

## بررسی قدرت بازدارنده های دودسیل بنزن سولفونیک اسید و کوکونات دی اتانول آمید بر جلوگیری از رسوب آسفالتن در نفت خام با استفاده از روش ویسکومتری

محمد مهدی شادمان<sup>۱</sup>، محسن وفایی سفتی، مهرداد سلیمانی، احمدرضا زنگنه

استان تهران - دانشگاه تربیت مدرس - گروه مهندسی شیمی  
m.shadman@modares.ac.ir

### چکیده

مشکل رسوبات آلی به ویژه آسفالتن ها در مخازن، چاه ها و تجهیزات اثرات زیانباری بر اقتصاد تولید نفت دارد، زیرا سبب کاهش میزان نفت تولیدی، بسته شدن تجهیزات تولید نفت می شوند. اضافه کردن بازدارنده ها به نفت خام، باعث جلوگیری از فرآیند تجمع توده های آسفالتن در نفت خام می شوند. در این مطالعه، اثر بازدارنده ها بر جلوگیری از رسوب آسفالتن با روش اندازه گیری گرانیروی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا غلظت های مختلف از بازدارنده های آروماتیک، آنیونی و غیر یونی (۱۰۰۰ppm، ۲۰۰۰ppm، ۱۰،۰۰۰ppm و ۲۰،۰۰۰ppm) در یک نمونه نفت خام مرده تهیه شد و قدرت بازدارندگی نمونه ها اندازه گیری شد. نتایج نشان می دهد قدرت بازدارندگی بازدارنده ها در غلظت های کم تا متوسط (۱۰۰۰ppm تا ۱۰،۰۰۰ppm) از الگوی منظمی برخوردار است و در ارتباط با گروه های عاملی ساختار شیمیایی بازدارنده ها می باشد.

واژه‌های کلیدی: آسفالتن، رزین، بازدارنده، نقطه شروع رسوب، رسوب، مخزن، چاه نفت

۱- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس

## ۱- مقدمه

آسفالتن‌ها بیشترین بخش قطبی نفت خام می‌باشند و ذرات آسفالتن به صورت توده کلوییدی در نفت خام پراکنده شده‌اند. تجمع بیشتر این توده‌ها منجر به لخته شدن کلوییدها و تشکیل رسوب می‌شود. اغلب مولکول‌های آمفیفیلیک به عنوان پراکنده‌کننده و عامل جلوگیری از تجمع توده‌ها استفاده می‌شود. رزین‌های طبیعی نفت خام به عنوان یک بازدارنده عمل می‌کنند که گروه‌های عاملی آن به عنوان یک عامل ارتباط مابین دو محیط قطبی (آسفالتن‌ها) و محیط غیر قطبی (بالک نفت) عمل می‌کنند [۱]. هنگامی که یک نرمال آلکان به نمونه نفت اضافه می‌شود، تعادل بین مایسل‌ها و فاز بالک نفت مختل می‌شود که این سبب افزایش غلظت آسفالتن‌های مونومری در فاز بالک می‌شود. هنگامیکه غلظت به غلظت نقطه شروع (Onset Point) رسوب رسید، فرآیند رسوب کردن شروع می‌شود [۲]. ترکیباتی که ماهیتی شبیه به رزین‌ها دارند یا سرقطبی شامل گروه‌های اسیدی دارند که می‌توانند به مایسل‌ها متصل شوند، می‌توانند به پایداری مایسل‌ها کمک کنند. این مواد شیمیایی می‌توانند شامل رزین‌های طبیعی باشند که از نفت خام استخراج شده‌اند یا آمفیفیل‌های حلال در نفت (مواد فعال سطحی) باشند. مولکول‌های آمفیفیل حداقل دارای یک سر قطبی و یک دنباله هیدروکربنی بلند می‌باشند. آمفیفیل‌های حلال در نفت، نسبت به آروماتیک‌ها اثر بیشتری بر جلوگیری از رسوب آسفالتن دارد. مدیا (۱۹۹۱)، بر روی آمفیفیل‌های حلال در نفت تحقیقاتی انجام دادند و دریافتند که قطبیت سر قطبی یک آمفیفیل، نقش کلیدی در پایدار کردن آسفالتن‌ها دارد. چانگ و فاگلر (۱۹۹۴)، نشان دادند که دو فاکتور مهم در پایدار کردن آسفالتن‌ها بوسیله آمفیفیل‌ها وجود دارد: ۱- جذب سطحی آمفیفیل بر سطح آسفالتن ۲- استقرار یک لایه پایدار آلکیل در اطراف مولکول‌های آسفالتن [۳ و ۴]. محققان هم چنین مشاهده کردند یک آمفیفیل باید اسید یا شبیه اسید باشد، زیرا پروتون  $H^+$  با آسفالتن‌ها متقابلاً دارای اثر می‌باشد. اگر  $H^+$  با گروه دیگری جانشین شود، آمفیفیل فعالیت خود را از دست می‌دهد. الصحاف و همکاران (۲۰۰۲)، اثر بازدارندگی رزین، تولوئن، نفت بدون آسفالتن (DO) و مواد فعال سطحی انتخابی را آزمایش کرده‌اند. مشاهده کلی این بود که قطبیت سر قطبی این مواد فعال سطحی نقش خیلی مهمی در پایداری مایسل‌های آسفالتن ایفا می‌کند [۵ و ۶]. راجا جونرو همکاران (۲۰۰۶)، ظرفیت بازدارندگی رسوب آسفالتن تعدادی از افزودنی‌های شیمیایی جدید، بر سه نمونه نفت خام برزیلی را بررسی کردند. اتوکسیلات نونیل فنول با جرم مولی پایین، روغن‌های گیاهی (روغن اساسی نارگیل، بادام شیرین، Andiroba، روغن صندل) و اسیدهای آلی (Palmytic و Caprylic، Linoleic) اثر بسیار قوی بر جلوگیری از رسوب آسفالتن نشان می‌دهند [۷]. غلوم و همکاران (۲۰۱۰)، اثر سه نمونه بازدارنده‌های غیرتجاری شامل گزوثیل سبک، گزوثیل سنگین و دیزل که جزو محصولات جانبی فرآیند پالایش می‌باشد را با سه نمونه بازدارنده‌های تجاری برای جلوگیری از رسوب آسفالتن در مخازن مارات کویت مقایسه کردند و در کل به این نتیجه رسیدند که بازدارنده‌های تجاری بازی در مورد نفت خام با محتوای قطبیت کم و رزین زیاد و بازدارنده‌های اسیدی در مورد نفت‌های خام دارای محتوای قطبیت زیاد مؤثر می‌باشند [۸، ۹ و ۱۰]. محمدی و همکاران (۲۰۱۱)، ظرفیت نانوذرات  $TiO_2$ ،  $SiO_2$  و  $ZrO_2$  در نانو سیال‌های بر پایه آلی برای پایدار کردن ذرات آسفالتن در نفت را بررسی کردند و برای تأیید پیوند هیدروژنی مابین آسفالتن‌ها و نانو ذرات، از اندازه‌گیری تفرق نور دینامیک استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که نانوذرات  $TiO_2$  در محیط‌های اسیدی می‌تواند به مقدار زیادی پایداری آسفالتن‌ها را افزایش دهد و نانو ذرات  $ZrO_2$  و  $SiO_2$  اثر ضعیفی بر پایداری آسفالتن‌ها دارند [۱۱].

