

## مطالعه آزمایشگاهی اثر مواد کاهنده نقطه ریزش نفت خام

ترانه جعفری بهبهانی<sup>۱\*</sup>، علی اکبر میران بیگی<sup>۲</sup>، بهرام قنبری<sup>۳</sup>

۱- استادیار مهندسی شیمی، پژوهشگاه صنعت نفت

۲- استادیار شیمی، پژوهشگاه صنعت نفت

۳- استادیار شیمی، دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۰۷

پیام نگار: jafarit@ripi.ir

### چکیده

تبلور و رسوب ترکیبات واکسی به بروز مشکلات زیادی در مراحل تولید، انتقال، ذخیره‌سازی و انجام فرایندهای مختلف مربوط به نفت خام و یا فراورده‌های آن منجر می‌شود. در این مقاله اثر مشتقات فولرن بر ساختارهای بسیاری از نوع پلیمری، آسفالتین و واکس استخراج شده از نفت خام در کاهش نقطه ریزش و بهبود رفتار شارش شناختی نفت خام واکسی به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که مشتق فولرن با ماده افزودنی بسیاری موجب کاهش بیشتر نقطه ریزش نفت خام در کلیه غلظت‌ها می‌شود. همچنین، نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهند که در یک دما و تنش برشی ثابت افزایش غلظت ماده افزودنی موجب کاهش گرانروی می‌شود. در حالی که در غلظت و تنش برشی ثابت کاهش دما موجب افزایش گرانروی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که تنش برشی بر کاهش گرانروی تأثیر چشمگیری می‌گذارد.

کلیدواژه‌ها: نفت خام، نقطه ریزش، واکس

### ۱- مقدمه

سه سازوکار پی در پی، تشکیل هسته، رشد، و تشکیل خوشه را طی می‌کند [۱ و ۲]. روش‌های مستقیم برای کنترل رسوب واکس در شرایط عملیاتی، شامل حذف مکانیکی به کمک واکس روب‌ها، گرمادهی در خطوط لوله و کنترل توسط مواد شیمیایی مانند بازدارنده‌ها هستند. معمولاً، تلفیقی از روش‌های شیمیایی و مکانیکی به کار گرفته می‌شود. از لحاظ اقتصادی و عملیاتی، تزریق مواد شیمیایی به سیستم به منظور کنترل پدیده رسوب واکس روش مناسبی به نظر می‌رسد. اگر چه در حال حاضر نیز مواد اصلاح‌کننده به منظور کاهش رسوب واکس به کار گرفته می‌شوند، ولی اطلاعات کمی در مورد سازوکار اثر این مواد بر هر یک از مراحل تبلور از قبیل تشکیل هسته، رشد، و تشکیل خوشه موجود است. برای پیشرفت فناوری با هدف ارائه مواد بازدارنده جدید شناخت عمیق از

برخی نمونه‌های نفت خام چندان مواد واکسی دارند که انتقال آنها در خطوط لوله، به خصوص در فصلهای سرد سال، بسیار دشوار است. تشکیل بلورهای واکس در دماهای کم، سبب کاهش سیالیت این گونه‌های نفت خام می‌شود. این مشکل در مواردی که نفت خام در مسافت‌های طولانی در خطوط لوله جابه جا می‌شوند فرایند انتقال را به طور چشمگیری مختل می‌کند. بخش عمده واکس‌ها را پارافین‌های خطی تشکیل می‌دهند. واکس‌ها دارای ترکیبات شاخه دار پارافینی، ترکیبات نفتی و گاهی به مقدار کم حاوی ترکیبات آروماتیکی نیز هستند. واکس‌ها را می‌توان به دو گروه عمده واکس‌های بزرگ بلور و واکس‌های ریز بلور تقسیم کرد. تبلور واکس

\* تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه پالایش نفت

کنندگی نفت خام موثرند، پرداخته می‌شود. فولرن  $C_{60}$  بزرگترین مولکول کروی شکل شناخته شده‌ای است که فقط از کربن ساخته شده است. با پیشرفت پژوهش‌ها در مورد این مولکول گوی شکل، هر روز به خاصیت جالبی از آن برمی‌خوریم. امروزه گستره خصوصیات این مولکول به حدی رسیده است که پژوهشگران و صاحبان صنعتی بر این باورند که در آینده‌ای نه چندان دور این نانوذره سهم چشمگیری در تحولات صنعتی خواهد داشت. زمینه‌هایی چون ابزار فناوری‌های اطلاع رسانی<sup>۱</sup>، پزشکی، داروسازی، محیط زیست و صنایع وابسته به انرژی از جمله عرصه‌هایی‌اند که افق‌های آتی کاربردهای فولرن را تشکیل می‌دهند [۴ و ۵]. تفاوت ساختاری عمده فولرن‌ها با گرافیت و الماس (به‌عنوان سه آلوتروپی کربن) در این است که ساختار این نانوذره‌ها بسته است و به این ترتیب در آنها اتم‌های کربن به هیچ اتم دیگری (جز کربن) متصل نیستند. برخی دیگر از خواص فولرن  $C_{60}$  در جدول (۲) درج شده‌اند [۶ و ۷]:

سازوکار تشکیل رسوب واکس در توده مایع ضروری به نظر می‌رسد. اصولاً با در نظر گرفتن کلیه عوامل اقتصادی، استفاده از مواد افزودنی برای کاهش نقطه ریزش و تسهیل انتقال انواع نفت خام با واکس زیاد، مناسب‌ترین روش برای این منظور شناخته شده است [۳]. انواع ترکیبات شیمیایی کاهنده نقطه ریزش نفت خام در جدول (۱) درج شده است.

با توجه به گسترش کاربرد فولرن در صنایع نفت، در این مقاله تلاش شده تا اثر فولرن در بهبود نقطه ریزش و رفتار شارش‌شناختی انواع نفت خام واکسی مورد ارزیابی قرار گیرد. باید گفت که تاکنون گزارشی مبنی بر بهبود رفتار انواع نفت خام واکسی توسط فولرن گزارش نشده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش تاثیر مشتقات فولرن  $C_{60}$  بر کاهش نقطه ریزش و بهبود عملکرد شارش‌شناختی نفت خام بررسی شد. در ابتدا، به بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی فولرن ( $C_{60}$ ) که در روان

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی کاهش دهنده نقطه ریزش نفت خام.

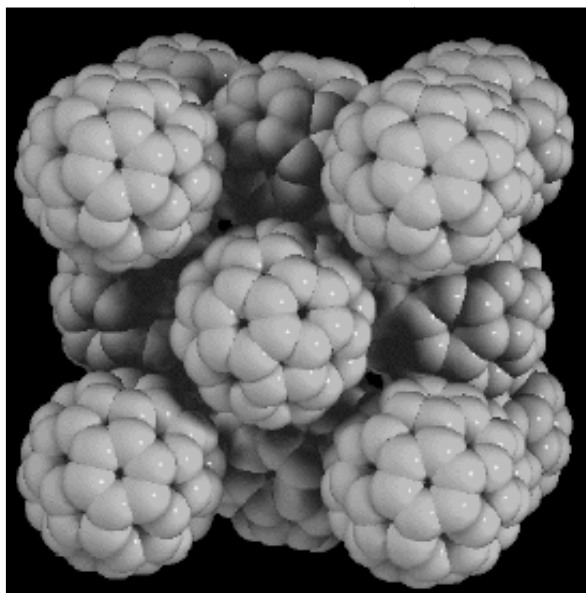
توضیحات	ترکیب شیمیایی
به مقدار چند صد قسمت در میلیون	همسپار آکرلیک استر با آلایل اترها
	اوره و مشتقات آن
	جوربسپار <sup>۲</sup> آکرلیک استر
همسپارهای اتیلن - وینیل استات به عنوان چارچوب به همراه استخلاف‌های پیوند شده ای مانند: دی کربوکسیلیک آمیدهای غیراشباع، دی کربوکسیلیک اسید نیمه آمیدی و نمک‌های آمونیم نیمه آمیدی	بسپارهای پیوندی <sup>۳</sup>
مشتقات فولرن با گروه‌هایی مانند آنیلین‌ها و فنل‌ها	فولرن‌های استخلاف شده <sup>۴</sup>

جدول ۲. برخی از خواص فولرن  $C_{60}$  شامل خواص موثر در آثار روان‌کنندگی آن [۸].

