

**گزارش فاز مطالعاتی طرح فناورانه**

**تدوین دانش فنی ماده آسفالتین زدا**

**پژوهشکده/ واحد: پژوهشکده تکنولوژی تولید جهاد دانشگاهی خوزستان**

**گروه پژوهشی شیمی**

**مجری/مجریان طرح: محمد مهدی سراجی/سید جعفر سقانژاد**

**همکار/همکاران: مرضیه مدرس**

**1402**

فهرست مطالب

[1- مقدمه 5](#_Toc152684666)

[1-1- آسفالتین و انواع آن 5](#_Toc152684667)

[1-2- مراحل ایجاد رسوب 7](#_Toc152684668)

[1-3- عوامل موثر در ایجاد رسوب آسفالتین 9](#_Toc152684669)

[1-5-1- 1-3-1- اثر فشار 10](#_Toc152684670)

[1-3-2- اثر دما 11](#_Toc152684671)

[1-3-3- نوع و نسبت عامل رسوب دهنده 11](#_Toc152684672)

[1-3-4- اثر pH 12](#_Toc152684673)

[1-4- مشكلات ناشي از رسوب آسفالتین 13](#_Toc152684674)

[**1-5-** **روش هاي ممانعت و درمان رسوب آسفالتین** 14](#_Toc152684675)

[1-5-2- روش هاي جلوگیري از رسوب آسفالتین 14](#_Toc152684676)

[1-5-2- روش هاي درمان رسوبات آسفالتین 16](#_Toc152684677)

[**1-6-** آزمایش ‌های مرتبط با آسفالتین 18](#_Toc152684678)

[1-6-1- سنجش پایداری آسفالتین موجود در نفت: 18](#_Toc152684679)

[1-6-2- اندازه گیری نقطه تشکیل رسوب آسفالتین 19](#_Toc152684680)

[1-6-3- محاسبه مقدار رسوب آسفالتین در حالت استاتیک و دینامیک 21](#_Toc152684681)

[1-6-4- نمودار فازی آسفالتین: 23](#_Toc152684682)

[**1-7-** بررسی بازدارندگی اثر مواد شیمیایی بر رسوب آسفالتین 24](#_Toc152684683)

[1-7-1- بازدارنده‌های پلیمری: 24](#_Toc152684684)

[1-7-2- سورفکتانت ها 25](#_Toc152684685)

[1-7-3- حلال‌های آروماتیک 26](#_Toc152684686)

[1-7-4- تثبیت کننده ها 27](#_Toc152684687)

[1-7-5- پلی الکترولیت ها 28](#_Toc152684688)

[**1-8-** نمونه‌ای از بازدارنده‌های رسوب آسفالتین 30](#_Toc152684689)

[1-8-1- تولوئن 30](#_Toc152684690)

[1-8-2- DBSA (دو دسیل بنزن سولفونیک اسید) 30](#_Toc152684691)

[1-8-3- CDEA (دی اتانول آمین کوکونات) 31](#_Toc152684692)

[1-8-4- کاربرد نانوذرات برای جلوگیری از ایجاد رسوب 35](#_Toc152684693)

[1-8-5- کاربرد نانوسیالات برای جلوگیری از ایجاد رسوب 41](#_Toc152684694)

[1-9- مطالعه موردی بر روی آسفالتین خروجی از میدان نفتی کوپال 43](#_Toc152684695)

[منابع 45](#_Toc152684696)

**چکیده**

رسوب آسفالتين یکی از چالش برانگيزترين مشكلات توليد و ازدياد برداشت نفت به حساب مي‌آيد. آسفالتين‌ها به علت اينكه دسته‌ا‌ي از تركيبات قطبي جزء سنگين نفت خام مي‌باشند، شناسايي دقيق و جزء به جزء اين تركيبات عملاً غير ممكن است. لذا بر اساس حلاليت تعریف مي‌شوند. بر همين اساس عامل حلاليت یکی از مهمترين پارامترها براي توسعه و تحقيق بر روي ممانعت كننده‌هاي رسوب آسفالتين به شمار مي‌آيد. شناخت انواع ممانعت كننده ها و روش هاي برطرف كردن رسوب آسفالتين از اهداف اين مطالعه مي‌باشد. آسفالتین‌ها ترکیباتی سنگین در نفت هستند که در نرمال الکان‌ها همانند نرمال هپتان حل نمی‌شوند ولی در ترکیبات آروماتیک همانند بنزن و تولوئن حل می‌شوند. معمولا تغییر در شرایط عملیاتی مانند دما، فشار و ترکیب نفت مخزن منجر به رسوب آسفالتین می‌شود. آسفالتین‌ها با رسوب در محیط متخلخل، چاه، لوله‌ها و وسایل سطحی خسارت‌های بسیار زیادی به‌ بار می‌آورند. به منظور جلوگیری و یا به تاخیر انداختن تشکیل رسوب آسفالتین در شرایط و محل‌های مختلف پیش‌بینی نقطه تشکیل رسوب و مقدار رسوب بسیار ضروری و حائز اهمیت است. دما و فشار و دبی شرایط عملیاتی هستند که با تغییر هر کدام می‌توان میزان رسوب تشکیل شده را کم و یا تشدید کرد. به منظور کنترل رسوب آسفالتین از مواد شیمیایی و بازدارنده ها استفاده می‌شود که در بخش های بعدی به سازوکار این رسوب و بازدارنده‌های آن پرداخته می‌شود.

# مقدمه

نفت خام يكی از پیچیده ترين ترکیباتی است که در طبیعت يافت می شود. نفت عموما از ترکیبات هیدروکربنی تشكیل شده و گاهی ترکیبات نیتروژن، گوگرد و اکسیژن و به ندرت عناصر فلزي مانند نیكل و واناديوم در آن يافت می شوند. هیدروکربن هاي تشكیل دهنده ي نفت عمدتا از نوع اشباع بوده و از سبکترين هیدروکربن با يک اتم کربن تا ترکیبات سنگین 30 و 40 کربنه و حتی بیشتر در آن ديده می شود. آسفالتین يكی از سنگین ترين و قطبی ترين بخش هاي نفت مخزن می باشد، بنابراين آسفالتین داراي نقطه ذوب بالا بوده و همیشه بخشی از باقیمانده‌ي تقطیر است. سیال مخزن نفت ترکیبی از مخلوط چندگانه معلقی است که عمدتا شامل بخش سبک و سنگین از پارافین، رزین و آسفالتین است در بعضی از نمونه‌ها مانند پارافین غیر محلول و در بعضی دیگر مانند ترکیبات قطبی/ آروماتیکی نظیر تولوئن، گزیلن و... محلول می‌باشد، رزین همچنین تمایل شدیدی به همراهی با آسفالتین دارد و کمک زیادی به انحلال نفت خام می‌نماید.

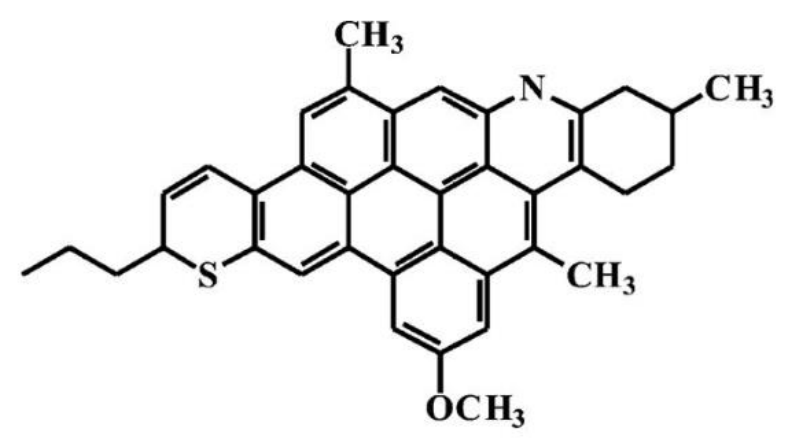
## آسفالتین و انواع آن

به منظور مطالعه ي رسوب آسفالتین اين مواد به دو گروه دسته بندي می شوند:

• هیدروکربن هاي غیرقطبی شامل پارافین ها، نفتن ها، آروماتیک هاي با جرم مولكولی متوسط

• مواد پلی آروماتیک قطبی که ممكن است شامل نیتروژن يا فلزات باشند. اين مواد فاز نهايی مواد غیرفرار سنگین نفت خام هستند و می توانند به دو دسته ي رزين ها و آسفالتین ها تقسیم بندي شوند. رزين ها نسبت به نفت خام کمتر قطبی هستند. تحت شرايط مشخصی رزين ها وآسفالتین ها از نفت خام رسوب می کنند. ساختار شیمیايی و خواص شیمی فیزيكی آسفالتین ها و رزين ها به خوبی شناخته نشده اند. آسفالتین ها عموما به جزئی از نفت خام اطلاق می‌گردند که در حضور مقدار اضافی از نرمال آلكان‌هاي با جرم مولكولی پايین، به صورت رسوب از نفت خام جدا می‌گردند. البته مقدار و طبیعت رسوب تشكیل شده به نوع حلال رسوب دهنده بستگی دارد. به همین دلیل اخیرا براي تعريف آسفالتین‌ها از واژه‎هايی نظیر ذرات قابل فیلتر و ذرات غیرقابل فیلتر) به ترتیب به جاي قابل حل و نامحلول استفاده شده است. همچنین در بعضی از تعريف‌هاي اخیر از آسفالتین‌ها به عنوان اولین اجزايی که از نفت خام رسوب می‌کنند ياد شده است. در بعضی از مراجع نیز آسفالتین‌ها براساس نوع حلالی که باعث ايجاد رسوب آن‌ها شده است، دسته‎بندي شده‌اند. به طورکلی آسفالتین‌ها به عنوان بخشی از نفت خام تلقی می‌شوند که در نرمال آلكانها مثل نرمال پنتان و نرمال هپتان نامحلول هستند ولی در بنزن و تولوئن محلول هستند. نفت خام به عنوان يک سیستم کلويیدي در نظر گرفته می‌شود که آسفالتین‌ها فاز پراکنده هستند. آسفالتین ها تمايل دارند به صورت سوسپانسیون هاي کلويیدي، که به وسیله ي رزين‌ها پايدار شده اند در دما و فشار مخزن به حالت محلول باشند. در شكل 1 ساختار آسفالتین رسم شده است.

علي رغم توسعه قابل توجه دستگاه‌ها و روش‌هاي آزمايشگاهي شناسايي و مشخصه‌سازي سيالات نفتي و همچنين توسعه روزافزون مدل‌هاي ترموديناميكي اين سيالات، هنوز خواص دقيق فيزيكي و شيميايي و همچنين ساختار مولكولي آسفالتين‌ها به خوبي مشخص نشده است. دانش بدست آمده از آسفالتين‌ها بسيار محدود اسـت. آسفالتين هـا كريستاله نمي شوند، بـه تركيبات منفرد جدا نمي‌شوند و به كسرهاي كوچكتر نيز تبديل نمي‌شوند. بنابراين آنـاليز نهايي ايـن دسته تركيبات خيلي معنادار نيست. بخصوص با در نظر گرفتن رزين‌ها كه به شدت به آسفالتين‌ها مي‌چسبند و به اين راحتي از آسفالتين ها قابل جدا شدن نيستند.



*شکل ‏1‑1 ساختار شیمیایی آسفالتین*

تاريخچه كشف و نامگذاري آسفالتين نشان مي‌دهد كه تعاريف متفاوتي براي آسفالتين‌ها در نظر گرفته شده است. آسفالتين براي اولين بار توسط يك شيميدان فرانسوي به نام بوسين‌گيلت [1] نامگذاري شد. وي در سال 1873 در بررسي اجزاي بيتومن شرق فرانسه و پرو به اجزايي برخورد كرد كه در الكل نامحلول و در تری‌پنتن محلول بودند و چون شباهت زيادي به آسفالت واقعي داشت آن را آسفالتين نام‌گذاري كرد. در سال 1924 نلنستين آسفالتين را دسته‌اي که از آسفالتين را به عنوان ماده‌اي كه نامحلول در پارافين‌هاي سبك و حل‌شونده در تتراكلريدكربن و بنزن بود تعريف كرد. ماركوسن آسفالتین را تركيبات معرفي كرد كه در بنزن حل شوند؛ اما در اتر و گازوئيل‌هاي سبك حل نشوند . به هرحال نقطه مشترك همه تعاريف آسفالتين اين است كه اين تركيب پيچيده نفتي بر اساس پارامترحلاليت تعريف مي‌شود. در واقع آسفالتين‌ها يك تركيب با ساختار و خواص فيزيكي-شيميايي مشخص نمي‌باشند، بلكه دسته‌اي از تركيبات قطبي آروماتيكي نفت خام است.

آسفالتین ها ترکیباتی سنگین با وزن مولکولی متفاوت‌اند و محققان مختلف با توجه به روش و شرایط جداسازی آسفالتین از نفت، وزن‌ها مولکولی مختلفی را ارائه داده اند. ری و همکاران در سال 1957 برای آسفاتین وزن مولکولی را از طریق سانتریفیوژ بین 13000 تا 3000 گزارش کرده‌اند، سال و همکاران در سال 1940 وزن مولکولی آسفالتین را از طریق روش تک لایه بین 8000 تا 14000 و رینک در سال 1973 وزن مولکولی آسفالتین را از طریق روش گرانروی 1200 تا گزارش کردند اما اطلاعات به دست آمده از حلال‌هایی با قطبیت بالا وزن مولکولی در محدوده 500-1000 گزارش کردند[2]. عاشوری و همکارانش وزن مولکولی آسفالتین را 750 بدست آوردند. ولی وزن مولکولی آسفالتین به علت ساختار پیچیده‌اش همچنان دقیق نیست. آسفالتین شامل کربن، هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن، گوگرد و مقداری وانادیم نیکل و دیگر فلزات با ساختار پیچیده است.

آسفالتین‌ها مولکول هایی به شدت قطبی هستند، به عبارتی قطبی ترین بخش نفت، آسفالتین‌ها هستند. نفت از دو بخش مالتینی و آسفالت ساخته شده است؛ مالتین قسمتی از نفت است که در نرمال آلکالن‌ها (حلال‌های پارافینی) قابل حل و قابل تجزیه به نفت‌ها و واکس‌ها و رزین‌هاست. آسفالت در نرمال آلکان‌ها قابل حل نیست ولی در آروماتیک‌ها مانند تولوئن و بنزن قابل حل است.

## مراحل ایجاد رسوب

معمولاً برای رسوب آسفالتین دو سازوکار پیشنهاد شده است. در سازوکار اول آسفالتین ها به ‌صورت زنجیره‌های بسیاری در نفت محلول هستند که تحت شرایط خاص دما، فشار و ترکیب سیال رسوب می‌کنند. در این سازوکار، از دیدگاه ترمودینامیکی فرآیند برگشت‌پذیر بوده است؛ بدین معنا که اگر شرایط به شرایط اولیه قبل رسوب بازگردد آسفالتین رسوب شده مجددا در نفت حل می‌شود[3-5]. در سازوکار دوم، آسفالتین ها به صورت ذرات معلق در نفت پخش شده‌اند و یک کلوئید را تشکیل می‌دهند. در این دیدگاه، رزین‌ها اطراف آسفالتین‌ها جذب شده و ذراتی را که از لحاظ بار الکتریکی خنثی هستند، تشکیل می‌دهند که به انها مایسل[[1]](#footnote-1) می‌گویند. در این دیدگاه آسفالتین‌ها به صورت کلوئیدی هستند که به وسیله رزین‌ها ثبات یافته‌اند، رزین‌ها جاذب نفت و آسفالتین‌ها دافع نفت اند. در این سازوکار، رسوب آسفالتین فرآیند برگشت ناپذیر ترمودینامیکی است.[6]

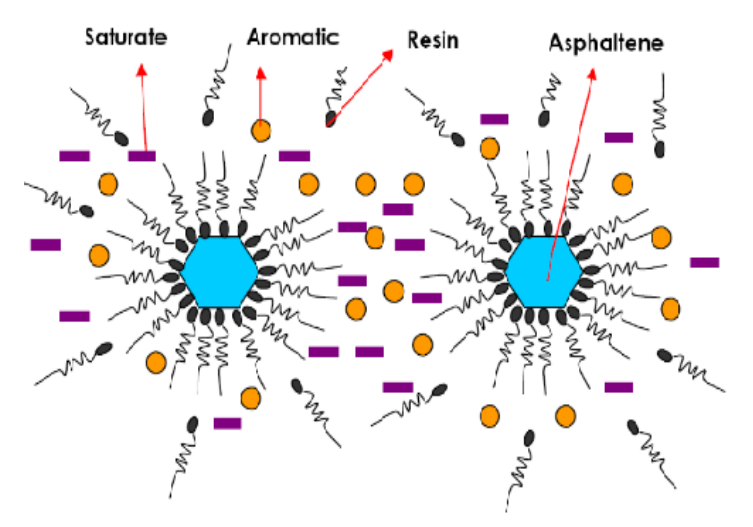
رسوب آسفالتین از ابتدای تشکیل و انباشتش برسطوح جامد و کاهش عبوردهی چند مرحله را طی خواهد کرد:

* در مرحله اول پرسیپیتیشن[[2]](#footnote-2) رخ می‌دهد که در آن ذرات محلول جدا‌شده اند و فاز جدیدی در محلول شروع به تشکیل شدن می‌کند. [7]
* در مرحله دوم فولوکولیشن[[3]](#footnote-3) است که ذرات ریز جدا شده آسفالتین به هم می‌چسبند و توده بزرگتری تشکیل می‌دهند. [8]
* در مرحله سوم دیپازیشن[[4]](#footnote-4) است که توده به هم پیوسته قبلی، مجددا تجمع می‌یابد و سنگین تر می‌شود و روی سطوح جامد مانند سنگ، لوله و مانند آن رسوب خواهد کرد. [9]

اگر آسفالتین‌ها در محیط متخلخل رسوب نمایند باعث تغییر تر شوندگی و کاهش تراوایی سنگ خواهد شد و از این راه منجر به آسیب سازند می‌شوند. این رسوبات ممکن است حفره ها ا مسدود کنند که پلاگین[[5]](#footnote-5) نام دارند و گاهی این حفره‌های مسدود شده می‌توانند به وسیله نیروی برشی حاصل از نرخ جریان بالا کنده شوند که به آن اینتریند[[6]](#footnote-6) گفته می‌شود.