## ۲- روش‌های آزمایشگاهی

در این بخش مشخصات نمونه های نفت خام و مواد شیمیایی بازراننده های مورد مطالعه بیان شده اند و روش های آزمایشی به کار رفته ذکر شده اند.

## ۲-۱ مشخصات نمونه های نفتی

نمونه های نفت خام استفاده شده در این پروژه، شاملیک نمونه نفت خام مرده سنگین است که متعلق به مخازن هیدروکربوری ایران می باشند. میزان آسفالتن نمونه ها از روش آزمایشی IP143 با نسبت ۱:۳۰ نرمال هپتان به نفت تعیین شده است. میزان رزین، ترکیبات اشباع و آروماتیک ها و هم چنین آسفالتن نمونه ها از روش آزمایشی SARA نیز مشخص شده است. در جدول ۱ این مشخصات ذکر شده اند. مقادیر آسفالتن به دست آمده از روش آزمایشی IP143 با مقادیری که از روش آزمایشی SARA برای نمونه مورد نظر در دسترس بود، منطبق بود، بنابراین صحت روش آزمایشی IP143 مورد تأیید قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات نفت های خام مورد استفاده

نمونه نفت خام	دانسیته ( $^{\circ}$ API)	اشباع	آروماتیک	رزین	آسفالتن
نفت خام مرده	۱۷/۹۶	۳۰/۷۹	۴۲/۱۰	۱۳/۳۶	۱۳/۷۵

## ۲-۲ ویژگی های بازراننده های مورد مطالعه

بازراننده هایی که در این پژوهش انتخاب شده اند، مواد فعال سطحی می باشند که به طور معمول از نظر تفکیک در آب به گروه های بازراننده های آنیونی، غیر یونی، بازراننده های آمفوتریک و مواد شیمیایی متفرقه تقسیم بندی شده اند. بازراننده های مورد استفاده شامل بازراننده های آنیونی (دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی، دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار)، غیر یونی (کوکونات دی اتانول آمید) می باشند [۱۲ و ۱۳].

