



## بهینه سازی تولید بیوروانکار از روغن پسماند خوراکی آفتابگردان به کمک روش سطح پاسخ

شیما بشیری<sup>۱</sup>، برات قبادیان<sup>۲\*</sup>، مسعود دهقانی صوفی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد شیمی الی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران.

۲ و ۳ - به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

ایمیل مکاتبه کننده: [ghobadib@modares.ac.ir](mailto:ghobadib@modares.ac.ir)

### چکیده

روغن موتور یکی از حیاتی‌ترین سیال‌های موجود در موتور بوده و با روانکاری قسمت‌های مختلف و متحرک موتور، نقش خون در سیستم خون رسانی بدن را ایفا می‌کند. بیوروانکارها نسل جدیدی از روانکارها هستند که تجدیدپذیر و زیست تخریب‌پذیرند و از اصلاح شیمیایی روغن‌های گیاهی بدست می‌آیند. روغن‌های گیاهی پایداری در برابر اکسیداسیون ضعیفی دارند و همچنین در دماهای پایین خواص نامطلوبی از خود نشان می‌دهند. در این تحقیق از روش اپوکسیداسیون برای افزایش پایداری اکسیداسیون روغن پسماند خوراکی آفتابگردان، به منظور استفاده به عنوان بیوروانکار استفاده شد. سپس با استفاده از روش سطح پاسخ، بازده واکنش به صورت یک معادله رگرسیونی مرتبه دوم مدل‌سازی شد و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به دست آمد. بیشینه بازده واکنش تولید اپوکسید برابر با ۸۲/۹۱ درصد و نقاط بهینه متغیرهای مستقل به صورت میزان اسید استیک gr ۵۳/۶۶، آب اکسیژنه gr ۳۰/۱۱ و زمان ۴/۰۹ ساعت بدست آمد.

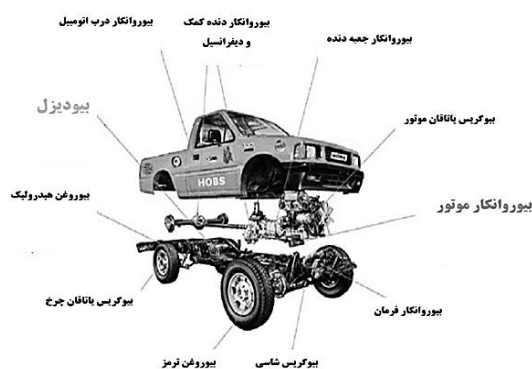
واژه‌های کلیدی: بیوروانکار، روغن پسماند خوراکی، روش سطح پاسخ، اپوکسیداسیون.

### مقدمه

امروزه با کاهش ذخایر نفت خام و همچنین افزایش قیمت حامل‌های انرژی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن در سامانه‌های مصرف‌کننده انرژی به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است. از این رو توجه دانشمندان به منابع تجدیدپذیر انرژی مانند انرژی باد، انرژی خورشید و سوخت‌های زیستی مانند بیودیزل و بیواتانول افزایش یافته است. موتورهای درونسوز در قرن حاضر بخش عمده‌ای از مصرف منابع نفت خام را به خود اختصاص داده‌اند و به یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان عمده انرژی تبدیل شده‌اند. لذا توجه به راهکارهای کاهش مصرف سوخت در این موتورها امری ضروری است. با توجه به این موضوع که در حدود یک سوم از تلفات انرژی موتورهای درونسوز مربوط به تلفات اصطکاکی می‌باشد، می‌توان به راحتی دریافت که روانکاری مناسب قسمت‌های مختلف موتور به منظور کاهش سایش و اصطکاک



قسمت‌های متحرک آن، تأثیر به‌سزایی در کاهش تلفات انرژی و در نتیجه کاهش مصرف سوخت دارد (ابراهیم پور ضیایی و همکاران، ۱۳۸۸). به‌طور کلی روغن موتور یکی از حیاتی‌ترین سیال‌های موجود در موتور بوده و با روانکاری قسمت‌های مختلف و متحرک موتور، نقش خون در سیستم خون‌رسانی بدن را در موتور ایفا می‌کند. از طرف دیگر، متأسفانه این سیال مهم نیز همانند سوخت‌های مورد استفاده در موتور، پایه نفتی داشته و به منابع رو به پایان و گران‌قیمت نفتی وابسته است، به طوری که نمی‌توان آینده طولانی برای آن متصور شد (دهقانی صوفی، ۱۳۹۲). علاوه بر آن، سالیانه میلیون‌ها تن روانکار استفاده شده یا به اصطلاح روغن سوخته به طبیعت ریخته شده و موجب آلودگی محیط زیست می‌شود (Bartz, 1998). این امر علاوه بر زیانی است که در اثر سوختن این روانکارها به صورت مخلوط با سوخت موتور، موجب آلودگی هوا می‌شود. از این رو امروزه تولید روانکارها از منابع تجدیدپذیر و دوستدار محیط زیست مانند روغن‌های گیاهی مورد توجه واقع شده است. روانکارهای با پایه روغن‌های گیاهی که در اصطلاح به آن‌ها بیوروانکار گفته می‌شود، علاوه بر اینکه به علت وابستگی به منابع گیاهی تجدیدپذیر می‌باشند، به علت زیست‌تخریب‌پذیری خوبی که دارند، محیط زیست را آلوده نمی‌کنند (Madankar et al, 2012). شکل ۱ کاربردهای مختلف بیوروانکارها را در قسمت‌های مختلف بک خودرو و شکل ۲ چرخه زیستی بیوروانکارها را نمایش می‌دهند (Mubarak et al, 2014):