سیاه	رنگ
بیست وجهی	ساختار
۱/۷ گرم بر سانتیمتر مکعب	چگالی
تقریباً ۱ نانو متر	اندازه مولکول
تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس	پایداری گرمایی
۱۸ گیگا پاسکال	مدول لانگ

1. IT devices
2. Homopolymer
3. Graft Polymer
4. Substituted Fullerene

چنانکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود، مولکول  $C_{60}$  در دمای اتاق در یک شبکه مکعبی مرکز وجوه پر<sup>۱</sup> متبلور می‌شود که در آن وابستگی مولکول‌های  $C_{60}$  به یکدیگر بر اساس ربایشهای واندر والسی<sup>۲</sup> استوار است.



شکل ۱. ساختار یک شبکه مکعبی مرکز وجوه پر از مولکول‌های فولرن  $C_{60}$ .

به علت حضور چنین ربایشهای ضعیفی میان مولکول‌های فولرن  $C_{60}$  این نانو ذرات حتی در حالت متبلور در دماهای بیشتر از ۲۶۵ درجه سلسیوس نسبت به یکدیگر دارای چرخش‌های آزادند. اما این شبکه ی بلوری در دماهای کمتر تغییر می‌یابد و نیروهای الکترواستاتیکی<sup>۳</sup> نیز به جاذبه‌های واندرالسسی پیشین اضافه می‌شوند. رفتار فولرن  $C_{60}$

در دماهای مندرج در جدول (۳) جمع‌بندی شده‌اند [۹]: در ابتدا به معرفی روش‌های سنتز مشتقات فولرن  $C_{60}$  خالص و یا مخلوط فولرن‌های  $C_{60}$  و  $C_{70}$  با گروه‌های عاملی مختلف می‌پردازیم. این مشتقات با ضرورت قابل حل بودن مشتقات در نفت خام و به منظور بررسی تاثیر آنها در وهله نخست بر دمای ریزش نفت خام است. برای این منظور، سعی شده است تا مشتقاتی از فولرن  $C_{60}$  فراهم آید که در نفت خام محلول باشند. همچنین در این مسیر از ماده بسیاری تجارتي که برای بهبود سیالیت آن در خطوط لوله استفاده می‌شود، نیز بهره گرفته شد و فرایند مشتق سازی بر روی آنها انجام شد. در ارتباط با شناسایی این مشتقات باید گفت که در طیف  $^{13}C$  NMR فولرن  $C_{60}$  خالص یک نوار جذبی شاخص در ناحیه ۱۴۳ ppm وجود دارد. در فرایندهای مشتق سازی و قرار گرفتن گروه‌های عاملی بر روی نانوذره به علت کاهش تقارن ساختار کروی آن به جای این نوار چندین نوار دیگر ظاهر می‌شود که مشخصه تشکیل مشتقات است.

### ۳- شرح آزمایش‌ها

۳-۱ مواد مورد نیاز: در این پژوهش یک نمونه نفت خام واکسی به‌منظور مطالعات شارش‌شناختی و تاثیر مواد کاهنده نقطه ریزش و بهبوددهنده رفتار شارش‌شناختی انتخاب شد. مشخصات این نفت خام در جدول (۴) درج شده است.

مخلوط فولرن‌ها با درجه خلوص ۷۰ تا ۸۰ درصد برای  $C_{60}$  و ۲۰ تا ۳۰ درصد برای  $C_{70}$  تهیه شد. همچنین برای جداسازی فولرن‌های  $C_{60}$  و  $C_{70}$  از حلال تولوئن با درجه خلوص ۹۹/۵ استفاده شده است.

جدول ۳. برخی رفتارهای وابسته به ساختار فولرن  $C_{60}$ .

در دمای کمتر از ۲۶۵ درجه سلسیوس	در دمای بیشتر از ۲۶۵ درجه سلسیوس
ساختار بلوری $SC^4$	ساختار بلوری fcc
مولکول‌ها نسبت به هم دارای جهت گیری‌اند	کلیه مولکول‌های نسبت به هم از چرخش آزاد برخوردارند
ربایشهای واندرالسسی + نیروهای الکترواستاتیکی	ربایشهای واندرالسسی
اندازه ذرات، ۱/۴۰۴ نانومتر	اندازه ی ذرات ۱/۴۱۷ نانومتر

1. fcc lattice
2. Van Der Waals Attractions
3. Electrostatic Force
4. Simple Cubic

جدول ۴. مشخصات نفت خام واکسی مورد مطالعه.

