

گزارش انجمن علمی دانشجویی SPE دانشکده مهندسی

شیمی، نفت و گاز دانشگاه شیراز

اردیبهشت 1397





فهرست

3	.....	مقدمه
7	.....	معرفی اعضا
9	.....	فعالیت های آموزشی
10	.....	اکسل
12	.....	سیال حفاری
15	.....	استفاده از دانش مهندسی مخزن
17	.....	اکلیپس
19	.....	لمپس
23	.....	خلاقیت علمی - اختراع
24	.....	دستگاه اندازه گیری کشش بین سطحی
25	.....	گواهی نامه ثبت اختراع
35	.....	گزارش پایانی طرح دستگاه



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



مقدمه

SHIRAZ SPE



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



معرفی دانشگاه شیراز

دانشگاه شیراز یکی از قدیمیترین و بزرگترین دانشگاه های ایران میباشد که در سال 1325 خورشیدی تاسیس گردید. دانشگاه شیراز اولین دانشگاه کشور است که مدرک آن بینالمللی شد. این دانشگاه حدود 20 هزار نفر دانشجو دارد که در 16 دانشکده ی این دانشگاه در حال تحصیل هستند. به گفته ی فرمایش مقام معظم رهبری در جریان سفر به استان فارس، " دانشگاه در شیراز یعنی دارالعلم در دارالعلم ". این دانشگاه حدود 70 انجمن علمی دارد که زیر نظر مرکز حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان دانشگاه شیراز فعالیت میکنند. هم اکنون دکتر حمید نادگران سرپرستی دانشگاه شیراز و سرکار خانم دکتر محبوبه البرزی، ریاست مرکز حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان دانشگاه شیراز را بر عهده دارند.



نمای دانشگاه شیراز از بالا



ساختمان مدیریت دانشگاه



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



دانشکده مهندسی شیمی ، نفت و گاز دانشگاه شیراز

این دانشکده در سال 1383 فعالیت علمی- پژوهشی خود را با جذب اعضای هیات علمی به صورت مستقل آغاز نمود و در سال تحصیلی 86-85 فعالیت های خود را در عرصه های آموزشی و پژوهشی با پذیرش دانشجوی کارشناسی ارشد در رشته تحصیلی مهندسی شیمی تخصص گاز گسترش بخشید.

این دانشکده دارای آزمایشگاه های مجهز جهت انجام فعالیت های تحقیقاتی در زمینه تعادل فاز می باشد. اعضای هیات علمی این دانشکده به عقد قراردادهایی با شرکت ملی گاز ایران و صنایع پتروشیمی طرح های پژوهشی متعددی را در جهت حل مشکلات صنایع مذکور به اجرا در آورده اند.

احداث بیش از ده آزمایشگاه جدید آموزشی- تحقیقاتی، انجام پروژه های تحقیقاتی نفت و گاز، اعزام بیست نفر دانشجو جهت تامین کادر علمی این دانشکده به خارج از کشور و حمایت از پایان نامه های دانشجویان تحصیلات تکمیلی، ظرفیتهای جدیدی را به توان علمی کشور خواهد افزود .

فعالیت های بخش مهندسی شیمی، نفت و گاز محدود به تربیت دانشجو نبوده و طرح های تحقیقاتی- کاربردی توسط این بخش در زمینه های مختلف علمی و صنعتی در حال انجام است. مقالات علمی متعددی از نتایج تحقیقات علمی این بخش در داخل و خارج از کشور منتشر شده و موجب گردیده است که در دنیا به عنوان یک بخش معتبر شناخته شود.



این بخش تا کنون میزبان اولین ، سومین و چهارمین کنگره بین المللی مهندسی شیمی در سالهای 1352، 1356 و 1379 ، سمینار نفت، گاز و پتروشیمی در سال 1370 و پنجمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران در سال 1379 و اولین همایش ملی تخصصی گاز ایران در سال 1385 و هفتمین همایش دانشجویی مهندسی شیمی ایران در سال 1386 بوده است .

فعالیت های تحقیقاتی این گروه علمی موجب انتشار مقالات علمی متعددی در داخل و خارج از کشور گردیده که آن را به عنوان یک بخش معتبر در سطح بینالمللی معرفی نموده است.