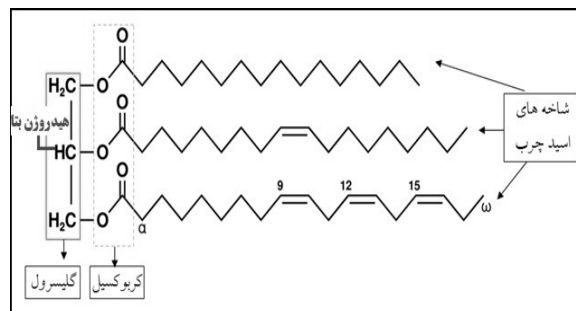
شکل ۱: کاربردهای مختلف بیوروانکارها در خودرو.

بیوروانکارها که از اصلاح شیمیایی روغن‌های گیاهی حاصل می‌شوند، پتانسیل خوبی برای جایگزینی روانکارهای پایه نفتی موجود را دارند (Habibullah et al, 2012). در شکل ۲ چرخه زیستی بیوروانکارها نشان داده شده است. روغن‌های گیاهی را می‌توان به دو دسته‌ی خوراکی و غیر خوراکی تقسیم کرد. روغن‌های خوراکی مثل کانولا، سویا و آفتابگردان هم برای مصرف انسان و هم برای تولید بیودیزل و روانکار زیستی استفاده می‌شوند.



شکل ۲: چرخه زیستی بیوروئکار.

روغن‌های غیر خوراکی مثل روغن پسماند آشپزخانه و روغن دانه‌های چون جatroفا و کرچک تنها برای تولید بیودیزل و روانکار زیستی مناسب هستند (سبزی ملکی، ۱۳۹۳). بیشتر روغن‌های گیاهی از تری‌آسیل گلیسرول تشکیل شده‌اند. تری-آسیل گلیسرول یک تری استر گلیسرول است که در آن سه اسید چرب به سه گروه هیدروکسیل گلیسرول از طریق پیوند استری متصل شده‌اند (شکل ۳). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغن‌های گیاهی تا حدود زیادی تحت تاثیر ترکیب و توزیع اسیدهای چرب و ساختار گلیسرول مولکول تری‌آسیل گلیسرول است (Rousseau, 2004). ساختار تری‌آسیل گلیسرول برای روانکاری بسیار مناسب است چرا که اسیدهای چرب بلند زنجیر ترکیب شده با گروه کربوکسیل فیلم روانکاری بسیار قوی را ایجاد می‌کند. اسیدهای چرب بیشتر روغن‌های گیاهی بین ۱۴ تا ۲۲ اتم کربن با درجه اشباعی متفاوت دارند. مولکول‌های تری‌آسیل گلیسرول برهم کنش بیشتری با سطح فلز نسبت به هیدروکربن‌ها دارند، به طوری که این ویژگی به آن‌ها اجازه می‌دهد فیلم روانکاری بسیار قوی را روی سطح فلز ایجاد کنند. بنابراین آن‌ها اغلب در کاهش اصطکاک و سایش موثرترند (Fox and Stachowiak, 2007).

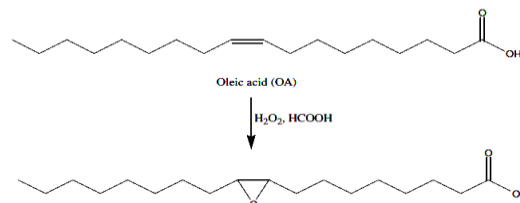


شکل ۳: ساختار تری‌آسیل گلیسرول روغن‌های گیاهی (Silva et al, 2013).