مشخصات	مقدار	روش آزمایش
گرانی	۰/۸۷۰۱	ASTM D-4052
گوگرد (% WT)	۰/۲۸	ASTM D-2622
نیترژن (PPM)	۱۴۰۰	ASTM D-3228
آب (% VOL)	۰/۷	ASTM D-95
نمک (P.T.B)	۱۴۰	ASTM D-3230
گرانروی (۴۰ درجه سلسیوس) (c.St.)	۱۱/۶۵	ASTM D-445
نقطه ریزش (°C)	۱۸	ASTM D-97
فشار بخار (psia)	۳/۵	ASTM D-323
آسفالتین (% WT)	۰/۱۳	IP-143
واکس (% WT)	۱۳	BP-327

### ۳-۲ روش ساخت مشتقات فولرن

در کلیه آزمایشها این نکات رعایت شده‌اند:

(الف) نسبت مولی ماده واکنش دهنده نسبت به فولرن همواره اضافی است.

(ب) رنگ مشتقات تهیه شده فولرن به علت نوارهای جذبی قوی در ناحیه مرئی تیره و حالت فیزیکی آنها به صورت محصولات نیمه جامد است.

(ج) به دلیل آمیختگی مستقیم مواد واکنش دهنده و عدم خالص سازی محصولات، جز در موارد یادشده، وزن محصول واکنشها معادل مجموع وزن مواد اولیه به کار رفته است.

### ۳-۳ تهیه مشتق فولرن با ماده بسپاری

مقدار ۱۰/۰۰ گرم از بسپار اتیل وینیل استات را با ۰/۱۱ گرم فولرن تحت جو ازت و در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه گرم می‌کنیم سپس به آن ۰/۵ میلی لیتر (۱۰ قطره) دی ترشیاری بوتیل پراکسید می‌افزاییم. آنگاه، واکنش به مدت دو ساعت در دمای یاد شده ادامه می‌یابد. ماده ی تشکیل شده بدون خالص سازی به کار گرفته می‌شود.

### ۳-۴ تهیه مشتق فولرن خالص با آسفالتین استخراج شده از نفت خام

مقدار ۱۰/۰۵ گرم از آسفالتین به همراه با ۰/۱۰ گرم فولرن C<sub>60</sub> در جو ازت تا دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس قرار می‌گیرد و هم زده

می‌شود. پس از رسیدن به دمای گفته شده در بالا، به آن ۰/۲۵ میلی لیتر دی ترشیاری بوتیل پراکسید اضافه می‌شود تا واکنش آغاز شود؛ مخلوط به مدت ۲ ساعت در این شرایط قرار می‌گیرد. محصول واکنش پس از سرد شدن و بدون خالص سازی بیشتر استفاده می‌شود.

### ۳-۵ تهیه مشتق فولرن خالص با واکس های استخراج شده از نفت خام

مقدار ۱۰/۰۰ گرم از واکس یادشده را با ۰/۱۰ گرم فولرن C<sub>60</sub> می‌آمیزند و وارد واکنش می‌کنند تا محصول تشکیل شود.

### ۳-۶ تهیه مشتق فولرن خالص با مخلوط چندین واکس استخراج شده از نفت خام

مقدار ۱۰/۰۰ گرم از مخلوط واکس های برشمرده در زیر را به همراه با ۰/۱۰ گرم فولرن C<sub>60</sub> می‌آمیزند و سپس وارد واکنش می‌کنند تا محصول تشکیل شود.

برای ثبت طیف‌های فرورسرخ و الکترونی در ناحیه فرابنفش - مرئی با شرایط مندرج بر روی طیف هاز دستگاه طیف - نورسنج استفاده شد. طیف‌های تشدید مغناطیسی هسته کربن در حلال بنزن تهیه شد. جابه‌جایی‌های شیمیایی در این طیف ها اندازه گیری شدند. همچنین، این طیف‌ها در شرایطی با تعداد واپاشی القایی آزاد معادل ۳۲۰۰، با پهنای پالس ۳۰ درجه و تاخیر آسایشی معادل ۱۵ ثانیه تهیه شدند.

