

بررسی آزمایشگاهی اثر بازدارنده‌ها بر پایداری نمونه‌های نفت خام شامل آسفالتین به روش طراحی آزمایش

محمد مهدی شادمان، محسن وفايي سفتي*، مهرداد سلیمانی، سید علیرضا سراجیان اردستانی • دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

از مهم‌ترین مشکلات صنعت نفت تشکیل رسوب آسفالتین در اثر تغییر دما، فشار و ترکیب نفت خام است. یکی از روش‌های جلوگیری از بروز این پدیده، استفاده از پراکنده‌سازها و بازدارنده‌هاست. در این مطالعه، قدرت بازدارنده‌ها در پایداری سازی توده‌های آسفالتین به روش پراکنده‌سازی نور بررسی شده است. جهت بررسی عملکرد گروه‌های مختلف شیمیایی در ساختار بازدارنده‌ها، از پانزده نوع افزودنی و جهت بررسی تأثیر عملکرد بازدارنده بر نوع نفت، از پنج نمونه نفت خام مرده^۱ استفاده شده و با طراحی آزمایش به روش 'D-optimal surface design'، تعداد آزمایش‌ها کمینه شده است. نتایج نشان می‌دهد سه بازدارنده‌ی کوکونات دی اتانول آمید و دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی و شاخه‌دار، در غلظت‌های ۵۰۰-۲۰۰۰ ppm عملکرد مناسبی دارند و هرچه گروه‌های قطبی بازدارنده قوی‌تر و طول زنجیره‌ی هیدروکربنی آنها بیشتر باشد نیز عملکرد بهتری در پایداری سازی توده‌های آسفالتین خواهند داشت.

اطلاعات مقاله

* دریافت:

۹۴/۷/۲۱

* ارسال برای داوری:

۹۴/۹/۴

* پذیرش:

۹۴/۱۰/۱

واژگان کلیدی

آسفالتین

جداسازی با حلال

بازدارنده

کدورت سنجی

طراحی آزمایش

مقدمه

کرده و نشان دادند ممکن است آسفالتین‌ها توسط چند لایه از مولکول‌های دودسیل بنزن سولفونیک اسید در محیطی غیر قطبی، احاطه و تثبیت شوند. غلظت‌های کم این بازدارنده به علت عدم تشکیل یک لایه‌ی پایدار فضایی، نمی‌تواند مانع توده‌ای شدن آسفالتین‌ها به کلئیدهای بزرگ گردد [۲]. در ۲۰۰۱ پیلون^۴ نشان داد که در حضور دودسیل بنزن سولفونیک اسید، رسوب نامحلول در نرمان هپتان کاهش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده‌ی افزایش پایداری کلئیدهای آسفالتین است. همچنین با استفاده نتایج FTIR، پلی (مالئیک انیدرید-۱-اوکتادسن) پلیمر^۵ به عنوان یک لخته‌ساز مؤثر معرفی شده است [۳]. در ۲۰۰۱ کینو اولیواس^۶ و همکاران با استفاده از روش انتقال نور لیزر بر نمونه‌های نفتی ته‌چاهی، اثر دو بازدارنده‌ی مختلف تجاری و اثرات آنها بر فشار آستانه‌ی شروع (دی‌اگرام فازی آسفالتین) را به عنوان تابعی از دما بررسی کرده و نشان دادند جهت مشاهده‌ی تأثیری معنی‌دار، غلظت زیادی از بازدارنده (حدود ۱۰۰ ppm) مورد نیاز است [۴]. در ۲۰۰۲ الصحاف^۷ و همکاران با بررسی سورفکتانت‌های نونیل فنول (NP)، دودسیل بنزن سولفونیک اسید (DBSA) و دودسیل رورسینول (DR) نتیجه گرفتند که اثر بازدارنده‌ی قوی این سورفکتانت‌ها به دلیل برهم کنش بین سر اسیدی مولکول‌های آنها و آسفالتین است [۵]. در ۲۰۰۴ گیوال^۸ و فیروزآبادی در تحقیق خود روی بازدارنده‌ها به این نتیجه رسیدند که در اثر