## عوامل موثر در ایجاد رسوب آسفالتین

آسفالتین‌ها داراي بار یونی مثبت و منفی هستند. رزين‌ها تمايل زيادي به پیوستن به آسفالتین‌ها در نتیجه جذب بارهاي مخالف دارند و يک لایه محافظ براي آسفالتین‌ها به وجود می آورند. هنگامی‌که اين لایه محافظ رزين از بین برود، رسوب آسفالتین تشكیل می‌شود. ناپايداري نفت خام به شدت به موازنه ي نیروها بین رزين ها و آسفالتین ها بستگی دارد. يک بیان تصويري از رزين ها در شكل2 نشان داده شده است که نشان می‌دهد مولكول‌هاي رزين از سر قطبی به آسفالتین ها چسبیده اند. پارامترهايی که در رسوب مواد سنگین از نفت خام تاثیر دارند عبارتند از: مشخصات ترکیبی نفت خام و سیال تزريق شده، فشار، دما، مشخصات جريانی و مشخصات کانال‌ها) لوله هاي انتقال، چاه‌ها و غیره (که سیال مخزن در آن جريان می‌يابد و با تغییر اين پارامترها ماهیت رسوب‌هاي تشكیل شده تغییر خواهد کرد. در شكل 2 شماتیک نیروهاي بین آسفالتین و رزين که باعث می شود آسفالتین در نفت پراکنده باقی بماند آورده شده است.



شکل ‑ شماتیک نیروهاي بین آسفالتین و رزين

تولید از مخازن نفتی سنگین حاصل از آن معمولاً نیازمند تغییر در ويسكوزيته، دما و فشار در مخزن، چاه و تجهیزات فرايندي است. امروزه غالب نفت تولید شده در دنیا حاصل کاربرد روش هاي اولیه و ثانويه می باشد. در اين روش ها از انرژي طبیعی مخزن يا تزريق گاز و آب به عنوان منبع انرژي ثانويه استفاده می شود. کاربرد روش هاي ازدياد برداشت نفت عموماً تغییراتی در رفتار انتقالی و تعادلی نفت و خصوصیات سنگ مخزن به وجود می‌آورد که علت اصلی تشكیل رسوب آسفالتین و ساير ترکیبات در مخزن، ستون چاه و نواحی نزديک به آن می‌باشد. باتوجه به نیاز صنعت نفت به مخازن با عمق بیشتر و با نفت سنگین و درنتیجه محتواي آسفالتین بیشتر می‌شود و همچنین کاربرد روش‌هاي ازدياد برداشت نفت براي تولید بیشتر شده و نقش آسفالتین و مشکلات ناشی از ته نشست آن بسیار مهم و قابل توجه می‌نمايد. با توجه به مشکلات فوق ضروري است بدانیم چگونه و چه وقت آسفالتین در نقاط مختلف رسوب می‌کند. به عبارت ديگر دانستن شرايط عملیاتی براي تشكیل رسوب آسفالتین و میزان آسفالتین رسوب شده از اهمیت زیادی برخوردار است. تقريباً هر تغییر فیزيكی يا شیمیايی در تعادل نفت می تواند باعث به وجود آمدن رسوب آسفالتین شود. در ادامه عوامل موثری که بر تشکیل رسوب آسفالتین اثر گذار هستند آورده شده است.

### اثر فشار

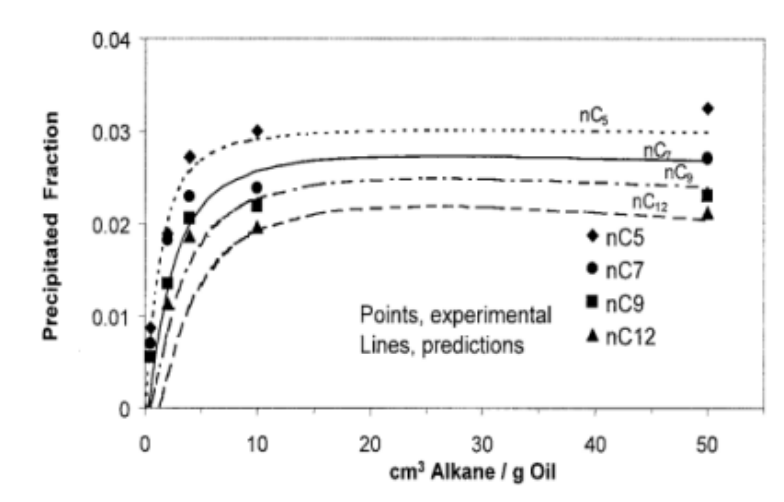
کاهش فشار می تواند باعث ناپايداري آسفالتین گردد و عامل اصلی رسوب آسفالتین در مسیر حلقه چاه است. اولین مطالعه‌ي آزمایشگاهی بر روي تاثیر فشار بر رسوب آسفالتین توسط بیلهمر و همكارانش انجام شده است. آنها نتیجه گرفتند با افزايش فشار میزان رسوبات کاهش می يابد. محققین در تحقیقات خود گزارش کرده‌اند با کاهش فشار در فشار بالاتر از نقطه‌ي حباب، رسوب آسفالتین افزايش می‌يابد. مقدار رسوبات در فشار اشباع به حداکثر می‌رسد و پس از آن کاهش فشار منجر به انحلال لخته‌هاي آسفالتین می‌شود. در بالاتر از فشار اشباع، تغییرات فشار مهمترين عامل تشكیل رسوبات آسفالتین است. در پايین‌تر از فشار اشباع ترکیب درصد اجزا نفت خام و فشار هردو بر میزان تشكیل رسوب آسفالتین موثر می‌باشد. فشار اشباع نقش مهمی در تشكیل رسوب آسفالتین دارد. با افزايش فشار در بالاتر از فشار اشباع نفت چگالی آن افزايش می‌يابد و در نتیجه باعث افزايش پارامتر حلالیت نفت می‌شود. اختلاف پارامتر حلالیت آسفالتین و نفت با افزايش فشار بیشتر می‌شود و میزان رسوبات کاهش می‌يابد.

### اثر دما

دما در مطالعات مختلف با توجه به محدوده دمايی که در آزمايش‌ها انتخاب شده است متفاوت بررسی گرديده است. هیرشبرگ و همكارانش گزارش کرده‌اند با افزايش دما رزين‌هاي متصل به آسفالتین تجزيه می‌شوند و باعث افزايش رسوب می‌گردد. از طرفی افزايش دما باعث افزايش حرکت مولكول‌هاي نفت می‌شود و احتمال برخورد ذرات به يكديگر افزايش می‌يابد. اين امر منجر به تجمع ذرات آسفالتین و در نهايت رسوب آن می‌شود. نتايج يک تحقیق در سال 2000 نشان می‌دهد که کاهش دما باعث افزايش جرم مولكولی لخته‌هاي آسفالتین می‌شود و میزان رسوب افزايش می‌يابد.

### نوع و نسبت عامل رسوب دهنده

محیطی که آسفالتین در آن رسوب می‌کند بر خواص فیزيكی و طبیعت آسفالتین تاثیر می‌گذارد. قطبیت آسفالتین رسوب داده شده با نرمال‌هاي سنگین بیشتر از نرمال آلكان‌هاي سبکتر است. همانطور که در شكل 3 نشان داده شده است، با افزايش عدد کربنی نرمال آلكان میزان رسوب آسفالتین کاهش می‌يابد. در نسبت‌های بالای عامل رسوب دهنده، رسوب آسفالتین کريستالی‌تر شده و تمايل به تجمع ناگهانی دارد. اين روند تا مقدار مشخصی پیش می‌رود و پس از آن افزايش عامل رسوب دهنده تاثیري در میزان رسوب نخواهد داشت. اين نسبت معمولا بین 10 تا 30 میلی لیتر رسوب دهنده بر گرم نفت است. در شكل 3-1 میزان رسوب آسفالتین با بكارگیري رسوب دهنده هاي متفاوت آورده شده است.



شکل ‑ میزان رسوب آسفالتین با بكارگیري رسوب دهنده هاي متفاوت

ترکیب نفت خام از آنجايی که ترکیبات نفتی از منبعی به منبع دیگر متفاوت است، محتواي آسفالتین و میزان رسوب آن نیز متفاوت خواهد بود. يكی از عواملی که باعث افزايش انحلال آسفالتین و تعلیق آن‌ها در نفت خام می‌گردد وجود رزين و مواد فعال سطحی است. آسفالتین و رزين ذرات باردار با بارهاي مخالف هستند. اگر سطح ذرات آسفالتین از رزين خالی شود عدم تعادل بین بارها به وجود می آید و اين امر سبب رسوب ذرات آسفالتین می‌شود. محتواي آروماتیكی نفت خام نیز فاکتور اقتصادي مهم در طول عملیات برداشت و پالايش نفت می‌باشد. هرچه محتواي آروماتیكی نفت خام کمتر باشد، مشكل رسوب آسفالتین بیشتر می‌شود.

### اثر pH

تغییر pH در نفت خام به طور طبیعی و يا در اثر تزريق دي اکسید کربن و اسید به منظور سیلاب زنی و افزايش برداشت نفت خام ممكن است اتفاق افتاده و منجر به تغییر در تعادل آسفالتین و نفت خام شود. با افزايش pH از 0 تا 7 رسوب آسفالتین کاهش می‌يابد و از 7 تا 14 رسوبات افزايش می‌يابد. بسیاری از مخازن سبک تا متوسط پس از تولید اولیه از نظر اقتصادي محدوديت پیدا می‌کنند و مخزن تحت عملیات با گازهاي محلول و نیمه محلول قرار می‌گیرد که منجر به تغییر خواص نفت و رسوب آسفالتین می‌گردد. میادين بسیاري وجود دارند که تحت تزريق هیدروکربن‌هاي گازي براي بهبود بازيابی نفت قرارگرفته‌اند و با مشكل رسوب و ته نشست آسفالتین و انسداد در مخزن مواجه شده‌اند. عملیات با اسید نیز در برخی از میادين نفتی باعث تشكیل رسوب آسفالتین شده است. ته نشینی آسفالتین به هنگام تولید طبیعی چاه نیز گزارش شده است که باعث خرابی سازند و انسداد در نقاط مختلف شده است. در تولید گاز طبیعی نیز تشكیل رسوب آسفالتین مشاهده شده است. رسوب آسفالتین معمولا در مخازنی با مشخصات زير اتفاق می‌افتد.

* سیال مخزن از نفت سبک تا متوسط با مقدار اندك آسفالتین تشكیل شده باشد.
* فشار اولیه چاه خیلی بزرگتر از فشار اشباع باشد.

نفت‌هاي سنگین‌تر که داراي مقادير بزرگتر آسفالتین هستند با مشكلات کمتري مواجه اند زيرا مقادير بیشتري از آسفالتین را در خود حل می‌کنند. تمام نفت به هنگام تولید، تغییراتی را در ترکیب سیال مخزن تجربه می‌کنند.

## مشكلات ناشي از رسوب آسفالتین

آسفالتین با سایر اجزاي نفت خام در شرايط مخزن در حالت تعادل می باشد که هر تغییري در شرايط تعادلی مانند دما، فشار و ترکیب نفتی می تواند منجر به خارج شدن و انباشت آسفالتین از درون نفت خام شود. رسوب آسفالتين در خلال توليد، فرايند و ازياد برداشت نفت، مشكل بسيار جدي براي صنعت بالادستي نفت به وجود می‌آورد. انتقال جريان چندفازي آب، گاز و نفت از مخزن تا پالايشگاه بايد در يك شرايط پايدار تضمين شود. امكان ایجاد رسوب آسفالتين از سازند نفتي شروع شده به چاه و تسهيلات سر چاهي و خطوط انتقال جريان و همه تجهيزات پايين دستي مي‌رسد. تسهيلات سر‌چاهي و خطوط خط لوله انتقال نفت و همچنين ادوات و ابزارات در پالايشگاههاي نفت نيز در معرض اين مشكل قرار دارند. آسفالتين تمايل دارد تا در تمامي تجهيزات سطحي نشست كند. از جمله مهمترين مشكلات رسوب آسفالتين در دستگاه‌هاي سر چاهي بر هم زدن شرايط ايمن براي توليد نفت است. در مواردي امكان مسدود شدن شيرهاي اطمينان فشار و خرابي و حتي گاهی باعث انفجار در اثر افزايش فشار پشت اين شيرها می‌شود.

رسوب آلي اجزای سنگین نظير آسفالتین، سبب افزایش فشار تزریق، افزایش گرانروی و کاهش بسيار شدید تراوایی خلل و فرج، مسدود شدن محيط متخلخل، تغيير خاصيت ترشوندگي سنگ مخزن در نهایت کاهش توليد مي‌شود. به طور عمده رسوب آسفالتین سبب افزایش دو تا سه برابری گرانروی نفت خام در لوله‌ها، و افزایش افت فشار لوله‌ها مي‌گردد. از جمله عوامل مهم مشکلات رسوب آسفالتین تغيير خاصيت ترشوندگي آن است. این خاصيت نقش مهمي بر روی ميزان بازدهي عمليات سیلاب زني دارد. برای تشریح بيشتر این موضوع هنگامي که سنگ مخزني نسبت به آب ترشونده باشد به این صورت که پس از عمليات سیلاب‌زني در ابتدا که پدیده تخليه رخ مي‌دهد، سیال غيرترشونده سبب جابجایي سیال ترشونده مي‌گردد بعد از آن که پدیده آشام در زماني رخ مي‌دهد که سنگ توسط سيال غيرترشونده (در اینجا نفت) اشباع شده باشد. چون در این زمان سنگ مخزن از سيال ترکننده (در اینجا آب) خالی است، نيروی مویينگي باعث جذب آب شده و نفت خارج شده و برداشت صورت مي‌گيرد. در این حالت سیال‌ ترکننده سبب جابجایي سیال غيرترکننده مي‌شود. حال فرض شود بر اثر رسوب آسفالتین سنگ مخزن نسبت به نفت ترشونده باشد که در ای حالت نيز نیروی مویينگي مانع خروج نفت از فضای ماتريس شود در نتيجه رسوب گذاری آسفالتین باعث کاهش بازیابي نفت خواهد شد. رزین‌ها مانند یک لایه محافظ، آسفالتین‌ها را در برابر رسوب محافظت مي‌کنند. با به هم‌خوردن مشخصات نفت، با اضافه شدن حلال جهت کم کردن گرانروی نفت در پروژه ازدیاد برداشت، مولکول‌های رزین برای برقراری مجدد حالت درون خل و فرج ریخته بقيه توسط جریان سیال حمل مي‌شود تا این که به طور همزمان به دهانه‌ای از خلل و فرج رسيده تراوایي موثر را کاهش دهند. ميزان این کاهش تراوایي بسته به طبيعت سنگ و خواص اصلي مغزه می‌باشد.

