

## حذف بنزن از حلال نفتی AW-۴۰۶ به کمک حلال‌های آلی قطبی و مقایسه عملکرد آنها

فرشته گل محمد\*<sup>+</sup>، داود صادقی فاتح

تهران، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشگاه فناوری‌های نوین، پژوهشکده صنایع شیمیایی،  
صندوق پستی ۲۵۳۸-۱۵۸۱۵

اشرف‌السادات شاه ولایتی

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر ری، دانشکده علوم

سهیلا شکراله‌زاده، حمیرا شکوهی

تهران، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشگاه فناوری‌های نوین، پژوهشکده صنایع شیمیایی،  
صندوق پستی ۲۵۳۸-۱۵۸۱۵

**چکیده:** در این پژوهش، کارایی برخی حلال‌های آلی قطبی در جداسازی بنزن از برش نفتی C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> با استفاده از فن استخراج مایع-مایع مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا هر یک از عامل‌های موثر در جداسازی از جمله نوع، میزان حلال استخراج کننده و تعداد مراحل استفاده شده مطالعه شد. برش نفتی C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> با عنوان تجاری AW-۴۰۶ با دامنه جوش ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد، حلالی است متشکل از هیدروکربن‌های پارافینی و سیکلو پارافینی با تعداد کربن شش تا هشت که به عنوان حلال در صنایع شیمیایی، آرایشی، غذایی و به عنوان رقیق کننده لاک‌ها، رنگ‌ها و جلادهنده‌ها کاربرد دارد. حلال‌های استخراج کننده تحت بررسی شامل دی متیل سولفواکسید (DMSO)، سولفولان (Sulfolane)، بوتیلن گلیکول (BuG)، اتانول آمین (EA)، دی اتانول آمین (DEA)، تترا اتیلن گلیکول (TEG)، اتیلن گلیکول (EG)، فورفوریل الکل (FA) و تترا هیدرو فورفوریل الکل (THFA) هستند. تجزیه نمونه‌ها به وسیله فن کروماتوگرافی گازی در شرایط بهینه انجام و شناسایی اجزای موجود به وسیله طیف سنجی جرمی صورت گرفته است. از میان حلال‌های مورد آزمون، تترا هیدرو فورفوریل الکل بهترین نتیجه را نشان داده است. به منظور تکمیل فرایند حذف بنزن، استخراج شیمیایی نیز استفاده شد و میزان اولیه بنزن در حلال AW-۴۰۶ از ۵ درصد به کم‌تر از ۱ ppm کاهش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** حلال‌های آلی قطبی، جداسازی، استخراج، تترا هیدرو فورفوریل الکل، طیف سنجی جرمی، حلال AW-۴۰۶.

**KEY WORDS:** Polar organic solvent, Separation, Extraction, Tetrahydrofurfuryl alcohol, GC-MASS, AW-406 solvent.

+E-mail: fgmohamadi@irost.ir

\*عهده دار مکاتبات

## مقدمه

جزء اصلی برش نفتی C6-C8 (حلال نفتی AW-۴۰۶) هگزان و ایزومرهای آن است و به دلیل قیمت مناسب، این فراورده پس از خالص سازی و حذف آروماتیک‌های مضر، می تواند به عنوان حلال استخراج روغن از دانه های روغنی استفاده شود. از طرف دیگر با اتخاذ سیاست های دولت در راستای کاهش واردات روغن خام و توسعه کشت دانه های روغنی، میزان مصرف حلال استخراج طی سالیان آینده با افزایش فزاینده ای روبرو خواهد شد. هدف از این کار پژوهشی، جداسازی بنزن از حلال نفتی AW-۴۰۶ می باشد. هیدروکربن‌های آروماتیک BTX (بنزن، تولوئن و زایلین) را به علت نقاط جوش نزدیک و همچنین تشکیل آزنوتروپ با برخی از هیدروکربن‌های خطی نمی توان با روش‌های متداول تقطیر، جداسازی و بازیابی کرد. بنابراین، فرایندهای استخراج حلال برای جداسازی BTX به کار می‌رود. فرایندهای تجاری اولیه استخراج مایع<sup>(۱)</sup> و تقطیر استخراجی<sup>(۲)</sup> است. تحقیقات زیادی در زمینه تقطیر استخراجی با نگرشی نو به‌ویژه برای کاهش میزان بنزن در بنزین انجام شده است. روش‌های عنوان شده در منابع که به طور عمده بر اساس تعادل فاز و تفاوت در سرعت جذب استوار است مورد بررسی قرارگرفت [۲].