یکی از علل شناخته‌شده‌ی آسیب سازند نفتی در نزدیک دهانه‌ی چاه نشست آسفالتین است. پایداری آسفالتین‌ها عمدتاً توسط حالت ترمودینامیکی نفت خام کنترل می‌شود. تغییرات دما، فشار و ترکیب نفت خام می‌تواند منجر به نشست ترکیبات آسفالتین گردد [۱]. از آنجا که فرآیندهای سنتی آسفالتین زدایی هزینه‌بر هستند استفاده از پراکنده‌سازها و لخته‌کننده‌ها برای کنترل پایداری کلئیدی آسفالتین‌ها رویکردی اقتصادی‌تر است. در ۱۹۹۳ چانگ^۹ و فوگلر^۳ با روش پراکنده‌ی اشعه‌ی ایکس ساختار فیزیکی آسفالتین در محلول‌های آلکیل-آمفیفلیک را بررسی کردند و نشان دادند که آسفالتین‌های حل شده می‌توانند با یکدیگر برهم کنش داشته یا به شکل کلئیدی به آمفیفلیک‌ها وابسته باشند. این محققان پدیده‌ی نشست و انحلال آسفالتین‌ها در محیط متخلخل را با استفاده از میکرومدل‌های بصری بررسی کرده و نشان دادند که رسوب آسفالتین می‌تواند سبب کاهش قابل توجه تراوایی محیط متخلخل شود و پدیده‌ی ته‌نشینی آسفالتین در محلول‌های آمفیفلیک-آلکان قابل کنترل است [۱]. در ۱۹۹۴ چانگ و فوگلر در مطالعه‌ی دیگر با استفاده از طیف‌سنجی تبدیل فوری‌ی مادون قرمز (FTIR) و روش‌های پراش پرتو ایکس در زوایای کوچک (SAXS) برهم کنش بین آسفالتین‌ها و دو مشتق آلکیل بنزن آمفیفلیک، پارا-آلکیل فنول و پارا-آلکیل بنزن سولفونیک اسید را مطالعه

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (vafaiesm@modares.ac.ir)

ترکیب آمفیفیلیک DBSA با سیال نفتی در غلظت‌های مختلف، پدیده‌ی برگشت‌دهنده‌ای رخ می‌دهد و در ابتدا با افزایش غلظت DBSA، رسوب آسفالتین افزایش یافته و بیشتر از غلظت خاصی، رسوب آسفالتین کاهش می‌یابد. آنها همچنین ثابت کردند غلظت‌های بیش از DBSA در جایجایی نقطه‌ی آستانه‌ی رسوب بسیار مؤثر است [۶]. در ۲۰۰۶ روچا جونیر^۹ و همکاران ظرفیت بازدارندگی تعدادی از مواد شیمیایی افزودنی برای رسوب آسفالتین را در قالب سه نوع از نفت خام‌های برزیل بررسی کرده و نشان دادند نونیل فنول اتوکسیله^{۱۰} با جرم مولی کم، روغن‌های نباتی (روغن ذاتی نارگیل، مغز بادام شیرین، اتیروبا^{۱۱} و روغن چوب صندل) و اسیدهای آلی، بیشترین ظرفیت را برای پیشگیری از تشکیل رسوبات آسفالتین دارند [۷]. در ۲۰۰۹ کرایوا تاوانگ^{۱۲} و همکاران با استفاده از توزیع اندازه‌ی ذرات و کدورت‌سنجی نشان دادند یک مکانیزم برای کنترل آسفالتین‌ها، پیشگیری سینتیکی از جدایش فازی آسفالتین‌ها از طریق اضافه کردن مقدار اندکی از یک ماده‌ی شیمیایی است. مکانیزم دیگر برای کنترل آسفالتین‌ها، جلوگیری از رشد آنها از طریق پایدارسازی سوسپانسیون کلونیدی ذرات آسفالتین کمتر از میکرون است که طی آن فرآیندهای کلوخه‌شدن و ته‌نشینی تا حد قابل ملاحظه‌ای کند می‌شوند [۸]. در ۲۰۰۹ بوخریسا^{۱۳} و همکاران با بررسی مایعات یونی به‌عنوان بازدارنده نشان دادند که حضور بورونیک اسید، برهم کنش بین آسفالتین‌ها و مایعات یونی را افزایش داده و به‌طرز قابل توجهی توده‌ای شدن آسفالتین را محدود می‌کند. همچنین طول زنجیره‌ی الکیل جانبی از مایعات یونی، عاملی مهم است و برای به‌دست آوردن تثبیت فضایی مایعات یونی-آسفالتین، زنجیره‌ای متشکل از حداقل هشت کربن ضروری خواهد بود [۹]. در ۲۰۱۰ غلیوم^{۱۴} و همکاران اثر بازدارندگی سه بازدارنده‌ی تجاری و سه بازدارنده‌ی غیر تجاری را با استفاده از PVT سل و به‌روش لیزر بررسی کرده و نشان دادند که برای اغلب نفت خام‌ها، بازدارنده‌های پایه‌بازی (به‌دلیل محتوای رزین بیش از ۷۵ درصد)، کارآمدتر هستند و برای سایر نفت خام‌ها بازدارنده‌های پایه‌اسیدی (به‌دلیل قطبیت زیاد آنها و سازگاری با اجزای آسفالتین) مناسب هستند [۱۰]. در ۲۰۱۲ محمدشاهی و سلیمانی نظر سینتیک لخته‌سازی (درشت شدن ذرات) آسفالتین را با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتری مادون قرمز نزدیک (با انرژی بالا) در دو نوع از نفت خام‌های ایران مطالعه کردند. نتایج نشان می‌دهد که آسفالتین‌ها در حضور انواع روغن گیاهی (فندق و گردو) و ترکیب شیمیایی (۴-دودسیل رسورسینول) بیشترین تثبیت‌شدگی را دارند [۱۱]. در ۲۰۱۲ چاوز میاف^{۱۵} و همکاران، نوع جدیدی از ان-آریل آمینو الکل^{۱۶} را به‌عنوان بازدارنده‌ها/پراکنده‌سازهای توده‌های آسفالتین طراحی، سنتز و ارزیابی کردند. ساختارهای تمام ترکیبات توسط FTIR، B NMR و طیف‌سنجی جرمی تأیید شده است. این مواد سنتزی به‌عنوان بازدارنده‌های توده‌ی آسفالتین، بازده خوبی دارند که این امر توسط آزمایش‌های سینتیک کلوخه‌ای شدن-تجمع و رفتار رئولوژیکی تأیید شده است [۱۲]. در ۲۰۱۳ چاو گانگ^{۱۷} و همکاران یک نانو سیال حاوی نانو مواد با ظرفیت