## **روش هاي ممانعت و درمان رسوب آسفالتین**

مسائل زیادی در مورد پيشگيری و درمان ته‌نشيني رسوب آسفالتین در دهانه‌ی چاه، تجهيزات توليد بخش‌های انتقال وجود دارد. انواع روش‌های جلوگیری از رسوب آسفالتین در ادامه به بررسی آنها پرداخته شده است.

### روش هاي جلوگیري از رسوب آسفالتین

دو نمونه از افزودنی‌هاي شیمیايی که جهت جلوگیري از ته نشینی آسفالتین می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند پخش کننده‌ها و بازدارنده‎ها می‌باشند. پخش‌کننده‌ها سرعت انحلال لخته‌هاي آسفالتین را افزايش می‌دهد و ذرات آسفالتین را در نفت معلق نگه میدارد. اين مواد با تغییر قطبیت لایه‌های بیرونی توده‌ي آسفالتین و واکنش با اين آسفالتین‌هاي متراکم شده، آن‌ها را درون نفت به‌صورت پراکنده نگه میدارند.

ماده‌ي شیمیايی دیگر در اين حوزه، ممانعت کننده‌ها با عملكردي مشابه رزين‌هاي طبیعی هستند. آن‌ها ذرات آسفالتین را محاصره می‌کنند و انتظار می‌رود که انحلال‌پذيري خوبی در ترکیب نفتی داشته باشند تا بتوانند بطور کامل با آسفالتین واکنش داده و از ته‌نشینی و رسوب آسفالتین جلوگیري کنند.

از لحاظ تئوري دو مكانیزم براي چگونگی عملكرد بازدارنده‌های تشكیل آسفالتین‌ها پیشنهاد شده است.

* در شیوه اول، پخش کننده‌ها تشكیل رسوب آسفالتین در داخل نفت خام را متوقف می‌کند. يعنی هنگامی که بالاتر از يک غلظت خاص، غلظت بحرانی حل شونده در نفت حل شود مانند رزين‌ها عمل کرده و آسفالتین را محلول نگه می‌دارد. اين راه معمول‌تر و اقتصادي‌تر است و اکثر روش‌های شیمیایی تشكیل آسفالتین‌ در اين دسته قرار دارند.
* در شیوه دوم، ممانعت کننده بر روي سطح آسفالتین جذب می‌شود. معمولاً ممانعت‌کننده تشكیل آسفالتینی که اقتصادي باشد تاکنون براي اين روش ساخته نشده است ولی می توان بررسی‌هاي کیفی بسیار خوبی براي اين ممانعت کننده تشكیل آسفالتین ذکر کرد. دانش فنی اين بازدارنده‌ها هم اکنون تنها در اختیار شرکت‌هاي معدودي در دنیا است. در ايران نیز مطالعاتی در زمینه‌ي نانو بازدانده ها انجام شده است. البته قراردادهاي مربوط به تزريق بازدارنده‌ها با کشورهاي داراي اين فناوري مانند انگلستان، فرانسه و ايتالیا به دلایل زيادي از جمله تحريم ها انگشت شمار بوده است. بنابراين وجود ترکیب بازدارنده که قابلیت رقابت با نمونه‌هاي خارجی را داشته باشد و دانش فنی آن متعلق به متخصصان داخلی باشد با محدودیت مواجه شده است. وجود ترکیب بازدارنده مذکور در داخل کشور نه تنها کشور ايران را از لحاظ در اختیار داشتن اين تكنولوژي بی نیاز ساخته، بلكه می تواند میلیون‌ها دلار صرفه‌جويی ارزي براي کشور در برداشته باشد.

### روش هاي درمان رسوبات آسفالتین

#### روش هاي مكانیكي

یکی از روش‌های مدیریت از بین بردن رسوب آسفالتین روش مکانیکی است که شامل استفاده از Coil tubing، Scraper wireline ,Stripping مي‌باشد. هرکدام از این روش‌ها مزایا معایب خاص خود را دارد. به‌ عنوان مثال پاك کننده‌های خوب، پاک‌کننده‌های با کمتری ميزان آسیب به تجهیزات مي‌باشند. اما با این حال گران، و زمان بر هستند و از نظر عملياتي سخت مي‌باشند. به طور کلی تعمیر و نگهداری منظم، مانند پیگینگ (استفاده از دستگاه هایی به نام پیگ برای تمیز کردن خطوط لوله) و فیلتراسیون، می تواند به حذف رسوبات آسفالتین و جلوگیری از گرفتگی کمک کند.

#### روش هاي شیمیایي

مواد شیمیایی خاصی که به عنوان بازدارنده یا پخش کننده آسفالتین شناخته می شوند، می توانند به نفت خام اضافه شوند تا از تجمع و رسوب آسفالتین جلوگیری شود. این افزودنی ها به حفظ پایداری نفت کمک می کنند. این مواد شیمیایی اغلب از دسته آروماتیک‌ها می‌باشند. اين حلال‌ها آسفالتین را به بخش‌هاي کوچکتر شكسته و توده‌ي رسوبات را حل می‌کند. حلال‌های هیدروکربنی مانند هپتان، هگزان، اتیل بنزن، تولوئن و زايلن (متانول و پارافین) در تحقیقات زيادي مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مقايسه با ديگر حلال‌ها، از زايلن و تولوئن به طور گسترده در درمان رسوبات آسفالتین استفاده شده است. زايلن به دلیل فراريت کمتر، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از این مواد در این روش به دلیل ايمنی و سلامت شخصی و محیط زيستی، مناسب ارزيابی نشده است. همچنین احتمال خوردگی نیز وجود دارد. در این روش اگر از مواد غیرسمی استفاده شود مسائل محیط زیستی آن حل می‌شود و از این روش استفاده بیشتری خواهد شد.

#### روش هاي حرارتي

گرم کردن نفت خام می‌تواند به نگه داشتن آسفالتین در محلول کمک کند. رقیق‌سازی با هیدروکربن‌های سبک‌تر نیز می‌تواند از رسوب آسفالتین با کاهش غلظت کلی آسفالتین‌ها جلوگیری کند. اين روش شامل احتراق درجا، تزريق سیال بخار، گاز/نفت/آب داغ (واکنش‌هاي شیمیايی گرمازا) مانند مواد شیمیايی گرمازا و استفاده از امواج مايكروويو می‌باشد. در این روش تزريق سیال داغ به داخل چاه جهت حل کردن رسوبات انجام می‌شود. گرم کردن نفت خام می تواند به نگه داشتن آسفالتین در محلول کمک کند. رقیق‌سازی با هیدروکربن‌های سبک‌تر نیز می‌تواند از رسوب آسفالتین با کاهش غلظت کلی آسفالتین‌ها جلوگیری کند.

#### روش بیولوژیكي

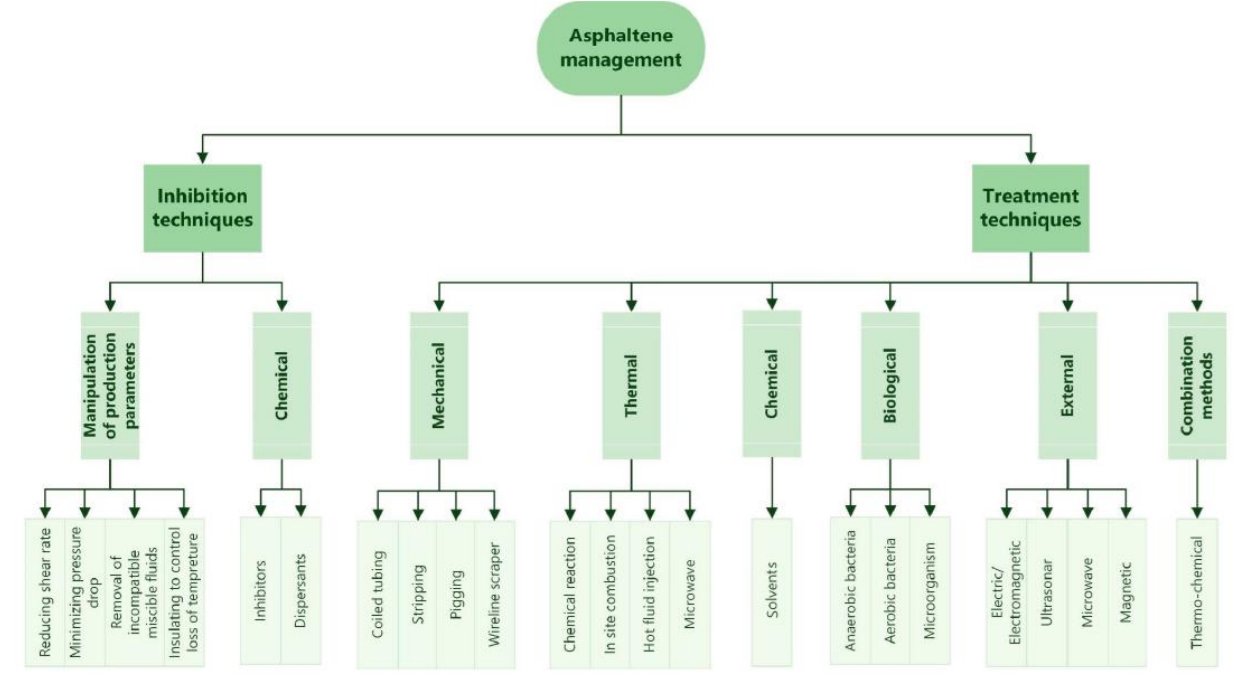
استفاده از باکتري‌هاي هوازي/بی‌هوازي يا میكرو ارگانیسم‌ها مثل قارچ به عنوان يک روش بیولوژيكی جهت درمان رسوبات شناخته شده است. يكی از روش‌هاي بیولوژيكی، تجزيه‌ي بیولوژيكی است که آسفالتین را به هیدروکربن‌هاي سبکتر تبديل می‌کند. اين فرايند بسیار زمان بر است و ممكن است تا چند ماه و يا حتی يک سال طول بكشد. اين باکتري‌ها آسفالتین رسوب کرده را مصرف می‌کنند تا کربن، انرژي و ترکیب‌هاي مختلفی مانند آب و دی اکسیدکربن تولید کنند. درمان بیولوژيكی به دلایلی مانند غیربیماريزا بودن، غیرسمی، غیر سرطانزا، غیر قابل احتراق و اشتعال بودن و همچنین سازگار بودن با محیط زيست، روش سودمندي می‌باشد. البته معايبی مانند سختی کنترل فرايند و خوردگی هم دارند. علاوه بر اين فقط در چاه‌هاي تولیدی قابل استفاده اند.

#### روش ترکیبي

حذف رسوبات نفتی می‌تواند با ادغام روش‌هاي حرارتی و شیمیايی انجام شود. (درمان حرارتی- شیمیايی). در اين روش انحلال و جداسازي رسوبات توسط حرارت تولید شده از واکنش گرمازا رخ می‌دهد. به دلیل انحلال و پراکندگی رسوبات نفتی، مخلوطی از استر و سورفاکتانت تشكیل می‌شود. این امكان وجود دارد که واکنش در منطقه‌ي سازند با استفاده از مواد افزودنی به تاخیر بیافتد.

#### روش نیروي خارجي

نیروهاي خارجی شامل نیروي میدان الكترواستاتیک/ الكترودينامیک، مافوق صوت، مايكروويو و میدان مغناطیسی جهت درمان رسوبات آسفالتین مورد استفاده قرار گرفته اند. اين روش‌ها غالباً در مقیاس‌هاي کوچک قابل استفاده است. همچنین فناوری هایی مانند سانتریفیوژ و فیلتراسیون را می توان برای جداسازی آسفالتین ها از نفت خام به کار برد. توجه به این نکته ضروری است که انتخاب روش به ویژگی های خاص نفت خام و شرایط عملیاتی میدان نفتی یا پالایشگاه بستگی دارد. هر رویکرد مزایا و محدودیت های خود را دارد.



شکل ‑ کلیه روش های مدیریت و رفع مشکلات آسفالتین

## آزمایش ‌های مرتبط با آسفالتین

### سنجش پایداری آسفالتین موجود در نفت:

عبارت "پایداری"معمولا برای بیان تمایل یک نمونه نفت خام در جهت تشکیل رسوبات آسفالتین و یا به عبارتی میزان حلالیت آسفالتین در نفت خام به کار برده می‌شود. تحقیقات نشان داده است که تشکیل رسوب آسفالتین صرفا به میران اسفالتین موجود در نفت بستگی ندارد؛ بلکه آنچه مهم است پایداری آسفالتین در ترکیبات نفتی است و اغلب نفت‌های سبک با محتوی کم آسفالتین، مشکلات بیشتری از نظر تشکیل رسوب، نسبت به نفت ‌های سنگین ‌تر با محتوی بیشتر آسفالتین دارند. [10]

بحث در رسوب آسفالتین برای سنجش پایدار بودن آسفالتین در نفت شاخص‌های AI[[7]](#footnote-7),CII[[8]](#footnote-8),RI[[9]](#footnote-9) تعریف می‌شود. CIIمتداول ترین شاخص سنجش پایداری آسفالتین است.

برای بررسی احتمال پایدار بودن آسفالتین در یک نمونه نفت CII آن را حساب می‌کنیم که برای محاسبه این شاخص تجزیه SARA[[10]](#footnote-10) مورد نیاز است. با استفاده از سارا تست درصد‌های ترکیبات اشباع، اروماتیک، رزین و آسفالتین های نفت را حساب می‌کنیم[11]:

CII=

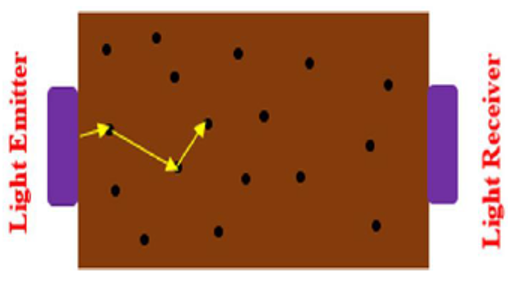
اگر CII بیشتر از 0.9 باشد نفت ناپایدار و اگر کمتر از 0.7 باشد آسفالتین موجود در نفت پایدار است و اگر بین 0.9 و 0.7 باشد ناپایداری آسفالتین محتمل است.[12]

### اندازه گیری نقطه تشکیل رسوب آسفالتین

بعد از آگاهی درباره پایداری نفت، اگر آسفالتین موجود در نفت ما ناپایدار باشد به سراغ اندازه‌گیری فشار شروع تشکیل رسوب آسفالتین می‌رویم. نقطه شروع تشکیل رسوب آسفالتین[[11]](#footnote-11) به عنوان حداقل حجم رسوب مورد نیاز برای ته‌نشین شدن آسفالتین از محیط نفت خام تعریف شده است. [13] با استفاده از روش‌های زیر می‌توان فشار شروع تشکیل رسوب آسفالتین را تشخیص داد:

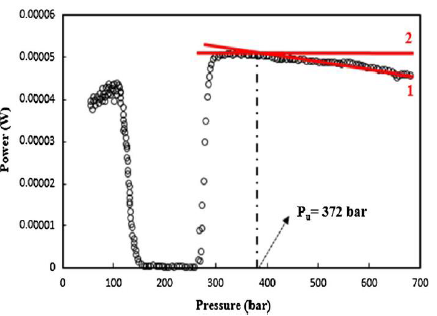
1. روش جذب نور
2. روش ویسکومتری
3. روش کشش سطحی
4. روش وزن سنجی
5. روش میکروسکوپی
6. روش انتقال حرارت
7. روش هدایت سنجی الکتریکی

با توجه به اینکه در صنعت نفت عمدتا از روش جذب نور استفاده می‌شود در اینجا به این روش اشاره می‌شود. در روش جذب نور، در محفظه‌ای که نور ورودی وارد می‌شود تغییرات نور ورودی و خروجی نسبت به افت فشار ضبط می‌شود. برای سامانه‌های نفت زنده، این روش در قالب طراحی سلول PVT بصری HPHT مجهز به منبع و آشکارساز NIR توسعه داده شد. طرح کلی آن یک سلول PVT معمولی با یک میکسر پروانه‌ای برای آوردن مایعات به شرایط تعادل در فشار و درجه حرارت هدف همراه با عینک دید برای قابلیت بصری، با یک عنصر اضافه شده از یک فرستنده و آشکارساز NIR است. شدت نور NIR، هنگام عبور از نفت زنده در فشار و دمای مد نظر در ردیاب اندازه‌گیری می‌شود که بر اساس آن حضور ذرات جامد در سیال تعیین می‌شود. طرح این سامانه در شکل زیر نشان داده شده است. [14]



شکل ‑ طرحواره یک HPHT cell که با NIR کوپل شده برای روش جذب نوری

بوئنروسترو-گونزالس و همکاران همچنین از روش جذب نور برای اندازه‌گیری فشار AOP از یک نمونه نفت زنده استفاده کردند که نمودار جذب نوری آن در شکل زیر آمده است[15]. قبل از افت ناگهانی شدت نور، آن را به صورت خطی با کاهش فشار(به عنوان مثال خط1) افزایش دادند تا اینکه به بیشینه مقدار خود برسد( به عنوان مثال خط 2). تقاطع این دو خط مستقیم به عنوان شروع تشکیل رسوب آسفالتین (فشار AOP) برای این سامانه نفت زنده ( نمونه نفت Y3) تعریف شده است. با افت فشار و رسیدن به فشار حباب، بیشترین مقدار رسوب و کمترین نور خروجی را شناسایی می‌کند و در فشار‌های کمتر از فشار حباب، بیشترین مقدار رسوب و کمترین نور خروجی را شناسایی می‌کند و در فشار‌های کمتر از فشار حباب به علت آزاد شدن گاز و سنگین شدن فاز مایع و آروماتیک‌تر شدن آن، نفت یک حلال بهتر برای آسفالتین‌ها می‌شود و مجددا آسفالتین‌ها را در خود حل می‌کند.