## ۲-۳ تعیین نقطه شروع رسوب آسفالتن

قدرت بازراندگی بازراننده های مورد مطالعه بوسیله اندازه گیری نقطه شروع رسوب آسفالتن در حضور بازراننده بررسی می شود. همانگونه که در فصل قبل ذکر شده است روش های متعددی برای تعیین نقطه شروع رسوب آسفالتن وجود دارد. در این پژوهش، غلظت های مختلف از بازراننده در نمونه نفتی تهیه شده و با استفاده از روش ویسکومتری تأثیر بازراننده های مختلف بررسی شد. اسکوبیدو و منصور (۱۹۹۶)، تغییرات ویسکوزیته نفت خام را در اثر افزایش حلال رسوب دهنده مورد مطالعه قرار دادند و در تحقیق خود به این نتیجه رسید که نقطه ای بر روی این منحنی وجود دارد که تغییرات ویسکوزیته به شکل شدیدی افزایش می یابد و این نقطه بعنوان شروع رسوب در نظر گرفته می شود (شکل ۱). مقدار حلال رسوب دهنده برای تعیین نقطه شروع آسفالتن، به نوع نفت خام و میزان رزین بستگی دارد. علت افزایش گرانی در نقطه شروع به تشکیل توده های آسفالتن می باشد. از نقطه شروع به بعد بیشترین افزایش را برای ذرات معلق شاهد هستیم. باید توجه داشت که قبل از شروع نقطه تجمع کسر حجمی ذرات معلق با افزایش حلال ته نشین کننده افزایش می یابد. در این نقطه تجزیه فاز جامد وجود ندارد [۱۴ و ۱۵].

## ۲-۴ مواد و دستگاه

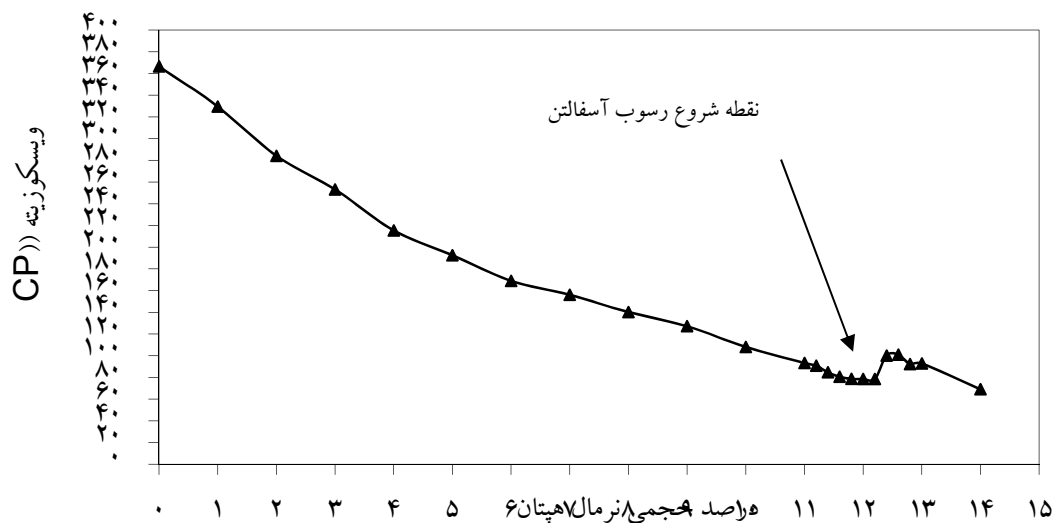
برای استفاده از روش ویسکومتری در این مطالعه حلال رسوب دهنده مورد استفاده نرمال هپتان با خلوص ۹۹ درصد می باشد که دانسیته آن در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد  $(gr/cm^3)$  ۰/۶۸۳ است. ویسکومتر استابینگر آنتون پار مدل SVM3000 ساخت شرکت آنتون پار اتریش مورد استفاده قرار گرفته است. این ویسکومتر گرانیوی دینامیک و دانسیته نمونه های نفتی و سوخت را بر طبق ASTM D7042 اندازه می گیرد. با استفاده از این نتایج، ویسکومتر به طور خودکار گرانیوی سینماتیک را محاسبه می کند که نتیجه آن با مقادیر روش ISO 3104 یا ASTM D445 منطبق است. دقت این ویسکومتر، برای گرانیوی سینماتیک ۰/۲ تا  $20,000 (mm^2/s)$  و گرانیوی دینامیک ۰/۲ تا  $20,000 (mPa.s)$  است. برای اندازه گیری گرانیوی با این دستگاه، حداقل ۲/۵ میلی لیتر نمونه مورد نیاز است. دستگاه مجهز به ترموستات پلیتیه برای تنظیم دما است. این دستگاه در سرعت برشی ثابتی کار می کند. در این پژوهش گرانیوی نمونه ها در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد اندازه گیری شده است. غلظت های مختلف نرمال هپتان در نفت به کمک میکروپیپت تهیه شد. پس از افزودن نرمال هپتان باید به نمونه زمان کافی داد تا به تعادل حرارتی و شیمیایی برسد. بنابراین نمونه شامل حلال رسوب دهنده نرمال هپتان در ظرف های دربسته، به مدت ۱ ساعت داخل شیکر قرار گرفت تا ضمن اختلاط کافی نمونه به تعادل برسد. نقطه شروع رسوب آسفالتن نمونه ها با دقت ۰/۲ درصد حجمی نرمال هپتان در نفت به دست آمده است.