جذب زیاد را برای یک میدان نفتی واقع در کلمبیا ارزیابی کردند که سبب افزایش نرخ خالص برداشت نفت و بهبود عملکرد جریان شد [۱۳]. در ۲۰۱۴ ارسلان^{۱۸} و همکاران مکانیزم و سینتیک ته‌نشینی آسفالتین در لوله‌های فولاد ضدزنگ را به‌طور آزمایشگاهی و با استفاده از نرمال هپتان به‌عنوان رسوب‌دهنده بررسی کردند. اثرات سرعت نفت، دما و نرخ تیتراسیون حجمی نفت-رسوب‌دهنده ته‌نشینی آسفالتین را بررسی کرده و نشان دادند فرآیند ته‌نشینی (به‌دلیل تأثیر نیروی برشی بر آسفالتین ته‌نشین شده)، اغلب همراه با برگشت رسوب به محیط نفت خام است [۱۴]. در ۲۰۱۴ اسلان^{۱۹} و فیروزآبادی اثر پراکنده‌ساز اسیدی (DBSA و PAO-72) و یک پایدارکننده (BA) را بر پایدارسازی، نشست و حذف آسفالتین‌ها در خطوط جریانی در مورد دو نفت (MN-133 و BAB) آزمایش کرده و مشاهده نمودند که تنها ۵ ppm از BA برای تثبیت ذرات آسفالتین کافی است. برای حذف آسفالتین‌های ته‌نشین شده از قبل، ۵ درصد از پراکنده‌ساز اسیدی برای ۲-۱ حجم فضای خالی کافی است [۱۵].

در مطالعات پیشین محققان، اغلب مواد مورد استفاده خالص هستند که فرآیند جلوگیری از رسوب در مقیاس صنعتی را غیراقتصادی جلوه می‌دهد. در این مطالعه از مواد صنعتی با ویژگی‌های بازدارندگی استفاده شده است. همچنین تأثیر این بازدارنده‌ها در نفت خام‌های متفاوت بررسی گردیده است. بنابراین در این پژوهش آسفالتین توسط نرمال هپتان از نفت خام جدا شده و تأثیر گروه‌های مختلف بازدارنده‌ها-پراکنده‌سازهایی که اغلب صنعتی هستند بر پایداری آسفالتین در نمونه‌های مختلف نفت، با استفاده از روش کدورت‌سنجی بررسی شده و سعی گردیده با استفاده از روش طراحی آزمایش، به‌منظور شناسایی اثر عوامل مختلف، آزمایش‌های هدفمند طراحی شود.

۱- مواد و روش‌های آزمایشی

۱-۱- مواد

در این مطالعه از پنج نمونه نفت خام مرده‌ی متعلق به مخازن هیدروکربنی ایران استفاده شده است. جدول ۱- ویژگی‌های نفت خام‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. در این جدول طبق آزمون IP143 با نسبت حجمی نرمال هپتان به نفت ۱:۳۰ مقدار رسوب آسفالتین به‌دست آمده است. به‌منظور تهیه‌ی نمونه‌های ناپایدار، از حلال رسوب‌دهنده‌ی نرمال هپتان با خلوص ۹۹ درصد و چگالی ۰/۳۶۸۳ gr/cm³ در دمای ۲۰°C استفاده شده است. بازدارنده‌های شیمیایی مورد استفاده شامل پانزده ماده‌ی اغلب صنعتی است که خواص آنها در جدول ۲- ذکر شده است.

۱-۲- آماده‌سازی نمونه‌های شامل بازدارنده و نفت خام

بازدارنده‌ها در غلظت‌های مختلف در بازه‌ی ۲۰۰۰-۵۰۰ ppm، حجمی، طبق جدول طراحی آزمایش توسط میکروپیت تهیه شد. برای حلالیت

کدورت سنجی این دستگاه از ۱ تا ۲۰۰۰ NTU است.