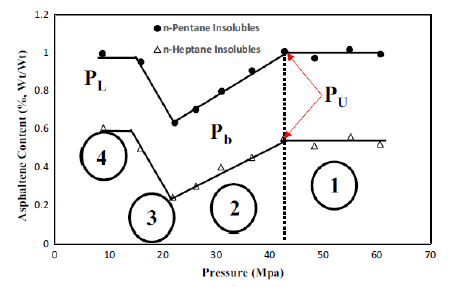
شکل ‑ نتیجه روش جذب نوری بر روی نمونه نفت Y3 در دمای 413 کلوین[15]

### محاسبه مقدار رسوب آسفالتین در حالت استاتیک و دینامیک

با استفاده از روش‌های گوناگونی می‌توان مقدار رسوب آسفالتین را به صورت کمی حساب کرد: که ما برای محاسبه مقدار رسوب آسفالتین به دو روش ، برای دو حالت استاتیک و دینامیک می‌پردازیم. روش ثقل سنجی[[12]](#footnote-12) برای محاسبه میزان رسوب در حالت استاتیک و روش فیلتراسیون[[13]](#footnote-13) برای محاسبه میزان رسوب در حالت دینامیک به کار می‌رود.

افراد بسیاری همچون بورک در سال 1990 و جمال الدین در سال 2001 از روش ثقل سنجی برای آزمایش‌های خود استفاده کردند[16]. با استفاده از این روش نه تنها می‌توان مقدار آسفالتین رسوب یافته را اندازه‌گیری کرد، بلکه می‌توان فشار تشکیل رسوب آسفالتین را نیز حساب کرد. در این روش ابتدا محتوی آسفالتین نمونه نفت زنده را اندازه‌گیری می‌کنیم؛ سپس در سل مخصوص شرایط فشار و دمای مخزن را اعمال می‌کنیم، سپس شروع به کاهش فشار می‌کنیم. آسفالتین‌ها پس از رسوب به علت چگالی بیشتر به طرف پایین ظرف می‌روند و نمونه نفت بالای آن قرار می‌گیرند، سپس در مرحله بعد به اندازه گیری محتوی آسفالتین در نمونه نفت می‌پردازیم. از اختلاف میان محتوی اولیه آسفالتین در نفت پس از رسوب آسفالتین، می‌توان مقدار آسفالتین رسوب یافته را حساب کرد. کاستی این روش این است که ممکن است به خاطر سوسپانسیون شدن آسفالتین‌ها در نفت، آسفالتین ها به پایین ظرف نرود و اندازه‌گیری مقدار آسفالتین رسوب‌یافته با خطا همراه باشد. شکل زیر محتوی آسفالتین موجود در نمونه نفت را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، در فشار حباب محتوی آسفالتین موجود در نفت کمترین و رسوب آسفالتین بیشترین مقدار را داراست.

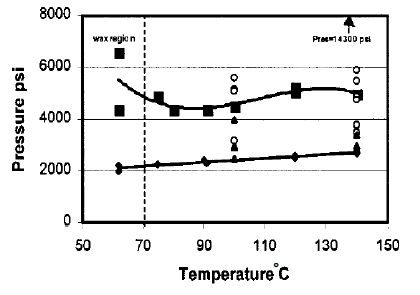
در روش فیلتراسیون، ابتدا باید اندازه ذرات آسفالتین موجود در نمونه نفت مشخص شود تا بتوان فیلتر مناسب برای آزمایش انتخاب کرد. سپس در دمای ثابت و فشار‌های مختلف (فشار‌های کمتر از فشار حباب و فشار‌های بیشتر از فشار حباب )، با قرار دادن فیلتر بر سر راه یک لوله و عبور دادن نفت از آن می‌توان میزان آسفالتین رسوب‌ یافته را حساب کرد؛ بدین گونه که نفت از فیلتر عبور می‌کند و آسفالتین رسوب‌یافته روی فیلتر می‌ماند. سپس با اندازه‌گیری محتوی آسفالتین موجود در نفت عبور یافته و اختلافش با مقدار اولیه، می‌توان میزان آسفالتین رسوب یافته دینامیک را حساب کرد.



شکل ‑7 محتوای آسفالتین موجود در نفت بر حسب فشار[16]

### نمودار فازی آسفالتین:

برای دانستن این که آسفالتین تحت شرایط عملیاتی مختلف چگونه رفتار می‌کند باید به نمودار فازی آسفالتین که منصوری ارائه کرده است، مراجعه کرد[17]. نمودار فازی آسفالتین تحت فشار و دمای بالا به وسیله تست فیلتراسیون[[14]](#footnote-14) انجام شد. همانطور که در شکل زیر پیداست اکینوالیوس[[15]](#footnote-15) و همکاران با کوپل کردن سامانه تشخیص جامد و فیلتراسیون، نمودار فازی برای وکس و آسفالتین را به دست آوردند[18]. با توجه به شکل 9 که اکبر زاده و همکاران ارائه کردند در نفتی که در شرایط دما و فشار در میان مرز بالایی تجمع آسفالتین[[16]](#footnote-16) که بالای فشار حباب است و مرز پایینی تجمع آسفالتین که پایین فشار حباب است قرار بگیرد، احتمال رسوب آسفالتین و آسیب سازند وجود دارد و اگر مخزنی شرایط دما و فشار آن خارج این منحنی فازی باشد مشکل تجمع و رسوب آسفالتین‌ها را نخواهد داشت[19].



شکل ‑ نمودار فازی با استفاده از تست سامانه تشخیص جامد



شکل ‏1‑9 نمودار فازی آسفالتین

## بررسی بازدارندگی اثر مواد شیمیایی بر رسوب آسفالتین

در ادامه انواع مواد شیمیایی که به عنوان بازدارنده آسفالتین استفاده می شوند، معرفی شده و به کاربرد‌های آنها پرداخته شده است.

### **بازدارنده‌های پلیمری:**

بازدارنده‌های پلیمری، پلیمرهایی با زنجیره بلند هستند که برای پراکندگی ذرات آسفالتین و جلوگیری از تجمع آنها طراحی شده‌اند.

پخش کننده های پلیمری معمولاً در نفت خام سنگین یا نفت خام با محتوای آسفالتین بالا استفاده می شود. انتخاب استفاده از پراکنده کننده های پلیمری به خواص ویژه نفت خام در حال فرآوری بستگی دارد. برخی از خواص نفت مربوطه عبارتند از:

1. دارای محتوای آسفالتین بالا: نفت‌های خام با نسبت قابل توجهی از آسفالتین بیشتر در معرض مسائل مربوط به آسفالتین هستند. پخش کننده های پلیمری می توانند به پراکندگی این ذرات در نفت کمک کنند و از ایجاد رسوب در آنها جلوگیری کنند.

2. ویسکوزیته: نفت‌های خام سنگین اغلب ویسکوزیته بالاتری دارند و وجود آسفالتین‌ها می‌تواند به افزایش ویسکوزیته کمک کند. بازدارنده‌های پلیمری می‌توانند با جلوگیری از تجمع آسفالتین به حفظ خواص جریان نفت کمک کنند.

3. حساسیت به دما: برخی از نفت‌های خام ممکن است رسوب آسفالتین را در محدوده دمایی خاص تجربه کنند. بازدازنده‌های پلیمری را می توان برای تثبیت نفت و جلوگیری از رسوب آسفالتین به ویژه در زمان تغییرات دما استفاده کرد.

4. شرایط فشار: شرایط فشار بالا در خطوط لوله و مخازن می‌تواند به رسوب آسفالتین کمک کند. برای کاهش این اثرات و حفظ پایداری نفت خام از بازدارندهای پلیمری استفاده شود.

انجام تجزیه و تحلیل کامل خواص نفت خام و شرایط عملیاتی برای انتخاب بازدارنده‌های پلیمری مناسب برای مهار موثر آسفالتین بسیار مهم است. انواع مختلف بازدارنده‌های پلیمری ممکن است برای ترکیبات و چالش های خاص نفت مناسب تر باشند.

### سورفکتانت ها

عوامل فعال سطحی یا سورفکتانت‌ها می‌توانند خواص سطحی ذرات آسفالتین را تغییر داده و از چسبیدن آنها به یکدیگر و تشکیل رسوب جلوگیری می‌کنند.

سورفکتانت‌ها اغلب در نفت‌های خام با چالش‌های مرتبط با امولسیون استفاده می‌شوند و کاربرد آن‌ها تحت تأثیر خواص خاص نفت است. در اینجا به چند مورد که استفاده از سورفکتانت‌ها مفید است اشاره شده است:

1. امولسیون های آب در نفت: سورفکتانت ها زمانی استفاده می شوند که تمایل آب برای تشکیل امولسیون های پایدار در نفت خام وجود داشته باشد. این امر می تواند در مخازنی که هجوم آب وجود دارد یا در حین تولید و حمل و نقل نفت خام در صورت وجود آب اتفاق بیفتد.

2. وجود مقادیر زیاد آب: نفت‌های خام با درصد محتوای آب زیاد، بیشتر مستعد تشکیل امولسیون هستند. سورفکتانت ها به بی‌ثباتی امولسیون‌ها کمک می کنند و امکان جداسازی موثر فازهای آب و نفت را فراهم می کنند.

3. شرایط مخزن: در برخی از مخازن نفتی، به ویژه مخازن با خواص سیال پیچیده، سورفکتانت‌ها ممکن است برای افزایش بازیابی نفت با تغییر کشش های سطحی و بهبود جابجایی نفت اضافه شوند.

4. حساسیت به دما: دما در مراحل مختلف تولید و حمل و نقل نفت می‌تواند بر پایداری امولسیون تأثیر بگذارد. سورفکتانت ها را می‌توان بر اساس عملکرد آنها در شرایط دمایی خاص انتخاب کرد.

5. شوری آب: شوری آب در تماس با نفت خام می تواند بر پایداری امولسیون تأثیر بگذارد. سورفکتانت‌ها را می‌توان برای رفع چالش های امولسیونی ناشی از تغییرات شوری آب انتخاب کرد.

توجه به این نکته مهم است که انتخاب سورفکتانت‌ها به ویژگی‌های خاص نفت خام، ترکیب امولسیون و شرایط عملیاتی بستگی دارد. سورفکتانت ها می توانند به شکستن امولسیون ها، کاهش ویسکوزیته و بهبود جداسازی فازهای نفت و آب در طول پردازش و حمل و نقل کمک کنند.

### حلال‌های آروماتیک

حلال‌های خاص، به ویژه هیدروکربن‌های آروماتیک، می توانند به حل شدن یا نگه‌داشتن آسفالتین ها در محلول کمک کنند و احتمال رسوب را کاهش دهند.

حلال‌های آروماتیک اغلب در فرآوری و تصفیه نفت‌های خام استفاده می‌شوند، به‌ویژه آنهایی که دارای خواص خاصی هستند که آنها را مستعد چالش‌هایی مانند ویسکوزیته بالا یا رسوب آسفالتین می‌کند. در اینجا به چند مورد که استفاده از حلال‌های آروماتیک مفید است اشاره شده است:

1. ویسکوزیته بالا: نفت‌های خام با ویسکوزیته بالا می‌توانند از افزودن حلال‌های معطر بهره مند شوند. حلال های آروماتیک می‌توانند به کاهش ویسکوزیته کلی نفت خام کمک کنند و حمل و نقل و پردازش آن را آسان‌تر کنند.

2. رقیق‌سازی: گاهی اوقات به نفت‌های خام حلال‌های آروماتیک اضافه می‌کنند تا آن‌ها را رقیق کنند، به‌ویژه زمانی که با نفت‌های سنگین یا بسیار چسبناک سروکار داریم. این رقت می تواند خواص جریان نفت خام را بهبود بخشد.

3. شرایط آب و هوای سرد: در آب و هوای سردتر، نفت خام ممکن است رسوب موم را تجربه کند که منجر به مشکلات جریان می شود. از حلال های آروماتیک می‌توان برای اصلاح ترکیب نفت و کاهش خطر رسوب استفاده کرد.

4. بازیابی تقویت شده: حلال‌های آروماتیک ممکن است در فرآیندهای بهبود یافته بازیافت نفت استفاده شوند، جایی که تغییر ترکیب مایع تزریق شده می تواند جابجایی نفت از مخازن را بهبود بخشد.

در هنگام انتخاب حلال های آروماتیک، توجه به خواص ویژه نفت خام و شرایط عملیاتی مهم است. هدف بهینه سازی فرآیند تصفیه و رسیدگی به چالش های خاص مرتبط با نفت خام در حال فرآوری است.

### تثبیت کننده ها

ترکیباتی که سیستم کلوئیدی نفت خام را تثبیت می کنند، مانند رزین‌ها و بازدارنده‌های خاص، می‌توانند در جلوگیری از لخته شدن آسفالتین موثر باشند. تثبیت کننده‌ها اغلب در نفت خام برای جلوگیری یا کاهش مسائل مربوط به بی ثباتی امولسیون ها استفاده می شوند. در اینجا به چند مورد که استفاده از تثبیت کننده‌ها مفید است، اشاره شده است:

1. امولسیون‌های آب در نفت: نفت‌های خامی که تمایل به تشکیل امولسیون‌های پایدار آب در نفت دارند، ممکن است از استفاده از تثبیت‌کننده‌ها بهره مند شوند. این امولسیون‌ها می‌توانند زمانی ایجاد شوند که آب در نفت خام وجود داشته باشد و تثبیت کننده ها به جلوگیری از تشکیل امولسیون های پایدار کمک می کنند.

2. محتوی زیاد آب: نفت‌های خام با درصد آب بالا که به برش آب زیاد معروف هستند، بیشتر مستعد تشکیل امولسیون هستند. از تثبیت‌کننده ها می‌توان برای بهبود جداسازی فازهای آب و نفت استفاده کرد و از پایداری امولسیون جلوگیری کرد.

3. تنوع در کیفیت آب: اگر محتوای آب در نفت خام متفاوت باشد یا دارای سطوح شوری متفاوت باشد، تثبیت کننده‌ها می‌توانند به حفظ پایداری در شرایط مختلف آب کمک کنند.

4. حساسیت به دما: تغییرات دما در طول تولید و حمل و نقل نفت می تواند بر پایداری امولسیون تأثیر بگذارد. تثبیت کننده ها را می توان بر اساس اثربخشی آنها در طیف وسیعی از دماها انتخاب کرد.

5. چالش‌های فرآوری: در فرآیندهای پالایش یا واحدهای جداسازی نفت از آب، تثبیت کننده‌هایی را می‌توان اضافه کرد تا جداسازی آب از نفت خام را تسهیل کرده و بازده کلی فرآوری را افزایش دهد.