ولی روغن‌های گیاهی برای استفاده مستقیم به عنوان روانکار مشکلاتی دارند. با توجه به (شکل ۳) پیوندهای دوگانه در بخش اسید چرب تری‌آسیل گلیسرول واکنش پذیر بوده و به سرعت با اکسیژن هوا واکنش می‌دهند و موجب اکسایش و در نهایت باعث رسوب مواد نامحلول، افزایش عدد اسیدی و گرانروی روغن می‌شود. همچنین هیدروژن  $\beta$  در بخش گلیسرول آن به راحتی از ساختار مولکول حذف می‌شود و منجر به تبدیل استر به اسید و اولفین می‌شود. لذا ایرادهای روغن‌های گیاهی برای استفاده مستقیم به عنوان روانکار عبارتند از: پایداری کم در برابر اکسایش و نقطه ریزش پایین



(تمایل به انجماد در دماهای پایین و رفتار جریان نامناسب) (بشیری، ۱۳۹۳). محققان روش‌های متعددی را مورد بررسی قرار دادند تا امکان استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان روان کننده را فراهم آورند. محققان روش‌های متعددی را مورد بررسی قرار دادند تا امکان استفاده از روغن‌های گیاهی به عنوان روانکار را فراهم آورند. برخی محققان امکان جایگزینی پلیول‌هایی از قبیل تری متیلول پروپان با ساختار گلیسرول روغن را برای افزایش پایداری اکسیداسیون آن مورد مطالعه قرار دادند (Rudnick, 2013 و Honary and Richter, 2011). در روش دیگری روش اپوکسیداسیون<sup>۴</sup> برای بهبود پایداری در برابر اکسایش روغن کلزا انجام شد (Lathi and Mattiasson, 2007, Sharma et al, 2013 و Wua et al, 2000). تغییرات ژنتیکی، هیدروژناسیون<sup>۱</sup> و واکنش ترانس استریفیکاسیون روغن گیاهی با الکل‌های بلند زنجیر (دارای ۸-۱۵ اتم کربن) نیز در مطالعات قبلی بررسی شدند (Yunus et al 2005 و Chowdhury et al, 2013). اپوکسیداسیون یکی از مهمترین واکنش‌های افزایشی به پیوندهای دو گانه است که منجر به تشکیل حلقه اکسیران و در نتیجه بهبود پایداری اکسیداسیون روغن‌های گیاهی می‌شود. این واکنش در حضور پراکسی اسیدها (مانند پرفرمیک اسید و پراستیک اسید) و آب اکسیژنه انجام می‌شود که حاصل این آزمایش یک پراسید است که باعث اپوکسید شدن پیوند دو گانه می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴: واکنش اپوکسیداسیون.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق روغن پسماند خوراکی آفتابگردان به عنوان منبع روغن گیاهی با درصد بالای اسید چرب اولئیک به عنوان اسید چرب غالب در نظر گرفته شد. سپس پیوند غیر اشباع در اسید چرب اولئیک خالص و زنجیره اسید چرب در مولکولهای تری گلیسیرید طی واکنش‌های اپوکسید دار کردن، باز کردن حلقه اکسیران و استریفیکاسیون به ترکیبات تری استر تبدیل شد.

## مواد

در این تحقیق روغن پسماند آفتابگردان به عنوان روغن گیاهی (ماده پایه) انتخاب شد. انتخاب روغن آفتابگردان با توجه به مطالعات پیشین، قابلیت ایجاد فیلم روانکار مناسب، نقطه ذوب پایین (۱۰- تا ۲۲- درجه سلسیوس) و در دسترس تر بودن آن بود. مقادیر اسید چرب روغن پسماند آفتابگردان در جدول ۱ نشان داده شده است.

۴- Epoxidation

۵-Hydrogenation



جدول ۱: درصد اسیدهای چرب روغن پسماند.

مقدار	درصد وزنی	اسید چرب
۱/۳۷	Wt. %	میربستیک اسید (C 14:0)
۶/۶۶	Wt. %	پالمیتیک اسید (C 16:0)
۳/۰۴	Wt. %	استئاریک اسید (C 18:0)
۱۷/۸۷	Wt. %	اولئیک اسید* (C 18:0)
۷۲/۱۳	Wt. %	لینولئیک اسید* (C 18:2)
۸۵۴/۱۳۹	gr/mol	جرم مولکولی میانگین روغن پسماند