۱-۴- طراحی آزمایش

جهت انجام آزمایش‌ها، با توجه به داشتن پنج نمونه‌ی نفت خام، پانزده نمونه‌ی بازدارنده و بازه‌ی غلظت ۲۰۰۰-۵۰۰ ppm، تعداد کل آزمایش‌های قابل انجام زیاد است. از طریق طراحی آزمایش و با استفاده از روش‌های آماری می‌توان برای بررسی عوامل مختلف به تعداد مناسب‌تر آزمایش دست یافت. در این مطالعه برای طراحی آزمایش از روش D-optimal surface design استفاده شده است. در این روش، عامل نخست غلظت بازدارنده در محدوده‌ی ۲۰۰۰-۵۰۰ ppm، عامل دوم نوع بازدارنده در پانزده سطح و عوامل سوم نوع نفت خام در پنج سطح است.

۲- بحث و نتایج

۱-۲- شاخص ناپایداری

در این مطالعه به منظور کمی کردن ناپایداری نمونه‌ی حاوی آسفالتین، از مفهوم انحراف معیار^{۱۱} استفاده شده است. انحراف معیار نشان‌دهنده‌ی مقدار پراکنندگی داده‌ها نسبت به میانگین آنهاست. در واقع هر قدر نمونه ناپایدارتر باشد کدورت آن با زمان بیشتر افت می‌کند و انحراف معیار بیشتر خواهد بود. بر این اساس شاخص ناپایداری به شکل رابطه‌ی ۱- تعریف می‌شود.

$$\text{Instability Index} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

که در آن کدورت نمونه در زمان مشخص t_i و n تعداد نمونه‌گیری‌ها (۶۱ عدد) است.

هرچه اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی حاوی بازدارنده و نفت خام بیشتر باشد نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر بازدارنده در پایدارسازی ذرات آسفالتین است. اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی حاوی بازدارنده و نفت خام به عنوان پاسخ با علامت اختصاری IID نشان داده شده است (رابطه‌ی ۲).

$$\text{Instability Index Difference (IID)} = (\text{II})_{\text{oil}} - (\text{II})_{\text{oil+inhibitor}} \quad (2)$$

۲-۲- آنالیز واریانس پاسخ^{۱۲}

برای بررسی اثر عوامل مؤثر از آنالیز ANOVA استفاده شد (جدول ۳). مدل در نظر گرفته شده مدلی اصلاحی برای مدل درجه‌ی سوم^{۱۳} است و تمامی سطوح و تداخل‌ها را در بر می‌گیرد. با توجه به مقادیر p-value آنالیز ANOVA نشان می‌دهد که مدل مدنظر معنی‌دار است و تنها ۳/۹۲ درصد امکان دارد که مدل در اثر اختلال^{۱۴} معنی‌دار شده باشد. در این مطالعه با توجه به جدول ۳- سطوح معنی‌دار شامل عوامل A (غلظت)، B (نوع بازدارنده) و C (نوع نفت خام) است. همچنین طبق جدول ۳-، نوع نفت بیشترین تأثیر را بر پاسخ دارد؛ چرا که کمترین p-value و بیشترین

برخی بازدارنده‌ها در نفت خام، محلول ۱۰ درصد حجمی بازدارنده‌های B8 و B11 و B15 در تولوئن تهیه شد و در دمای ۲۰°C به مدت یک ساعت روی همزن مغناطیسی قرار داده شد. به منظور یکنواخت شدن، مخلوط بازدارنده و نفت نیز در دمای ۲۰°C به مدت یک ساعت روی همزن مغناطیسی-هیتر قرار داده شد.

۱-۳- آماده‌سازی نمونه‌های مورد نظر برای دستگاه کدورت‌سنج

به منظور بررسی اثر بازدارنده‌ها بر پایداری نمونه‌های ناپایدار نفت خام حاوی بازدارنده، ابتدا نمونه‌های نفتی حاوی بازدارنده به نسبت حجمی نرمال هپتان به نفت ۱۲۰ به ۱ با نرمال هپتان رقیق می‌شود. نمونه‌ها در دستگاه کدورت‌سنج قرار داده شد و به مدت یک ساعت در بازه‌های زمانی یک دقیقه کدورت نمونه‌ها را اندازه‌گیری کردند. در این مطالعه از دستگاه کدورت‌سنج مدل TURB 430 IR استفاده شده است. این دستگاه به کمک امواج مادون قرمز با طول موج ۸۷۵ نانومتر، از ظرف نمونه‌ی حاوی مخلوط، کدورت محلول را مشخص می‌سازد. برای کالیبره کردن دستگاه، نمونه‌هایی با کدورت مشخص ۱، ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ NTU^{۱۵} (معرف تفرق نور تاییده شده) تعیین گردیده است. پس از کالیبراسیون، طبق دستورالعمل ارائه شده در بروشور دستگاه، سنجش نمونه‌های تهیه شده انجام گردیده است. بازه‌ی

