی محصول به نوع کاربرد محصول نهایی بستگی دارد. واکنش از نوع گرمازا بوده لذا باید خنک کاری راکتور در طی انجام فرآیند مد نظر قرار بگیرد [۶-۷]. میزان کلریناسیون و ترکیب نهایی محصول به نوع کاربرد محصول نهایی بستگی دارد.

دو نوع فرآیند پیوسته و ناپیوسته برای تولید پارافین کلره‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی مورد بررسی قرار گرفته است که در مقیاس صنعتی فرآیندهای ناپیوسته به دلیل هزینه‌های کم تجهیزاتی و زمان بالای واکنش ترجیح داده می‌شوند. روش‌های تولید پارافین کلره‌ها نیز متنوع بوده و در کل از سه روش کاتالیستی، حرارتی و نوری در تولید این ماده استفاده شده است. در این میان روش استفاده از منبع نور مانند لامپ-های ماوراء بنفش، لامپ‌های فلورسنت، لامپ‌هایی با سیم پیچ تنگستن، لامپ‌های جاببی معمولی و لامپ قوس بخار جیوه، مشکلات صنعتی کردن داشته و اغلب در آزمایشات و

ابعاد کوچک‌تر می‌توان از این روش استفاده نمود. با توجه به این که فرآیند تولید پارافین کلره‌ها در دو فاز گاز و مایع انجام می‌گیرد افزایش انتقال جرم فاز گاز-مایع اهمیت داشته و لذا از راکتورهای جاببی، آکنه‌دار و همزن‌دار برای انجام واکنش‌هایی تولید پارافین کلره استفاده می‌شود [۸].

تحقیقات متنوعی در ارتباط با بررسی روش‌های فرآیندی و بهینه‌سازی فرآیند پارافین کلره‌ها صورت گرفته است که در این میان می‌توان به کارهای هندرسون و کرال [۹] و ساتام و بروله [۱۰] اشاره کرد. ساتام و بروله بیان کردند که برای بهینه کردن فرآیند پارافین کلره باید پارافین حداقل تا دمای  $50^{\circ}\text{C}$  الی  $80^{\circ}\text{C}$  درجه سلیسوس پیش گرم شود [۱۱]. همچنین در سال‌های اخیر با استفاده از نرم افزار طراحی داده‌ها فرآیند تولید پارافین کلره از نظر مدت زمان ماند و دمای فرآیند بهینه شده است و نشان دادند که بهینه زمان ماند  $80$  دقیقه می‌باشد [۱۱].

هدف اصلی این تحقیق بررسی شرایط عملیاتی و بهینه‌سازی فرآیند تولید محصول پارافین کلره در حجم نیمه صنعتی است. لذا در این تحقیق برخلاف روش‌های آزمایشگاهی که صرفاً بر اساس مواد با کیفیت بالا و غیر تجاری و در شرایط آزمایشگاهی انجام می‌شوند، امکان سنجی تولید پارافین کلره در اندازه نیمه صنعتی و با توجه به مواد اولیه موجود در بازار داخلی بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

- مواد مورد استفاده

دو ماده اصلی تولید پارافین کلره، گاز کلر و پارافین است که گاز کلر مورد استفاده در این تحقیق برای انجام فرآیند تولید از شرکت کلرپارس تبریز در کپسول‌های  $50$  کیلوگرمی با فشار  $7$  بار و با غلظت  $99/6$  درصد تهیه شد. برای تهیه پارافین مورد نیاز ابتدا آزمایش‌هایی بر روی  $12$  نمونه پارافین‌های موجود در بازار انجام شد در نهایت پارافین تولیدی شرکت

1- Henderson and krol

2- Satam and Borole

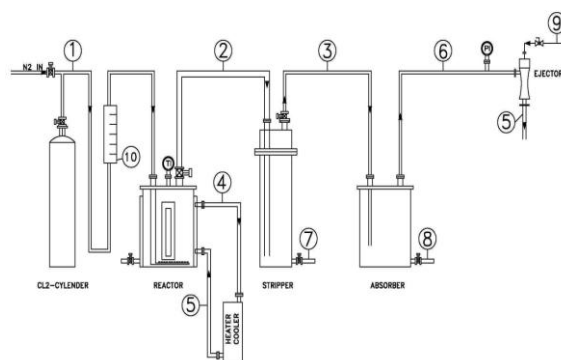
کلر توسط لوله‌ای به قسمت پایین آن هدایت می‌شود. در قسمت بالایی راکتور نیز یک نازل برای مکش و خروج گازهای حاصل از فرآیند تعبیه شد که به سیستم مکش و تخلیه متصل می‌گردد. برای مشاهده روند فرآیند نیز یک پنجره شیشه‌ای در قسمت جانبی راکتور تعبیه شده است که می‌توان برای مشاهده رنگ و مواد اولیه و محصول و پیگیری واکنش از آن استفاده کرد.