### ۷-۳ آزمایش‌های کاهش نقطه ریزش و بهبود رفتار شارشناختی نفت خام

برای بررسی رفتار شارشناختی نفت خام و نیز اثر مواد افزودنی بسیاری و مشتقات فولرن بر نفت خام، دستگاه شارسنج به کار گرفته شده است. برای ایجاد تنش‌های مختلف بر نفت خام، از میله نوع TL در محدوده TL5 تا TL7 استفاده شده است [۱۱]. در این آزمایشها، آهنگ تنش در محدوده  $20 \text{ s}^{-1}$  تا  $200 \text{ s}^{-1}$  و دمایی در محدوده ۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس تغییر یافته است. برای انجام آزمایشهای شارشناختی مقدار ۱۰ گرم از نفت خام وارد محفظه دستگاه شده و آنگاه به مدت ۳ الی ۴ ساعت در دمای مورد نظر قرار می‌گیرد که حمام متصل به دستگاه شارسنج آن را تأمین می‌کند تا رشد بلورهای واکسی مطابق با دمای مورد نظر تحقق یابد. پس از این مدت زمان، با تغییر سرعت شارسنج، تنش‌های مختلف ایجاد می‌شود و گرانیوی نفت خام در شرایط مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود. دستگاه شارسنج را در شکل (۲) مشاهده می‌کنید.



شکل ۲. شارسنج به کار رفته در بررسی رفتار شارشناختی نفت خام.

برای بررسی عملکرد مواد افزودنی بهبود دهنده جریان (شار)، این مواد در غلظتهای مختلف به نفت خام اضافه شدند و رفتار شارشناختی آنها مجدداً مطالعه شد [۱۱ و ۱۰].

دستگاه اندازه گیری نقطه ریزش از نوع HCP852 ست. در شکل (۳) دستگاه اندازه گیری نقطه ریزش را مشاهده می‌کنید. به منظور بررسی اثر مشتقات فولرن در کاهش نقطه ریزش نفت خام، این مواد با ترکیب متفاوت و در غلظتهای مختلف به نفت خام با نقطه ریزش اولیه  $18^{\circ}\text{C}$  اضافه شدند. سپس مقدار ۲۰ گرم از نفت خام مورد آزمایش در محفظه مخصوص قرار گرفته و مطابق با روش استاندارد ASTM D-97 نقطه ریزش اندازه گیری شد [۱۲].



شکل ۳. دستگاه اندازه گیری نقطه ریزش نفت خام.

#### ۴- نتایج و بحث

نتایج آزمایش تاثیر مواد افزودنی بر نقطه ریزش نفت خام در غلظتهای مختلف در جدولهای (۵) و (۶) درج شده است.

جدول ۵. نتایج نقطه ریزش مشتقات فولرن در بسترهای مختلف.

نقطه ریزش، $^{\circ}\text{C}$	غلظت، ppm	نام نمونه
-۴	۲۰۰۰	مشتق فولرن در بستر بسیاری
+۱۸	۲۰۰۰	مشتق فولرن در بستر آسفالتین
+۱۸	۲۰۰۰	مشتق فولرن در بستر مخلوط واکسها
+۱۸	۲۰۰۰	مشتق فولرن در بستر واكس

جدول ۶- نتایج نقطه ریزش مشتق فولرن در بستر بسپاری.