در فرایند استخراج مایع نیز ابداعات جدیدی صورت گرفته که با بررسی حلال‌های جدید، ضمن اصلاح روش می توان میزان حلال از دست رفته را به حداقل رساند. فرایند استخراج به‌ویژه با حلال‌هایی که انتخابی<sup>(۳)</sup> عمل می‌کنند به صورت گسترده‌ای در خالص‌سازی روغن‌های روان کننده مواد پتروشیمی، کود، صنایع بازیابی فلزها و صنایع دیگر استفاده می شود. در این کار پژوهشی با توجه به سهولت فرایند و همچنین بازده مناسب روش استخراج مایع - مایع که مراجع بسیاری این روش را پیشنهاد کرده‌اند و براساس تعادل فاز است انتخاب شد [۳ - ۹].

روش استخراج مایع - مایع بسته به نوع حلال انتخاب شده می تواند فیزیکی یا شیمیایی باشد. در حالت فیزیکی سیال استخراج کننده تنها ترکیب استخراج شونده را در خود حل نموده و از بقیه‌ی ترکیب‌ها جدا می‌کند. حال آن که در استخراج مایع - مایع شیمیایی، سیال استخراج کننده با ترکیب استخراج شونده واکنش داده و تبدیل به فراورده‌ای می‌شود که با تشکیل فازی مجزا از بقیه‌ی ترکیب‌ها جدا می‌شود. در بخش تجربی از هر دو روش استفاده و نتیجه‌های حاصل از آن جداگانه ثبت شده است.

حلال نفتی AW-۴۰۶ تولید شده در پالایشگاه‌های نفت ایران حاوی هیدروکربن‌های پارافینی از جمله هگزان و ایزومرهای آن، بنزن و تولوئن است. بنزن به‌عنوان ماده فرعی در صنعت کک و ذغال سنگ و همچنین از صنایع نفت به‌دست می آید. بنزن به مقدار خیلی زیاد به‌عنوان حلال در صنایع شیمیایی و همچنین ماده اولیه و یا ماده حدواسط در سنتز تعدادی از مواد شیمیایی (مانند استایرن، فنل، آنیلین و ...) مصرف می‌شود. بنزن، حلال خوبی برای روغن‌ها، چربی‌ها، لاستیک و سایر ترکیب‌هاست. علی رغم موارد کاربرد فراوان، بنزن ترکیبی سرطان‌زا و خطرناک است که بیشترین تراکم مجاز آن در هوا ppm ۱۰ است. تماس کوتاه مدت با بنزن در غلظت‌های بالا از راه هوا ایجاد مسمومیت مزمن کرده و باعث تورم ریه‌ها شده و منجر به مرگ می شود.

دیگر ترکیب موجود در این حلال هگزان است. هگزان برای موش سه برابر بیش از پنتان سمیت دارد. نزد موش‌ها بی‌هوشی در غلظت‌هایی حدود ۳۰ هزار ppm (سه درصد) اتفاق می‌افتد ولی در حدود ۳۵ تا ۴۰ هزار قسمت در میلیون منجر به تشنج و مرگ می‌شود (۳/۵ تا ۴ درصد). هگزان تا دو هزار قسمت در میلیون (۰/۲ درصد) به مدت ۱۰ دقیقه عوارضی برای انسان ایجاد نمی کند ولی در پنج هزار قسمت در میلیون باعث گیجی و احساس دوران سر می‌شود.