برای کنترل بهتر و ساده‌تر دما در طول فرآیند، این راکتور به صورت دو جداره یا ژاکت دار طراحی و ساخته شد. با توجه به جنس بدنه و امکان جوشکاری راحت‌تر بخش جداره بیرونی یا ژاکت راکتور از جنس خود راکتور یا سرب ساخته شد و توسط این جداره کنترل دمای فرآیند یا سرمایش و گرمایش آن انجام گردید. این جداره دارای لوله‌های ورودی و خروجی است که به پمپ گردش آب جهت انتقال حرارت متصل گردیده است. در پایلوت مورد استفاده برای جذب گاز اسید کلریدریک از یک گاز شور استفاده شد. با توجه به فراریت اسید کلریدریک در دمای متداول و واکنش، این گاز از سیستم به سمت بالا رفته و خارج می‌گردد که بخارات گازی اسید کلریدریک که از محصولات جانبی حاصل از واکنش می‌باشد، با عبور از داخل محلول آبی، جذب آب شده و اسید کلریدریک مایع با حداکثر غلظت ۳۲٪ تشکیل می‌گردد. لازم به ذکر است که مقادیر جزئی از اسید کلریدریک به همراه گاز کلر اضافی موجود در واکنش باقی می‌ماند. چون در محصول نهایی وجود اسید کلریدریک حتی به میزان کم جایز نیست، لذا برای زدودن مقدار جزئی اسید کلریدریک از روش نیتروژن دهی استفاده شد. با نیتروژن دهی محصول در پایان فرآیند به عمل می‌آید. اغلب گازهای به تله افتاده که شامل کلر و HCl می‌باشند از سیستم خارج شده و در نهایت این عمل به پایداری و ثبات رنگ محصول کمک شایانی می‌کند. در پایلوت مورد استفاده جنس استفاده شده برای ساختن مخزن جاذب HCl لیاف شیشه‌ای<sup>۱</sup> انتخاب شد.

صنایع شیمیایی ایران انتخاب شد (نتایج این بخش در این مقاله آورده نشده است). این نوع پارافین دارای رنگ کاملاً شفاف، دانسیته ۰/۷۵ و ویسکوزیته ۶/۴ سانتی استوک می‌باشد. گاز نیتروژن از شرکت کلر پارس با خلوص حدود ۹۹/۹٪ و سود سوزآور، با خلوص ۹۸٪ از شرکت سود پرک تهیه شدند.

#### - پایلوت مورد استفاده

در این تحقیق از روش حرارتی برای تولید پارافین کلره استفاده شد. اساس روش استفاده از حرارت برای آغاز و پیش‌برد واکنش است که حرارت مورد نیاز به وسیله جداره بیرونی راکتور ژاکت دار که معمولاً یک سیال داغ مثل آب یا بخار آب می‌باشد تامین می‌گردد. شکل ۱ شمای کلی فرآیند نیمه صنعتی مورد استفاده برای تولید کلره پارافین در این تحقیق را ارائه می‌دهد. این پایلوت شامل راکتور اصلی و واکنش، سیستم گرمایش و سرمایش راکتور، برج جذب اسید کلریدریک، برج گازشور گازهای واکنش نداده، دستگاه مکش، دبی سنج گاز کلر، شیرسوزنی گاز کلر، گیج فشار منفی، دماسنج دیجیتالی و چندین عدد شیر جهت کنترل جریان‌های ورودی و خروجی می‌باشند.