نفت	چگالی (° API)	درصد وزنی آسفالتین
نمونه‌ی ۱	۳۱/۱۱	۱/۷۷
نمونه‌ی ۲	۲۵/۵۷	۸/۵۲
نمونه‌ی ۳	۲۵/۸۴	۶/۲۶
نمونه‌ی ۴	۲۶/۴۲	۶/۸۵
نمونه‌ی ۵	۵۲/۲۰	۵/۵۶

نام بازدارنده	نام قراردادی	نام بازدارنده	نام قراردادی
تری اتانول آمین لوریل اتر سولفات	B1	اسید اولئیک	B9
سدیم تولوئن سولفونات (STS)	B2	نرمال بوتانول	B10
کوکونات دی اتانول آمید ۱	B3	ستستریل الکل ۲	B11
کوکامید منواتانول آمین ۳	B4	کوکامیدو پروپیل بتابین	B12
مونو اتانول آمین	B5	دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه دار	B13
استناریک اسید	B6	دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی	B14
سدیم لوریل اتر سولفات	B7	فتی الکل ۹ مول اتوکسیله	B15
کوپلیمر اتیل و نیل استات ۱۸ درصد و نیل استات	B8		

نفت و میزان آسفالتین و رزین نمونه‌ی نفت نیز بر شاخص ناپایداری مؤثر است. در شکل ۶- اثر بازدارنده‌ها بر شاخص ناپایداری به شکل آشکارتری نشان داده شده است. طبق شکل‌های ۱- تا ۶ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اکثر بازدارنده‌ها در غلظت‌های کم (۵۰۰ ppm)، اثری بر شاخص ناپایداری ندارند و با افزایش غلظت، اثر سایر بازدارنده‌ها آشکار می‌شود.
- در خصوص تمامی نمونه‌های نفت خام، قدرت بازدارنده‌ی کوکناک دی اتانول آمید در غلظت‌های کمتر از ۱۵۰۰۰ ppm بیش از قدرت بازدارنده‌ی دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی است. قدرت کوکناک دی اتانول آمید به علت داشتن ماهیت روغن گیاهی نارگیل و قطبیت گروه هیدروکسیل بیش از قدرت دودسیل بنزن سولفونیک اسید است.

- قدرت بازدارندگی دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی حدوداً بیش از قدرت بازدارندگی دودسیل بنزن سولفونیک اسید شاخه‌دار است؛ زیرا ممانعت فضایی شاخه‌ها باعث می‌شود مقدار کمتری از بازدارنده جذب توده‌های آسفالتین گردد.

- کوکامید منواتانول آمین به دلیل داشتن گروه قطبی آمینی و زنجیره‌ی بلند و ماهیت روغن گیاهی (در غلظت‌های ۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰) از لحاظ قدرت پایدارسازی پس از سه بازدارنده‌ی دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی و شاخه‌دار و کوکناک دی اتانول آمید قرار می‌گیرد و قدرت آن از تری اتانول آمین لوریل اتر سولفات بیشتر است. این مشاهده نشان می‌دهد که برهم کنش آسفالتین با گروه‌های اتانول آمین در کوکامید منواتانول آمین بیشتر است که به دلیل حلالیت بیشتر این ماده در نفت خام است.

- قدرت تری اتانول آمین لوریل اتر سولفات از کوکامید و پروپیل بتائین بیشتر است که این امر نشان‌دهنده‌ی تأثیر قطبیت گروه‌های قطبی تری از اتانول آمین است.

- قدرت بازدارندگی کوپلیمر اتیلن ونیل استات تقریباً بیش از قدرت بازدارندگی استتاریک اسید است.

- قدرت استتاریک اسید بیش از اسید اولئیک است که این امر نشان می‌دهد وجود گروه‌های قطبی در زنجیره‌ی هیدروکربنی قدرت بازدارندگی آن را کاهش می‌دهد.

- در غلظت‌های کم قدرت فتی الکل ۹ مول اتوکسیله بیش از قدرت سستریل الکل است و در غلظت‌های زیاد (۲۰۰۰۰ ppm) نسبت برعکس می‌شود که این امر نشان می‌دهد در غلظت‌های کم، وجود گروه‌های اتوکسیله قدرت بازدارندگی را افزایش می‌دهد و در غلظت‌های زیاد به دلیل خاصیت خودتجمعی فتی الکل ۹ مول اتوکسیله، قدرت بازدارندگی کم می‌شود.

- قدرت نرمال بوتانول از مونو اتانول آمین بیشتر است که این امر نشان دهنده‌ی کاهش قدرت بازدارندگی با قرار گرفتن دو گروه قطبی در دو سر مولکول مونو اتانول آمین است.