بیشترین تراکم مجاز ایزومرهای هگزان ppm ۵۰۰ و برای هگزان نرمال ppm ۵۰ است. جزء دیگری که در حلال AW-۴۰۶ وجود دارد سیکلوهگزان است. این ترکیب به مقدار بسیار زیادی در برخی از نمونه های نفتی یافت می شود. سیکلوهگزان به وسیله‌ی استنشاق جذب می شود. قسمتی از آن به وسیله‌ی بازدم و قسمتی به وسیله‌ی ادرار بدون تغییر دفع می‌شود. درصد بیشتر آن که وارد خون می شود متابولیزه شده و به صورت گلوکوکورونیدها<sup>(۱)</sup> و سولفات‌های اتره از راه ادرار دفع می‌شود. بیشترین تراکم مجاز سیکلوهگزان ppm ۳۰۰ تعیین شده و این غلظت به وسیله‌ی بوییدن قابل تشخیص است و در این حد برای چشم و سایر مخاط، محرک و سوزش آور است [۱].

دیگر ترکیب موجود هگزان است که در استخراج روغن، پلیمریزه شدن الفین‌ها و به‌عنوان حلال در آزمایشگاه کاربرد وسیعی دارد.

(۱) Glucoronides

(۳) Extractive distillation

(۲) Liquid extraction

(۴) Selective

جدول ۲- شرایط بهینه کار با دستگاه کروماتوگرافی گازی برای شناسایی و اندازه گیری اجزای حلال نفتی AW-۴۰۶.

نوع ستون	Cap. BP۱
دمای ستون (°C)	۳۴
دمای دتکتور (°C)	۲۵۰
دمای محل تزریق (°C)	۲۵۰
نوع گاز حامل	هلیوم
فلوی گاز حامل (ml/min)	۱
میزان تزریق (μl)	۰/۱

درجه سانتی‌گراد با سرعت ۳ درجه در دقیقه بوده، دمای محفظه تزریق ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد است. گاز حامل هلیوم دارای دبی ۱/۵ ml/min و انرژی یونش معادل ۷۰ الکترون ولت است. مقایسه و شناسایی ترکیب‌ها با طیف‌های جرمی ترکیب‌های استاندارد موجود در کتابخانه WILEY، Tox, NIST انجام گرفته است.

### استخراج بنزن از حلال نفتی AW-۴۰۶ استخراج با حلال

در این پژوهش، استخراج بنزن از حلال نفتی AW-۴۰۶ به‌وسیله‌ی هر یک از حلال‌های دی‌متیل سولفوکساید (DMSO)، اتیلن گلیکول (EG)، اتانول آمین (EA)، دی اتانول آمین (DEA)، بوتیلن گلیکول (BuG)، سولفولان (Sul)، تترا اتیلن گلیکول (TEG)، فورفوریل الکل (FA) و تترا هیدرو فورفوریل الکل (THFA) به سه روش انجام شد. ابتدا ۲۰ میلی‌لیتر از حلال AW-۴۰۶ یک بار با ۲۰ میلی‌لیتر از حلال انتخابی مورد استخراج قرار گرفت. بار دوم طی دو مرحله و هر بار با ۱۰ میلی‌لیتر و در بار سوم طی چهار مرحله و هر بار با ۵ میلی‌لیتر، بنزن موجود در حلال AW-۴۰۶ استخراج شد. تمام نمونه‌هایی که بنزن آنها استخراج شده بود برای خارج شدن حلال استخراج کننده با آب شستشو داده و در مرحله نهایی مقدار بنزن استخراج شده به روش کروماتوگرافی گازی اندازه گیری و نتیجه‌ها در قسمت نتیجه‌ها و بحث ارائه شده است. درمورد حلال THFA از آب به عنوان کمک حلال استفاده شد تا امکان دو فاز شدن مخلوط به‌دست آمده از استخراج فراهم شود. میزان آب مورد نیاز طی انجام چند آزمایش بهینه شد.

جدول ۱- مشخصات حلال AW-۴۰۶ تولید شده در پالایشگاه‌های ایران.