### ۳- بحث و نتیجه گیری

در بخش قبل مشخصات مواد و روش های آزمایشی انجام گرفته بیان شد. اثر بازدارنده ها بر جلوگیری از تشکیل رسوب آسفالتن با استفاده از مقایسه نقطه شروع رسوب آسفالتن در حضور و عدم حضور بازدارنده انجام می شود. پیش بینی نقطه رسوب و به تأخیر انداختن آن با استفاده از بازدارنده مسئله مهمی در جلوگیری از رسوب آسفالتن می باشد. قدرت بازدارندگی توانایی بازدارنده در به تأخیر انداختن تشکیل لخته های آسفالتن می باشد، که این مربوط به برهم کنش بازدارنده و ذرات آسفالتن می باشد. بنابراین قدرت یک بازدارنده معیاری از توانایی تغییر نقطه شروع رسوب آسفالتن می باشد. در این بخش قدرت بازدارندگی بازدارنده های مورد مطالعه در مورد نمونه نفت خام مرده بررسی شده است.

### ۳-۱ تعیین نقطه شروع رسوب نمونه نفت خام

شکل ۱ نتایج حاصل از روش ویسکومتری در تعیین نقطه شروع رسوب آسفالتن نمونه نفت خام را نشان می دهد. مطابق با شکل ۱، نقطه ۱۲/۲ درصد حجمی نرمال هپتان  $(n-C_7/cm^3 \cdot 0/2)$  به عنوان نقطه شروع رسوب نمونه نفت خام در نمودار در نظر گرفته می شود. از این نقطه به بعد، افزایش تشکیل ذرات معلق در نمونه مشاهده شده است و با افزایش نرمال هپتان بیشتر به نمونه، مقدار رسوب آسفالتن بعد از نقطه ته نشینی به سرعت افزایش پیدا می کند و میزان ذرات معلق موجود در نمونه به بیشترین مقدار خود می رسد. با افزایش غلظت نرمال هپتان، قطر ذرات افزایش می یابد و اثرات هیدرودینامیک اهمیت پیدا می کند و تنش های برشی دستگاه ویسکومتر در طول اندازه گیری گرانیوی، سبب تجزیه لخته های با قطر بزرگ می شود. این موضوع رفتار نا منظم گرانیوی بعد از نقطه شروع رسوب را توجیه می کند.



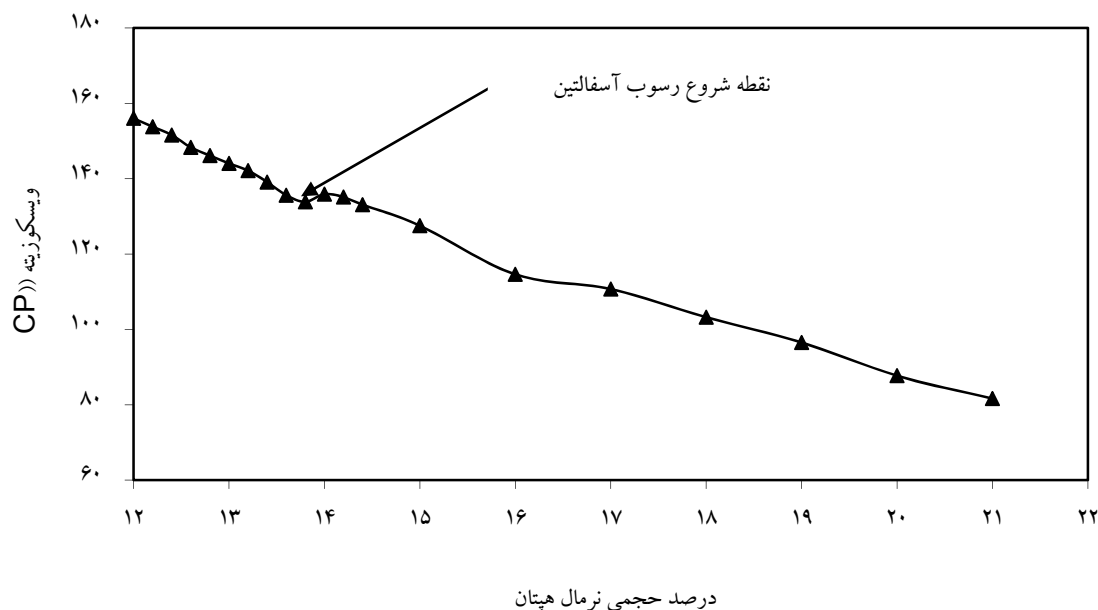
شکل ۱- تعیین نقطه شروع آسفالتن نمونه نفت خام

### ۲-۳ معیار مقایسه قدرت بازدارندگی

به منظور مقایسه قدرت بازدارندگی بازدارنده‌ها در غلظت‌های مختلف، "معیار مقایسه قدرت بازدارندگی" به صورت تفاضل نقطه شروع در حضور بازدارنده و نقطه شروع در عدم حضور بازدارنده تقسیم بر نقطه شروع در عدم حضور بازدارنده تعریف می‌شود. در ادامه به تعیین معیار مقایسه قدرت بازدارندگی بازدارنده‌ها با توجه به نقطه شروع نمونه‌های نفتی پرداخته می‌شود.