- با افزایش غلظت بازدارنده‌های سدیم تولوئن سولفونات، مونو اتانول

F-value را دارد. جدول ۴- مقادیر توابع آماری عوامل مربوط به مدل انتخاب شده را نشان می‌دهد. مقدار ضریب همبستگی (R-square) ۰/۹۸۹۹ به دست می‌آید که نشان می‌دهد مدل مدنظر مناسب است. Adeq-Precisior بیانگر نسبت سیگنال به اغتشاش است که در اینجا مقدار آن برابر ۱۱/۸۴۱ است (مقدار مطلوب آن بزرگ‌تر از ۴ است).

۲-۳- مقایسه‌ی قدرت پراکنده‌سازی بازدارنده‌ها

شکل‌های ۱- تا ۵ اثر بازدارنده‌های مورد مطالعه را بر اختلاف شاخص ناپایداری نشان می‌دهند. این شکل‌ها نشان می‌دهند که روند تأثیر بازدارنده‌ها برای تمامی نفت‌ها تقریباً یکسان اما تأثیر آنها متفاوت است. بنابراین نوع

جدول ۳ | آنالیز ANOVA داده‌های طراحی آزمایش طبق مدل مکعبی کاهش یافته

Source	Sum of Square	df	Mean Squares	F Value	p-value Prob>F
Model	8618.83	99	87.06 4.94	0.0392	significant
A-concentration	152.05	1	152.05	8.63	0.0323
B-dispersant	1644.64	14	117.47	6.67	0.0323
C-oil	2105.54	4	526.38	29.88	0.0011
AB	751.07	14	53.65	3.05	0.1125
AC	218.28	4	54.57	3.10	0.1233
BC	3405.01	56	60.80	3.45	0.0833
A ²	108.43	1	108.43	6.15	0.0558
ABC	216.44	5	43.29	2.46	0.1731
A ² B	0.000	0			
A ² C	0.000	0			
A ³	0.000	0			
Pure Error	88.09	5	17.62		
Total	8706.92	104			

The Model F-value of 4.94 implies the model is significant. There is only a 3.92% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise. Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case A, B, C are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy).

جدول ۴ | مقادیر توابع آماری عوامل مربوط به مدل

Std. Dev.	4.20	R-Squared	0.9899
Mean	0.75	Adj R-Squared	0.7896
C.V. %	560.51	Pred R-Squared	N/A
PRESS	N/A	Adeq Precision	11.841

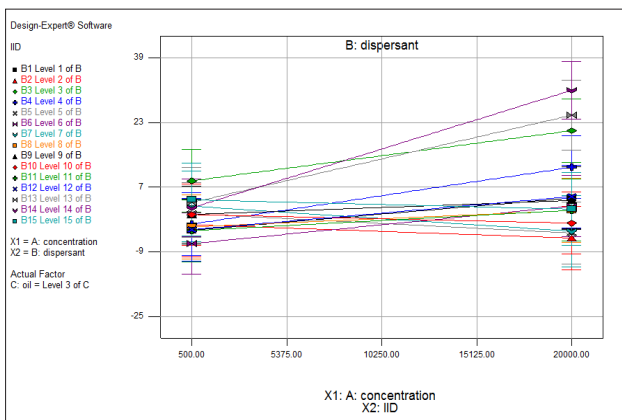
در پایدارسازی توده‌های آسفالتین بررسی شده است. جهت بررسی عملکرد گروه‌های مختلف شیمیایی در ساختار بازدارنده‌ها، از پانزده نوع افزودنی و جهت بررسی تأثیر عملکرد بازدارنده بر نوع نفت، پنج نمونه‌ی نفت خام مرده استفاده شد و با استفاده از طراحی آزمایش به روش D-optimal surface design، تعداد آزمایش‌ها کمینه گردید. نتایج نشان می‌دهد روند تأثیر بازدارنده‌ها برای تمامی نفت‌ها تقریباً یکسان اما مقدار تأثیر آنها متفاوت است. بنابراین نوع نفت و مقدار آسفالتین و رزین نمونه‌ی نفت نیز بر شاخص ناپایداری مؤثر است. همچنین هر قدر قدرت گروه‌های قطبی یک بازدارنده بیشتر و طول زنجیره‌ی هیدروکربنی آن بلندتر باشد تأثیر بیشتری در پیشگیری از تشکیل رسوب دارد که این مهم در بخش ۲-۳ بررسی شد. به‌طور ویژه سه بازدارنده‌ی کوکونات دی اتانول آمید، دودسیل بنزن سولفونیک اسید خطی و شاخه‌دار، در غلظت‌های ۲۰۰۰۰-۵۰۰ ppm عملکرد مناسبی دارند.

آمین، سدیم لوریل اتر سولفات، نرمال بوتانول و فتی الکل ۹ مول اتوکسیله، قدرت بازدارندگی تقریباً ثابت می‌ماند یا کاهش می‌یابد. این مشاهده به دلیل خاصیت خودتجمعی بازدارنده‌های مذکور است. قطبیت نسبی مولکول مونواتانول آمین و فتی الکل ۹ مول اتوکسیله نسبت به سایر مولکول‌ها سبب می‌شود این دو بازدارنده خاصیت خودتجمعی داشته باشند و در غلظت‌های زیاد ته‌نشین شوند.

