



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

گرایش جداسازی

**مطالعه آزمایشگاهی نشست مواد آسفالتینی بر روی سنگ مخزن  
در فرآیند تخلیه طبیعی**

**نگارش**

**کامران پریزاد**

**اساتید راهنما**

**دکتر مسعود نصیری**

**دکتر عباس شهرآبادی**

**استاد مشاور**

**مهندس سعید عباسی**

اسفند ۱۳۹۱

## چکیده

نشست رسوبات آسفالتین بر روی سنگ مخزن که در هنگام بهره‌برداری طبیعی و فرآیندهای ازدیاد برداشت اتفاق می‌افتد باعث کاهش فضای موثر حفرات و در نتیجه کاهش توانایی نفت برای حرکت در مخزن می‌شود بنابراین نشست آسفالتین آسیب جدی به سازند وارد کرده و باعث گرفتگی دهانه چاه می‌شود که رفع آن نیاز به عملیات گران و مشکل تمیزکاری دارد. لذا ضرورت دارد بتوانیم آستانه، میزان نشست آسفالتین و همچنین آسیب ناشی از آن در کاهش تراوایی و تخلخل مخزن را تحت عوامل گوناگون مورد مطالعه و بررسی قرار دهیم. از این رو آزمایشات گوناگون تخلیه طبیعی و فرآیندهای ازدیاد برداشت بر روی مغزه لازم و ضروری بنظر می‌رسد.

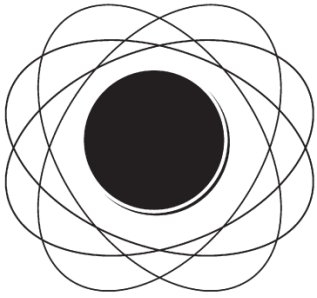
هدف از انجام این مطالعه، بررسی آزمایشگاهی نشست دینامیکی آسفالتین بر روی مغزه در فرآیند تخلیه طبیعی می‌باشد. در قسمت آزمایشات که با نمونه‌های واقعی سنگ و سیال و تحت دما و فشار مخزن انجام شده است، اثر کاهش فشار، میزان دبی نفت تزریقی به مغزه و همچنین غلظت اولیه آسفالتین موجود در نفت در ایجاد نشست آسفالتین بر روی مغزه را مورد بررسی قرار داده و نهایتاً کاهش نفوذپذیری و تخلخل مورد بررسی قرار گرفته است.

در این آزمایشات از سه نوع نفت مختلف از مخازن نفتی ایران که حاوی درصد‌های متفاوتی از آسفالتین در خود می‌باشند استفاده شده است. نتایج دو آزمایش ابتدایی نفت‌های محتوی آسفالتین پایین که در دبی ثابت نفت تزریقی و در سه مرحله فشاری انجام شده است نشان می‌دهد که تنها با کاهش فشار در نزدیکی نقطه حباب مخزن شاهد ایجاد نشست آسفالتین بر روی مغزه خواهیم بود و مکانیزم کاهش نفوذپذیری مغزه از نوع رسوب سطحی ذرات و انسداد گلوگاه می‌باشد. همچنین با استفاده از روش IP143 میزان آسفالتین نفت خروجی از مغزه را بدست آورده و با نوشتن موازنه جرم به محاسبه کاهش تخلخل مغزه پرداختیم. در آزمایش سوم که بر روی نفت سنگین‌تر با محتوی آسفالتین بیشتر انجام شده است علاوه بر پارامتر کاهش فشار به بررسی نقش دبی نفت تزریقی به مغزه در ایجاد نشست آسفالتین پرداخته شده است.

**کلمات کلیدی:** رسوب آسفالتین- آسیب دیدگی سازند- سیلابزنی مغزه- فرآیند تخلیه طبیعی

## علائم و نشانه‌ها

A	سطح یک حفره ( $cm^2$ )	جز حجم بالک اشغال شده توسط رسوبال آلی در
$A_c$	سطح کیک ( $cm^2$ )	$\epsilon_{np}$ مسیره‌های غیر قابل انسداد
d	سایز بحرانی ذرات (cm)	$\epsilon$ کل جز حجمی نشست رسوبات آلی
f	جز مسیره‌های قابل انسداد	$\rho$ دانسیته ذرات جامد متحرک ( $\frac{gr}{cm^3}$ )
$f_p$	اجزا حجم بالک در نظر گیرنده مسیره‌های قابل انسداد	
$f_{np}$	اجزا حجم بالک در نظر گیرنده مسیره‌های غیر قابل انسداد	
L	میانگین طول مسیر جریان (cm)	
$L_r$	طول فعال سنگ (cm)	
M	جرم آسفالتین رسوب کرده	
PV	حجم فضای خالی	
Q	دبی جریان ( $\frac{cm^3}{min}$ )	
$R_m$	مقاومت سنگ ( $\frac{1}{cm}$ )	
$T_s$	غلظت ذرات جامد در جریان ( $\frac{gmol}{cm^3}$ )	
$u_p$	فلاکس حجمی سیال عبوری از مسیر قابل انسداد	
$u_{np}$	دانسیته فلاکس حجمی سیال عبوری از مسیر قابل انسداد	
$\alpha$	مقاومت میانگین جریان ( $\frac{cm}{gmol}$ )	
$\phi_p$	حجم خلل و فرج مسیره‌های قابل انسداد	
$\phi_{np}$	حجم خلل و فرج مسیره‌های غیر قابل انسداد	
$\epsilon_p$	جز حجم بالک اشغال شده توسط رسوبال آلی در مسیره‌های قابل انسداد	