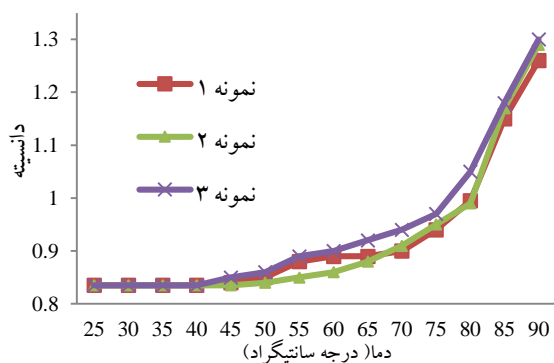
شکل ۱: شمای کلی فرآیند نیمه صنعتی پارافین کلره

راکتور مورد استفاده استوانه‌ای بوده که در قسمت پایین آن از یک وسیله پخش‌کننده گاز کلر استفاده می‌شود که گاز

بررسی قرار گرفت. متغیرهای مورد بررسی عبارت بودند از درجه حرارت، میزان گاز کلر و میزان مکش. تمامی آزمایشات سه بار تکرار بوده و در طول انجام فرآیند، هر دو ساعت یکبار از محتویات داخل راکتور نمونه‌گیری شده و دانسیته محصول طبق استاندارد ASTM-D4052 به‌عنوان معیاری از تولید مناسب پارافین کلره تعیین گردید [۱۳]. همچنین برای راستی آزمایی لازم رابطه میزان درصد کلرکلریناسیون با دانسیته تعیین گردید.

### یافته‌ها و بحث

- اثر دما بر میزان پیشرفت واکنش کلریناسیون برای بررسی تاثیر دما بر میزان پیشرفت واکنش کلریناسیون دامنه دمایی از ۲۵ تا حدود ۹۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شد بدین ترتیب که ابتدا در دماهای پایین واکنش شروع شده و به تدریج دما افزایش یافت. که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. بررسی نشان داد با افزایش دما، دانسیته پارافین کلره به سرعت افزایش یافته که نشان دهنده افزایش سرعت واکنش است. لوئیس و همکاران نیز بیان کرده‌اند که افزایش دانسیته بیان‌گر افزایش درصد کلر در پارافین اولیه است که در واقع نشان‌گر انجام واکنش کلرینه شدن است [۱۴]. اما بایستی توجه شود که در برخی حالات با افزایش دما و نزدیک شدن به نقطه اشتعال پارافین، این ماده آتش گرفته و لذا لازم است محدوده دمایی مناسب و ایمن رعایت گردد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات مشخص گردید در دماهای بالای ۸۰ درجه سانتی‌گراد رنگ محصول تیره و کدر می‌گردد.



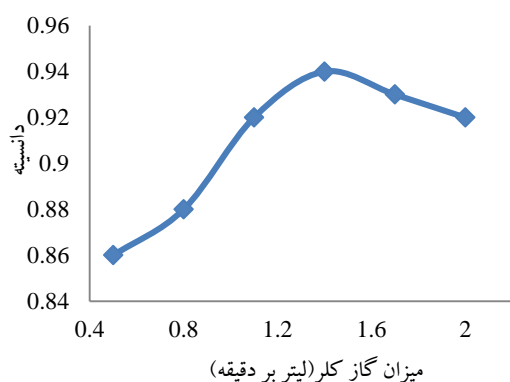
شکل ۲: نمودار اثر دما بر میزان پیشرفت واکنش کلریناسیون پارافین

همچنین در خط فرآیند از ستون دیگری که حاوی سود سوزآور بود برای جذب گازهای باقی‌مانده HCl و Cl<sub>2</sub> استفاده شد (معادله ۱). در این ستون با عبور از محلول سود سوزآور گاز کلر با سود ترکیب شده آب ژاول تولید می‌گردد. گازهای HCl جذب نشده از قسمت قبلی در این بخش با محلول سود واکنش داده و خنثی می‌گردند. جنس استفاده برای ساختن این مخزن نیز همانند دستگاه جاذب گاز HCl از نوع الیاف شیشه‌ای می‌باشد.