### ۳-۳ دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی

شکل ۲ نقطه شروع رسوب آسفالتن نمونه نفت خام حاوی ۱۰۰۰ ppm دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل غلظت ۱۰۰۰ ppm این بازدارنده نقطه شروع رسوب آسفالتن را از ۱۲/۲ درصد حجمی نرمال به ۱۳/۸ درصد حجمی نرمال هپتان تغییر می‌دهد. جدول ۲ داده‌های تعیین نقطه شروع آسفالتن غلظت‌های ۲۰۰۰ ppm، ۱۰،۰۰۰ ppm و ۲۰،۰۰۰ ppm دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تعیین نقطه شروع نمونه نفت خام مرده به همراه دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی با غلظت ۱۰۰۰ ppm

جدول ۲ - مقایسه بین قدرت بازدارندگی غلظت های مختلف دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی در نفت خام مرده

معیار مقایسه قدرت بازدارندگی (درصد)	نقطه شروع رسوب آسفالتین (درصد حجمی نرمال هپتان)	غلظت (ppm)
۱۳/۱۱	۱۳/۸	۱۰۰۰
۱۶/۳۹	۱۴/۲	۲۰۰۰
۴۹/۱۸	۱۸/۲	۱۰,۰۰۰
۷۳/۷۷	۲۱/۲	۲۰,۰۰۰

جدول ۲ نشان می دهد هر چه غلظت بازدارنده دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی بیشتر باشد، قدرت بازدارندگی بیشتر می شود، زیرا با افزایش غلظت بازدارنده میزان بیشتری از رزین ها جذب مایسل های آسفالتن می شود و برای ناپایدار کردن آسفالتن ها میزان نرمال هپتان بیشتری نیاز می باشد و نقطه شروع رسوب آسفالتن افزایش می یابد. بازدارنده دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی به دلیل قطبیت گروه (SO<sub>3</sub>H) و هم چنین داشتن زنجیر هیدروکربنی (غیرقطبی)، نسبت به تولوئن اثر بیشتری بر جلوگیری از رسوب آسفالتن دارد.

### ۳-۴ دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار

برای بررسی اثر شاخه دار شدن زنجیر هیدروکربنی در بازدارنده ها، بازدارنده دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار مورد بررسی قرار داده شد. شکل ۳ نقطه شروع نمونه نفت خام مرده حاوی ۱۰۰۰ ppm دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار را نشان می دهد. مطابق با این شکل غلظت ۱۰۰۰ ppm این بازدارنده نقطه شروع رسوب آسفالتن را از ۱۲/۲ درصد حجمی

نرمال هپتان به ۱۳/۶ درصد حجمی نرمال هپتان تغییر می دهد. جدول ۳ داده های تعیین نقطه شروع آسفالتن غلظت های ۲۰۰۰ ppm، ۱۰۰۰۰ ppm و ۲۰۰۰۰ ppm دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار را نشان می دهد.



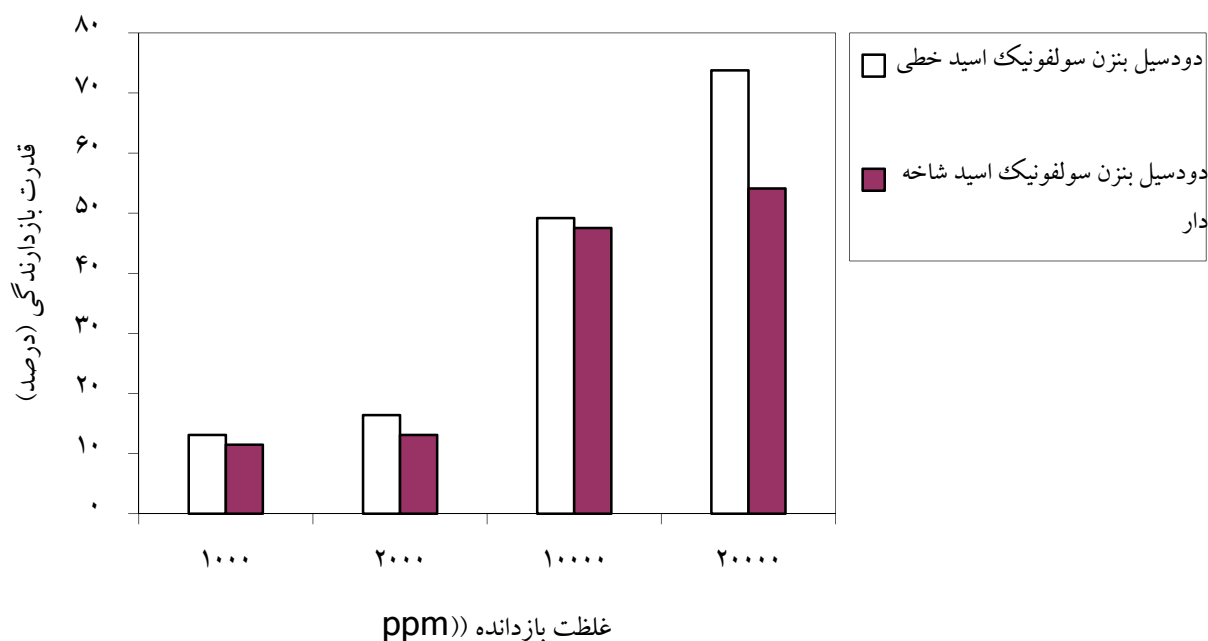
شکل ۳- تعیین نقطه شروع نمونه نفت خام مرده به همراه دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار با غلظت ۱۰۰۰ ppm