انتخاب تثبیت کننده‌ها به ویژگی‌های خاص نفت خام، ترکیب امولسیون‌ها و شرایط عملیاتی بستگی دارد. تثبیت کننده‌ها با اصلاح خواص سطحی بین آب و نفت، جلوگیری از تشکیل امولسیون های پایدار و تسهیل جداسازی فازهای آب و نفت کار می کنند.

### پلی الکترولیت ها

پلیمرهایی با گروه های باردار هستند که می توانند با ذرات آسفالتین تعامل داشته و از انعقاد آنها جلوگیری کنند.

پلی الکترولیت ها اغلب در تصفیه نفت خام استفاده می شوند، به ویژه در سناریوهایی که برهمکنش‌های الکترواستاتیکی نقش مهمی دارند. در اینجا مواردی وجود دارد که معمولاً از پلی الکترولیت ها استفاده می‌شود:

1. تثبیت آسفالتین: از پلی الکترولیت ها می توان برای تثبیت آسفالتین ها در نفت خام استفاده کرد. آسفالتین ها اغلب ذرات باردار هستند و پلی الکترولیت ها می توانند بار سطحی را تغییر داده و از تجمع و رسوب آنها جلوگیری کنند.

2. پایداری امولسیون: پلی الکترولیت ها می توانند با تغییر بارهای الکتریکی روی قطرات بر پایداری امولسیون های آب در نفت یا نفت در آب تأثیر بگذارند. این می تواند در جداسازی فازهای آب و نفت در طول پردازش و حمل و نقل مفید باشد.

3. تثبیت خاک رس: در مخازن، خاک رس ممکن است بی ثبات شود و منجر به آسیب سازند شود. پلی الکترولیت‌ها می توانند به تثبیت رس‌ها و جلوگیری از مهاجرت آنها کمک کنند و به بهبود عملکرد مخزن کمک کنند.

4. افزایش بازیابی نفت: پلی الکترولیت ها گاهی اوقات در فرآیندهای بهبود یافته بازیافت نفت استفاده می شوند، جایی که تغییر خواص سطحی سنگ ها و سیالات مخزن می تواند جابجایی نفت را افزایش دهد.

5. اصلاح کشش سطحی: پلی الکترولیت ها می توانند کشش سطحی بین فازهای مختلف نفت خام را تغییر دهند که می تواند بر فرآیندهایی مانند بازیافت و جداسازی نفت تأثیر بگذارد.

انتخاب پلی الکترولیت ها به ویژگی های خاص نفت خام، چالش های پیش روی در شرایط فرآوری یا مخزن و نتیجه مطلوب بستگی دارد. پلی‌الکترولیت‌ها با تأثیر بر برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی بین ذرات باردار عمل می‌کنند و باعث پایداری اجزای مختلف در سیستم‌های نفت خام می‌شوند.

انتخاب بازدارنده مناسب بر اساس ویژگی های خاص نفت خام و شرایط عملیاتی بسیار مهم است. اثربخشی یک بازدارنده می تواند متفاوت باشد و اغلب نیازمند بررسی و آزمایش دقیق در زمینه خاص میدان نفتی یا پالایشگاه است.

## نمونه‌ای از بازدارنده‌های رسوب آسفالتین

### تولوئن

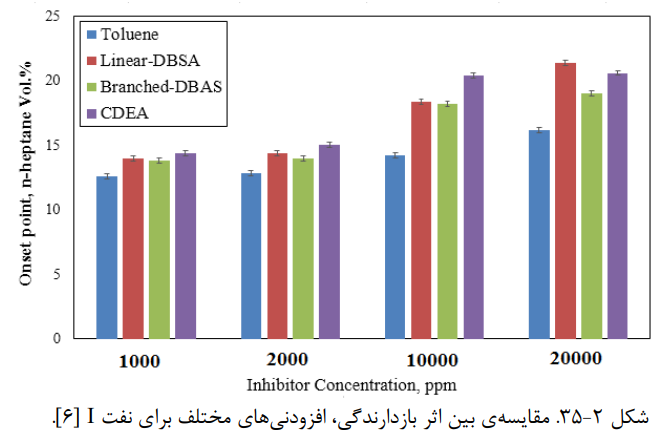
اگرچه تولوئن یک حلال مرسوم برای آسفالتین است، اما فاقد بخش‌های قطبی برای ساختن برهمکنش قوی با ذرات آسفالتین می‌باشد. طاهر و همکارانش[20] برای نفت کویت بازدارندگی با تولوئن و نفت بدون آسفالتین را بررسی کردند و دریافتند که تأثیر بازدارندگی تولوئن با رقیق سازی ناگهانی در کمتر از 36 درصد وزنی، قابل توجه می‌گردد و با استفاده از غلظت ppm 500000 از تولوئن، پایدار شدن آسفالتین مشاهده می‌گردد. بطور قطعی، غلظت غیرعادی در آزمایشات انجام شده مورد استفاده قرار گرفته است. پایدارسازی آسفالتین به وسیله‌ی تولوئن تنها بعلت آروماتیکی بودن آن است که به مولکول‌های تولوئن اجازه می‌دهد تا به وسیله‌ی پیوند سبب جلوگیری از ته نشین شدن آسفالتین گردند. از این رو، نقش تولوئن بطور اساسی با عامل‌های آمفی فیلیک متفاوت است که در قسمت‌های بعدی مورد بحث قرار گرفته است. بطور کلی نقش آروماتیک نسبت به برهمکنش اسید–باز، خیلی ضعیف‌تر است که بطور مستقیم با میزان تولوئن مورد استفاده برای رقیق سازی متناسب است. از دید اقتصادی، یک اضافه شونده‌ی سودمند می‌بایست آسفالتین را در کمترین غلظت ممکن به پایداری برساند و از این منظر، استفاده از تولوئن توصیه نمی‌گردد.

### DBSA (دو دسیل بنزن سولفونیک اسید)

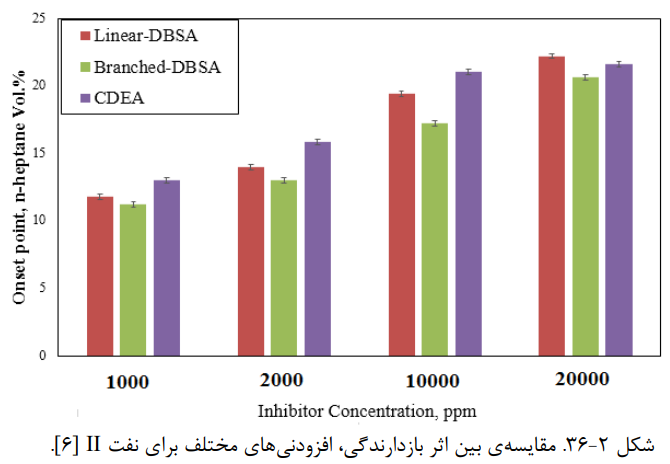
DBSA می‌تواند بصورت مؤثری پایداری آسفالتین را بهبود بخشد و به ترتیب میزان بیشتر از 2/21 و 22 درصد حجمی از نرمال هپتان برای ته‌نشین شدن آسفالتین موجود در نفت‌های خام I و II مورد نیاز است. سولفونیل هیدروکسید، خاصیت اسیدی قوی به DBSA می‌دهد که سبب می‌شود بطور غیر قابل بازگشتی به مغزه‌ی آسفالتین بچسبد. همچنین از این شکل‌ها می‌توان مشاهده کرد که شکل‌های خطی و شاخه‌دار از DBSA نقطه‌ی هجوم ته‌نشین شدن مختلفی را ارائه می‌دهند. با توجه به مدل کلوییدی ترمودینامیک، آسفالتین وابسته به ذرات قطبی پراکنده شده در یک ساختار غیرقطبی که عمدتا از اجزاء آمفی‌فیلیک ساخته شده است، وابسته می‌باشد. از اینرو، به علت لیوفوبیک طبیعی، آسفالتین تمایل دارد به‌وسیله‌ی خود تجمعی انباشته گردد. در این حالت، مشابه با فعالیت رزین، آمفیفیلیک (در اینجا DBSA) می‌تواند پایداری آسفالتین را به وسیله‌ی تشکیل لایه مربوط به طرز استقرار اتم‌ها در اطراف مایسل‌های آسفالتین را بالاتر ببرد. بعضی از محققان به برهمکنش اسید–باز اشاره داشته‌اند (بین گروه‌های سر آن‎ها با عامل‌های قطبی آسفالتین)، چسبیده می‌شود. زنجیره‌ی آلکیل آمفیفیل خطی‌ یا شاخه‌ دار با بخش‌های غیرقطبی فاز هیدروکربن تماس برقرار می‌کنند و آسفالتین را به وسیله‌ی به تأخیر انداختن آمیزش از طریق خنثی نمودن برهمکنش کششی، پایدار نگه می‌دارد. Leon و همکارانش[12] دریافتند که اثر آمفیفیلک در ارتباط مستقیم با میزان حداکثر جذب شیمیایی روی مغزه‌ی آسفالتین می‌باشد. از این رو، یک بازدارنده‌ی کارا می‌بایست‌ یک لایه‌ی محافظ پیرامون ذرات آسفالتین به وسیله‌ی پوشاندن تمام بخش‌های فعال قطبی، مربوط به مولکول‌های آسفالتین ایجاد کند. همانگونه که از شکل‌های زیر مشهود است، DBSA شاخه‌دار دارای میزان ثابت و کمی از اثر بازدارندگی با توجه به نقطه‌ی هجوم پایین در مقایسه با نوع خطی DBSA دارا می‌باشد. به علاوه، این اختلاف در غلظت‌های بالاتر از بازدارنده نمایان‌تر است. شاخه‌ها، طول زنجیره‌ی هیدروکربنی را کاهش می‌دهند که بخش لیپوفیلیک مولکول DBSA نزدیکی یا وابستگی هیدروکربنی مربوط به مولکول سورفاکتنت را تضعیف می‌کند. بنابراین DBSA شاخه دار حمایت ضعیف‌تری نسبت به نوع بی شاخه آن و پیرامون ذرات آسفالتین ایجاد می‌کند و نیروی سر قطبی و زنجیر آلکیل تعیین کننده‌ی کارایی بازدارنده هستند. مواد شیمیایی با زنجیر آلکیل کوتاه دارای قدرت بازدارندگی ناچیزی می‌باشند. بنابراین، توصیه شده است که تنها آمفیفیلک‌هایی با دنباله‌ی متشکل از تعداد کربن بیشتر می‌توانند به آسفالتین نیروی نگهدارنده‌ی قابل توجهی را اعمال کنند.

### CDEA (دی اتانول آمین کوکونات)

این ماده دارای دو سرگروه قطبی به منظور برهمکنش با آسفالتین در نفت خام می باشد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که نونیل فنول قدرت بازدارندگی کمتری (دارای یک گروه OH تنها)، در مقایسه با DBSA می‌باشد. در حقیقت، آنچه که توسط Sahhaf-Al و همکارانش [20] استنتاج شده است، سولفونیل هیدروکسید ، دارای قدرت اسیدی بیشتری نسبت به هیدروکسیل OH می‌باشد و می‌تواند چسبندگی قویتری را روی سطح آسفالتین ایجاد کند. با توجه به این مشاهدات، این امر قابل درک است که CDEA بدلیل دارا بودن 2 گروه هیدروکسیل و این عامل‌های دوگانه قدرت بازدارندگی بیشتری در CDEA نسبت به DBSA ایجاد می‌کنند. همانطور که در شکل‌های 5 و 6 قابل مشاهده است، تا غلظت ppm،10000 CDEA دارای قدرت بازدارندگی بیشتری برای هر دو نفت خام مورد تحقیق قرار گرفته، می‌باشد. هرچند که خارج از این غلظت، CDEA قدرت بازدارندگی خود را از دست داده و DBSA خطی جایگزین آن می‌گردد. با توجه به این شکل‌ها، مشخص است که CDEA دارای اثر بازدارندگی برابری در دو غلظت 10000 و ppm 20000 می‌‌باشد. در این ارتباط، ممکن است این نتیجه‌گیری بعمل آید که CDEA نتواند در غلظت‌های بالاتر از ppm10000 قدرت بازدارندگی خود را نگه دارد. در طرف مقابل، DBSA و به ویژه نوع خطی آن، هنوز تمایل به بالاتر بردن نقطه‌ی هجوم دارند. این یک پدیده‌ی اتفاقی نمی‌باشد، بلکه بیان می‌کند که حالت بدون تغییر می‌تواند به میزان CDEA جذب شده روی آسفالتین مربوط باشد. از طرف دیگر، به این امر پی برده شده است که سورفاکتنت ناشی از فنول تمایل به قرار گرفتن بصورت موازی روی سطح آسفالتین دارد که یک توده‌ی متراکم از تک لایه‌ها را ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، برهمکنش قطبی قوی از طریق گروه‌های دو گانه‌ی هیدروکسیل می‌تواند پوشش مکان‌های قطبی روی آسفالتین، به وسیله ی مولکول‌های CDEA را تسریع بخشد. فراتر از یک نقطه ای که نقطه‌ی اشباع نامیده می‌شود، اضافه نمودن مقدار بیشتری از CDEA درون نفت، ضخامت لایه‌ی آمفیفیلک مونومری، بصورت محوری جذب شده روی سطح آسفالتین را بیشتر می‌کند. در این شرایط مولکول‌های جذب شده‌ی CDEA نمی‌توانند زنجیره‌ی آلکیلی متعلق به خود را منبسط کنند و لایه محافظ پیرامون مایسل آسفالتین به ماکزیمم میزان چربی گرایی می‌رسد. برای ساختن یک لایه‌ی پیرامونی پایدار مربوط به طرز استقرار اتم، الزام است CDEA هردوی گروه‌های هیدروکسیل خود را از طریق چسبیدن روی مایسل آسفالتین، بیشتر ارضا کند، در غیر اینصورت هیدروکسیل جذب نشده تمایل دارد قطبیت مایسل را، به وسیله ی فعالیت مشابه با مکان‌های قطبی اصلی روی مولکول‌های آسفالتین، حفظ کند. در این روش، یک موازات و همسانی بین عامل تأخیر فضایی مربوط به زنجیره‌ی آلکیل در DBSA شاخه‌دار و گروه OH دوگانه در CDEA، وجود دارد. با توجه به مباحث قبلی، با نگاه به ساختار مولکول‌ها در آمفیفیلیک، ماوراء غلظت بهینه که تاثیر نامحسوس بازدارنده جایگزین گردد، وجود دارد. در این تحقیق، DBSA و CDEA ماکزیمم قدرت بازدارندگی خود را در ppm 10000 نشان می‌دهند. برای اجتناب از ته نشین شدن آسفالتین در طول تزریق حلال به درون مخازن هیدروکربنی، استفاده از عوامل ایجاد کننده‌ی نیروهای نگهدارنده یک موضوع برگزیده است، اما بدلیل جایگزین شدن پراکندگی و جذب در ساختارهای متخلخل رسوبات زیرزمینی، آمفیفیلیک در معرض رقت شدید قرار دارد و در حالی که در سرتاسر مخازن تکثیر شده است کارایی خود را از دست می دهد.



شکل ‑ مقایسه بین اثر بازدارندگی افزودنی های مختلف برای نفت



شکل ‑ مقایسه بین اثر بازدارندگی افزودنی های مختلف برای نفت

به طور كلي دلايلي كه براي رسوب آسفالتين ها بيان شده است عبارتند از : تزريق گاز ، تغييرات جريان نفت خام ، وجود تركيبات آلي نامناسب ، افت فشار ، تحريك و تنش ، پتانسيل جريان ، سطوح فعال فلزي ، افت دما و وجود گازهاي غير هيدروكربني مانند CO2، آسفالتين ها را به صورت تركيبات با بيشترين جرم مولكولي و قطبيت در طيف تركيبات موجود در سيالات ، نفتي مي شناسند به همين علت مي توان با افزايش حلالهاي غير قطبي آسفالتين ها را از سيالات نفتي جدا كرد. بسته به نوع حلال به كار رفته هر چه سنگين تر باشد، جرم مولكولي و قطبيت آسفالتين هاي استخراج شده بيشتر مي باشد.

رسوب اسفالتين معمولأ در مخازني با مشخصات زير اتفاق مي افتد :

1- سيال مخزن از نفت سبك تا متوسط با مقدار اندك آسفالتين تشكيل شده باشد .