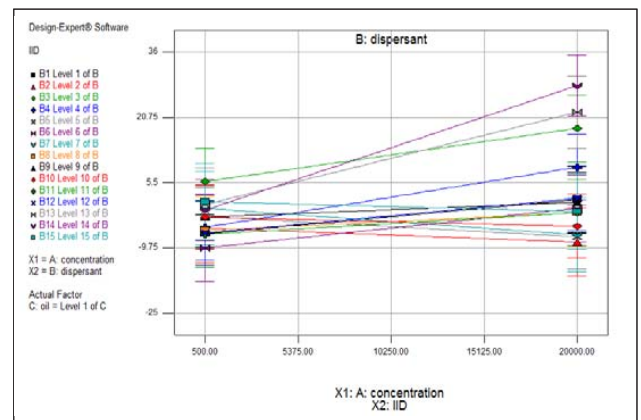
سدیم لوریل اتر سولفات و سدیم تولوئن سولفونات گروه‌هایی قطبی برای برهم کنش اسید-باز با حلقه‌های بنزنی آسفالتین ندارند و بنابراین بر پایداری رسوب آسفالتین مؤثر بوده و اکثر غلظت‌های آن باعث ناپایداری می‌شوند. نرمال بوتانول نیز به علت نداشتن زنجیره‌ی بزرگ هیدروکربنی، خاصیت خودتجمعی دارد و غلظت‌های زیاد آن سبب ناپایداری می‌شود.

نتیجه‌گیری

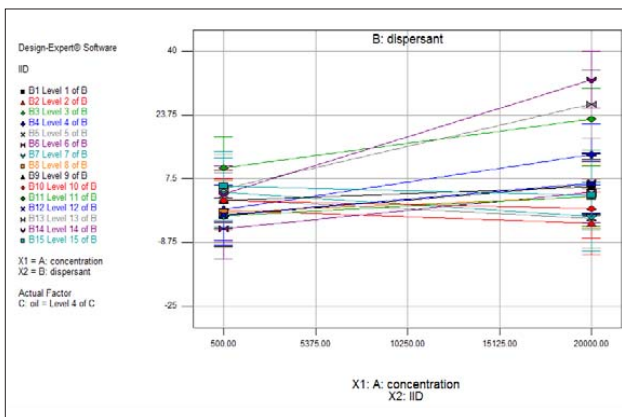
در این مطالعه با استفاده از روش پراکنده‌سازی نور، قدرت بازدارنده‌ها



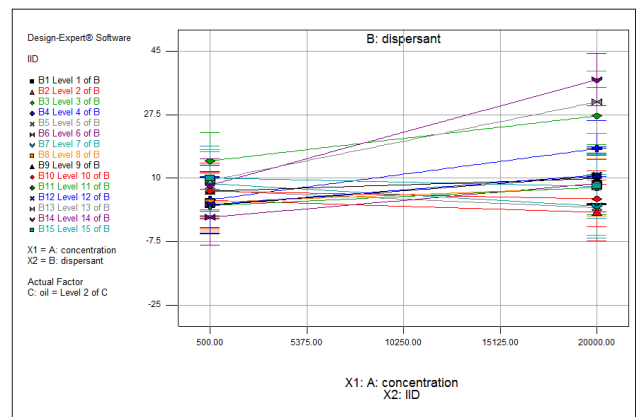
شکل ۳ | اثر بازدارنده‌های مورد مطالعه بر اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی نفت-۳



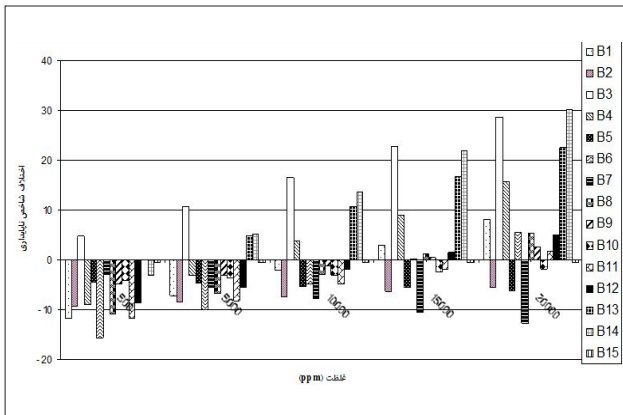
شکل ۱ | اثر بازدارنده‌های مورد مطالعه بر اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی نفت-۱