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



انجمن علمی، دانشجویی SPE دانشگاه شیراز

این انجمن فعالیت خود را در سال 1391 و با تشکیل شورای مرکزی شامل دانشجویان مهندسی نفت دانشگاه شیراز شروع کرده است و تا کنون با هدف افزایش سطح علمی و میزان آگاهی دانشجویان به فعلیت خود ادامه داده است که از این میان آنچه بیشتر به چشم می آید انجام فعالیت های آموزشی به خصوص در زمینه آموزش نرم افزارهای تخصصی مهندسی نفت می باشد که با توجه نیاز صنعت بالا دستی کشور به نیروهای کارآمد و متخصص در این زمینه امری منطقی به نظر می رسد.

از دیگر اهداف این مجموعه دانشجویی آشنایی دانشجویان با سطح اول علم مهندسی نفت در سطح جهانی و افزایش سطح آگاهی دانشجویان جهت آمادگی برای به کار گیری توانمندی های خود می باشد که به این منظور با دعوت از متخصصین در این زمینه از سطح کشوری و بین المللی زمینه را برای این منظور فراهم می آورد.

انجمن SPE دانشگاه شیراز به صاحب امتیازی نشریه نپتا (NAPTA) هر ساله با چاپ و انتشار این نشریه اخبار و اتفاقات مربوطه در سطح دانشگاه و کشور را تحت پوشش خبری قرار میدهد، شایان ذکر است این نشریه در سال 1396 موفق به کسب مقام چهارم در سطح کشوری نیز شده است.



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



معرفی اعضای انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



دکتر مجتبی فاندی (استاد مشاور)



میلاد صادقی (عضو انجمن)



محمد امین کمری (دبیر انجمن)



صمد نوری کریمی (عضو انجمن)



رضا نره ای
(عضو انجمن)



محمد آذربایجانی
(عضو انجمن)



محمد امین رشیدی
(عضو انجمن)



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



اسامی دوره فعلی شورای مرکزی انجمن علمی SPE

نام و نام خانوادگی	سمت	مقطع تحصیلی	سال ورود به دانشگاه	مدت فعالیت در انجمن علمی	رشته تحصیلی
محمد امین کمری	دبیر	کارشناسی	1394	3	مهندسی نفت
صمد نوری کریمی	عضو	کارشناسی	1394	3	مهندسی نفت
میلاد صادقی	عضو	کارشناسی	1394	3	مهندسی نفت
رضا نره ای	عضو	کارشناسی	1394	3	مهندسی نفت
محمد آذربایجانی	عضو	کارشناسی	1394	3	مهندسی نفت
محمد امین رشیدی	عضو	کارشناسی	1394	3	مهندسی نفت

استاد مشاور

نام و نام خانوادگی	سوابق و مرتبه علمی	پست الکترونیک
مجتبی قاندى	عضو هیئت علمی بخش مهندسی نفت دانشگاه شیراز	



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



فعالیت های آموزشی

SHIRAZ SPE



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



کارگاه آموزشی Excel

گزیده مطالب و سرفصل عناوین

- متن و نوار ابزارها
- فرمولها
- محاسبات و شمارش
- امنیت و حفاظت
- چاپ
- نمودارها
- و.....

هزینه ثبت نام برای هر نفر (تومان)	تعداد نفرات شرکت- کننده	مدت دوره (ساعت)	زمان برگزاری
10	30	10	پنجشنبه 1396/9/16

سوابق و سطح علمی مدرس	مدرس (یا مدرسان)
عضو هیات علمی بخش مهندسی نفت دانشگاه شیراز	دکتر مجتبی قائدی

همکاران اجرایی و مسئولیتها

- 1- میلاد صادقی قهرودی (عضو شورای مرکزی)؛
- 2- محمد امین کمری (دبیر انجمن علمی)
- 3- محمد آذربایجانی (عضو شورای مرکزی)
- 4- محمد امین رشیدی (عضو شورای مرکزی)
- 5- رضا نره ای (عضو شورای مرکزی)
- 6- صمد نوری کریمی (عضو شورای مرکزی).



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



کارگاه آموزشی

Excel
(ویژه مهندسی)

مدرس دکتر قائدی
(عضو هیئت علمی بخش مهندسی نفت)

پنج شنبه مورخ ۹/۱۶ ساعت ۸ صبح
دانشکده مهندسی نفت و گاز

هزینه برای دانشجویان مهندسی نفت و شیمی ۱۵ هزار تومان
ویژه ی اعضای انجمن علمی spe ۱۰ هزار تومان
برای دانشجویان سایر رشته ها ۲۰ هزار تومان