فہرست مطالب

ا	چکیده .....
ب	علائم و نشانه‌ها .....
ت	فهرست مطالب .....
ح	فهرست شکل‌ها .....
ذ	فهرست جداول .....
۱	مقدمه .....
۳	فصل اول: بررسی ترکیب آسفالتین و مدل‌های مربوط به آن .....
۴	۱-۱- تاریخچه و منشأ آسفالتین .....
۵	۱-۲- تعریف چند واژه کلیدی .....
۷	۱-۳- ساختار و خواص آسفالتین‌ها .....
۱۱	۱-۴- مدل ساختمانی آسفالتین .....
۱۶	۱-۵- ترمودینامیک آسفالتین .....
۱۸	۱-۶- مکانیسم‌های شناخته شده برای تشکیل و تهنشینی آسفالتین .....
۲۲	۱-۷- مشکلات ناشی از رسوب آسفالتین .....
۲۳	۱-۸- اثر عوامل مختلف در تشکیل آسفالتین .....
۲۹	۱-۹- مشخصه‌های جریان‌یابی .....
۳۱	۱-۱۰- مکانیسم‌های آسیب نفوذپذیری .....
۳۸	۱-۱۱- مفهوم مهاجرت آسفالتین .....
۳۹	۱-۱۲- مدل نشست آسفالتین در محیط متخلخل .....
۴۴	فصل دوم: نگاهی به مشکل رسوب آسفالتین در مخازن نفتی .....
۴۶	۲-۱- میادین نفتی ایران .....
۵۰	۲-۲- میادین نفتی جهان .....
۵۹	فصل سوم: دستگاه و مراحل انجام آزمایش .....
۶۰	۳-۱- دستگاه آزمایش .....
۶۵	۳-۲- شرح انجام آزمایشات .....
۷۱	فصل چهارم: نتایج کارهای آزمایشگاهی و تفسیر آنها .....

۷۲	۱-۴- مشخصات آزمایش
۷۲	۱-۱-۴- تست شماره ۱
۷۵	۱-۱-۱-۴- ثبت اختلاف فشار میان دوسر مخزن
۷۸	۲-۱-۱-۴- تغییرات نفوذپذیری مغزه در اثر رسوب آسفالتین
۸۰	۳-۱-۱-۴- محاسبه نفوذپذیری نسبت به نفوذپذیری اولیه
۸۰	۴-۱-۱-۴- محاسبه تخلخل مغزه بعد از تزریق هر حجم سیال
۸۳	۵-۱-۱-۴- یافتن رابطه‌ای میان $K/K_i$ و $\phi/\phi_i$ برای هر حجم تزریقی
۸۴	۲-۱-۴- تست شماره ۲
۸۹	۱-۲-۱-۴- تحلیل اختلاف فشار ایجاد شده در دوسر مغزه
۹۰	۲-۲-۱-۴- تغییرات نفوذپذیری مغزه در اثر رسوب آسفالتین
۹۳	۳-۲-۱-۴- محاسبه نفوذپذیری نسبت به نفوذپذیری اولیه
۹۴	۴-۲-۱-۴- محاسبه تخلخل مغزه بعد از تزریق هر حجم سیال
۹۶	۵-۲-۱-۴- یافتن رابطه‌ای میان $K/K_i$ و $\phi/\phi_i$ برای هر حجم تزریقی
۹۶	۳-۱-۴- تست شماره ۳
۱۰۰	۱-۳-۱-۴- تحلیل اختلاف فشار ایجاد شده در دو سر مغزه
۱۰۳	۲-۳-۱-۴- تغییرات نفوذپذیری مغزه در اثر رسوب آسفالتین
۱۰۵	۳-۳-۱-۴- محاسبه نفوذپذیری به نفوذپذیری اولیه
۱۱۰	۴-۳-۱-۴- محاسبه تخلخل مغزه بعد از تزریق هر حجم سیال
۱۱۳	۵-۳-۱-۴- یافتن رابطه‌ای میان $K/K_i$ و $\phi/\phi_i$ برای هر حجم تزریقی
۱۱۴	<b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات</b>
۱۱۵	۱-۵- نتیجه‌گیری
۱۱۵	۲-۵- پیشنهادات
۱۱۶	<b>منابع</b>

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- شماتیک جداسازی سارا [۴] ..... ۸
- شکل ۲-۱- ساختار مولکولی دو مولکول آسفالتین مختلف [۵] ..... ۹
- شکل ۳-۱- ساختار مولکولی دو مولکول آسفالتین مختلف [۵] ..... ۹
- شکل ۴-۱- ساختار ملکولی نفت مایا مکزیکی [۱۸] ..... ۱۴
- شکل ۵-۱- ساختار ملکولی آسفالتین نفت خام ونزوئلا [۱۸] ..... ۱۴
- شکل ۶-۱- ساختار سه‌بعدی مولکول آسفالتین نفت خام ونزوئلا ارائه شده توسط پروفیسور موریک [۱۸] ..... ۱۵
- شکل ۷-۱- ساختار توده‌ای رسوب آسفالتین نفت خام ونزوئلا ارائه شده توسط پروفیسور موریک [۱۸] ..... ۱۵
- شکل ۸-۱- میزان آسفالتین در نفت‌های مختلف ونزوئلا [۱۹] ..... ۱۶
- شکل ۹-۱- پدیده کلئیدی شدن تحت اثر افزایش غلظت هیدروکربن‌های پارافینی در نفت خام [۲۶] ..... ۱۹
- شکل ۱۰-۱- شماتیک میکروسکوپی اجزاء تشکیل دهنده نفت شامل ذرات آلی سنگین [۲۶] ..... ۲۰
- شکل ۱۱-۱- اثر تغییرات اجزاء بر رسوب اجزای سنگین [۲۶] ..... ۲۱
- شکل ۱۲-۱- توده‌ای شدن و رسوب (در جهت) ذرات بسیار سنگین [۲۶] ..... ۲۱
- شکل ۱۳-۱- نمونه طرح رشد توده‌های تکرارپذیر [۲۶] ..... ۲۱
- شکل ۱۴-۱- نشست الکتریکی در جریان تک فاز ایزوترمال در لوله [۲۶, ۳۲] ..... ۲۲
- شکل ۱۵-۱- نمایش تاثیر دما بر پایداری دو نوع بیتومن [۳۳] ..... ۲۶
- شکل ۱۶-۱- نمایش تاثیر فشار بر میزان حلالیت آسفالتین یک نفت خام [۳۵] ..... ۲۸
- شکل ۱۷-۱- فازهای فرآیند آسیب توسط ذرات و تاثیر نسبی آن بر نفوذپذیری [۴۶] ..... ۳۳
- شکل ۱۸-۱- مکانیسم‌های آسیب نفوذپذیری [۴۶] ..... ۳۳
- شکل ۱۹-۱- فرآیندهای مختلف رسوب ذرات ریز [۴۸] ..... ۳۹
- شکل ۱-۲- اثر نشست رسوب آسفالتین بر میزان سرعت تولید کوپال [۵۲] ..... ۴۷
- شکل ۲-۲- مقایسه رسوب آسفالتین تشکیل شده با استفاده از گازهای تزریقی مختلف [۵۳] ..... ۴۸
- شکل ۳-۲- محل قرار گیری میدان آزادگان در منطقه ..... ۵۰
- شکل ۴-۲- ضخامت لایه نشست کرده رسوب آسفالتین در چاه مارات که توسط لاگ کلیپر اندازه‌گیری شده است [۵۶] ..... ۵۲
- شکل ۵-۲- تصویری از موقعیت جغرافیایی میدان پرینوس [۵۹] ..... ۵۳