دستگاه مکش مورد استفاده در این فرآیند یک اجکتور می‌باشد که با جریان هوا کار می‌کند. اجکتور با ایجاد خلاء به‌عنوان مکند گازها مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت مکش مناسب در سیستم فشار در طول واکنش در حدود ۰/۱ - بار تنظیم گردید. در سیستم مورد استفاده از یک دی سنج نیز برای اندازه‌گیری جریان حجمی گاز نیتروژن استفاده گردید. برای انجام فرآیند ابتدا خوراک پارافین انتخابی به میزان ۱۰ لیتر وارد راکتور می‌گردد. از آن‌جا که وجود اکسیژن و رطوبت در محیط واکنش زنجیره‌ای باعث ختم واکنش می‌گردد، لذا ابتدا سیستم توسط جریان گاز نیتروژن از اکسیژن عاری‌سازی می‌شود برای این منظور گاز نیتروژن با دبی ۲ m<sup>3</sup>/hr وارد نازل ورودی راکتور می‌شود و از طریق پخش‌کننده‌های گاز که در پایین راکتور واقع شده‌اند گاز نیتروژن در سیستم توزیع گاز نیتروژن به‌وسیله سیستم گرمایش و سرمایش که در این‌جا با انرژی الکتریکی کار می‌کند خوراک پیش‌گرم می‌شود. با توجه به دو جداره یا ژاکت‌دار بودن راکتور، سیستم به‌وسیله آب گرم توسط پمپ گردش، تا دمای حدود ۸۰ درجه گرم شده و در سیستم راکتور گردش پیدا می‌کند [۱۲]. فرآیند به‌صورت نیمه پیوسته انجام می‌گیرد یعنی خوراک پارافین مایع در راکتور ثابت بوده و گاز کلر به‌صورت پیوسته از داخل مایع عبور می‌کند. در این تحقیق به منظور تعیین بهترین شرایط جهت تولید پارافین کلره با روش حرارتی و به‌دست آوردن پارامترهای بهینه، آزمایشات مختلفی ترتیب داده شد و اثر عوامل موثر بر واکنش مورد

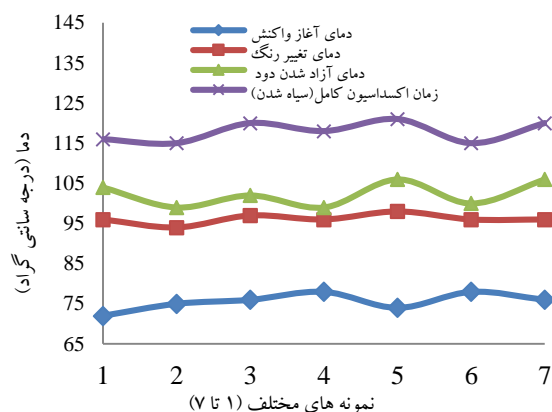
و فقط شدت جریان گاز کلر تغییر داده شد. نتایج در شکل ۴ ارائه گردیده است.



شکل ۴: نمودار اثر میزان گاز کلر در پیشرفت واکنش کلریناسیون پارافین همان‌طور که از این شکل مشخص است در ابتدا با افزایش میزان کلر مقدار دانشیه محصول افزایش یافته است دلیل این امر آشکار است زیرا با افزایش کلر مقدار پارافینی که کلره شده است بیش تر بوده و در نتیجه دانشیه افزایش می‌یابد [۱۷]. انتظار می‌رفت این روند با افزایش کلر ادامه یابد اما بعد از میزان گاز کلر ۱/۴ لیتر بر دقیقه دانشیه محصول رو به کاهش است. این پدیده را می‌توان به این صورت تحلیل کرد، با توجه به مکانیزم رادیکالی واکنش، افزایش بیش از حد کلر باعث افزایش میزان رادیکال آزاد کلر گردیده و در نهایت سبب می‌گردد واکنش‌های پایانی زنجیره رادیکالی سریعتر انجام شده و در نتیجه راندمان واکنش کاهش می‌یابد [۱۸].

– رابطه میزان دانشیه پارافین کلره‌ها با درصد کلر با وجود این که در اکثر منابع ذکر شده است که بین میزان کلریناسیون و دانشیه رابطه مستقیمی وجود دارد [۱۹] اما باز در این مقاله به منظور راستی آزمایی میزان کلریناسیون در راکتور ساخته شده، چندین آزمایش با شرایط یکسان بعمل آمد تا رابطه میزان دانشیه با درصد کلرین به دست آید. نتایج در جدول ۱ آمده است. همان‌طور که مشخص است مطابقت خوبی بین میزان درصد کلریناسیون و میزان دانشیه در محصول پارافین کلره به دست آمده وجود دارد. لذا می‌توان گفت تمام نتایجی که در این مقاله تحلیل شد کاملاً منطقی بوده است.