مواد واکنش بطور خلاصه عبارت بودند از: مخلوط اولئیک اسید تهیه شده از شرکت الوند شیمی، آب اکسیژنه ۳۰ درصد، اسید استیک، اسید سولفوریک ۹۹ درصد، استئاریک اسید ۹۹ درصد، پالمیتیک اسید ۹۹ درصد، پاراتولون سولفونیک اسید ۹۸ درصد، تولون ۹۸/۲ درصد، نرمال هگزان ۹۹ درصد، پتاسیم هیدروکسید ۹۹ درصد، متانول ۹۹/۷ درصد، اولئیک اسید ۹۹ درصد، نرمال هپتان ۹۹/۹ درصد، ایزو پروپیل الکل ۹۹ درصد، منیزیم سولفات ۹۷ درصد، اسید فرمیک ۸۸ درصد، پروپانول نرمال، متیل اوراژ، یدید پتاسیم و اسید کلریدریک. دستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق نیز عبارت بودند از: تبخیر کننده چرخان مدل ۲۰۲ STRIKE ساخت ایتالیا، ویسکومتر Antonpaar مدل SVM-۳۰۰۰، دستگاه اسپکتروسکوپی FTIR مدل Bruker آلمان، دستگاه تعیین نقطه اشتعال مدل p611a ساخت شرکت آنالیز بلژیک، دستگاه تعیین نقطه‌ی ریزش و ابری شدن با حمام الکلی مدل STEA ساخت انگلیس، دستگاه کروماتوگرافی گازی Perkin Elmer (GC) مدل Clarus580 ساخت ایالات متحده.

### روش انجام آزمایش‌ها

برای تهیه اپوکسید، ۲۰ گرم از مخلوط اسید چرب را داخل یک ارلن ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و بر روی گرم‌کن استیرن قرار داده شد تا دما بالا رود و به  $65^{\circ}\text{C}$  برسد. سپس به آرامی ۵۰ میلی لیتر اسید استیک یا اسید فرمیک ۸۸ درصد اضافه شد. زمانی که دمای مخلوط ثابت شد، با استفاده از بورت به آرامی ۱۱/۳۰ میلی لیتر آب اکسیژنه در طول یک ساعت به مخلوط واکنش اضافه شد. با توجه به این که واکنش اکسیداسیون در محیط اسیدی بهتر انجام می شود، لذا اسید استیک در این واکنش نقش کاتالیست را داشت. بعد از افزودن آب اکسیژنه مخلوط حاصله به کمک همزن مغناطیسی (مگنت) با سرعت ۶۰۰-۵۰۰ rpm و به مدت ۵ ساعت هم زده شد. در پایان این زمان رنگ روغن به صورت زرد رنگ پریده در آمد. در مرحله بعد، مخلوط بدست آمده در داخل قیف جدا کننده ریخته شد و پس از دو فاز شدن، فاز زیرین جدا شد (شکل ۵). سپس به منظور جداسازی کاتالیست (اسید استیک) فاز آلی باقی مانده ۵ بار با آب مقطر آبشویی شد.



شکل ۵: مخلوط اپوکسید حاصل از واکنش.

به منظور بهینه سازی واکنش تولید اپوکسید از نرم افزار Design Expert و روش Box-Behnken استفاده شد. تعداد آزمایش‌های انجام شده ۲۰ عدد بوده است که ۳ تکرار برای نقطه مرکزی در نظر گرفته شد. در جدول ۲ پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش برای تحلیل به روش سطح پاسخ نشان داده شده است. برای تعیین درصد اپوکسی مقدار ۱/۵ گرم از اپوکسید را داخل بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته و ۲۵ میلی‌لیتری پروپانول نرمال به آن اضافه کرده و ضمن همزدن رفلاکس گردید. بعد از حل شدن به سرعت چند قطره معرف متیل اورانژ و محلول یدید پتاسیم تازه تهیه شده (۳ گرم KI در ۵ میلی‌لیتر آب مقطر) به مخلوط اضافه کرده و دوباره رفلاکس شد و در نهایت مخلوط را با HCL نرمال تا رسیدن به نقطه پایان زرد رنگ و پایدار ماندن رنگ زرد تیتیر کرده و میزان اپوکسید از طریق رابطه ۱ بدست آمد.

جدول ۲: پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش برای تحلیل به روش سطح پاسخ.

شماره آزمایش	آب اکسیژنه (ml)	اسید استیک (ml)	زمان (ساعت)	اپوکسید روغن پسماند (%)
۱	۳۰	۳۰	۱۵	۴۸/۷
۲	۹۰	۵۰	۱۰/۳۰	۴۴/۸
۳	۵۰	۵۰	۱۰/۳۰	۴۶/۷
۴	۳۰	۳۰	۶	۶۳/۵
۵	۳۰	۷۰	۶	۷۷/۵
۶	۷۰	۳۰	۱۵	۵۸/۰
۷	۵۰	۵۰	۱۰/۳۰	۵۵/۴
۸	۷۰	۷۰	۶	۵۲/۸
۹	۱۰	۵۰	۱۰/۳۰	۸۲/۳
۱۰	۷۰	۳۰	۶	۶۰/۸
۱۱	۵۰	۱۰	۱۰/۳۰	۴۶/۲
۱۲	۵۰	۵۰	۱۰/۳۰	۳۵/۰
۱۳	۵۰	۵۰	۱۰/۳۰	۴۵/۰
۱۴	۳۰	۷۰	۱۵	۶۵/۴
۱۵	۵۰	۵۰	۱۰/۳۰	۵۷/۱
۱۶	۵۰	۵۰	۱۰/۳۰	۵۵/۶
۱۷	۵۰	۵۰	۱/۳۰	۸۱/۱
۱۸	۷۰	۷۰	۱۵	۵۵/۰
۱۹	۵۰	۹۰	۱۰/۳۰	۶۰/۰
۲۰	۵۰	۵۰	۱۹/۳۰	۵۵/۴

$$Y = \frac{100 \times \text{میلی لیتر HCL مصرفی} \times \text{نرمالیه HCL}}{\text{وزن نمونه}} \quad (1)$$



که در آن Y درصد اپوکسید واکنش (متغیر وابسته) است.