ترکیب شیمیایی	درصد حجمی
n-Paraffin	۵۸/۶۹
i-Paraffin	۲۷/۳۲
Naphtenes	۷/۸۴
Aromatics	۵/۸۰
Polynaphtenes	۰/۰۳
B.P>۲۰۰	۰/۳۲
جمع	۱۰۰

برای استخراج مایع - مایع به روش فیزیکی حلال‌های متفاوتی مانند سولفولان، اتیلن گلیکول‌ها، اتانول آمین‌ها، دی متیل سولفوکساید و ... در مراجع پیشنهاد شده است [۱۰ - ۱۲].

### بخش تجربی

#### مواد اولیه

حلال نفتی AW-۴۰۶ از شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران (جدول ۱) و الئوم ۲۰ درصد از شرکت صنایع شیمیایی پارچین تهیه شد. حلال‌های مورد استفاده شامل دی متیل سولفوکساید، سولفولان، بوتیلن گلیکول، اتانول آمین، دی اتانول آمین، تترا اتیلن گلیکول، اتیلن گلیکول، فورفوریل الکل، تترا هیدرو فورفوریل الکل، هگزان و بنزن با خلوص آزمایشگاهی (MERCK) هستند که از منابع معتبر تهیه شدند.

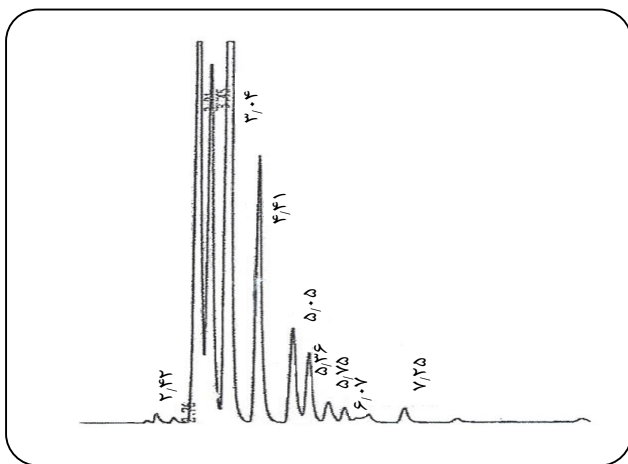
#### معرفی دستگاه

در این بررسی‌ها برای تعیین ترکیب درصد، غلظت و شناسایی اجزای حاصل از استخراج و حلال اولیه از دستگاه کروماتوگرافی گازی و GC-MASS استفاده شده است. دستگاه GC فیلپس مدل ۴۵۰۰ pu مجهز به دتکتور FID<sup>(۱)</sup> است که شرایط بهینه آن در جدول ۲ ارائه شده است. GC-MASS ترمو فینیگان مدل ۲۰۰۰ که با طیف سنج جرمی از نوع Ion trap توام شده، دارای ستون DB۱ به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۵۳ میلی‌متر که ضخامت لایه فاز ساکن ۱ میکرومتر است. برنامه ریز حرارتی ۳۰ تا ۱۴۰

(۱) Flame ionization detector

جدول ۳- ترکیب درصد اجزای موجود در حلال نفتی AW-۴۰۶ حاصل از GC-MASS.

درصد	نام ترکیب	زمان خروج (دقیقه)
۲۲٫۹۰	۲ متیل پنتان	۳٫۲۵
۱۷٫۶۰	۳ متیل پنتان	۳٫۶۳
۳۸٫۱۶	هگزان	۳٫۵۰
۱۱٫۸۷	متیل سیکلو پنتان	۳٫۷۹
۴٫۳۳	بنزن	۴٫۰۹
تا ۱۰۰	ترکیب‌های نامشخص	-



شکل ۱- کروماتوگرام گازی حلال نفتی AW-۴۰۶.

جرمی هر یک از اجزاء در شناسایی کیفی اجزاء مشاهده شده در کروماتوگرام‌های گازی استفاده شده است.

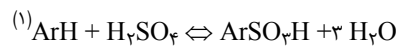
با شناسایی ترکیب‌های موجود در حلال نفتی AW-۴۰۶ به وسیله GC-MASS مشخص شد که این حلال شامل بنزن، هیدروکربن‌های پنتان، هگزان و ایزومرهای آن می‌باشد.