- شکل ۲-۶- منحنی رسوب آسفالتین برای نفت میدان پرینوس [۲۴, ۵۸]..... ۵۴
- شکل ۲-۷- تصویری از موقعیت جغرافیایی میدان نفتی بسکان ..... ۵۴
- شکل ۲-۸- موقعیت میدان هاسی مسعود [۱۶]..... ۵۷
- شکل ۳-۱- پمپ جابجایی مثبت DBR برای استفاده در فرآیند تزریق سیال ..... ۶۱
- شکل ۳-۲- سیستم گرمایشی ..... ۶۱
- شکل ۳-۳- سیلندر جابجا کننده سیال ..... ۶۲
- شکل ۳-۴- نگهدارنده مغزه ..... ۶۳
- شکل ۳-۵- پمپ دستی ..... ۶۳
- شکل ۳-۶- پمپ خلا ..... ۶۴
- شکل ۳-۷- تنظیم کننده فشار نهایی ..... ۶۴
- شکل ۳-۸- فلومتر گاز ..... ۶۵
- شکل ۳-۹- کاغذ صافی تا خورده ..... ۶۸
- شکل ۳-۱۰- فیلتراسیون آسفالتین به وسیله کاغذ صافی ..... ۶۹
- شکل ۳-۱۱- ریفلاکس کردن کاغذ صافی به وسیله نرمال هپتان ..... ۷۰
- شکل ۴-۱- نمودار تغییرات دانسیته نفت مخزن ..... ۷۵
- شکل ۴-۲- نمودار سیلاب زنی مغزه برای محاسبه تراوایی مطلق ..... ۷۵
- شکل ۴-۳- اختلاف فشار ایجاد شده در دوسر مغزه برحسب حجم تزریقی ۳PV-۰ در فشار ۵۲۰۰ Psi ..... ۷۶
- شکل ۴-۴- اختلاف فشار ایجاد شده در دوسر مغزه برحسب حجم تزریقی ۶PV-۳ در فشار ۴۵۰۰ Psi ..... ۷۷
- شکل ۴-۵- اختلاف فشار ایجاد شده در دوسر مغزه برحسب حجم تزریقی ۹PV-۶ در فشار ۳۸۰۰ Psi ..... ۷۸
- شکل ۴-۶- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم تزریقی ۳PV-۰ در فشار ۵۲۰۰ Psi ..... ۷۸
- شکل ۴-۷- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم تزریقی ۶PV-۳ در فشار ۴۸۰۰ Psi ..... ۷۹
- شکل ۴-۸- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم تزریقی ۹PV-۶ در فشار ۳۸۰۰ Psi ..... ۸۰
- شکل ۴-۹- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی ۹PV-۶ ..... ۸۱
- شکل ۴-۱۰- میزان تغییرات آسفالتین در نفت خروجی برحسب حجم نفت تزریقی ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۱- تغییرات میزان آسفالتین رسوب کرده بر روی مغزه در بازه تزریقی ۹PV-۶ ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۲- تغییرات کاهش تخلخل مغزه برحسب حجم نفت تزریقی در بازه ۹PV-۶ ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۳- نمودار کاهش نفوذپذیری برحسب کاهش تخلخل در حجم تزریقی ۹PV-۶ ..... ۸۴