### نتایج و بحث

#### مدل‌سازی

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس مربوط به رگرسیون درجه دو را برای متغیرهای آزمایش نشان می‌دهد.

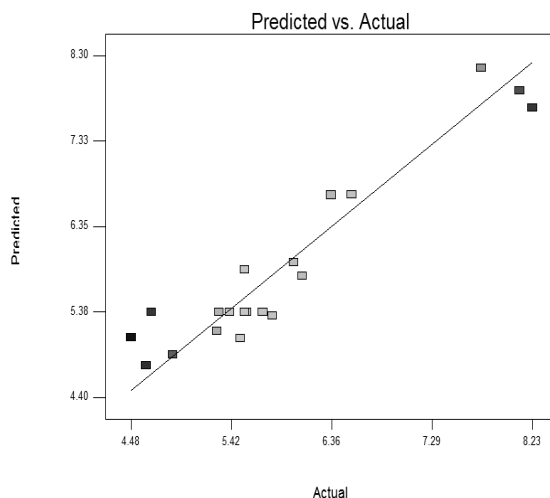
با توجه به جدول ۳، و با حذف پارامترهایی که فاقد تاثیر معنادار روی خروجی واکنش بودند، رابطه‌ی ۲ را به صورت زیر بدست آمد. در این رابطه R معرف متغیر پاسخ، A بیانگر میزان اسید استیک، B بیانگر میزان آب اکسیژنه، C معرف زمان واکنش می‌باشد.

$$R = 7.14650 + 0.057581 \times A - 0.047197 \times B - 0.70377 \times C - 1.00000 \times AB + 5.5192 \times AC + 2.40380 \times BC + 1.86631 \times A^2 - 3.46962 \times B^2 + 0.020358 \times C^2 \quad (2)$$

علامت مثبت در پیش روی هر کدام از جمله‌ها نشان دهنده‌ی تاثیر هم افزایی و علامت منفی نشان دهنده‌ی تاثیر منفی پارامترها بر روی پاسخ می‌باشد.

جدول ۳: آنالیز واریانس مدل رگرسیونی درجه دوم.

مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع
۰۰۰۸/۰	۵۲/۹	۲۱/۲	۹	۸۵/۱۹	مدل
۰۶۳۶/۰	۳۵/۴	۰۱/۱	۱	۰۱/۱	اسید استیک
۰۰۱۳/۰	۵۹/۱۹	۵۴/۴	۱	۴/۵۴	آب اکسیژنه
۰۰۰۵/۰	۲۴/۹۳	۷۸/۵	۱	۷۸/۵	زمان
۰۱۲۰/۰	۳۸/۹	۱۷/۲	۱	۱۷/۲	اسید استیک × آب اکسیژنه
۰۹۲۹/۰	۳۱/۰	۰۷۱/۰	۱	۰۷۱/۰	اسید استیک × زمان
۰۷۲۶/۰	۰۳/۴	۹۳/۰	۱	۹۳/۰	زمان × آب اکسیژنه
		۲۳/۰	۱۰	۳۲/۲	باقی مانده
۱۷۶۳/۰	۴۳/۲	۳۳/۰	۵	۶۴/۱	عدم تطابق
		۱۴/۰	۵	۶۸/۰	خطا
			۱۹	۱۷/۲۲	کل



شکل ۶: مقایسه داده‌های تجربی و نتایج مدل.