با در نظر گرفتن اطلاعات ذکر شده و نقطه جوش حلال AW-۴۰۶ (۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد) می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که اصلی‌ترین ترکیب آروماتیک موجود در این حلال، بنزن است و باید این ترکیب را به‌طور کامل از بقیه اجزای حلال جدا کرد.

یکی از فاکتورهای مهم در فرایند استخراج، انتخاب حلال استخراج‌کننده است که در این انتخاب عامل‌های متعددی دخالت

## استخراج شیمیایی

از آنجا که حذف تمامی مقدارهای بنزن موجود در حلال نفتی AW-۴۰۶ نیاز به مرحله‌های طولانی استخراج و مصرف زیاد حلال استخراج‌کننده دارد، استخراج شیمیایی با اولئوم ۲۰ درصد به عنوان مکمل استخراج با حلال در نظر گرفته شد. اولئوم با مقدارهای جزئی از ترکیب‌های الفینی موجود در حلال نیز واکنش داده و با انتقال به فاز آبی از حلال AW-۴۰۶ جدا می‌شود. سولفونه کردن بنزن طی یک واکنش برگشت پذیر انجام می‌پذیرد.



از آنجا که فرآورده‌ی واکنش، بنزن سولفونیک اسید، در حلال نفتی AW-۴۰۶ نامحلول و در آب بسیار محلول است با اضافه کردن آب به راحتی از فاز آلی جدا می‌شود.

برای انجام استخراج شیمیایی مخلوط ۲۵۰ گرم حلال AW-۴۰۶ نفتی با ۲۵ گرم الئوم در دمای اتاق به مدت سه ساعت هم‌زده شد. سپس فاز اسیدی واکنش پس از ۸ ساعت زمان ماند به‌وسیله دکانتور جدا شد. فاز آلی دو بار با سود رقیق (۱۵ درصد) و سپس با آب شستشو داده و کروماتوگرام گازی آن تهیه و مقدارهای نهایی بنزن موجود اندازه‌گیری شد.

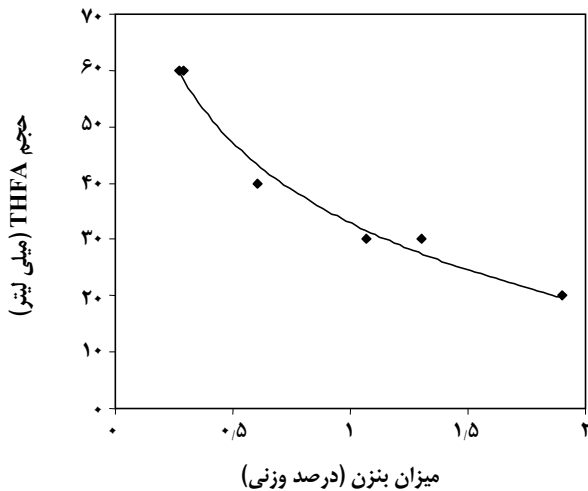
## نتیجه‌ها و بحث

### شناسایی اجزای حلال نفتی AW-۴۰۶

نخستین قدم در جداسازی ترکیب آروماتیک بنزن از حلال AW-۴۰۶، شناسایی اجزای موجود در آن است تا بتوان بر اساس چگونگی جداسازی و برهم‌کنش‌ها اجزاء با یکدیگر را بررسی کرد. بدین منظور طیف کروماتوگرام جرمی و همچنین کروماتوگرام گازی حلال نفتی تهیه شد. کروماتوگرام حاصل شش جزء اصلی را در حلال AW-۴۰۶ نشان می‌دهد (جدول ۳ و شکل ۱). کروماتوگرام گازی ترکیب‌های اصلی مورد نظر یعنی بنزن و هگزان خالص نیز تهیه شد. با توجه به نتیجه‌های حاصل از کروماتوگرام گازی بنزن و هگزان خالص مشخص شد که سومین پیک (جسم خارج شده از ستون) مربوط به هگزان و پنجمین جسم خارج شده نیز مربوط به بنزن است. نتیجه‌های حاصل از GC-MASS حلال نیز بر این موضوع تأکید دارد.