- شکل ۴-۱۴- آنالیز تست سارا ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۵- نمودار سیلاب‌زنی مغزه برای محاسبه تراوایی مطلق ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۶- تغییرات اختلاف فشار ایجاد شده در دو سر مغزه برحسب حجم نفت تزریقی PV ۰-۳ در فشار ۵۱۰۰ Psi ..... ۸۹
- شکل ۴-۱۷- تغییرات اختلاف فشار ایجاد شده در دو سر مغزه برحسب حجم نفت تزریقی PV ۳-۶ در فشار ۴۴۰۰ Psi ..... ۹۰
- شکل ۴-۱۸- تغییرات اختلاف فشار ایجاد شده در دو سر مغزه برحسب حجم نفت تزریقی PV ۶-۹ در فشار ۳۶۰۰ Psi ..... ۹۱
- شکل ۴-۱۹- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم نفت تزریقی PV ۰-۳ در فشار ۵۱۰۰ Psi ..... ۹۱
- شکل ۴-۲۰- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم نفت تزریقی PV ۳-۶ در فشار ۴۴۰۰ Psi ..... ۹۲
- شکل ۴-۲۱- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم نفت تزریقی PV ۶-۹ در فشار ۳۶۰۰ Psi ..... ۹۳
- شکل ۴-۲۲- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی PV ۶/۲-۹ ..... ۹۳
- شکل ۴-۲۳- میزان تغییرات آسفالتین در نفت خروجی برحسب حجم نفت تزریقی ..... ۹۴
- شکل ۴-۲۴- تغییرات میزان آسفالتین رسوب کرده بر روی مغزه در بازه تزریقی PV ۶-۹ ..... ۹۵
- شکل ۴-۲۵- تغییرات کاهش تخلخل مغزه برحسب حجم نفت تزریقی در بازه PV ۶-۹ ..... ۹۵
- شکل ۴-۲۶- نمودار کاهش نفوذپذیری برحسب کاهش تخلخل در حجم تزریقی PV ۶-۹ ..... ۹۶
- شکل ۴-۲۷- تغییرات اختلاف فشار ایجاد شده در دو سر مغزه برحسب حجم نفت تزریقی در فشار ۳۸۰۰ Psi ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۸- تغییرات اختلاف فشار ایجاد شده در دو سر مغزه برحسب حجم نفت تزریقی در فشار ۲۸۰۰ Psi ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۹- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم نفت تزریقی در فشار ۳۸۰۰ Psi ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۰- تغییرات نفوذپذیری مغزه برحسب حجم نفت تزریقی در فشار ۲۸۰۰ Psi ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۱- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی PV ۰-۳ ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۲- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی PV ۳-۶ ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۳- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی PV ۶-۹ ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۳۴- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی PV ۹-۱۲ ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۵- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی PV ۱۲-۱۵ ..... ۱۱۰

- شکل ۴-۳۶- تغییرات نفوذپذیری نسبی نسبت به نفوذپذیری نسبی اولیه در بازه تزریقی ۱۸PV-۱۵..... ۱۱۰
- شکل ۴-۳۷- میزان تغییرات آسفالتین در نفت خروجی برحسب حجم نفت تزریقی..... ۱۱۱
- شکل ۴-۳۸- تغییرات میزان آسفالتین رسوب کرده بر روی مغزه برحسب حجم تزریقی..... ۱۱۲
- شکل ۴-۳۹- تغییرات کاهش تخلخل مغزه برحسب حجم نفت تزریقی..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۰- نمودار کاهش نفوذپذیری برحسب کاهش تخلخل..... ۱۱۳

### فهرست جداول

- جدول ۱-۱- تجزیه عناصر تشکیل دهنده رسوب آسفالتین [۷]..... ۱۰
- جدول ۱-۲- درصد فلزات موجود در رسوب [۷]..... ۱۰
- جدول ۱-۳- روش‌های متفاوت اندازه‌گیری وزن مولکولی آسفالتین [۹]..... ۱۲
- جدول ۱-۲- نتایج تست سارا برای نفت مرده آغاچاری قبل از تزریق گاز [۵۳]..... ۴۷
- جدول ۲-۲- مشخصات سیال لایه‌های مختلف مخزن آزادگان..... ۴۹
- جدول ۲-۳- متوسط اجزای تشکیل دهنده نفت خام میدان پرنوس..... ۵۳
- جدول ۲-۴- برخی از مشخصات تعداد مختلفی از نفت‌های میدان ماتاآسما [۲۴, ۵۸]..... ۵۷
- جدول ۲-۵- مشخصات نفت میدان بسکان [۲۴]..... ۵۵
- جدول ۲-۶- ترکیبات نفت میدان هاسی مسعود [۲۴, ۵۸]..... ۵۸
- جدول ۴-۱- شرایط مخزن و مشخصات نمونه نفتی مورد استفاده..... ۷۲
- جدول ۴-۲- مشخصات ترکیبات نفت مخزن..... ۷۳
- جدول ۴-۳- ویسکوزیته سیال مخزن در دمای  $232^{\circ}\text{F}$ ..... ۷۴
- جدول ۴-۴- مشخصات مغزه ماسه‌سنگی..... ۷۵
- جدول ۴-۵- شرایط مخزن و مشخصات نمونه نفتی مورد استفاده..... ۸۴
- جدول ۴-۶- مشخصات ترکیبات نفت مخزن..... ۸۵
- جدول ۴-۷- تغییرات ویسکوزیته نفت مخزن برحسب فشار در دمای مخزن..... ۸۶
- جدول ۴-۸- تغییرات دانسیته سیال مخزن بر حسب فشار در دمای مخزن..... ۸۷
- جدول ۴-۹- مشخصات مغزه ماسه‌سنگی..... ۸۹
- جدول ۴-۱۰- مشخصات ترکیبات نفت مخزن..... ۹۷

- جدول ۴-۱۱- تغییرات دانسیته سیال مخزن بر حسب فشار در دمای مخزن ..... ۹۸
- جدول ۴-۱۲- مشخصات ویسکوزیته سیال مخزن بر حسب فشار در دمای مخزن ..... ۹۹
- جدول ۴-۱۳- آنالیز تست سارا ..... ۱۰۰
- جدول ۴-۱۴- بررسی مکانیسم‌های غالب کاهش نفوذپذیری نسبت به نفوذپذیری اولیه در حجم‌های تزریقی مختلف ..... ۱۰۷
- جدول ۴-۱۵- بررسی مکانیسم‌های غالب کاهش نفوذپذیری نسبت به نفوذپذیری اولیه در حجم‌های تزریقی مختلف ..... ۱۰۸

## مقدمه

یکی از مهمترین پدیده‌ها در صنعت نفت رسوب مواد آلی سنگین از جمله آسفالتین می‌باشد. شرایط عملیاتی مختلف اعمال شده بر روی مخازن نفتی باعث بروز مشکل رسوب آسفالتین در مخازن می‌گردد. از جمله این موارد کاهش طبیعی فشار، اسیدکاری، تزریق امتزاجی گاز و... می‌باشد. روش‌های ازدیاد برداشت از جمله تزریق امتزاجی گاز شدیداً تابع رفتار فازی نفت مخزن می‌باشند و هر گونه تغییر ناگهانی در رفتار فازی به دلیل رسوب مواد آلی باعث از دست رفتن تولید و کاهش بهره‌دهی و در نتیجه اقتصادی نبودن پروژه می‌شود. از طرفی تحقیقات نشان می‌دهد که رسوب آسفالتین در مخازن، چاه‌ها و تجهیزات سرچاهی در اثر افت فشار، باعث تغییر تراوایی مخزن و یا مسدود نمودن چاه‌ها، لوله‌های مغزی، خطوط لوله و تجهیزات پالایشگاهی شده، در نتیجه اثر منفی روی بازده اقتصادی عملیات بهره‌برداری خواهد داشت. در حال حاضر روش‌های پاکسازی شیمیایی و مکانیکی جهت نگهداشت سقف تولید به کار گرفته می‌شوند که باعث تحمیل هزینه‌های گزاف به شرکت‌های نفتی می‌شود.