### بهینه‌سازی

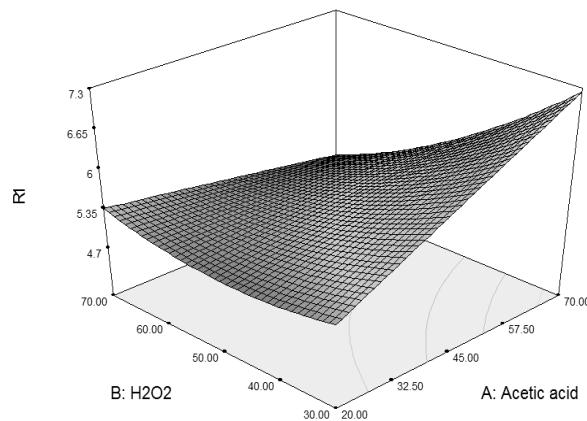
برای بهینه‌سازی فرآیند تولید اپوکسید باید میزان درصد تبدیل به بیشینه مقدار و آب اکسیژنه مصرفی به کمینه مقدار خود برسند. بدین منظور مطابق جدول (۴) شرایط مرزی متغیرهای مستقل و هدف تعیین گردید. با توجه به اهمیت یکسان بین متغیرهای مستقل و وزن دهی به متغیرهای مستقل تابع هدف، وزن برابر ۱ برای آن‌ها در نظر گرفته شد. در جدول ۵ نقاط بهینه واکنش برای بیشینه بازده واکنش و با توجه به شرایط مرزی و وزن دهی اعمال شده، در اسید استیک ۵۳/۶۶ gr آب اکسیژنه ۳۰/۱۱ gr و زمان ۴/۰۹ ساعت توسط نرم افزار تعیین شد.

جدول ۴: شرایط مرزی متغیرهای مستقل و هدف برای بهینه‌سازی تولید اپوکسید.

متغیر	هدف	حد پایین	حد بالا	وزن (گرم)
اسید استیک	۲۰-۷۰	۲۰	۷۰	۱
آب اکسیژنه	۳۰-۷۰	۳۰	۷۰	۱
زمان (ساعت)	۴-۱۵	۴	۱۵	۱
میزان تبدیل	-۸/۲۳			
اپوکسید	۴/۴۸	۴/۴۸	۸/۲۳	۱

نزدیکی نتایج تجربی مقادیر بهینه با نتایج مدل، تایید کننده صحت مقادیر بهینه بدست آمده بود. همچنین نمودار شکل‌های ۷ تا ۹، به ترتیب تغییرات متغیر سطح پاسخ (راندمان تولید اپوکسید) را نسبت به متغیرهای مستقل میزان اسید استیک، میزان آب اکسیژنه و زمان واکنش به صورت نمودارهای سه بعدی و با در نظر گرفتن تغییرات همزمان دو متغیر مستقل نشان می‌دهد.





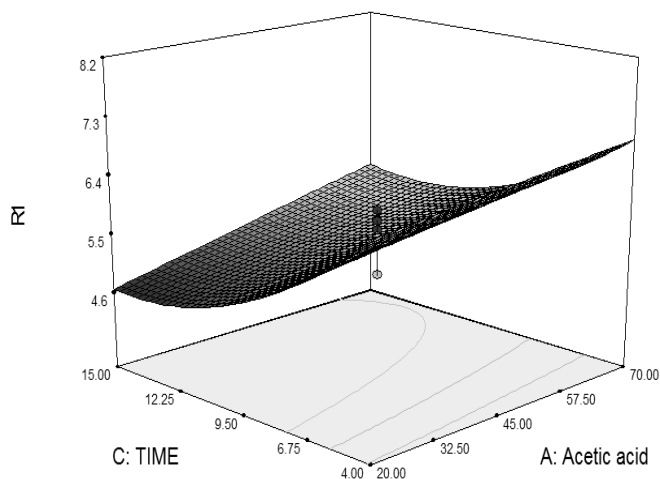
شکل ۷: درصد تغییرات منحنی سطح پاسخ به ازای تغییرات اسید استیک و آب اکسیژنه.

جدول ۵: نقطه بهینه واکنش با توجه به شرایط مرزی و وزن دهی اعمال شده.