نتیجه‌های طیف سنجی گاز کروماتوگرافی - جرمی نیز پنج جزء اصلی را نشان می‌دهد. نتیجه‌های به‌دست آمده از طیف‌های

(۱) Aromatic



شکل ۲- تأثیر میزان حلال THFA مصرفی بر بازده استخراج بنزن از برش نفتی AW-۴۰۶.

نحوه تأثیر میزان حلال THFA مصرفی بر بازده استخراج بنزن از برش نفتی AW-۴۰۶ در شکل ۲ رسم شده است. آزمایش‌های دیگری نیز برای بررسی اثر مقدار حلال THFA مورد استفاده بر میزان استخراج بنزن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام و نتیجه‌های آن در جدول ۹ آمده است. در این آزمایش‌ها خوراک اولیه مورد استفاده برش نفتی AW-۴۰۶ و میزان بنزن موجود در آن معادل ۵/۵ درصد وزنی بوده است. با بررسی این داده‌ها مشاهده می‌شود که بهترین نتیجه‌ها در نسبت ۳ برابر حجمی حلال THFA نسبت به خوراک به دست آمده است.

### نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به مشخصات فیزیکی شیمیایی حلال AW-۴۰۶ تولید شده در پالایشگاه‌های داخل کشور (حاوی حداکثر ۷ درصد آروماتیک) و براساس داده‌های حاصل از کروماتوگرافی، مشخص شد که میزان کاهش آروماتیک‌های مضر و سمی در حلال AW-۴۰۶ به‌ویژه بنزن به ترتیب به وسیله‌ی حلال‌های تتراهیدروفورفوریل الکل، سولفولان و دی متیل سولفوکسید، بهترین نتیجه و بازده را داشته است.

در میان حلال‌های مورد بررسی، حلال تتراهیدروفورفوریل الکل ضمن این‌که برای نخستین بار مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است، از طرف دیگر در مقایسه با دیگر حلال‌های استخراج کننده میزان بنزن باقی مانده بعد از عمل استخراج با

دارند، به‌طوری که حلال مناسب بایستی نسبت به ترکیب‌های مورد نظر انتخابی عمل کند، میزان حلالیت ماده مورد نظر در آن بالا باشد، حداقل حلالیت را در رافینیت داشته باشد، از نقطه نظر فیزیکی، چگالی و نقطه جوش بالاتری نسبت به ماده مورد استخراج داشته باشد، در دسترس باشد و بتوان به راحتی از منابع متفاوت آن را تهیه کرد و قیمت مناسب داشته باشد.

با توجه به حلال‌های استخراج کننده متداول در مراجع، در بخش تجربی طیفی از حلال‌ها برای استخراج بنزن از حلال AW-۴۰۶ بررسی شد. همچنین برای انتخاب حلال‌ها ضریب توزیع بنزن در هر یک از حلال‌های مورد استفاده نیز در نظر گرفته شد (جدول ۴).

داده‌های ترمودینامیکی (جدول ۴) بیانگر این موضوع است که ضریب توزیع DMSO، Sulfolane و THFA نسبت به بنزن در محدوده مشابهی (۱/۱۷ - ۰/۹۶) قرار دارند و با توجه به اینکه روند کنونی جهانی و تمایل به استفاده از حلال‌های دوست‌دار محیط زیست رو به تزاید است، به همین دلیل در مقام مقایسه مخلوط حلال آب و تتراهیدروفورفوریل الکل در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است.

در این کار آزمایشگاهی افزون بر فاکتورهای اشاره شده فاکتورهای متعددی از جمله نقطه ذوب حلال استخراج کننده، جدا شدن فازها در مجاورت حلال ثانویه مانند آب، ضریب توزیع، میزان سمیت (جدول ۵) و دوست‌دار محیط زیست بودن حلال نیز مدنظر قرار گرفت [۱۳].