تیت نام اثر طریق: ۰۲۱-۵۶۴۸۸۱

همراه با اعطای گواهی معتبر





Certificate of Completion

CERTIFICATE No. _____


SPE International
Society of Petroleum Engineers
Shiraz University Branch

This Certificate is Hereby Issued to
Ali Alattafi
For Having Successfully Completed
'Excel'

Organized by Shiraz University SPE Chapter from **7 Dec 2017**

Mohammad Amin Kamari
Head of the SPE Chapter
Of Shiraz University

Dr Mojtaba Ghaedi
Course Instructor






گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



کارگاه آموزشی سیال حفاری

گزیده مطالب و سرفصل عناوین

- عوامل blowout در چاه های حفاری.
- عوامل ایجاد kick در چاه های حفاری.
- بررسی شرایط $balance$, $overbalance$, $underbalance$, برای چاه حفاری.
- تنظیم وزن سیال حفاری و مزایا و معایب آن.
- چگونگی جلوگیری و مقابله با kick و blowout.
-

هزینه ثبت نام برای هر نفر (تومان)	تعداد نفرات شرکت کننده	مدت دوره (ساعت)	زمان برگزاری
5	38	10	چهارشنبه 96/9/29

سوابق و سطح علمی مدرس	مدرس (یا مدرسان)
مشاور شرکت od fjell well services در ایران	سید علی زمانی

همکاران اجرایی و مسئولیت ها	
5- رضا نره ای (عضو شورای مرکزی)	1- محمد امین کمری (دبیر انجمن)
6- محمد آذربایجانی (عضو شورای مرکزی).	2- محمد امین رشیدی (عضو شورای مرکزی)
	3- میلاد صادقی قهرودی (عضو شورای مرکزی)
	4- صمد نوری کریمی (عضو شورای مرکزی)

-	لینک گزارش اعلان، برگزاری و دوره در فضای مجازی
---	---



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز





گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز

انجمن علمی SPE برگزار می کند

سمینار تخصصی سیال حفاری Blow out Prevention بادیدگاه

با همکاری | آزمایشگاه نانو سیال حفاری دانشگاه شیراز
مدرس | مهندس سید علی زمانی
(مشاور شرکت odofjell well services در ایران)

چهارشنبه 29/9/1396 ساعت 8 صبح
دانشگاه مهندسی نفت گاز شیم
هزینه | دانشجویان دانشگاه شیراز 5000 تومان
ثبت نام | هزینه ی آزاد 20000 تومان

با ارائه گواهی معتبر
ثبت نام از طریق @speshirazuni
یا شماره 09105848810

ID : @speshirazuni
Channel : @SPESociety
Insta : spe.shiraz
Email : spe.shirazuni96@gmail.com

ظرفیت محدود

CERTIFICATE No. _____

Certificate of Completion

SPE
Society of Petroleum Engineers
Shiraz University Branch

This is to certify that
Armin Sharifi
has attended a one day seminar on:
'DRILLING FLUID TECHNOLOGY'
Organized by Shiraz University SPE Chapter from **20 Dec 2017**

Mohammad Amin Kamari
Head of the SPE Chapter
Of Shiraz University

Dr Mojtaba Ghaedi
SPE Faculty Advisor

Shiraz University



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



کارگاه آموزشی با موضوع:

استفاده از دانش مهندسی مخزن برای راهنمایی در تصمیمات سرمایه گذاری نفت و گاز

گزیده مطالب و سرفصل عناوین

Data Review & DC-
Probabilistic Approach-
Modelling & Assumption-
Recombination , Flow Geometry –
Edgemarcs area of interest in the marcellus-
Linear Flow Analysis-
Average pressure of a reservoir-
...-

هزینه ثبت نام برای هر نفر (تومان)	تعداد نفرات شرکت کننده	مدت دوره (ساعت)	زمان برگزاری
0	30	2	سه شنبه 96/10/12

سوابق و سطح علمی مدرس	مدرس (یا مدرسان)
استاد دانشگاه کلگری کانادا، فارغ التحصیل مقطع کارشناسی از دانشگاه صنعت نفت و مقطع دکترا از دانشگاه کلگری کانادا	دکتر حمید بهمنش
همکاران اجرایی و مسئولیتها	
5-محمد آذربایجانی (عضو شورای مرکزی)؛	1-محمد امین کمری (دبیر انجمن) 2-محمد امین رشیدی (عضو شورای مرکزی) 3-میلاذ صادقی قهرودی (عضو شورای مرکزی) 4-صمد نوری کریمی (عضو شورای مرکزی)