در مرحله بعدی آزمایشات، برای درک بهتر اثر دما بر فرآیند کلریناسیون، آزمایشات در محدوده‌های دمایی مختلف از حدود دمای ۷۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد که مطابق با دمای شروع واکنش است تا دمای های بالا تا حدود ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد برای ۷ نمونه انجام شد و در هر بار کیفیت محصول از لحاظ تغییر رنگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص گردیده در هر بازه دمایی شاهد پدیده خاصی هستیم که در نهایت می‌تواند افزایش بیش از حد دما اکسیداسیون کامل محصول را در پی داشته باشد. تحقیقات دیگری نیز نشان داده‌اند که احتمال اکسیداسیون کامل در دماهای بالای ۹۰ درجه بیش تر است اما بیان شده است که برای پارافین‌های مختلف (زنجیره-های کوچک‌تر یا بزرگ‌تر کربن مانند C18 به پایین و یا C18 به بالا) دمای اکسیداسیون کامل متفاوت می‌باشد [۱۵]. لذا برای هر پارافین انتخاب دمای بهینه لازم و ضروری است. در این مورد دمای مناسب بین ۸۰ الی ۹۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. نتایج این تحقیق در این مورد با نتایج کار علوی [۱۶] و قندلفی و همکاران نیز مطابقت دارد [۱۲].



شکل ۳: نمودار اثر تغییرات دما در پیشرفت واکنش کلریناسیون پارافین

– اثر میزان گاز کلر بر پیشرفت واکنش کلریناسیون به‌منظور تعیین اثر میزان گاز کلر بر پیشرفت واکنش، از مقادیر مختلف دبی گاز کلر برای انجام آزمایشات استفاده گردید. بدین منظور دمای واکنش در حدود دمای ۸۵ ثابت گردیده

## منابع

- [1] D. Muir., G. Stern., G. Tomy., 2000, Chlorinated paraffins. In: Hutzinger, The Handbook of Environmental Chemistry 3K. Springer, Berlin Heidelberg, Germany.
- [2] F. Campbell., R. Thomas., F. James., 1991, Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, New York.
- [3] J. L. Barber., A. Sweetman., G.O. Thomas., E. Braekvelt., K. C. Jones., 2005, Spatial and temporal variability in air concentrations of short-chain (C10–C13) and medium-chain (C14–C17) chlorinated n-alkanes measured in the U.K. atmosphere, Environ Sci Technol. 39, 4407-4415.
- [4] C. Lassen., G. Sørensen., M. Crookes., F. Christensen., C. N. Jeppesen., S. H. Mikkelsen., J. M. Nielsen., 2014, Survey of Short-chain and Medium Chlorinated Paraffins. Part of the LOUS-review, Environmental Project No. 1614. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.
- [5] D.M. Brooke., M. J. Crookes., M. D. Merckel., 2009, Environmental risk assessment: long-chain chlorinated paraffins, Bristol, UK: Environment Agency.
- [6] K. L. Houghton., M. E. Moss., 1990, Chlorinated Paraffins as Plasticizers in Polymer Sealant Systems, ASC Supplier Short Course, Nashville, Tenn.
- [7] P. K. Hohno Nussaumer., 2012, Alternatives for chlorinated paraffin in Metal working Application Dover chemical corporation, New York.
- [8] B. Yuan., T. Wang., N. Zhu., K. Zhang., L. Zeng., J. Fu., Y. Wang., G. Jiang., 2012, Short chain chlorinated paraffins in mollusks from coastal waters in the Chinese Bohai Sea. Environ. Sci. Technol. 46, 6489-6496.
- [9] A. J. Henderson., E. John., M. Krol., 1974, Process for the liquid phase chlorination of c6' c18 alpha-olefin hydrocarbons, US patent.
- [10] R. Satam., Y. Borole., S. K. Mandal., A. Niphade., 2009, Improved process for heat stable chlorinated paraffin wax, US patent.
- [11] F. Gandolfi., L. Malleret., M. Sergent., P. Doumenq., 2015, Parameters optimization using experimental design for headspace solid phase micro-extraction analysis of short-chain chlorinated paraffin in waters under the European water framework directive, Journal of Chromatography A, 1406, 59-67.
- [12] S. AswathyAromal., D. Philip., 2012, Green synthesis of Gold nanoparticles using Trigonella foenum-graecum and its Size-dependent Catalytic activity, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.
- [13] ASTM D4052: Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter.
- [14] M. Louise., V. M. C. Gau., E. G. Pim., G. Leonards., J. D. Boer., 2016, Chlorinated paraffins in the environment: A review on their production, fate, levels and trends between 2010 and 2015, Chemosphere 155, 415-428.
- [15] L. Zeng., R. Chen., Z. Zhao., T. Wang., Y. Gao., A. Li., Y. Wang., G. Jiang., L. Sun., 2013, Spatial distributions and deposition chronology of short chain chlorinated paraffins in marine sediments across the Chinese Bohai and Yellow Seas. Environ. Sci. Technol. 47, 1449-1456.
- [۱۶] علوی، سیدمهدی؛ حمیدی، علی اصغر؛ خمسه، سهیلا، ۱۳۷۹، بررسی تولید آزمایشگاهی پارافین کلره و تعیین بهترین شرایط واکنش برای رسیدن به یک درجه خاص کلراسیون، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ۱۱، ۱۴۳ تا ۱۵۵.
- [17] X. Ma., C. Chen., H. Zhang., Y. Gao., Z. Wang., Z. Yao., J. Chen., 2014, Congener-specific distribution and bio accumulation of short-chain chlorinated paraffins in sediments and bivalves of the Bohai Sea, China. Mar. Pollut. Bull. 79 (2014) 299-304.
- [18] A. S. Bratolyubov., 1961, Principal factors in the free-radical chlorination of alkanes, Russian Chern. Revs. 30: 602-609.
- [19] M. Freund., R. Csikos., S. Keszthelyi., G. Y. Mozes., 2009, Paraffin products", Elsevier scientific publishing company, Oxford New York.