پس از انجام عملیات استخراج با حلال‌های متفاوت و بررسی داده‌های حاصل از کروماتوگرافی گازی براساس نوع حلال و میزان آن (جدول ۶) و انتخاب THFA به عنوان حلال مناسب، به منظور حذف کامل بنزن عملیات استخراج شیمیایی انجام شد و نتیجه‌ها نشان داد که در نخستین مرحله استخراج شیمیایی مقدار بنزن به ۱/۲۷ درصد، در مرحله دوم به ۰/۲۸۴ درصد و در مرحله سوم به حدی که قابل تشخیص با کروماتوگرافی گازی نبود کاهش یافت. (کم‌تر از ۱ ppm، جدول ۷) که این میزان بنزن برای مصرف در صنایع غذایی مطلوب است.

با بررسی اثر کمک حلال که نتیجه‌های آن در جدول ۸ درج شده، ملاحظه می‌شود که با استفاده از  $1/7 \text{ cm}^3$  آب به ازای  $10 \text{ cm}^3$  THFA بهترین جداسازی انجام شده است. بنابراین، حلال استخراج کننده مناسب مخلوط THFA ۸۵ درصد و ۱۵ درصد آب است.

جدول ۷- میزان بنزن موجود در حلال AW-۴۰۶ بعد از فرایند استخراج شیمیایی.

مقدار بنزن (درصد وزنی)	AW-۴۰۶ حلال (گرم)	الثوم ۲۰ درصد (گرم در حلال)
۱٫۲۷	۲۵۰	۱ × ۲۵
۰٫۲۸۴	۲۵۰	۲ × ۲۵
<۱ppm	۲۵۰	۳ × ۲۵

جدول ۸ - بهینه سازی میزان آب مصرفی به عنوان کمک حلال در عملیات استخراج، دما (۲۵ درجه سانتی گراد).

حجم خوراک (cm <sup>۳</sup> ) Aw-۴۰۶	حجم حلال THFA باز یافتی (cm <sup>۳</sup> )	حجم آب (cm <sup>۳</sup> )	جدا سازی دو فاز (cm <sup>۳</sup> )
۴۰	-	۰٫۰۵	-
۴۰	۶	۰٫۱	+
۴	۸	۰٫۱۵	+
۴	۹	۰٫۲	+
۳٫۳	۱۰	۱٫۷	+

جدول ۹- اثر مقدار حلال THFA مورد استفاده بر میزان استخراج بنزن در چهار مرحله، دمای ۲۵ درجه سانتی گراد. خوراک مورد استفاده برش نفتی AW-۴۰۶ و میزان بنزن موجود در آن معادل ۵٫۵ درصد وزنی بوده است.

حجم خوراک (cm <sup>۳</sup> )	حجم حلال THFA (cm <sup>۳</sup> )	درصد وزنی بنزن (پس از استخراج)
۲۰	۲۰	۱٫۹۰
۲۰	۳۰	۱٫۳۰
۲۰	۳۰	۱٫۰۷
۲۰	۴۰	۰٫۶۱
۴۰	۱۲۰	۰٫۲۹
۱۰۰	۳۰۰	۰٫۲۷
۲۰۰	۶۰۰	۰٫۲۰

جدول ۴- ضریب توزیع بنزن در حلال های خالص.

ردیف	حلال	ضریب توزیع (K)
۱	تترا هیدرو فورفویل الکل	۰٫۹۶۰
۲	سولفولان	۱٫۱۷
۳	اتیلن گلیکول	۰٫۲۳۸
۴	تترا اتیلن گلیکول	۰٫۶۸
۵	فور فوریل الکل	۰٫۹۱
۶	دی متیل سولفو کسید	۱٫۱۵
۷	بوتیلن گلیکول	۰٫۷۱
۸	اتانول آمین	۰٫۵۶
۹	دی اتانول آمین	-

جدول ۵ - مقایسه سمیت حلال های استخراج.