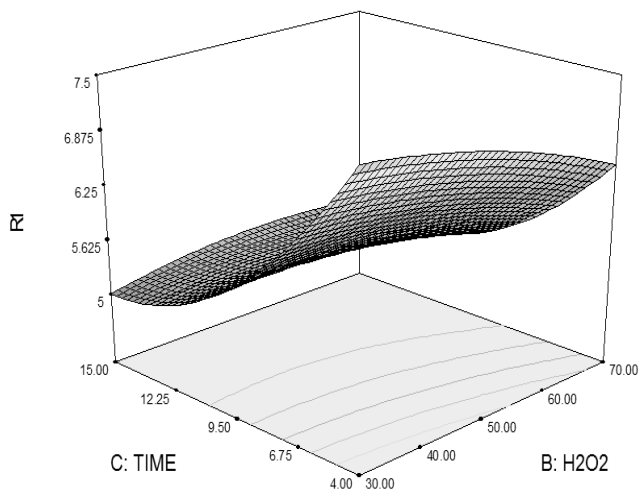
شماره	اسید استیک	آب اکسیژنه	زمان واکنش (ساعت)	تبدیل اپوکسید	مطلوبیت
۱	۶۶/۵۳	۱۱/۳۰	۰۹/۴	۹۰۷۱/۸۲	۱
۲	۹۵/۶۹	۷۰/۳۰	۳۸/۵	۸۲/۸۶۲۹	۱
۳	۵۳/۵۷	۴۳/۳۰	۰۷/۴	۸۳/۹۸۸۳	۱
۴	۲۲/۵۷	۵۱/۳۱	۱۹/۴	۸۲/۴۴۴۹	۱
۵	۸۳/۶۳	۹۱/۳۰	۸۶/۴	۵۷۹۵/۸۲	۱
۶	۸۶/۶۳	۰۶/۳۰	۰۱/۵	۸۲/۸۵۲۱	۱
۷	۱۵/۶۶	۵۴/۳۴	۰۲/۴	۸۲/۹۸۷۳	۱
۸	۰۳/۶۸	۷۱/۳۱	۰۰/۵	۸۲/۶۶۹۸	۱
۹	۶۶/۶۵	۱۸/۳۰	۰۰/۴	۸۷/۲۳۴۵	۱
۱۰	۲۷/۶۲	۵۵/۳۳	۰۶/۴	۶۳۸۹/۸۲	۱
۱۱	۸۵/۶۴	۲۶/۳۰	۱۴/۴	۳۱۸۱/۸۶	۱
۱۲	۸۸/۵۶	۲۵/۳۰	۲۰/۴	۴۳۳۹/۸۳	۱
۱۳	۰۶/۶۹	۲۵/۳۰	۵۰/۵	۸۲/۶۹۲۱	۱
۱۴	۷۵/۵۹	۶۳/۳۱	۳۸/۴	۳۷۸۳/۸۲	۱
۱۵	۹۱/۶۹	۶۰/۳۰	۲۶/۵	۴۶۷۸/۸۳	۱
۱۶	۹۷/۵۸	۳۷/۳۱	۲۶/۴	۸۲/۸۵۴۵	۱
۱۷	۵۰/۶۸	۸۴/۳۲	۱۹/۴	۸۴/۷۰۰۸	۱
۱۸	۶۰/۵۸	۴۶/۳۰	۳۶/۴	۱۶۵۵/۸۳	۱
۱۹	۷۰/۶۷	۰۶/۳۱	۱۲/۵	۸۲/۷۵۴۳	۱



۱	۸۳/۲۳۳۸	۱۸/۴	۱۵/۳۱	۵۸/۵۰	۲۰
۹۹۹/۰	۱۸۰۹/۸۲	۰۰/۴	۰۰/۳۰	۴۸/۵۰	۲۱
۹۰۰/۰	۷۸/۵۵۹۷	۰۰/۴	۰۰/۳۰	۶۲/۳۹	۲۲
۸۹۱/۰	۲۱۳۸/۷۸	۰۰/۴	۵۲/۴۰	۰۰/۷۰	۲۳
۸۰۹/۰	۱۲۸۳/۷۵	۲۶/۸	۰۰/۳۰	۰۰/۷۰	۲۴
۸۹۶/۰	۶۳۲۸/۷۴	۰۰/۴	۰۰/۳۰	۲۶/۲۸	۲۵
۵۹۶/۰	۱۴۱۹/۶۷	۹۹/۱۴	۰۰/۳۰	۰۰/۷۰	۲۶
۵۳۳/۰	۷۷۱۱/۶۴	۰۰/۴	۰۶/۵۷	۰۰/۲۰	۲۷
۲۴۳/۰	۹۲۹۱/۵۳	۰۰/۱۵	۰۰/۷۰	۰۱/۲۰	۲۸
۲۱۷/۰	۹۴۱۷/۵۲	۰۰/۱۵	۰۰/۷۰	۷۵/۳۶	۲۹



شکل ۸: درصد تغییرات منحنی سطح پاسخ به ازای تغییرات اسید استیک و زمان واکنش.





شکل ۹: درصد تغییرات منحنی سطح پاسخ به ازای تغییرات میزان آب اکسیژنه زمان واکنش.

### نتیجه‌گیری و بحث

نتایج تحقیق حاضر به طور خلاصه عبارتند از:

- ✓ مدل رگرسیونی درجه دوم بدست آمده در رابطه (۲) به خوبی توانست میزان بازده واکنش را پیش‌بینی کند.
- ✓ با استفاده از روش سطح پاسخ، نقاط بهینه متغیرهای مستقل برای داشتن بیشترین بازده واکنش (۸۲/۹۱ درصد) به صورت میزان اسید استیک ۵۳/۶۶ gr، آب اکسیژنه ۳۰/۱۱ gr و زمان ۴/۰۹ ساعت بدست آمد.
- ✓ درصد تولید اپوکسید واکنش با افزایش میزان اسید استیک و آب اکسیژنه نسبت مستقیم و با زمان واکنش نسبت معکوس داشت.
- ✓ تاثیر افزایش اسید استیک بر افزایش بازده واکنش بیش از تاثیر افزایش آب اکسیژنه بود.