2-فشار اوليه چاه خيلي بزرگتر از فشار اشباع باشد .[21]

روش های زیادی از جمله روش های مکانیکی و شیمیایی برای حل مشکلات ناشی از وجود آسفاتین وجود دارد. روش های مکانیکی شامل استفاده از PIG[[17]](#footnote-17)، برش سیمی[[18]](#footnote-18) و استفاده از لوله مغزی سیار[[19]](#footnote-19) است و همچنین روش‌های درمان شیمیایی شامل تزریق بازدارنده‌ها، پخش کننده‌ها یا حلال‌ها است.

دو روش شیمیایی پرکاربرد برای درمان آسفالتین وجود دارد یک روش که بر مبنای از بین بردن رسوب آسفالتین پس از تشکیل است که در این روش معمولا از حلال هایی همچون تولوئن و زایلن استفاده می‌شود و در روش دیگر از مواد شیمیایی جهت جلوگیری از تشکیل رسوب استفاده می‌شود که این روش با وجود هزینه های اولیه، مشکلاتی که در اثر ایجاد تشکیل رسوب آسفاتین را به وجود می آورد ندارد.

مزایای استفاده از مواد شیمیایی بازدارنده آسفالتین عبارتند از:

* کاهش رسوب مواد جامد که به حفظ تولید کمک می کند.
* کاهش در اتصال تجهیزات منجر به کاهش NPT[[20]](#footnote-20)
* کاهش مشکلات تصفیه آب تولیدی که منجر به کاهش انتقال نفت در آب می شود که به نوبه خود منجر به دفع ایمن آب از نظر زیست محیطی می شود.
* کاهش فشار پمپاژ به دلیل کاهش ویسکوزیته

### کاربرد نانوذرات برای جلوگیری از ایجاد رسوب

نانوذرات (NPs) اخیرا به عنوان جاذب آسفالتین موثر و بازدارنده رسوب شناخته شده‌اند. گزارشات کارهای پیشین نشان می‌دهد که جذب آسفالتین توسط نانوذرات با افزایش آروماتیک بودن و قطبیت آسفالتین‌ها افزایش می‌یابد. علاوه براین، نانوذرات در حضور سایر ترکیبات نفتی مانند رزین ها، گزینش پذیری بالاتری نسبت به آسفالتین ها نشان می‌دهند. نانوذرات کامپوزیتی به دلیل هم افزایی ناشی از اتصال نانوذرات معدنی به هیدروکربن، بازدارنده‌های رسوب آسفالتین خوبی هستند. نانوذرات اسیدی و نانوذرات با اندازه کوچک، جاذب های بهتری برای آسفالتین هستند، در حالی که نانوذرات پایه و نانوذرات با اندازه بزرگ به عنوان محرک‌های بهتر اکسیداسیون آسفالتین گزارش می‌شوند.

نانوذرات با کمک خواص قابل تنظیم خود، مانند سطح عملکرد، تحرک عالی در محیط‌های متخلخل، نسبت سطح به حجم بالا، درجه پراکندگی بالا، قابلیت جذب بالا و فعالیت کاتالیزوری بالقوه، بازیابی نفت سنگین را افزایش می‌دهند. به همین دلیل مقدار کمی از NPs می‌تواند یک راه حل قابل اجرا برای مشکل رسوب آسفالتین ارائه دهد. نانوذرات با توجه به مساحت سطح بسیار زیاد خود می‌توانند به طور موثر آسفالتین‌ها را جذب و پراکنده کنند و از رسوب آسفالتین‌ها جلوگیری کنند. مقدار آسفالتین‌های جذب شده در واحد سطح نانوذرات به نوع ذرات، خواص NPs (به عنوان مثال، اندازه و اسیدیته سطح)، درجه برهمکنش بین سطح NP و آسفالتین ها، و میزان پراکندگی آن بستگی دارد. بررسی های تجربی نشان داد که نانوذرات با سطح اسیدی در مقایسه با NP های بازی و خنثی، آسفالتین بیشتری را جذب می کنند. علاوه بر این، در حضور رزین ها، NP ها تمایل دارند که به طور انتخابی آسفالتین ها را جذب کنند. بر اساس نتایج اخیر، نانوکامپوزیت ها; از جمله NiO/SAPO-5، NiO/AlPO-5، NiO/ZSM-5 و Fe3O4@Chitosan ، عملکرد بیشتری را برای حل مشکل رسوب آسفالتین نسبت به نانوذرات اکسید فلزی تنها نشان می دهند. دوز بهینه نانوذرات بسته به نوع نانوذرات و همچنین محیط متخلخل، بسیار متفاوت است. یکی دیگر از جنبه های کاربرد نانوذرات، اکسیداسیون سریع آسفالتین های جذب شده است. این ویژگی در هنگام برنامه نانوذرات نقش بسزایی دارد. عوامل موثر بر جذب آسفالتین توسط نانوذرات به شرح زیر می‌باشد:

* اندازه نانو ذرات
* اسیدی یا بازی بودن سطح نانوذرات
* مقدار نانوذرات مورد استفاده
* نوع نانوذرات مورد استفاده

چالش‌های حیاتی در کاربرد نانوذرات نیز به شرح زیر می‌باشد.

* عوامل رسوب(C5, C6)
* مقدار آسفالتین و وزن مولکولی
* درصد N وS در آسفالتین
* رزین
* حالت تجمع آسفالتین
* اندازه هسته آروماتیک و خاصیت آروماتیکی و گروه‌های عاملی آسفالتین

اگرچه استفاده از NPs در صنعت نفت امیدوارکننده است، اما با چالش‌های متعددی مواجه است. یکی از مسائل مهم فقدان تعداد کافی آزمایش در مقیاس آزمایشی است. هزینه تولید NP مشکل دیگری است، زیرا نتایج مطلوب ممکن است تنها در غلظت بالای نانوذرات در حالی که با موارد در مقیاس بزرگ سروکار دارد به دست آید. آماده‌سازی داخلی/درجا نانوذرات از پیش‌سازهای ارزان‌قیمتشان، راه‌حل مناسبی برای مسئله هزینه ارائه می‌دهد. در روش دیگر، استفاده از NP‌های طبیعی (مانند اکسی هیدروکسیدهای آهن) یا تولید انبوه نانوذرات در شرایط بهینه ممکن است هزینه را کاهش دهید علاوه بر این، پایداری، پراکندگی و تعامل NP با سایر اجزاء، به ویژه در شرایط مخزن، کاربرد آنها را محدود می‌کند. از نظر سنتز، نانوکامپوزیت‌های بیشتری، به‌ویژه کامپوزیت‌های پلیمرNP، با توجه به ویژگی‌های جذابشان باید طراحی و آماده شوند. افزودن سایر نانوذرات یا پلیمرها به یک NP معین ممکن است نیروهای دافعه بین ذره ای را افزایش دهد و در نتیجه پپتیزاسیون ایجاد شود. از این رو، افزودنی های متصل نباید برهمکنش NPآسفالتین و/یا ویژگی های کاتالیزوری NP را بپوشانند. این همچنین اهمیت کاوش در روش‌های جدید لنگر انداختن فیزیکی/شیمیایی را برجسته می‌کند. نانوذراتی که سینتیک جذب بالا و ترمودینامیک آسفالتین‌ها، تحمل بالا به شوری، دما و pH را با هزینه کم نشان می‌دهند، امیدوارکننده به نظر می‌رسد که مورد استفاده قرار گیرند. این ویژگی ها برای استفاده از NP ها در مخازن مهم تر می شوند. ویژگی‌های انتقال NP و جذب و دفع آنها به سنگ‌های مخزن باید با استفاده از مدل‌های فیزیکی و ریاضی ارزیابی شوند. پتانسیل برای کاربرد NP دو فلزی و هسته-پوسته برای حل مشکلات مربوط به آسفالتین هنوز به طور عمیق مورد بررسی قرار نگرفته است. مزیت و معایب بالقوه جذب آسفالتین بر روی نانوذرات نسبت به عملیات های مختلف EOR نیز باید به طور سیستماتیک مورد مطالعه قرار گیرد. همانطور که در بررسی فعلی مشاهده می‌شود، بیشتر تحقیقات تحقیقاتی مربوط به جذب آسفالتین‌ها روی نانوذرات عمدتاً بر روی نانوذرات اکسید فلز متمرکز شده‌اند. بنابراین، انواع دیگر نانوذرات آلی و معدنی. از جمله نانوسلولز، نانولوله‌های کربنی (CNTs)، و نانوذرات فلزی باید مورد بررسی قرار گیرند. پراکندگی چنین NP ها در نفت خام ممکن است به دلیل تمایل آنها به ترکیبات آلی کاربردی و غیرعملکردی آسان تر باشد. علاوه بر کاوش در ماهیت اسیدی/بازی آسفالتین‌ها، باید اثر بخش‌های فرعی آسفالتین در نظر گرفته شود. همچنین انجام مطالعات تحقیقاتی برای بررسی بیشتر نقش ساختارهای مختلف آسفالتین در جذب و اکسیداسیون آسفالتین ها توصیه می شود.[22]

عوامل دیگری نیز مانند شرایط مخزن و اثر متقابل نانوذرات و آسفالتین نیز بر جذب آسفالتین تاثیرگذار است.

در چندین مطالعه خواص نانوذرات متفاوت بر جذب آسفالتین بررسی شده است که در جدول زیر خلاصه آن جمع‌اوری شده است.

جدول ‑ خواص نانوذرات متفاوت به کار گرفته شده برای جذب آسفالتین

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **نوع نانوذرات** | **مقایسه ظرفیت** | **مقایسه ترکیب‌پذیری** | **اندازه‌گیری** | **توضیحات** | **منابع** |
| Acidic (WO3, NiO);  Amphoteric (Fe2O3,  ZrO2);Basic  (MgO and CaCO3) | Qe (in mg/m2):  NiO(3.67) > Fe2O3(3.52) > WO3(3.35) > MgO  (2.62) > CaCO3(2.17) > ZrO2(1.23);  Qe′ (in mg/g):  MgO > CaCO3 > Fe2O3 > NiO > ZrO2 > WO3 | - | UV | - | [23] |
| Alumina (micro/nano) | Qmax (mg/m2):  Nano-alumina (1.73)>Micro-alumina (0.448) | نانو آلومینا میل ترکیبی بیشتری نسبت به میکرو آلومینا دارد. | TGA | میکرو آلومینا آسفالتین را بهتر از نانوآلومینا اکسید می کند. | [24] |
| Amphoteric (Fe3O4,  Co3O4); Basic (TiO2,  MgO, CaO, NiO) | Qm (mg/m2):  CaO(2.7) > Co3O4(1.76) > Fe3O4 (1.7) > MgO (1.35) > NiO(0.58) >TiO2(0.54) | KL دارای ترتیب زیر است: NiO>TiO2>CaO=Co3O4>Fe3O4>MgO | TGA | TiO2 و NiO سطح BET بیشتری را در مقایسه با سایر NP ها نشان می دهند. | [25] |
| NiO; Co3O4; Fe3O4 | - | NiO>Co3O4>Fe3O4 | TGA | فعالیت کاتالیزوری و اکسیداسیون به ترتیب زیر است: NiO>Co3O4>Fe3O4  بین میل ترکیبی جذب و فعالیت کاتالیزوری رابطه وجود دارد. | [26] |
| Alumina NP (γ-Al2O3) | Q (به میلی گرم در گرم):  8.8، 44.6، و 68.0 برای غلظت های اولیه 100، 500 و 1000 ppm | - | UV (400 nm) | جذب آسفالتین رو γ-Al2O3 خود به خود و گرمازا است. | [27] |
| ماگمیت سنتز شده (γ-Fe2O3). هماتیت سنتز شده (α-Fe2O3) | حداکثر ظرفیت جذب γ-Fe2O3 و α-Fe2O3 به ترتیب 108.1 و 45.8 میلی گرم بر گرم در دمای 25 درجه سانتی گراد است.  مقادیر Qm برای γ-Fe2O3 و α-Fe2O3 1.36 و 0.66 mg/m2 است. | γ-Fe2O3 میل ترکیبی بیشتری نسبت به α-Fe2O3 دارد. | UV–vis  (297 nm) | جذب آسفالتین رو α-Fe2O3 و γ-Fe2O3 گرمازا و گرمازا است. | [28] |
| In situ NiO  Commerical NiO | جذب آسفالتین برای NiO و نانوذرات تجاری در محل، به ترتیب 2.8 و 0.38 گرم اسفالتین بر گرم NPs است. | NiO آماده شده در محل دارای میل ترکیبی بالاتری نسبت به NiO تجاری است. | TGA | NiO آماده در محل در مقایسه با NiO تجاری بهتر پراکنده می شود. جذب چند لایه رخ می دهد. | [29] |
| Fe3O4 NPs | Qm برای VBASP 6، VBASP 7، VBASP 8 و VBASP 9 به ترتیب 0.047، 0.048، 0.085 و 0.197 mol/g است. | میل جذبی با افزایش وزن مولکولی آسفالتین افزایش می یابد. | UV–vis  (303 nm);  TGA/DSC  analyzer | با کاهش وزن مولکولی آسفالتین سرعت جذب افزایش می یابد. | [30] |
| Acidic alumina;  Neutral alumina;  Basic alumina | آلومینا اسیدی ظرفیت جذب بیشتری نسبت به آلومینا پایه و خنثی دارد. مقادیر Qm برای آلومینا اسیدی، بازی و خنثی به ترتیب 0.58، 0.42 و 0.38 mg/m2 است. | آلومینای پایه و خنثی میل ترکیبی جذب بالاتری نسبت به آلومینا اسیدی دارند. | TGA | آلومینای پایه در مقایسه با آلومینا اسیدی و خنثی فعالیت کاتالیزوری بیشتری دارد و انرژی فعال سازی بیشتری را کاهش می دهد. | [31] |
| Fumed silica; NiO;  PdO supported on  fumed silica  (SNi1Pd1) | مقادیر Qm برای نانوذرات سیلیس فومدار و برای تولوئن، هپتول 20 و هپتول 40 به ترتیب 2.89، 2.97 و 3.15 میلی گرم بر متر مربع است. همچنین برای SNi1Pd1 این مقادیر به ترتیب 6.36، 6.40 و 6.58 mg/m2 است. | برای نانو ذرات سیلیکا دودی، تمایل جذب به ترتیب زیر است: تولوئن < هپتول 20 < هپتول 40. برای SNi1Pd1، همین روند مشاهده می شود. همچنین، SNi1Pd1 تمایل بیشتری به جذب اسفالتین در مقایسه با سیلیس دود دارد. | UV (290 nm);TGA | فعالیت کاتالیزوری نانوذرات با افزایش اندازه تجمع آسفالتین کاهش می یابد. | [32] |
| In siti Fe2O3  Commerical Fe2O3 | Qm برای Fe2O3 تهیه شده در محل و Fe2O3 تجاری به ترتیب 2.6 و 0.9 گرم اسفالتن در گرم NPs است.. | - | TGA | نانوذرات درجا آسفالتین بیشتری را جذب می‌کنند و گزینش پذیری بیشتری به آسفالتین دارند. | [33] |
| TiO2;  ZrO2;  CeO2 | مقادیر Qm (mg/m2) برای ZrO2، CeO2 و TiO2 به ترتیب 3.21، 2.65 و 0.540 است.. | تمایل جذب به ترتیب زیر است: CeO2 > TiO2 > ZrO2 | UV–vis  (400 nm);  TGA/DSC  analyzer | CeO2 بیشترین فعالیت کاتالیزوری را نسبت به آسفالتین ها دارد. | [34] |
| Fe2O3;  Fe3O4;  Al2O3 | Qm (mg/m2) برای Al2O3 در 410، 550، 700 K و TGA به ترتیب 1.4، 1.8، 2.4 و 1.7 است.  مقادیر Qm (mg/m2) برای Fe2O3 در 410، 550، 700 K و TGA به ترتیب 1.7، 2.1، 2.7 و 2.6 است.  مقادیر Qm (mg/m2) برای Fe3O4 در 410، 550، 700 K و TGA به ترتیب 1.7، 2.2، 2.9 و 2.1 است. | برای UV–vis در هر سه طول موج مختلف، KL به ترتیب زیر است:  Fe2O3 > Al2O3 > Fe3O4.  بر اساس نتایج TGA، ترتیب زیر برای KL مشاهده شد:  Fe2O3 > Fe3O4 > Al2O3. | UV–vis (410/  550/700 nm);  TGA | بر اساس نتایج TGA، نانوذرات اکسیداسیون آسفالتین را در جهت مخالف حداکثر ظرفیت جذب در میلی گرم در گرم افزایش دادند (Al2O3 > Fe2O3 ≈ Fe3O4). TGA قابل اعتمادتر از UV است. | [35] |
| NiO2در چهار اندازه مختلف 5، 15، 30، 40 نانومتر آماده شده است. | Qm (مولکول/nm2) برای 5، 15، 30 و 40 نانومتر به ترتیب 0.21، 1.01، 0.47 و 0.81 است.  مقادیر Qm برای 5، 15، 30 و 40 نانومتر به ترتیب 18.1، 23.3، 5.0 و 4.4 میلی گرم بر گرم است. | - | TGA/DTA;  TGA-MS | با کاهش اندازه NP، فعالیت کاتالیزوری NP افزایش می یابد. | [36] |
| γ-Fe2O3 | Qm برآورد شده از مدل لانگمویر در 298، 313 و 328 K به ترتیب 60.24، 64.51 و 64.102 میلی گرم بر گرم است. | KL در سه دمای 298، 313 و 328 کلوین به ترتیب 0.0142، 0.0155 و 0.0168 است. | UV (297 nm);  TGA/DTA | γ-Fe2O3 دمای اکسیداسیون آسفالتین را کاهش می دهد.  نانوذرات دارای اثر کاتالیزوری در جهت اکسیداسیون آسفالتین هستند. | [37] |
| کامپوزیت NiO/SAPO-5 | مقادیر Qm در 298، 325، 342 و 353 K عبارتند از 111.11، 109.42، به ترتیب 104.53 و 91.74 mg/g. | KL در 342 و 353 K به ترتیب 0.0039 و 0.0029 است. بنابراین، میل جذبی در 342 کلوین بیشتر از 353 کلوین است. میل جذبی در 298 کلوین بیشتر از 328 کلوین است. | UV–vis  (405 nm) | - | [38] |
| NiO/ZSM-5  نانو کامپوزیت | مقادیر Qm در 298، 325، 342 و 353 K عبارتند از 117.65، 113.64، به ترتیب 111.28 و 100.00 mg/g. | مقادیر KL در 342 و 353 K به ترتیب 0.0036 و 0.0026 هستند، یعنی میل جذبی در 342 K بیشتر از K 353 است. میل جذبی در K 298 بیشتر از K 325 است. | UV–vis  (405 nm) | - | [39] |
| Fe3O4  @Chitosan  نانوکامپوزیت | Qm برابر با 87.72 mg/g است. | KL=0.005 | UV/vis  (700 nm) | Fe3O4/Chitosan می تواند به طور موثری آسفالتن را جذب کند و همچنین پایداری و تشکیل امولسیون را کنترل کند. | [40] |
| NiO in five different  sizes 5, 10, 20, 40,  80 nm | Qm برای 5، 10، 20، 40، 80 نانومتر برابر با 191.18، 142.68، 65.00، 42.79 و 32.67 میلی گرم بر گرم است.  Qm برای 5، 10، 20، 40 و 80 نانومتر برابر با 1.21، 2.46، 3.25، 3.89 و 10.89 گرم بر متر مربع است. | پارامتر H برای 5، 10، 20 و 40، 80 نانومتر به ترتیب 1.09، 0.84، 4.95، 15.68 و 18.92 است. | UV–vis  (289 nm);  TGA | با کاهش اندازه NP، میل جذبی افزایش می یابد. نانوذرات با اندازه کمتر فعالیت کاتالیزوری بهتری دارند. | [41] |
| Fe3O4;  Fe3O4/SiO2;  Fe3O4/TiO2;  Fe3O4/Chitosan | مقادیر Qm برای Fe3O4، Fe3O4/SiO2، Fe3O4/TiO2، و Fe3O4/Chitosan به ترتیب 66.21، 76.50، 74.22 و 100.12 mg/g است. | - | UV–vis  (700 nm) | نانوکامپوزیت‌ها عملکرد بهتری در مقایسه با NPs برای اهداف EOR دارند.  نانوکامپوزیت‌ها می توانند آسفالتین را بهتر جذب کنند و آب را در مولسیون های نفتی تثبیت کنند. | [42] |