نوع حلال	LD <sub>۵۰</sub> (g/kg)
DMSO	۲۰٫۳۳
Sulfolane	۱٫۹۴
EG	۸٫۵۴
BUG	۲۲٫۸
EA	۱۰٫۲۰
DEA	۲۰٫۸
THFA	۲٫۵
FA	۰٫۱۶
TEG	۳۰٫۸

جدول ۶ - نتیجه های حاصل از کروماتوگرافی گازی براساس نوع حلال و میزان آن.

حلال	مقدار حلال استخراج کننده (میلی لیتر × تعداد مراحل)	مقدار حلال AW-۴۰۶ (میلی لیتر)	میزان بنزن بعد از استخراج (درصد)
DMSO	۴×۵	۲۰	۲٫۰۱
Sulfolane	۴×۵	۲۰	۱٫۱۷
EG	۴×۵	۲۰	۳٫۰۵
BUG	۴×۵	۲۰	۳٫۲۵
EA	۴×۵	۲۰	۳٫۵۲
DEA	۴×۵	۲۰	۴٫۳۰
THFA	۴×۵	۲۰	۱٫۰۷
FA	۴×۵	۲۰	۲٫۵۰
TEG	۴×۵	۲۰	۳٫۰۷

حذف آروماتیک‌ها می‌تواند به روش مورد بررسی با حلال‌های کم‌خطر و یا بی‌خطر جدید به عنوان یک جایگزین مناسب توجه بیشتری کرد.

### تشکر و قدردانی

از شرکت سهامی خاص توسعه کشت دانه‌های روغنی برای تأمین اعتبار مالی این طرح صمیمانه تشکر می‌شود، همچنین از ریاست پژوهشکده صنایع شیمیایی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران جهت مساعدت در استفاده از امکانات آزمایشگاه و سایر تسهیلات قدردانی می‌شود.

تاریخ دریافت: ۸۴/۷/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۴/۲۶

تتراهیدروفورفوریل الکل در حلال AW-۴۰۶ و انجام استخراج شیمیایی به طور قابل ملاحظه‌ای (کم‌تر از ۱ ppm) کاهش یافته است و این میزان آروماتیک موجود در حلال از نظر استانداردهای جهانی در صنایع غذایی قابل قبول است. حلال اخیر تجزیه پذیر<sup>(۱)</sup> و دوست دار محیط زیست<sup>(۲)</sup> است و با توجه به میزان مصرف زیاد این نوع حلال‌ها در صنایع متفاوت از جمله صنایع غذایی، برای محیط زیست مشکلات کم‌تری ایجاد خواهد کرد. لازم به ذکر است در این کار پژوهشی، مقایسه نتیجه‌های حاصل از کروماتوگرافی به طور صرف تا مرحله استخراج با حلال صورت گرفته است. بخش استخراج به روش شیمیایی برای تکمیل آزمایش‌ها و حذف کامل بنزن انجام شده است. به نظر می‌رسد با توجه به مشکلات زیست محیطی روش‌های متداول در

### مراجع

[۱] ثنایی، غلامحسین؛ "سم شناسی صنعتی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم (۱۳۷۰).

- [2] Gerhartz, W., "Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry", 4, p.732 (1985).  
 [3] Gently, J.H., U.S Pat 6565742, sep. (2003).  
 [4] Muller, E., Klein, H., Ger. Offen. DE 3, 207,404, Sep (1983).  
 [5] Vasiley, R., Kovachevak. Khim, *Tekhnol. Inst.*, 14(2), p.167 (1983).  
 [6] Thompson, H.L., U.S Pat. 3537984 Nov. (1970).  
 [7] Broughton, D.B., U.S pat. 3361664 Feb. (1968).  
 [8] Stephens, J.H., U.S Pat. 2773918 Dec. (1956).  
 [9] Winter, G.R., et al., U.S pat. 4353794 (1982).  
 [10] Treybal, R.E., *Ind. Eng. Chem.*, 54(5), p.55, (1962).  
 [11] Stanford Research Institute (SRI), Chemical Economics Handbook, Vol. 182 (1998).  
 [12] Othmer, K., *Encycl. Chem. Tech.*, 10, p.162 (1998).  
 [13] www.pschem.com

(۱) Biodegradable

(۲) Environmental friendly