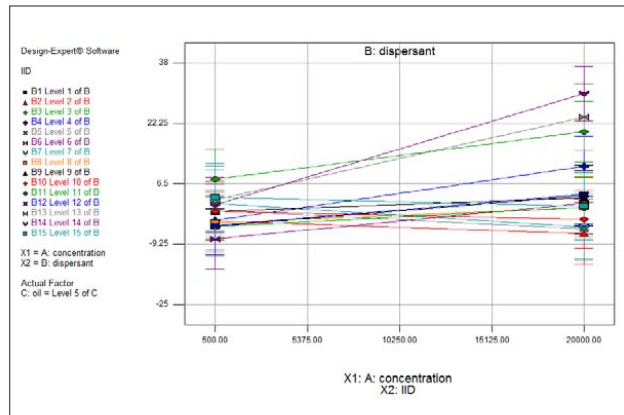
شکل ۴ | اثر بازدارنده‌های مورد مطالعه بر اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی نفت-۴



شکل ۲ | اثر بازدارنده‌های مورد مطالعه بر اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی نفت-۲



شکل ۶ اثر بازدارنده‌های مورد مطالعه بر اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی نفت-۱ به صورت نمودار جعبه‌ای



شکل ۵ اثر بازدارنده‌های مورد مطالعه بر اختلاف شاخص ناپایداری نمونه‌ی نفت-۵

1. Dead oil
2. Chang
3. Fogler
4. Pillon
5. Poly (maleic anhydride- γ -octadecene) Polymer
6. Aquino-Olivos
7. Al-Sahhaf
8. Goual

9. Rocha Junior
10. Ethoxylated nonylphenols
11. Andiroba
12. Kraiwattanawong
13. Boukherissa
14. Ghloom
15. Chavez-Miyauchi
16. N-aryl amino alcohols

17. Chaogang
18. Arsalan
19. Aslan
20. Nephelometric Turbidity Unit
21. Standard deviation
22. ANOVA for Response Surface Linear Model
23. Response Surface Reduced Cubic Model
24. Noise

پانویس‌ها

منابع

- [1] Chang C. L. and 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, (1994a), 10, 17491757-.
- [2] Chang C. L. and 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, (1994b) 10, 17581766-.
- [3] Pillon L. Z. "Effect of dispersants and flocculants on the colloidal stability of asphaltenes", Petroleum Science and Technology, (2001) 19, 863-873.
- [4] Aquino-Olivos M. A., Buenrostro-Gonzalez E., Andersen S. I. and Lira-Galeana C. "Investigations of Inhibition of Asphaltene Precipitation at High Pressure Using Bottom hole Samples", Energy & Fuels, (2001), 15, 236-240.
- [5] Al Sahhaf T.A., Fahim M. A., Elkilani A.S. "Retardation of Asphaltene Precipitation by Addition of Toluene, Resins, Deasphalted Oil and Surfactant", Fluid Phase Equilibria, (2002), 1941057-1045, 197-.
- [6] Goual L. and Firoozabadi A. "Effect of resins and DBSA on asphaltene precipitation from petroleum fluids", AIChE Journal, (2004), 50(2), 470-479.
- [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", Journal of Petroleum Science and Engineering, (2006), 51, 2636-.
- [8] Kraiwattanawong K., Fogler H. S., Gharfeh S. G., Singh P., Thomason W. H. and Chavadej S. "Effect of Asphaltene Dispersants on Aggregate Size Distribution and Growth", Energy & Fuels, (2009), 23 (3), 15751582-.
- [9] Boukherissa M., Mutelet F., Modarressi A., Dicko A., Dafri D. and Rogalski M. "Ionic Liquids as Dispersants of Petroleum Asphaltenes", Energy & Fuels, (2009), 23, 2557-2564.
- [10] Ghloom E. F., Al-Qahtani M. and Al-Rashid A., "Effect of Inhibitors on Asphaltene Precipitation for Marrat Kuwaiti reservoirs", Journal of Petroleum Science and Engineering, (2010), 70, 99106-.
- [11] Mohamadshahi N. and Solaimany Nazar A. R. "Experimental Evaluation of the Inhibitors Performance on the Kinetics of Asphaltene Flocculation", Journal of Dispersion Science and Technology, (2013), 34(4), pp. 590-595.
- [12] Chavez-Miyauchi T. E., Zamudio-Rivera L. S., Barba-Lopez V., Buenrostro-Gonzalez E. and Martinez-Magadan J. M. "N-aryl amino alcohols as stabilizers of asphaltenes", Fuel, (2012), 110, 302-309.
- [13] Zabala R., Mora E., Cespedes C., Guarin L., Acuna H., Botero O., Patino J. E. and Cortes F. B. "Application of a Nanofluid for Asphaltene Inhibition in Colombia", Journal of Petroleum Technology, (2014), 117-119.
- [14] Arsalan N., Palayangoda S. S. and Nguyen Q. P. "Characterization of asphaltene deposition in a stainless steel tube" Journal of Petroleum Science and Engineering, (2014), 121, 66-77.
- [15] Asian S. and Firoozabadi A. "Deposition, Stabilization, and Removal of Asphaltenes in Flow-lines", International Petroleum Exhibition and Conference, (2014), 1013- November, Abu Dhabi, UAE.