جدول ۳- مقایسه بین قدرت بازدارندگی غلظت های مختلف دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار در نفت خام مرده

معیار مقایسه قدرت بازدارندگی (درصد)	نقطه شروع رسوب آسفالتن (درصد حجمی نرمال هپتان)	غلظت (ppm)
۱۱/۴۸	۱۳/۶	۱۰۰۰
۱۳/۱۱	۱۳/۸	۲۰۰۰
۴۷/۵۴	۱۸	۱۰۰۰۰
۵۴/۱۰	۱۸/۸	۲۰۰۰۰

شکل ۴، مقایسه بین قدرت بازدارندگی دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی و شاخه دار را نشان می دهد. براساس شکل ۴، قدرت بازدارندگی دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار نسبت به دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی کمتر می باشد. تفاوت بین قدرت بازدارندگی این دو نوع اسید در غلظت های بالا بیشتر آشکار می باشد. کاهش قدرت بازدارندگی دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار نسبت به نوع خطی آن، در نگاه اول به کاهش طول زنجیر هیدروکربنی در اثر شاخه دار شدن مربوط می باشد. چانگ مشاهده کرد با کاهش طول زنجیر هیدروکربنی آمفیفیل ها کارایی آن ها در پایدار کردن آسفالتن ها کمتر می شود و آمفیفیل ها با زنجیر کوتاه نمی توانند مولکول های آسفالتن را به حالت کلوییدی در آورند زیرا یک لایه پایدار فضایی تشکیل می دهند که می تواند به همراه آسفالتن ها ته نشین شود. اثر اصلی شاخه دار شدن

زنجیر هیدروکربنی، ممانعت فضایی گروه‌های متیل در جذب بازدارنده‌ها بر روی مایسل‌های آسفالتن می‌باشد. ممانعت فضایی گروه متیل در زنجیر هیدروکربنی دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار، سبب کاهش میزان بازدارنده مؤثر در نفت خام شده و بازدارنده به صورت مونومری در فاز بالک نفت افزایش یافته و کمتر جذب ملکول‌های آسفالتن می‌شوند.

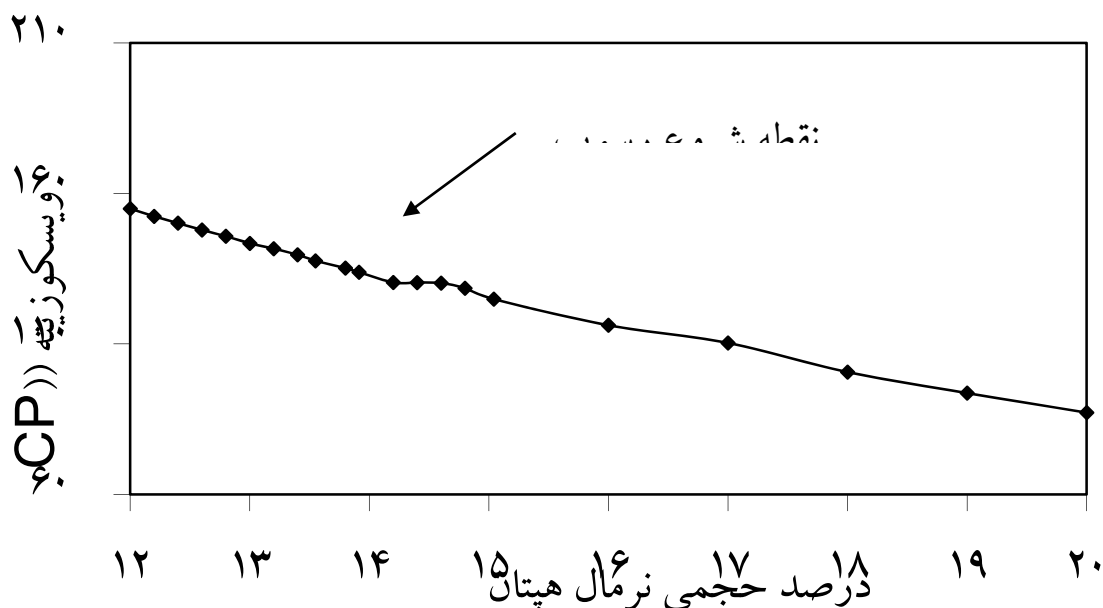


شکل ۴- مقایسه قدرت بازدارندگی دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی و شاخه دار

### ۳-۵ اثر بازدارنده‌های غیر یونی

کوکونات دی اتانول آمید به فرم کلی  $R - CO - N (CH_2CH_2OH)_2$  می‌باشد و ماهیتی شبیه به روغن اساسی نارگیل دارد. در فصل دوم اشاره شد که روغن‌های گیاهی مخلوط‌هایی هستند که به دلیل ماهیت شیمیایی شان در نفت خام‌ها به مقدار زیادی محلول هستند و حاوی ترکیباتی شبیه به آمفیفیل‌ها می‌باشند که در جلوگیری از رسوب آسفالتن مؤثر هستند. جدول ۴ داده‌های تعیین نقطه شروع آسفالتن غلظت‌های ۲۰۰۰ ppm، ۱۰،۰۰۰ ppm و ۲۰،۰۰۰ ppm کوکونات دی اتانول آمید را نشان می‌دهد.