در پنج دهه گذشته بسیاری از محققین، تحقیقات زیادی بر روی طبیعت مواد آلی و نحوه رسوب آنها انجام داده‌اند. به دلیل پیچیدگی مواد آلی پدیده رسوب این مواد هنوز به طور کامل شناخته نشده است. بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و میدانی موجود این امر به اثبات رسیده است که مواد آلی سنگین موجود در نفت شامل ذراتی با جرم مولکولی بین هزار تا صدها هزار می‌باشند همچنین مطالعه و شناخت رسوب مواد آلی کاری پر چالش و زمان‌بر به نظر می‌رسد.

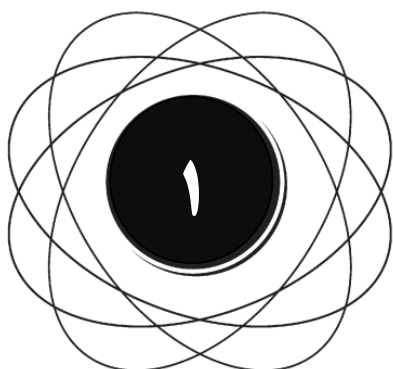
کوشش‌های بسیار جهت تغییر و شناخت پدیده رسوب آسفالتین انجام شده است، اما هیچ یک از مدل‌های موجود قادر به پیش‌بینی رسوب آسفالتین با دقت بالا نمی‌باشند. همچنین بسیاری از مدل‌ها با درجات مختلف دقت و بر اساس پارامترهای معین آزمایشگاهی و یا ضرایب ثابت می‌باشند. بطور خلاصه به دلیل پیچیدگی و عدم معین بودن خواص آسفالتین، روی دادن این مشکلات دور از انتظار نیست.

امروزه روش‌های مکانیکی و شیمیایی متعددی در برطرف کردن مشکل آسفالتین رسوب یافته استفاده می‌گردد. لیکن زدودن آسفالتین تولیدی با این روش‌ها پرهزینه بوده و همچنین عملاً برای مرتفع ساختن رسوب آسفالتین در مخزن غیرکاربردی می‌باشند. لذا شناخت سنگ و رسوب آسفالتین در محیط و پیش‌بینی کاهش نفوذپذیری و دیگر خسارات وارده بر مخزن در اثر عوامل مختلف رسوب‌گذاری امری حیاتی می‌باشد تا در حد امکان از تشکیل رسوب آسفالتین جلوگیری نمود.

فصل اول این پایان نامه به مطالعات کتابخانه‌ای پدیده تشکیل رسوب آسفالتین اختصاص دارد. در ابتدای این فصل به توصیف جزء آسفالتین پرداخته می‌شود و ترکیب، ساختار، وزن مولکولی و اندازه ذرات آسفالتین مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه فصل، به طور خلاصه به مدل‌های ترمودینامیکی رسوب آسفالتین اشاره شده است. مکانیسم‌های تشکیل آسفالتین و اثر عوامل مختلف نظیر دما، فشار و تغییر ترکیب نفت بر این پدیده نیز در این فصل آورده شده است

در فصل دوم به بررسی مشکل رسوب آسفالتین در تعدادی از میادین نفتی ایران و جهان اشاره شده است و دستگاه به کار گرفته شده در انجام آزمایشات همراه با شرح کامل هر یک از تجهیزات و مراحل انجام کار و شرح انجام آزمایشات در فصل سوم ذکر شده است.

در فصل چهارم نتایج حاصله از آزمایشات همراه با تحلیل نتایج آورده شده است. سپس نتایج هر یک از آزمایشات به صورت جداگانه آورده شده و مورد بحث قرار گرفته است. فصل پنجم و انتهایی به نتایج حاصل از این تحقیق و پیشنهاداتی برای کارهای بعدی می‌پردازد.

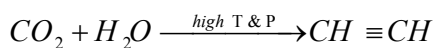


## فصل اول

بررسی ترکیب آسفالتین و مدل های مربوط به آن

## ۱-۱- تاریخچه و منشأ آسفالتین

آسفالتین‌ها در زغال سنگ، رسوبات نفتی و سنگ‌های شیلی یافت می‌شوند. اعتقاد بر این است که منشأ اولیه این تهنسست‌ها مواد آلی باشند. این عقیده از آنجا سرچشمه می‌گیرد که ساختار اصلی تشکیل‌دهنده ترکیبات موجود در پلانکتون‌ها، باکتری‌ها و هاگ‌ها با آنچه در ساختار ترکیبات آسفالتینی است شباهت قابل توجهی دارد. این موضوع در سال ۱۹۳۴ ابتدا توسط تریبیز مورد تأکید قرار گرفت. او اولین کسی بود که به وجود مواد فعال نوری در ترکیبات نفتی پی برد و این مواد تنها می‌توانستند توسط ارگانیزم‌های زنده به وجود آمده باشند. برای منشأ پیدایش نفت دو تئوری آلی و معدنی وجود دارد. برطبق تئوری آلی، گمان می‌رود پیدایش نفت در اثر تهنسست شدن همزمان ذرات ریز سنگ و بقایای گیاهی و حیوانی موجود در طبیعت دریاها باشد. در طول دوران سنگی شدن، مواد اولیه تحت شرایط خاص دما و فشار و واکنش‌های شیمیایی قرار گرفته‌اند که سبب شده است هر مخزن دارای خصوصیات منحصر به فردی برای خود شود. تئوری دیگر موجود، مبنی بر معدنی بودن منشأ نفت امروزه تقریباً مطرود است. این تئوری بیان می‌کند که نفت از نتیجه واکنش شیمیایی دی‌اکسید کربن و آب در دما و فشار بالا در اعماق زمین به وجود آمده است. به-طوریکه طی واکنش زیر ابتدا استیلن تشکیل شده و سپس دیگر ترکیبات از واکنش‌هایی افزایشی خاصی به وجود آمده‌اند [۱].