غلظت (ppm)	نقطه ریزش (°C)
۸۵۰	+۱۰
۱۱۵۰	۰
۲۰۰۰	-۴
۲۲۰۰	-۶
۴۰۰۰	-۷
۴۳۰۰	-۹

با توجه به نتایج مندرج در جدولها، می توان پی برد که انواع مختلف مشتقات فولرن کاهنده نقطه ریزش که در غلظتهای مساوی در یک نفت خام به کار گرفته شوند، لزوماً تاثیر مشابهی ایجاد نمی کنند. از جدولهای بالا، همچنین ملاحظه می شود که همواره مشتق فولرن در بستر پلیمری نقطه ریزش نفت خام را در مقایسه با سایر مشتقات بیشتر کاهش داده است. مثلاً، در غلظت ۲۰۰۰ ppm از مشتق فولرن در بستر بسپاری، نقطه ریزش نفت خام را از ۱۸°C به ۴°C- کاهش داده است. در حالی که در مورد سایر مشتقات فولرن نقطه ریزش در این غلظت تغییری نیافته است. همچنین، در سایر غلظتها این امر مشاهده می شود. از این رو، می توان نتیجه گرفت دو ماده افزودنی متفاوت در غلظتهای مساوی در کاهش نقطه ریزش اثر مشابهی نخواهند داشت. بسته به ترکیب شیمیایی ماده افزودنی درصد کاهش نقطه ریزش متفاوت خواهد بود. همانطور که از نتایج برمی آید، نقطه ریزش به هیچ وجه متناسب با افزایش غلظت ماده افزودنی کاهش نمی یابد. از این رو می توان نتیجه گرفت که کاهش نقطه ریزش مطلوب در یک غلظت بحرانی مشاهده می شود. افزایش بیشتر غلظت ماده افزودنی ممکن است باعث کم شدن تاثیر آن به عنوان کاهنده نقطه ریزش نفت خام شود. غلظت بحرانی

عبارت است از بیشینه غلظتی که در آن بیشترین کاهش نقطه ریزش اتفاق می افتد، و در غلظتهای بالاتر نقطه ریزش ثابت خواهد ماند. نتایج رفتار شارشناختی نفت خام قبل و پس از افزودن مشتقات فولرن در جدولهای (۷) و (۸) درج شده است. نتایج نشان می دهند که در نفت خام، در دماهای بالاتر از نقطه ریزش رابطه خطی بین تنش و میزان برش برقرار است. در این دماها، نفت خام دارای گرانروی ثابتی در دما و فشار ثابت است و گرانروی به میزان برش ارتباطی ندارد. پس، نفت خام در دمای بالای نقطه ریزش دارای رفتار نیوتونی است. اما در دماهای پایینتر از نقطه ریزش نفت خام، در آن رابطه غیر خطی و پیچیده ای بین تنش و میزان برش برقرار است. از این رو، رفتار غیر نیوتونی از خود بروز می دهد. وقتی برش موثر به کار می رود، رفتار غیر نیوتونی به تاخیر می افتد و دمای آن به زیر نقطه ریزش نفت خام کاهش می یابد، که باعث کاهش گرانروی در زیر نقطه ریزش نیز می شود. ولی این پدیده تاثیری بر دمای بالای نقطه ریزش ندارد. پس برش تاثیری معکوس بر خواص جریان در حال سرد شدن به دو صورت پی در پی دارد. اولاً، باعث کاهش گرانروی تا وقوع تنش در برش در ساختار ژلاتینی نفت خام می شود (نقطه انحراف) که از این دما به بعد، جریان غیر نیوتونی می شود و گرانروی افزایش می یابد، تا به نهایت خود می رسد. ثانیاً، با کاهش اندک دما و گذشت زمان، گرانروی به سرعت پائین می آید و در اثر مقاومت ژل تشکیل شده قوی، تنش تسلیمی پدید می آید و تاثیر برشها بر ساختار ژلی بی اثر می شود و گرانروی به حالت ثابت باقی می ماند. بررسی نتایج شارشناسی نشان می دهند که در دما و تنش ثابت، افزایش غلظت ماده افزودنی به کاهش گرانروی می انجامد. نتایج نشان می دهند که در غلظت و تنش ثابت نیز، کاهش دما گرانروی را می افزاید.

جدول ۷. نتایج شارشناختی مربوط به نفت خام.

دما (°C)						نرخ تنش (S <sup>-1</sup> )
5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	
۲۲۲۰	۱۶۸۸	۷۸۰	۷۵/۱	۴۰/۷	۲۴/۱	۲۰
۱۸۰۰	۱۵۰۰	۷۵۵	۷۰/۴	۳۹/۴	۲۲/۱	۳۰
۱۴۰۰	۱۱۰۰	۷۰۶	۶۶/۱	۳۸/۱	۲۰/۴	۵۰
۱۰۲۶	۹۹۰	۶۸۰	۶۴/۴	۳۷/۲	۱۹/۷	۷۰
۹۸۵	۸۱۰	۶۵۰	۵۳/۱	۳۵/۸	۱۹/۱	۱۰۰
۹۵۰	۷۵۰	۶۱۰	۴۹/۵	۴۴/۱	۱۸/۵	۱۵۰
۷۸۰	۷۰۲	۵۹۰	۴۰/۲	۳۳/۴	۱۷/۴	۲۰۰

جدول ۸. نتایج شارشناختی مربوط به مشتق فولرن در بستر پلیمری (تنش برشی  $10^5$ ).