### منابع و مأخذ

- ۱- ابراهیم پور ضیایی، ا. سروری، ش. یوسف الهیه، ر. ۱۳۸۸. بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق بهبود وضعیت روانکاری تجهیزات و ماشین‌آلات صنعتی. مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی انرژی.
- ۲- بشیری، ش. ۱۳۹۳. تولید بیوروانکار از روغن پسماند آفتابگردان به روش اپوکسیداسیون. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- ۳- دهقانی صوفی، م. ۱۳۹۲. بررسی تجربی تاثیر بیوروانکارها بر عملکرد و گازهای خروجی آگروز یک موتور دو زمانه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- ۴- سبزی ملکی، م. ۱۳۹۳. تولید روغن پایه روانکار از روغن گیاه کرچک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- 5- Bartz, W.J. 1998. Lubricants and the environment. Tribology International. Vol 31(1). pp 35-47.
- 6- Chowdhury, A. Mitra, D. Biswas, D. 2013. Biolubricant synthesis from waste cooking oil via enzymatic hydrolysis followed by chemical esterification. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Vol 88. No 1. pp 139-144.
- 7- Fox, N. Stachowiak, G. 2007. Vegetable oil-based lubricants - a review of oxidation. Tribology International. Vol 40. No 7. pp 1035-1046.
- 8- Habibullah, M. Ashraful, A. M. Salimon, J. Salih, Yousif, E. 2012. Improvement of pour point and oxidative stability of synthetic ester base stocks for biolubricant applications. Arabian Journal of Chemistry. Vol 5. pp. 193-200.
- 9- Honary, L.A. Richter, E. 2011. Historical Development of Vegetable Oil-Based Lubricants Biobased Lubricants and Greases. Technology and Products. pp. 1-8.
- 10- L.R. Rudnick, "Synthetics, mineral oils, and bio-based lubricants: chemistry and technology", CRC press, 2013.
- 11- Lathi, P.S. Mattiasson, B. 2007. Green approach for the preparation of biodegradable lubricant base stock from epoxidized vegetable oil. Applied Catalysis B: Environmental. Vol 69. No 3, pp. 207-212.
- 12- Madankar, C.S. Dalaia, A.K. Naik, S.N. 2012. Green synthesis of biolubricant base stock from canola oil. Industrial crops and products. Vol 44. Pp.139-144.



- 13- Mobarak H.M. Niza Mohamad, E. Masjuki, H.H. Kalam, M.A. Al Mahmud, K.A.H. 2014. The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 33, pp. 34-43.
- 14- Rousseau, D. 2004. Chemical and physical properties of canola and rapeseed oil. *Rapeseed and Canola oil production, processing, properties and uses*. Gunstone FD, Blackwell pub. Ltd (Oxford, UK), pp. 79-110.
- 15- Sharma, R.V. and Dalai, A.K. 2013. Synthesis of bio-lubricant from epoxy canola oil using sulfated Ti-SBA-15 catalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*. Vol 142-143.
- 16- Silva, J.A.C. Habert, A.C. Freire, D,M,G. 2013. A potential biodegradable lubricant from castor biodiesel esters. *Lubrication Science*. Vol 25. No 1. pp. 53-61.
- 17- Wua, X. Zhanga, X. Yangb, S. Chena H. Wang, D. 2000. The Study of Epoxidized Rapeseed Oil Used as a Potential Biodegradable Lubricant. *Journal of American Oil Chemists Society*. Vol 77. No 5. pp 561-563.
- 18- Yunus, R. Fakhru'l-Razi, A. Ooi, T,L. Omar, R. Idris, A. 2005. Synthesis of palm oil based trimethylolpropane esters with improved pour points. *Industrial & engineering chemistry research*. Vol 44. No 22. pp 8178-8183.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Optimization of Biolubricant Production from Sunflower Waste Cooking Oil Using Response Surface Method

### Abstract

Engine oil is one of the most essential fluids in an engine which by lubricating different moving parts of engine acts as blood in body's blood system. Biolubricants are a new generation of lubricants which are renewable and biodegradable and are produced from chemical modification of vegetable oils. Vegetable oils have weak stability against oxidation and unfavorable behavior in low temperatures. In this study epoxidation method was used in order to increase oxidation stability of waste sunflower cooking oil to be used as biolubricant. Then by using RSM method reaction efficiency was modeled as a quadratic regression equation and optimized points obtained for independent variables. The maximum amount of reaction efficiency was 82.91% and optimized values for independent variables were; 53.66 gr of acetic acid, 30.11 gr of  $H_2O_2$  and 4.09 hr of reaction time.

**Keywords:** Biolubricant, Waste cooking oil, RSM, Epoxidation