### کاربرد نانوسیالات برای جلوگیری از ایجاد رسوب

تحقیقات دیگری برای جلوگیری از ایجاد رسوب یا به تاخیر انداختن رسوب آسفالتین از نانوسیالات با پایه معدنی مانند TiO2، ZrO2 و SiO2 برای سنجش میزان پایداری آسفالتین استفاده شده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که نانوذرات ریز روتیل[[21]](#footnote-21) (TiO2) می توانند به طور موثری پایداری آسفالتین را در شرایط اسیدی(PH های کمتر از 4) افزایش دهند و در شرایط بازی معکوس عمل کنند. از طیف سنجی FTIR برای نشان دادن تغییرات در بازدارندگی آسفالتین استفاده کرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از طیف‌سنجی FTIR، نانوذرات TiO2 می‌توانند پایداری نانوذرات آسفالتین را از طریق تشکیل پیوند هیدروژنی در شرایط اسیدی افزایش دهند. این در حالی است که سایر مواد مورد استفاده در این آزمایش و همچنین نانوذرات TiO2 در شرایط پایه، قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی نیستند، بنابراین قادر به جلوگیری از رسوب آسفالتین نیستند. این تحقیقات در ابعاد میدانی تست نشده است. [43]

مایعات یونی (ILs) و حلال های یوتکتیک عمیق آبگریز (HDES[[22]](#footnote-22)) اخیراً به عنوان بازدارنده های سازگار با محیط زیست و کم هزینه توجه را به خود جلب کرده اند. در تحقیقات دیگری Sanati و همکارانش برای اولین بار، بر کاربرد بالقوه سه حلال یوتکتیک عمیق آبگریز (HDESs) تهیه شده با مخلوط کردن کلرید متیل تری‌اکتیل آمونیوم (N81Cl) به عنوان گیرنده پیوند هیدروژنی (HBA) با دهندگان پیوند هیدروژنی الکلی (HBDs)، یعنی 1-پروپانول، 1،3-پروپاندیول و گلیسرول تمرکز کردند و همچنین عملکرد HDESs با یک مایع یونی با پایه فسفونیوم(TTPBP) و همچنین دودسیل بنزن سولفونیک اسید (DBSA)، به عنوان یک بازدارنده رسوب آسفالتین معمول مقایسه شد. با استفاده ازآنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز فوریه (FTIR)، آنالیزهای حرارتی (TGA) و آنالیز عنصری برای آسفالتین‌های بازیافت‌شده از محلول‌های HDES و TTPBP برای بررسی ساختار آنها استفاده شد. نتایج اسپکتروفتومتری نشان داد که HDES با پایه گلیسرول (HDES 3) و TTPBP می توانند به طور موثری از رسوب آسفالتین جلوگیری کنند، جایی که عملکرد آنها با DBSA قابل مقایسه است. علاوه بر این، شاخص آروماتیک بودن، تخریب حرارتی، و محتوای H:C و اکسیژن شواهدی را ارائه می‌دهد که HDES 3 و TTPBP می‌توانند ساختار آسفالتین‌ها را مختل کنند، بنابراین آنها را در محیط اولئیک تثبیت می‌کنند. همچنین HDES ها کم هزینه، آسان برای ساخت و "سبز" هستند. HDES 3 به طور خاص به عنوان یک مهارکننده آسفالتین امیدوار کننده است. [44]

در تحقیقات دیگری که توسط Qubian و همکارانش انجام شد کارایی یازده بازدارنده آسفالتین بر روی نفت خام کویت بررسی شد. ویژگی‌های اصلی نفت خام مانند چگالی، ویسکوزیته، نقطه حباب، GOR و فشار شروع آسفالتین در آزمایشگاه PVT اندازه‌گیری شد. همچنین با کمک دو نرم‌افزار متلب و اکسل نمودار فازی آسفالتین رسم شد. تست های ویژگی متفاوتی انجام شد تا میزان پایداری نمونه نفتی مشخص شود. یازده بازدارنده آسفالتین که مربوط به پنج شرکت نفتی بزرگ جهانی هستند برای بازدارندگی آسفالتین تست شد و غلظت اوپتیمم در این بازدارنده‌ها اندازه‌گیری شد تا موثر ترین ماده شیمیایی شناسایی شود. شش تا از بازدارنده‌ها برای کاربرد میدانی مناسب بودند و میزان رسوب آسفالتین را بین 67 تا 75 درصد کاهش دادند. بازدارنده‌های مورد استفاده از ترکیبات آلیفاتیک، آروماتیک و مشتقات اسید آلی در نسبت‌های مختلف تشکیل شده‌اند ولی ترکیب دقیق آنها ذکر نشده است. [45]

در تحقیقات دیگری، مدحی و همکارانش تحقیقات دیگری بر روی بازدارنده‌های رسوب آسفالتین انجام دادند. در این تحقیق از Cetyl Terimethyl Ammonium Bromide (CTAB) و Sedium Dodecyl Sulfate(SDS) و Triton X-100 و و چهار ماده غیرتجاری(بنزن، بنزوئیک اسید، سالیسیلیک اسید و نفتالن) بر روی دو نمونه نفت ایرانی، استفاده کردند. آزمایش‌های پراکنده کننده‌های آسفالتین و Core Flood برای سنجش بازدارنده‎‌ها در شرایط استاتیک و دینامیک طراحی و انجام شد. در طی این آزمایش‌ها دریافتند که تعیین غلظت اپتیمم بسیار اهمیت دارد زیرا با افزایش غلظت بازدارنده‌ها، خود بازدارنده‌ها به هم می‌چسبند و میزان آسفالتین پایدار شده کاهش یابد. نتایج نشان می‌دهد که ppm600 از CTAB و ppm 300 از SDS غلظت اپتیمم انتخاب شده است. ساختار بازدارنده‌هایی که دارای گروه‌های عاملی (پیوند‌های π-π، برهم‌کنش اسید-باز و پیوند هیدروژنی) هستند بر تثبیت آسفالتین بسیار تاثیرگذار هستند(واکنش اسید و باز> پیوند هیدروژنی> پیوند π-π). از طریق آزمایشات مشخص شد که وجود گروه‌های هیدروکسیل (OH) و کربوکسیل (COOH) در ساختار حلقه‌های بنزن قدرت بازدارندگی آسفالتین را افزایش می‌دهد.[46]

* 1. **مطالعه موردی بر روی آسفالتین خروجی از میدان نفتی کوپال**

با توجه به مشکلات عدیده ایجاد شده توسط رسوب آسفالتین و کاهش بازده در بخش‌های مختلف تولید و فراوری نفت خام و همچنین برای استفاده کاربردی از مطالعات انجام شده در زمینه حذف آسفالتین از نفت تولیدی، بازدید جامعی از شرکت فراوری و انتقال نفت کوپال 4 اهواز انجام شد و مذاکراتی در خصوص همکاری دوجانبه برای حل مشکل آسفالتین موجود صورت گرفت. در ادامه به بررسی خواص نفت خام کوپال پرداخته می‌شود و برای حل این مشکل اقدام می‌شود.

حضور آسفالتین موجب مشکلاتی نظیر معکوس شدگی آب‌دوستی، کاهش نفوذ‌پذیری، افت افزایش فشار، بسته شدن چاه و لوله و همچنین کاهش نرخ تولید می‌شود.

ميدان نفتي كوپال در فاصله‌ي 60 كيلومتري شرق شهرستان اهواز قرار دارد. اين ميدان در ناحيه‌ي فروافتادگي دزفول شمالي و شمال استان خوزستان واقع شده است. روند ساختار تحت الارضي كوپال به صورت شمال غرب-جنوب شرق مي باشد. تاقديس كوپال در سطح زمين، توسط رسوبات تخريبي سازند آغاجاري و بخش لهجري پوشيده شده است. بررسي‌ها نشان داده كه هر چه عمق بيشتر باشد و يا به سطح تماس آب و مخزن نزديكتر شویم درصد آسفالتين توليد شده بيشتر است. همچنین در این میدان فشار مهمترین عامل در تشکیل رسوب آسفالتین است. درصد استخراج شده از نمونه‌های نفت مخزن آسماری مربوط به هر چاه نشان می‌دهد که درصد آسفالتین در حدود 6/0 تا 75/2درصد متغیر بوده است همچنین درصد آسفالتین این مخزن در یال شمالی بیش از یال جنوبی است. تصویر نمونه‌ی دریافت شده از نفت ورودی واحد ارائه شده است.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

شکل ‏1‑12 نمونه نفت خام و آسفالتین میدان کوپال

* 1. **تعیین استراتژی مناسب برای حذف آسفالتین از تجهیزات مورد استفاده در واحد کوپال4**

با توجه به رسوبات زیادی که در تجهیزات شرکت فراوری و انتقال نفت کوپال 4 اهواز تشکیل شده است یک فرایند چند مرحله‌ای برای حذف آسفالتین تشکیل شده، تعبیه شده است که در اینجا به تفصیل به آن پرداخته می‌شود.

باتوجه به اینکه ترجیح داده می‎شود که آسفالتین در تاسیسات و تجهیزاتی که نفت خام در بدو ورود با آنها در تماس قرار می‌گیرد، رسوب تشکیل نشود و سپس نفت به مکان مناسب برای تشکیل رسوب انتقال داده شده و با کمک مواد شیمیایی مناسب باعث تشکیل رسوب در مکان مناسب شده و پس از آن نفت بدون آسفالتین از سیستم خارج شود. خارج کردن مواد سنگین نفت از جمله آسفالتین باعث کاهش گرانروی و استفاده‌ی آسان‌تر در مراحل بعدی می‌شود. سپس بعد از تشکیل رسوب می‌توان مخزن دارای رسوب آسفالتین را با کمک حلال‌های آسفالتین یا درنهایت روش‌های مکانیکی از آسفالتین پاک نمود البته قابل ذکر است که آسفالتین، این ذرات سنگین نفتی کاربردهای متنوعی دارند و می‌تواند پس از انتقال در صنایع دیگر قابل استفاده است.

## روش های تست درصد ازبین بردن آسفالتین توسط حلال

### روش استاتیک

در این تست حدود 4-5 گرم از نمونه آسفالتین با کیفیت مناسب رو توری به ابعاد 15 \*15 قرار گرفته و در لیوانی که به آن 100 سی سی حلال اضافه شده، در حمامی با دمای 70 درجه قرار می‌گیرد . نوع توری مصرفی، توری فلزی معمولی است که سایز خانه های آن حدود 1 میلیمتر مربع می‌باشد. آنچه مهم است یکنواخت بودن شرایط آزمایش مانند نوع توری مصرفی، میزان حلال اضافه شده، ارتفاع حلال در لیوان و فاصله توری از کف لیوان در آزمایش های مختلف می‌باشد. در حالت استاتیک فقط رسوبات در حلال باقی مانده و به آنها یک ساعت و یکبار نیز سه ساعت در حمامی با دمای 70 درجه زمان داده می‌شود. سپس رسوبات روی توری جدا و وزن می‌شود .

برای اطمینان از اینکه آسفالتین در حلال حل شده و خرد نشده است، حلال موجود در لیوان روی کاغذ صافی بافت درشت فیلتر می‌شود و رسوبات روی کاغذ نیز وزن می‌شود

### روش دینامیک

در این تست حدود 4-5 گرم از نمونه آسفالتین با کیفیت مناسب رو توری به ابعاد 15 \*15 قرار گرفته و در لیوانی که به آن 100 سی سی حلال اضافه شده، در حمامی با دمای 70 درجه قرار می‌گیرد. نوع توری مصرفی، توری فلزی معمولی است که سایز خانه‌های آن حدود 1 میلیمتر مربع می‌باشد.

برای تست دینامیک در لیوان مگنت قرار داده شده و رسوبات یک ساعت و سه ساعت بازهم در دمای 70 درجه و با سرعت ثابت هم می‌خورند. سپس رسوبات روی توری جدا و وزن می‌شود.

برای اطمینان از اینکه آسفالتین در حلال حل شده و خرد نشده است، حلال موجود در لیوان روی کاغذ صافی بافت درشت فیلتر می‌شود و رسوبات روی کاغذ نیز وزن می‌شود.