شکل ۵- تعیین نقطه شروع نمونه نفت خام مرده به همراه کوکونات دی اتانول آمید با غلظت ۱۰۰۰ppm

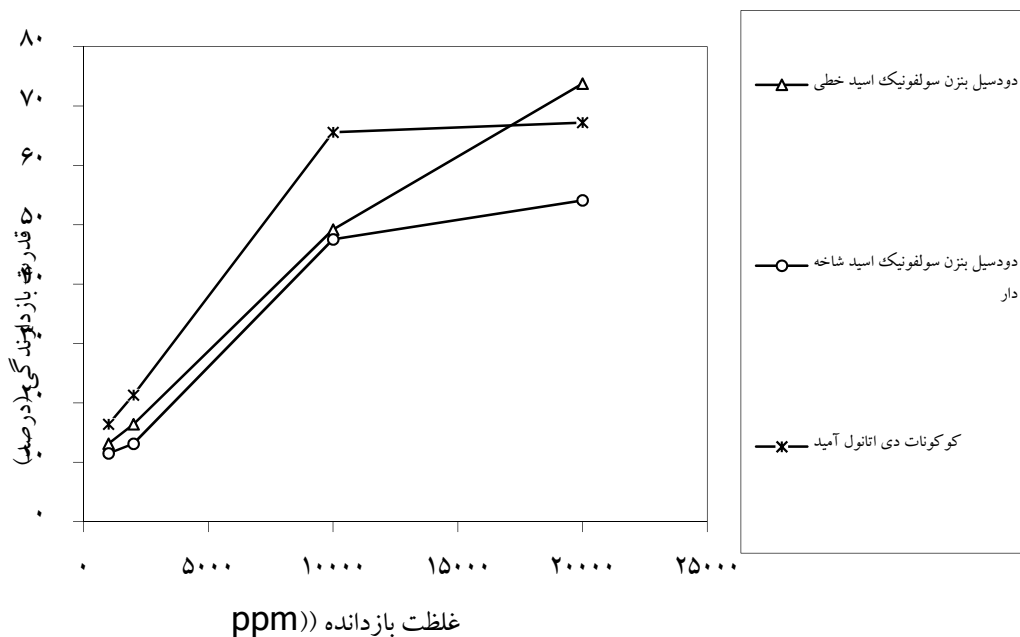
جدول ۴- مقایسه بین قدرت بازدارندگی غلظت های مختلف کوکونات دی اتانول آمید در نفت خام مرده

غلظت (ppm)	نقطه شروع رسوب آسفالتن (درصد حجمی نرمال هیتان)	معیارمقایسه قدرت بازدارندگی (درصد)
۱۰۰۰	۱۴/۲	۱۶/۳۹
۲۰۰۰	۱۴/۸	۲۱/۳۱
۱۰,۰۰۰	۲۰/۲	۶۵/۵۷
۲۰,۰۰۰	۲۰/۴	۶۷/۲۱

جدول ۴ نشان می دهد افزایش غلظت کوکونات دی اتانول آمید در غلظت های بالا، اثر کمی بر قدرت بازدارندگی دارد.

#### ۴- نتیجه گیری

اثر بازدارنده ها بر جلوگیری از فرآیند تجمع آسفالتن به گروه های عاملی و ساختار شیمیایی بازدارنده ها وابسته می باشد. شکل ۶ قدرت بازدارندگی بازدارنده های مطالعه شده را در غلظت های مختلف نمایش می دهد. نتایج زیر با توجه به شکل ۶ مطالب این بخش به دست می آید:



شکل ۶- مقایسه قدرت بازدارندگی بازدارنده‌ها در غلظت‌های مختلف

۱- در مورد همه بازدارنده‌های مذکور، با افزایش غلظت بازدارنده از غلظت‌های ۱۰۰۰ ppm تا ۱۰,۰۰۰ ppm قدرت بازدارندگی زیاد می‌شود. این رفتار نشان می‌دهد در غلظت‌های کم تا متوسط با افزایش غلظت بازدارنده، میزان جذب بازدارنده بر سطح مایسل‌های آسفالتن بیشتر می‌شود.

۲- در مورد بازدارنده‌های کوکونات دی اتانول آمید افزایش غلظت بازدارنده در غلظت‌های بیشتر از ۱۰,۰۰۰ ppm اثری بر قدرت بازدارندگی رسوب آسفالتن ندارد، درمورد این بازدارنده‌ها غلظت بهینه حدود ۱۰,۰۰۰ ppm می‌باشد و در این غلظت بیشترین میزان جذب بازدارنده بر سطح ذرات آسفالتن را داریم، زیرا با افزایش غلظت میزان بازدارنده مونومری در بالک نفت بیشتر می‌شود.