دلایلی که برای صحت این تئوری مطرح شد موفقیت در بدست آوردن استیلن از اوره در آزمایشگاه و همچنین مشاهده مخازن و گاه‌ها استخرهای نفتی در دهانه آتشفشان‌ها بود. اما از آنجاییکه حجم هیدروکربورهای اکتشافی در قسمت‌های مختلف دنیا مقدار بسیار عظیمی می‌باشد و وجود میزان مورد نیاز دی‌اکسید کربن و آب به این مقدار در زیرزمین امکان ندارد، صحت این تئوری را با پرسش‌های فراوانی روبرو می‌نماید.

گمان می‌رود در طول دوران تشکیل نفت ترکیبات بسیار پیچیده همانند آسفالتین‌ها محصول واکنش‌های پلیمری شدن همزمان با واکنش‌های تجزیه که مسئول به وجود آمدن ترکیبات هیدروکربنی سبک هستند باشند [۱]. با افزایش سن زمین‌شناسی یا عمق تدفین تهنسست‌ها، به علت افزایش وزن مولکولی و خاصیت آروماتیکی ترکیبات، ساختار مولکول‌های آسفالتین پیچیده‌تر خواهد شد. تهنسست آسفالتین در سازند مخزنی و در ستون چاه می‌تواند در نتیجه استفاده از اسید هیدروکلریدریک برای اسیدکاری یا اضافه کردن مواد مایع آلی همانند کروسین یا گازوئیل برای کاهش کشش سطحی باشد و یا در اثر تزریق گاز دی‌اکسید کربن برای پروژه-

های ازدیاد برداشت<sup>۱</sup> بوجود آید.

آسفالتین‌ها به عنوان ترکیبات نامحلول در هپتان نرمال اما محلول در بخش آروماتیکی نفت خام و با ترکیب مترامی شامل گروه‌های نیتروژن، اکسیژن و گوگرد و آلکیلی تعریف می‌شوند. همین طور آسفالت‌ها به عنوان ترکیبی از آسفالتین‌ها و رزین‌ها تعریف می‌شوند. تحت شرایط مخزن، آسفالتین‌ها به صورت پراکنده با رزین‌ها<sup>۲</sup> وجود دارند.

هر گونه تغییر در دما، فشار و ترکیب نفت می‌تواند سبب رسوب کردن آسفالتین و ته‌نشست شدن آن شود. در طول دوره تولید، رسوب آسفالتین و آسفالت ممکن است در دیواره چاه و به علت تغییر در دما فشار و ترکیب نفت صورت گیرد. مشکلاتی که در اثر رسوب آسفالتین و آسفالت در لوله‌های انتقال به وجود می‌آید گاهی به راحتی توسط روش‌های فیزیکی و یا شیمیایی قابل برطرف شدن نیست. رسوب آسفالتین یا دیگر مواد آلی موجود در سنگ مخزن سبب صدمه دیدن سازند گشته و سبب کاهش قابل توجه قابلیت حرکت<sup>۳</sup> هیدروکربن می‌شود. علت این کاهش به شرح زیر می‌باشد:

۱- مسدود کردن گلوگاه‌های عبور حفره‌ها

۲- تغییر ترشوندگی سنگ از آب-دوست به نفت-دوست در نتیجه جذب این مواد بر روی سطح سنگ [۲]

## ۲-۱- تعریف چند واژه کلیدی

### ۱-۲-۱- آسفالتین

گروهی از مواد آروماتیک‌مانند با قطبیت بالا و عموماً به رنگ سیاه هستند که در نفت خام حل شده‌اند و بر اساس حلالیتشان تعریف می‌شوند. آسفالتین‌ها در حلال‌های آروماتیکی همانند تولوئن، بنزن و زایلن حل می‌شوند اما در مقادیر نرمال هپتان یا نرمال پنتان و همچنین در روغن دیزل و کروسین و دیگر ترکیبات با وزن مولکولی پایین همچون پروپان و بوتان نامحلول هستند.

### ۱-۲-۲- رزین

رزین‌ها که از آنها با نام مالتن‌ها<sup>۴</sup> نیز یاد می‌شود، اجزاء قطبی با وزن مولکولی بالا هستند که بخش اعظم آنها را مواد آروماتیکی تشکیل می‌دهد. ساختار اصلی‌شان همانند آسفالتین‌ها (اما با وزن مولکولی کمتر) است. رزین‌ها برخلاف آسفالتین‌ها در نرمال پنتان محلول هستند.

---

1- EOR  
2- Peptizing agent  
3- Mobility  
4- Maltanes



#### ۱-۲-۴- آسفالت

آسفالت<sup>۱</sup> بخشی از نفت خام است که شامل آسفالتین، رزین و ترکیبات سنگین با وزن مولکولی بالای موجود در نفت می‌باشد، عموماً به شکل سیاه بوده به آرامی ذوب می‌شوند و ایجاد شعله با دود بسیار می‌کنند.