### روش گراویمتری

در روش گراویمتری ابتدا مقدار مشخص از آسفالتین را با درصد مشخص از حلال مخلوط کرده سپس پس از گذشت زمان مناسب این محلول را توسط قیف بوخنر و با استفاده از خلاء از فیلتر کاغذی عبور داده فیلتری که از قبل وزن آن توسط ترازو مشخص شده، فیلتر در مدتی مشخص یا توسط اوون در دمایی مشخص خشک و یا در دمای محیط به مدت حداقل یه روز این فرایند رخ می دهد پس از خشک شدن فیلتر وزن شده و از تفاوت وزن اولیه و نهایی میزان آسفالتین حل نشده مشخص می‌شود. به این ترتیب می توان میزان حلالیت حلال رو مشخص کرد.

متاسفانه هنوز برای میزان ازبین بردن آسفالتین توسط حلال شیمیایی، استاندارد مشخصی تعریف نشده است. در تحقیقات و مطالعات اخیر بهترین روش موجود روش گراویمتری معرفی شده است. در این پروژه از روش گراویمتری به دلیل به روز بودن و استفاده در مقالات اخیر برای مشخص کردن میزان حلالیت استفاده شده است .

**روش انجام آزمایش**

ابتدا کلوخه آسفالتین برای جداسازی مقدار اندک مواد معدنی درون آن ، در مقدار کافی از حلال تولوئن ریخته توسط دستگاه تکان دهنده به مدت 15 دقیقه آن را کامل حل کرده . سپس با استفاده از قیف بوخنر و پمپ خلاء با فیلتر شماره 41 واتمن اقدام به صاف کردن محلول می کنیم. پس از صاف کردن محلول، محلول را در زیر هود قرار داده تا حلال تولوئن که بسیار فرار است، وارد محیط شود. پس از جدا شدن تولوئن کلوخه آسفالتین کاملا از مواد آلی تشکیل شده و برای شروع تست آماده است.

در ابتدا میزان مشخص از آسفالتین برای تست مشخص می شود. با توجه به اینکه تست در مقیاس آزمایشگاهی صورت می گیرد و با توجه به مقالات دیگر میزان 0.4 گرم آسفالتین برای کلیه تست های مقایسه­ایی انتخاب می شود.

سپس میزان حلال برای حل نمودن آسفالتین مشخص می شود. با توجه به رقابتی بودن تست و پیدا کردن بهترین عملکرد از میزان 30 سی سی حلال استفاده می شود. علت انتخاب این موضوع این است که مقدار توانایی حل کردن 0.4 گرم آسفالتین را توسط حلال های مشخص داشته و این مقدار می تواند معیار مناسبی برای پیدا کردن حلال مناسب باشد.

**مراحل انجام تست در شرایط اتمسفریک**

ابتدا میزان 0.4 گرم از آسفالتین توسط ترازو وزن کرده درون ظرف نمونه آزمایش قرار داده می‌شود. میزان 30 سی سی از حلال مورد نظر توسط پیپت جدا شد درون ظرف نمونه بروی آسفالتین ریخته می‌شود. ظرف نمونه آزمایش را به مدت 1 الی 2 دقیقه به صورت مداوم تکان داده تا تمام آسفالتین موجود در درون حلال حل شده و چیزی از آسفالتین باقی نماند. 20 دقیقه زمان ماند به محلول داده می شود. فیلتر شماره 42 واتمن (7/2 میکرو) را به وسیله ترازو وزن کرده، پس از گذشت مدت زمان مشخص در شرایط اتمسفریک فیلتر را درون قیف بوخنر قرار داده با اتصال ارلن خلاء به پمپ مکنده هوا شرایط خلاء ایجاد می شود. سپس محلول را بروی فیلتر ریخته می شود.

بعد از انجام مرحله فیلتر کردن ، فیلتر از قیف جدا شده به درون اون در دمای 75 درجه سانتی گراد به مدت 180 دقیقه قرار داده تا به صورت کامل خشک شود . پس از خشک شدن فیلتر دوباره وزن می شود­. اختلاف بین وزن اولیه فیلتر و وزن نهایی آن میزان آسفالتین نامحلول را مشخص کرد. به این ترتیب می توان درصد حلالیت را از فرمول1 زیر بدست می‌آید.

معادله 1

**مراحل آزمایش در شرایط دمایی**

تمامی مراحل شرایط اتمسفریک با یک تفاوت دراین مرحله تکرار خواهد شد. پس از اضافه کردن حلال به آسفالتین و تکان دادن ظرف به مدت 1 الی دو دقیقه ، ظرف نمونه گیری را درون حمام آب قرار داده و دمای مورد نظر را انتخاب کرده به مدت 1 ساعت درون حمام آب قرار می گیرد پس از این مدت دوباره مراحل فیلتر کردن محلول به طور کامل اجرا می شود. مدت زمان قرارگیری درون حمام و دمای آن در مراحل مختلف آزمایش قابل تغییر می باشد.

## تعیین ترکیب مناسب برای حلال آسفالتین

در آزمایشات ابتدایی از حلال های خالص استفاده می شود تا درصد کارایی هرکدام به دست آید سپس درصدهای مختلف از حلال‌های اصلی به همراه کمک حلال‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد تا به این ترتیب میزان بهینه­ایی که در آن از حلال آروماتیکی کمتری استفاده شده، مشخص شود. از تعداد زیادی حلال مانند زایلن، تولوئن، نونیل فنول و ... با درصدهای مختلف برای مقایسه استفاده شده است.

هدف از این بررسی پیدا کردن حلال‌های جایگزین و یا کاهش میزان مصرفی حلال‌های آروماتیکی، که بسیار خطرناک برای محیط زیست و محیط کار می باشند، است. این بخش از کار در حال انجام است و در گزارش های بعدی نتایج ارایع خواهد شد.

# منابع

1. Lightford, S., et al. *Development and field use of a novel solvent-water emulsion for the removal of asphaltene deposits in fractured carbonate formations*. in *SPE Annual Technical Conference and Exhibition?* 2006. SPE.

2. Long, R., *Chemistry of asphaltenes.* American Chemical Society, Advances in Chemistry Series, 1981. **195**: p. 17-27.

3. Hirschberg, A., et al., *Influence of temperature and pressure on asphaltene flocculation.* Society of Petroleum Engineers Journal, 1984. **24**(03): p. 283-293.

4. Fussell, L.T., *A Technique for Calculating Multiphase Equilibria (includes associated papers 8734 and 8746).* Society of Petroleum Engineers Journal, 1979. **19**(04): p. 203-210.

5. Kawanaka, S., S.J. Park, and G.A. Mansoori, *The role of asphaltene deposition in EOR gas flooding: a predictive technique.* SPE/DOE, 1988. **17376**: p. 17-20.

6. Leontaritis, K.J. and G.A. Mansoori, *Asphaltene deposition: a survey of field experiences and research approaches.* Journal of petroleum science and engineering, 1988. **1**(3): p. 229-239.

7. Mullins, O.C., et al., *Asphaltenes, heavy oils, and petroleomics*. 2007: Springer Science & Business Media.

8. Cimino, R., et al., *Solubility and phase behavior of asphaltenes in hydrocarbon media*, in *Asphaltenes: Fundamentals and Applications*. 1995, Springer. p. 97-130.

9. Sheu, E.Y., *Petroleum asphaltene properties, characterization, and issues.* Energy & Fuels, 2002. **16**(1): p. 74-82.

10. Moeini, Z. and S. Ashoori, *An Overview of Asphaltene Precipitation and Methods to Prevent its Formation.* Iranian Chemical Engineering Journal, 2021. **20**(116): p. 21-35.

11. Fan, T., J. Wang, and J.S. Buckley. *Evaluating crude oils by SARA analysis*. in *SPE Improved Oil Recovery Conference?* 2002. SPE.

12. Leon, O., et al., *Study of the adsorption of alkyl benzene-derived amphiphiles on asphaltene particles.* Langmuir, 1999. **15**(22): p. 7653-7657.

13. Oh, K. and M.D. Deo, *Effect of organic additives on the onset of asphaltene precipitation.* Energy & fuels, 2002. **16**(3): p. 694-699.

14. Jamaluddin, A., et al., *Laboratory techniques to measure thermodynamic asphaltene instability.* Journal of Canadian Petroleum Technology, 2002. **41**(07).

15. Buenrostro‐Gonzalez, E., et al., *Asphaltene precipitation in crude oils: Theory and experiments.* AIChE Journal, 2004. **50**(10): p. 2552-2570.

16. Jamaluddin, A., et al. *A comparison of various laboratory techniques to measure thermodynamic asphaltene instability*. in *SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific*. 2001. SPE.

17. Escobedo, J. and G.A. Mansoori, *Viscometric determination of the onset of asphaltene flocculation: A novel method.* SPE production & facilities, 1995. **10**(02): p. 115-118.

18. Aquino-Olivos, M., *Buenrostro-Gonzales E., Andersen SI, Lira-Galinea C., Investigations of inhibition of asphaltene precipitation at high pressure using bottomhole samples.* Energy and Fuels, 2001. **15**: p. 236-240.

19. Akbarzadeh, K., et al., *Asphaltenes—problematic but rich in potential.* Oilfield review, 2007. **19**(2): p. 22-43.

20. Al-Sahhaf, T.A., M.A. Fahim, and A.S. Elkilani, *Retardation of asphaltene precipitation by addition of toluene, resins, deasphalted oil and surfactants.* Fluid phase equilibria, 2002. **194**: p. 1045-1057.

21. Mansoori, G.A. and A. Elmi, *Remediation of asphaltene and other heavy organic deposits in oil wells and in pipelines.* Socar proceedings, 2010. **4**: p. 12-23.

22. Mazloom, M.S., et al., *Application of nanoparticles for asphaltenes adsorption and oxidation: A critical review of challenges and recent progress.* Fuel, 2020. **279**: p. 117763.

23. Hosseinpour, N., et al., *Asphaltene adsorption onto acidic/basic metal oxide nanoparticles toward in situ upgrading of reservoir oils by nanotechnology.* Langmuir, 2013. **29**(46): p. 14135-14146.

24. Nassar, N.N., A. Hassan, and P. Pereira-Almao, *Effect of the particle size on asphaltene adsorption and catalytic oxidation onto alumina particles.* Energy & Fuels, 2011. **25**(9): p. 3961-3965.

25. Nassar, N.N., A. Hassan, and P. Pereira-Almao, *Metal oxide nanoparticles for asphaltene adsorption and oxidation.* Energy & Fuels, 2011. **25**(3): p. 1017-1023.

26. Nassar, N.N., A. Hassan, and P. Pereira-Almao, *Comparative oxidation of adsorbed asphaltenes onto transition metal oxide nanoparticles.* Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering aspects, 2011. **384**(1-3): p. 145-149.

27. Nassar, N.N., *Asphaltene adsorption onto alumina nanoparticles: kinetics and thermodynamic studies.* Energy & Fuels, 2010. **24**(8): p. 4116-4122.

28. Shayan, N.N. and B. Mirzayi, *Adsorption and removal of asphaltene using synthesized maghemite and hematite nanoparticles.* Energy & Fuels, 2015. **29**(3): p. 1397-1406.

29. Tarboush, B.J.A. and M.M. Husein, *Adsorption of asphaltenes from heavy oil onto in situ prepared NiO nanoparticles.* Journal of colloid and interface science, 2012. **378**(1): p. 64-69.

30. Nassar, N.N., et al., *Iron oxide nanoparticles for rapid adsorption and enhanced catalytic oxidation of thermally cracked asphaltenes.* Fuel, 2012. **95**: p. 257-262.

31. Nassar, N.N., A. Hassan, and P. Pereira-Almao, *Effect of surface acidity and basicity of aluminas on asphaltene adsorption and oxidation.* Journal of colloid and interface science, 2011. **360**(1): p. 233-238.

32. Franco, C.A., et al., *Influence of asphaltene aggregation on the adsorption and catalytic behavior of nanoparticles.* Energy & Fuels, 2015. **29**(3): p. 1610-1621.

33. Tarboush, B.J.A. and M.M. Husein, *Dispersed Fe2O3 nanoparticles preparation in heavy oil and their uptake of asphaltenes.* Fuel processing technology, 2015. **133**: p. 120-127.

34. Nassar, N.N., A. Hassan, and G. Vitale, *Comparing kinetics and mechanism of adsorption and thermo-oxidative decomposition of Athabasca asphaltenes onto TiO2, ZrO2, and CeO2 nanoparticles.* Applied Catalysis A: General, 2014. **484**: p. 161-171.

35. Ezeonyeka, N.L., A. Hemmati-Sarapardeh, and M.M. Husein, *Asphaltenes adsorption onto metal oxide nanoparticles: a critical evaluation of measurement techniques.* Energy & fuels, 2018. **32**(2): p. 2213-2223.

36. Marei, N.N., et al., *Effects of the size of NiO nanoparticles on the catalytic oxidation of Quinolin-65 as an asphaltene model compound.* Fuel, 2017. **207**: p. 423-437.

37. Mirzayi, B. and N.N. Shayan, *Adsorption kinetics and catalytic oxidation of asphaltene on synthesized maghemite nanoparticles.* Journal of Petroleum Science and Engineering, 2014. **121**: p. 134-141.

38. Sedighi, M., M. Mohammadi, and M. Sedighi, *Green SAPO-5 supported NiO nanoparticles as a novel adsorbent for removal of petroleum asphaltenes: Financial assessment.* Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018. **171**: p. 1433-1442.

39. Sedighi, M., et al., *Biobased cadaverine as a green template in the synthesis of NiO/ZSM-5 nanocomposites for removal of petroleum asphaltenes: financial analysis, isotherms, and kinetics study.* Energy & fuels, 2018. **32**(7): p. 7412-7422.

40. Kazemzadeh, Y., M. Sharifi, and M. Riazi, *Optimization of Fe3O4/Chitosan nanocomposite concentration on the formation and stability of W/O emulsion.* Materials Research Express, 2018. **6**(3): p. 035031.

41. Marei, N.N., et al., *Nanosize effects of NiO nanosorbcats on adsorption and catalytic thermo‐oxidative decomposition of vacuum residue asphaltenes.* The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2017. **95**(10): p. 1864-1874.

42. Rezvani, H., et al., *A new insight into Fe3O4-based nanocomposites for adsorption of asphaltene at the oil/water interface: an experimental interfacial study.* Journal of Petroleum Science and Engineering, 2019. **177**: p. 786-797.

43. Mohammadi, M., et al., *Inhibition of asphaltene precipitation by TiO2, SiO2, and ZrO2 nanofluids.* Energy & Fuels, 2011. **25**(7): p. 3150-3156.

44. Sanati, A., et al., *Inhibition of asphaltene precipitation using hydrophobic deep eutectic solvents and ionic liquid.* Journal of Molecular Liquids, 2021. **334**: p. 116100.

45. Qubian, A., et al., *Screening and Investigation on Inhibition of Sediment Formation in a Kuwait Light Crude Oil by Commercial Additives with Some Guidelines for Field Applications.* Processes, 2023. **11**(3): p. 818.

46. Madhi, M., R. Kharrat, and T. Hamoule, *Screening of inhibitors for remediation of asphaltene deposits: Experimental and modeling study.* Petroleum, 2018. **4**(2): p. 168-177.

1. Micell [↑](#footnote-ref-1)
2. Precipitation [↑](#footnote-ref-2)
3. Flocculation [↑](#footnote-ref-3)
4. Deposition [↑](#footnote-ref-4)
5. Plugging [↑](#footnote-ref-5)
6. Entrained [↑](#footnote-ref-6)
7. Aromaticity Index [↑](#footnote-ref-7)
8. Colloidal Instability Index [↑](#footnote-ref-8)
9. Refractive Index [↑](#footnote-ref-9)
10. Saturates, Aromatics, Resin, Asphaltene [↑](#footnote-ref-10)
11. Asphaltene onset pressure [↑](#footnote-ref-11)
12. Gravimetric method [↑](#footnote-ref-12)
13. HPHT Filtration test [↑](#footnote-ref-13)
14. HPHT Filtration test [↑](#footnote-ref-14)
15. Aquino-Olivos [↑](#footnote-ref-15)
16. Upper Boundary of asphaltene precipitation [↑](#footnote-ref-16)
17. Pipeline Inspection Gauge [↑](#footnote-ref-17)
18. wireline cutting [↑](#footnote-ref-18)
19. coil tubing options [↑](#footnote-ref-19)
20. National Pipe Thread [↑](#footnote-ref-20)
21. rutile [↑](#footnote-ref-21)
22. Hydrophobic deep eutectic solvents [↑](#footnote-ref-22)