۳- قدرت اسیدی گروه  $\text{SO}_3\text{H}$  در بازدارنده‌های دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی و شاخه دار، سبب افزایش بازدارندگی نسبت به بقیه بازدارنده‌ها می‌شود که این امر به دلیل برهم کنش اسید - باز،  $\text{H}^+$  و آسفالتن‌ها می‌باشد. هم چنین قرار گرفتن زنجیر هیدروکربنی غیر قطبی بر این ترکیبات، سبب می‌شود بازدارنده به صورت پلی مابین محیط قطبی (مایسل‌های آسفالتن) و محیط غیر قطبی (بالک نفت) عمل کنند و این سبب می‌شود غلظت‌های بیشتری از نرمال هپتان برای ناپایداری مورد نیاز باشد.

۴- کاهش طول زنجیر هیدروکربنی به واسطه شاخه دار شدن و ممانعت فضایی بین گروه‌های متیل، سبب کاهش قدرت بازدارندگی دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار نسبت به نوع خطی آن می‌شود.

۵- وجود گروه‌های اسیدی هیدروکسیل (OH) و ماهیت روغن نارگیل کوکونات دی اتانول آمید سبب افزایش قدرت بازدارندگی نسبت به دودسیل بنزن سولفونیک اسید می‌شود. در غلظت‌های بالا کوکونات دی اتانول آمید حالت خودتجمعی پیدا می‌کند و با افزایش غلظت در غلظت‌های بیش از ۱۰,۰۰۰ ppm قدرت بازدارندگی تقریباً ثابت می‌ماند.

## ۵-مراجع

- [1]Speight, J. G., The Chemistry and Technology of Petroleum, 3rd ed, Marcel Dekker, New York, 1999.
- [2]Pedersen, K. S., Christensen, P. L. Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids, CRC Press, Boca Raton, FL, 2007.
- [3]Chang C.L. & Fogler H.S., Stabilization of asphaltenes in aliphatic solvents using alkylbenzene-derived amphiphiles: 1. Effect of the chemical structure of amphiphiles on asphaltene stabilization", Langmuir, Vol. 10, pp. 1749-1757, 1994a.
- [4]Chang C.L. & Fogler H.S., Stabilization of asphaltenes in aliphatic solvents using alkylbenzene-derived amphiphiles. 2. Study of the asphaltene-amphiphile interactions and structures using fourier transform infrared spectroscopy and small-angle x-ray scattering techniques, Langmuir, Vol. 10, pp. 1758-1766, 1994b.
- [5]K. Leontaritis, G. Mansoori, Asphaltene Deposition: Flocculation during oil production and processing: A thermodynamic colloidal model, SPE 16285, San Antonio, TX. 4-6 February, 1989.
- [6]Leon O., Rogel E., Urbina A., Andujar A., Lucas A., Study of the adsorption of alkyl benzene-derived amphiphiles on asphaltene particles, Langmuir, Vol.15, pp. 7653-7657, 1999.
- [7] Rocha Junior L.C., Ferreira M.S. & da Silva Ramos A.C., Inhibition of asphaltene precipitation in Brazilian crude oils using new oil soluble amphiphiles, J. Pet. Sci.Eng, Vol. 51, pp.26-36, 2006.
- [8]Leon O., Contreras E., Rogel E., Dambakli G., Acevedo S., Carbogani L., Espidel J., Adsorption of native resins on asphaltene particles: A correlation between adsorption and activity, Langmuir, Vol.18, pp. 5106-5112, 2002.
- [9]Kraiwattanawong K., Scott Fogler H., Gharfeh S.G., Singh P., Thomason W.H., Chavadej S., Effect of asphaltene dispersants on aggregate size distribution and growth, Energy Fuels, Vol.23, No. 3, pp. 1575-1582, 2009.
- [10]Ghloum E.F., Al-Qahtani M. & Al-Rashid A., Effect of inhibitors on asphaltene precipitation for Marrat Kuwaiti reservoirs, J. Pet. Sci.Eng, Vol. 70, pp.99-106, 2010.
- [11]Mohammadi, M. et al., Inhibition of Asphaltene Precipitation by  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ , and  $ZrO_2$  Nanofluids, Energy & Fuels, 25, 3150-3156, 2011.
- [12]Shadman M. M., Vafaie Sefti M., Saeedi Dehaghani A. H., Dehghani zadeh M., Effect of Inhibitors on Asphaltene Precipitation in Crude Oil Using Viscometric Method, Energy Sources, Part A, 34, pp. 827- 838, 2012.
- [13]Shadman M. M., Dehghani zadeh M., Saeedi Dehaghani A. H., Vafaie Sefti M., Mokhtarian N., "An Investigation of the Effect of Aromatic, Anionic and Nonionic Inhibitors on the Onset of Asphaltene Precipitation", Journal of Oil, Gas and Petrochemical Technology, 1(1), pp.17-28., 2014
- [14]Escobedo J. & Mansoori G.A., Theory of viscosity as a criterion for determination of onset of asphaltene flocculation, SPE 28729, Texas, 20-26 August 1996.
- [15]Mousavi-Dehghani S.A., Riazi M.R., Vafaie-Sefti M. & Mansoori G.A., An analysis of methods for determination of onsets of asphaltene phase separations, J. Petrol. Sci. Eng., Vol. 42, pp. 145-156, 2004.