جدول ۱- مقایسه میزان کلر با دانسیته نمونه‌های پارافین کلره تولید شده

رفرنس [۱۹]	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵	نمونه ۶
۴/۰	۳/۰	۴/۰	۳/۵	۴/۰	۳/۵	۴/۰
۱۵/۴	۱۴/۹	۲/۱۵	۱۵/۲	۱۵/۳	۱۵/۴	۱۵/۴
۲۶/۸	۲۶/۸	۲۷/۰	۲۶/۶	۲۶/۶	۲۶/۵	۲۶/۸
۳۵/۶	۳۵/۰	۳۴/۸	۳۵/۲	۳۵/۴	۳۴/۸	۳۵/۶
۴۲/۵	۴۱/۸	۴۱/۲	۴۱/۱	۴۲/۱	۴۱/۵	۴۲/۵

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق از یک سیستم نیمه صنعتی به منظور تولید نیمه صنعتی محصول مهم پارافین کلره از پارافین‌های موجود در بازار ایران استفاده شد. واکنش در یک راکتور با الیاف شیشه‌ای به روش حرارتی انجام شده و محصول به‌دست آمده از نظر دانسیته و رنگ ظاهری بررسی شدند. از میان پارافین‌های موجود در بازار و قابل دسترس، از پارافین صنایع شیمیایی ایران به‌عنوان ماده اولیه استفاده گردید. نتایج بررسی تاثیر دو متغیر مهم دمای واکنش و میزان کلربر کیفیت محصول پارافین کلره تولیدی نشان داد که دمای اولیه بین ۷۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد مناسب برای شروع واکنش و محدوده دمایی واکنش ۹۰-۸۰ دمای مناسب انجام واکنش می‌باشد. لذا باید ابتدا خوراک تا دمای فوق گرم شده و سپس عمل کلر زنی انجام گردد. در ادامه دمای واکنش در محدوده ذکر شده به طور کامل کنترل شد و بهینه میزان کلر ورودی حدود ۱/۴ لیتر بر دقیقه تعیین شد. از نتایج این تحقیق می‌توان در صنعتی کردن این محصول با ارزش با استفاده از مواد اولیه موجود در داخل کشور بهره‌جسته و شاهد ارزآوری و قطع واردات این محصول با ارزش باشیم.

## تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مادی و معنوی شرکت کلر پارس تبریز انجام شده و نویسندگان مقاله قدردانی خود را از این حمایت اعلام می‌دارند.