#### ۱-۲-۵- واکس

واکس<sup>۲</sup> به پارافین‌های جامد شده اطلاق می‌شود. واکس‌ها از نظر نوع و غلظت از یک خمیر نرم تا یک جسم سخت و شکننده متفاوت می‌باشند. هرچه زنجیره پارافین تشکیل‌دهنده طولانی‌تر باشد واکس تشکیل شده سخت‌تر خواهد بود.

#### ۱-۲-۶- کلوئید

کلوئید<sup>۳</sup>، یک مخلوط یا تعلیق که در آن ذرات معلق مایع یا جامد بسیار کوچکند اما نه در اندازه مولکولی. قطر مولکول کروی آسفالتین بین ۳۰ تا ۶۵ انگستروم متغیر است.

#### ۱-۲-۷- جدا شدگی توده‌ای<sup>۴</sup>

به فرآیند جدا شدن ذرات جامد از یک مایع و تشکیل توده‌های نرم فلس‌مانند را تجمع گویند. این توده‌ها به راحتی از یکدیگر جدا می‌شوند، و تنها توسط نیروهای شبیه به کشش سطحی یک مایع به هم نگه داشته شده‌اند. در فرآیندهای صنعتی، توده شدن ممکن است یک پدیده مطلوب یا نامطلوب باشد.

#### ۱-۲-۸- توده

توده<sup>۵</sup> به محصول جامد ناشی از به هم چسبیدن ذرات نرم‌تر بدست آمده از فرآیند جداشدگی توده‌ای شامل مولکول‌های آسفالتین و رزین که قابلیت رسوب کردن را دارند اطلاق می‌گردد.

#### ۱-۲-۹- رسوب کردن

تبدیل یک ماده حل شده به یک ماده نامحلول به وسیله یک فرآیند فیزیکی یا شیمیایی را رسوب کردن<sup>۶</sup> می‌نامند.

- 
- 1- Asphalt
  - 2- Wax
  - 3- Colloid
  - 4- Flucculation
  - 5- Aggregate
  - 6- Precipitation

## ۱-۲-۱- رسوب بر روی سطح جامد<sup>۱</sup>

به مکانیسمی اطلاق می‌شود که در آن لخته‌ها از مایع جدا شده و به سطح جامد می‌چسبند.

## ۱-۲-۱-۱- امولسیون<sup>۲</sup>

یک مخلوط که در آن یک مایع، به عنوان فاز ناپیوسته، به طور یکنواختی در داخل مایع دیگری با عنوان فاز پیوسته یا محیط پراکندگی توزیع شده است، مانند امولسیون آب/ نفت.

## ۱-۲-۱-۱- انسداد<sup>۳</sup>

عمل یا فرآیند متوقف شدن جریان نفت آب یا گاز به درون یا خارج از سازند، دهانه چاه یا محل مشبک‌سازی در سازند را انسداد<sup>۳</sup> گویند.

## ۱-۲-۱-۱- ترشوندگی<sup>۴</sup>

تمایل نسبی بین دانه‌های منفرد از سطح سنگ و هر سیالی که در فضای بین دانه‌ها وجود دارد برای ترک کردن سطح سنگ را ترشوندگی<sup>۴</sup> گویند.

## ۱-۳-۱- ساختار و خواص آسفالتین‌ها

### ۱-۳-۱-۱- آسفالتین

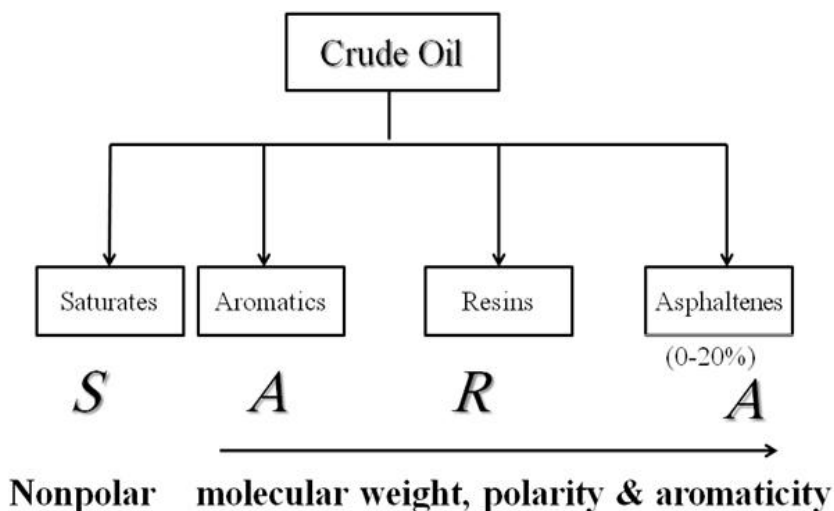
آسفالتین‌ها ترکیبات با وزن مولکولی بالا و حاوی نیتروژن، اکسیژن و سولفور می‌باشند. ساختار آنها به طور کلی کروی است و دارای محدوده وزن مولکولی ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ و بیشتر می‌باشند. قطبیت مولکول‌های آسفالتین به جهت وجود اکسیژن، گوگرد، نیتروژن و فلزات مختلفی است که در ساختار آنها وجود دارد. این ترکیبات دارای محدوده‌ای از نقاط نرم شدگی<sup>۵</sup> بوده و دارای نقطه ذوب ثابتی نمی‌باشند [۳].

تقسیم‌بندی ترکیبات موجود در نفت خام و درصد ترکیبات آسفالتینی موجود در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. به طوریکه دیده می‌شود این ترکیبات محدوده‌ای بین ۰ تا ۲۰ درصد اجزاء اصلی نفت را تشکیل می‌دهند. بخش ترکیبات حاوی نیتروژن، اکسیژن و گوگرد که در نفت خام یافت می‌شوند به دو دسته رزین‌ها و آسفالتین‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. ارتباط منشأیی مشخصی بین رزین‌ها و آسفالتین‌ها ذکر نشده است. امروزه می‌دانیم که

---

1- Deposition  
3- Emulsion  
4- Plugging  
5- Wettability  
5- Softening Points

رزین‌ها از طریق ایجاد پیوند به مولکول‌های آسفالتینی می‌چسبند و به عنوان عامل پایدارکننده مولکول‌های آسفالتین عمل می‌کنند.