غلظت (ppm)	۳۰°C	۲۰°C	۱۵°C	۱۰°C	۵°C
۲۰۰	۱۴/۹	۴۴/۱	۲۱۰	۴۴۰	۸۰۰
۵۰۰	۱۴/۱	۲۲/۱	۴۴	۲۰۷	۵۰۰
۱۰۰۰	۱۴/۱	۲۵/۱	۵۵	۲۳۰	۵۲۰

### ۵- نتیجه گیری کلی

نتایج نشان می‌دهند که وقتی برش موثر به کار می‌رود، رفتار غیر نیوتونی به تاخیر می‌افتد و دمای آن به زیر نقطه ریزش نفت خام کاهش می‌یابد. بررسی نتایج شارشناختی نشان می‌دهد که در دما و تنش ثابت نیز افزایش غلظت ماده افزودنی به کاهش گرانیروی می‌انجامد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که در غلظت و تنش ثابت، کاهش دما موجب افزایش گرانیروی می‌گردد.

### مراجع

- [5] Moradi, G., Mohadesi, M., Moradi, M., "Prediction of wax disappearance temperature using artificial neural networks", J. Pet. Sci. Eng., 108, 74-81, (2013).
- [6] Machado Andre, L. C., Lucas, E. F., Gonzaleze, G., "Poly(ethylene-co-vinyl acetate) (EVA) as wax inhibitor of aBrazilian crude oil: oil viscosity, pour point and phasebehavior of organic solutions", J. Pet. Sci. Eng., 32, 159-165, (2001).
- [7] Zhang, J., Wu, Ch., Li, W., Wang, Y., Cao, H., "DFT and MMcalculation: the performance mechanism of pour pointdepressants study", Fuel, 83, 315-326, (2004).
- [8] Hoffmann, R., Amundsen, L., Journal of Petroleum Science and Engineering, " Influence of wax inhibitor on fluid and deposit properties" 107, 12-17, (2013).
- [9] El-Gamal, I. M., " Combined effects of shears and flow improvers: the optimum solution for handling waxy crudes below pourpoint", Colliods surf., 135, 283-291, (1998).
- [10] JafariBehbahani, T., Golpasha, R., Akbarnia, H., Dahaghin, A., " Effect of wax inhibitors on pour point and rheological properties of Iranian waxy crude oil", Fuel Processing Technology, 89, 973-977, (2008).
- [11] JafariBehbahani T., Dahaghin A., Kashefi, K., " Effect of Solvent on Rheological Behavior of Iranian Waxy Crude Oil", Petrol. Sci. Technol., 29, 933-941, (2011).
- [12] Annual Book of ASTM Standard, ASTM: Philadelphia, Section 5, petroleum products lubricant and fossil fuels, American Society for Testing and Materials: Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Oils, Designation: D97 Easton MD, (2005).
- [1] Pedersen, K. S., Ronningsen, H. P., "Influence of wax inhibitors on wax appearance temperature, pour point, and viscosity of waxy crude oil", Energy Fuels, 17, 321-328, (2003).
- [2] Chanda, D., Sarmah, A., Borthakur, A., Rao, K. V., Subrahmanyam, B., Das, H.C., " Combined effect of asphaltenes and flow improvers on the rheological behavior of Indian waxy crude oil", Fuel, 77, 1163-1167, (1998).
- [3] Chanda, D., Sarmah, A., Borthakur, A., Rao, K. V., Subrahmanyam, B., Das, H.C., " Alkyl fumarate-vinyl acetate copolymer as flow improver for high waxy Indian crude oil", Energy Fuels, 10, 844-848, (1996).
- [4] Hafiz, A. A., Khidr, T. T., "Hexa-triethanolamineoleate esters as pour point depressant for waxy crude oil", J. Pet. Sci. Eng., 56, 296-302, (2007).