شکل ۱-۱- شماتیک جداسازی سارا [۴]

آسفالتین‌ها ممکن است در نفت خام بر اثر فعالیت رزین‌ها به عنوان پایدارکننده پراکنده شوند. مولکول‌های قطبی رزین همچنین ممکن است تشکیل مولکول‌های بزرگ و قطبی به نام مایسل<sup>۱</sup> با هسته آسفالتین دهند. نکات زیر در مورد آسفالتین‌ها قابل توجه می‌باشد:

در یک محیط با مقدار کم غلظت از رزین‌ها، از به هم پیوستن مولکول‌های آسفالتین مایسل تشکیل می‌شود. به علت تغییرات فیزیکی- شیمیایی زیاد، ساختار مولکولی آسفالتین‌ها بسیار پیچیده است. زیرا با تغییر ترکیب نفت ساختار آسفالتین می‌تواند تغییر کند.

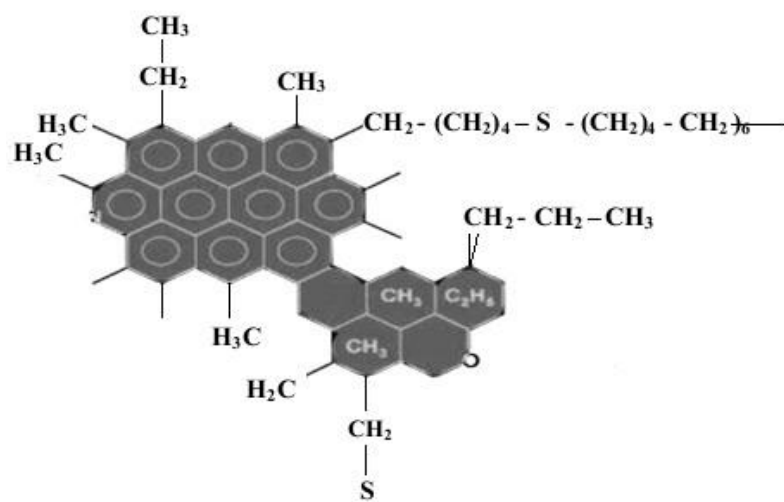
در شکل‌های ۱-۲ و ۱-۳ نمونه‌هایی از ساختارهای متفاوت آسفالتین نشان داده شده است. غیر از وجود عناصر غیر هیدروکربوری در ساختار همه آسفالتین‌ها، ماهیت قطبی بودن آنها و وزن مولکولی بالای این ترکیبات تقریباً هیچ خاصیت قابل ذکر متحد برای این ترکیبات وجود ندارد و بسته به نوع نفت هر کدام متفاوت از دیگران خواهد بود. از این رو نمی‌توان ساختار مولکولی واحدی برای همه آسفالتین‌ها ارائه نمود.

### ۱-۳-۲- خواص فیزیکی آسفالتین

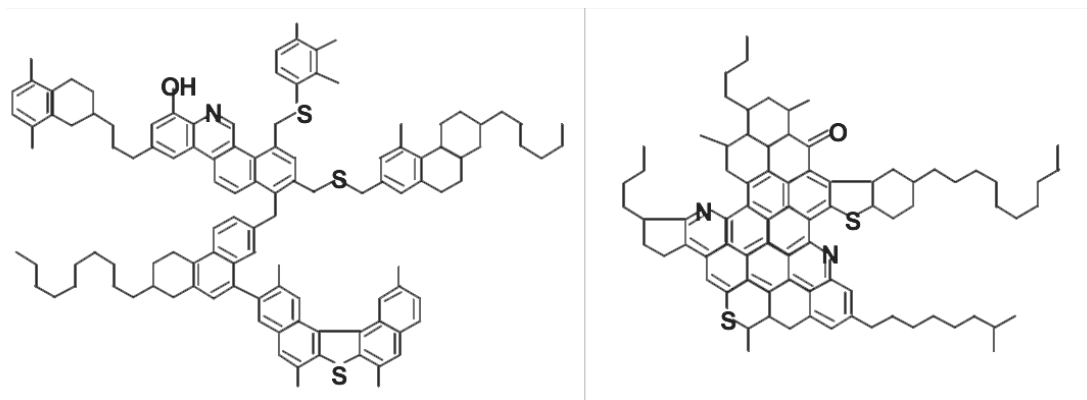
جزء آسفالتین بدلیل تمایل آن به بهم پیوسته شدن و تشکیل ذرات بزرگ‌تر را نمی‌توان بخوبی از نفت جدا

1- Micelle

نمود به همین دلیل یافتن خصوصیات فیزیکی آن به سادگی و دارای دقت کافی نخواهد بود. آسفالتین بصورت ماده‌ای جامد و به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه می‌باشد. با افزایش میزان آسفالتین در نفت، رنگ نفت از روشن به قهوه‌ای تیره تغییر می‌کند. با افزایش غلظت آسفالتین در نفت علاوه بر افزایش چگالی سیال، گرانیروی آن نیز افزایش می‌یابد. بطور میانگین آسفالتین دارای چگالی در حدود  $1/2 \text{ gr/cm}^3$  می‌باشد. این ماده غیر قابل ذوب بوده و بر اثر حرارت شکسته و تجزیه می‌شود و مواد کک ماندی را از خود بجای می‌گذارد.



شکل ۱-۲- ساختار مولکولی دو مولکول آسفالتین مختلف [۵]



شکل ۱-۳- ساختار مولکولی دو مولکول آسفالتین مختلف [۵]

### ۱-۳-۳- ترکیب اجزای تشکیل دهنده آسفالتین

آسفالتین بطور عمده شامل عناصر کربن، هیدروژن و مقدار جزئی شامل اکسیژن، گوگرد و نیتروژن می‌باشد.