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



استفاده از دانش
مهندسی مخزن برای
راهنمایی در تصمیمات
سرمایه گذاری نفت و گاز

دکتر حمید بهمنش
استاد دانشگاه کلگری کانادا

سه شنبه ۱۲ دیماه
ساعت ۱۳ تا ۱۴

دانشکده مهندسی شیمی
نفت گاز سالن سعدی

ثبت نام
رایگان

ثبت نام از طریق آیدی و شماره
۰۹۱۵۵۸۴۸۸۱۰
ID : @speshirazuni
Channel : @SPEsociety





گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



کارگاه آموزشی نرم افزار eclipse

گزیده مطالب و سرفصل عناوین

- آشنایی با محیط نرم افزار و نرم افزار های جانبی
- آشنایی با کلید واژه های اصلی در اکلیپس و به کارگیری آنها
- شبیه سازی چاه های تولیدی و چاه های تزریقی در یک مخزن
- تحلیل نمودار های حاصل از نتایج شبیه سازی
- ارائه یک مثال واقعی از یک مخزن
- شبیه سازی Aquifer در یک مخزن
- و

سوابق و سطح علمی مدرس	مدرس (یا مدرسان)
عضو هیئت علمی بخش مهندسی نفت دانشگاه شیراز	دکتر مجتبی قائدی

هزینه ثبت نام برای هر نفر (تومان)	تعداد نفرات شرکت کننده	مدت دوره (ساعت)	زمان برگزاری
(15 نفر - 70000) (5 نفر - 15000)	20	16	چهارشنبه و پنجشنبه 1396/12/17 و 16

همکاران اجرایی و مسئولیت ها

4- صمد نوری کریمی (عضو شورای مرکزی)	1- محمد امین کمری (دبیر انجمن علمی)
5- میلاد صادقی قهرودی (عضو شورای مرکزی)؛	2- محمد آذربایجانی (عضو شورای مرکزی)
	3- رضا نره ای (عضو شورای مرکزی)



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز





گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



کارگاه آموزشی نرم افزار LAMMPS

گزیده مطالب و سرفصل عناوین

- معرفی شبیه سازی مولکولی
- ایجاد ساختار اولیه
- آشنایی با میدان های نیرو و برهمکنش ها
- بهینه سازی ساختار از لحاظ انرژی
- آنالیز و تفسیر نتایج خروجی
- آشنایی با نرم افزار های جانبی مانند Avogadro , VMD , ovitto
- اجرای موازی نرم افزار روی سیستم های چند هسته ای

مدرس (یا مدرسان)	سوابق و سطح علمی مدرس
محمد امین اسماعیل بیگ	دانشجوی دکتری مهندسی شیمی دانشگاه شیراز

زمان برگزاری	مدت دوره (ساعت)	تعداد نفرات شرکت کننده	هزینه ثبت نام برای هر نفر (تومان)
پنجشنبه و جمعه 10, 11, 12/1396	16	17	120,000

همکاران اجرایی و مسئولیت ها

1- محمد امین کمری (دبیر انجمن علمی)	3- رضا نره ای (عضو شورای مرکزی)؛
2- محمد آذربایجانی (عضو شورای مرکزی)	



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



دوره آموزشی
شبیه سازی دینامیک مولکولی
با نرم افزار

LAMMPS

Molecular Dynamics Simulation

سرفصل مطالب

- معرفی شبیه سازی مولکولی
- ایجاد ساختار اولیه
- آشنایی با میدانهای نیرو و برهم کنش ها
- آرایه مثال های گوناگون
- بهینه سازی ساختار از لحاظ انرژی
- آنالیز و تفسیر نتایج خروجی
- آشنایی با نرم افزارهای جانبی مانند Ovitto, VMD, Avogadro
- اجرای موازی نرم افزار روی سیستم های چند هسته ای

زمان برگزاری: ۱۰ تا ۱۱ اسفندماه
مدت زمان دوره: ۱۶ ساعت

دوره ۱۶۰۰ هزار تومان (روز، ظهر، عصر، شبانه شیراز)
دوره ۱۵۰۰ هزار تومان (روز، عصر، ظهر)

جهت هماهنگی و کسب اطلاعات بیشتر از راه های زیر اقدام نمایید:

☎ ۰۹۱۰۵۴۴۸۸۱۰ @SPESHIRAZUNI





گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



بسمه تعالی

رزومه

مشخصات فردی

نام و نام خانوادگی : محمدامین اسماعیل بیگ	نام پدر : علیرضا
محل تولد : شیراز	وضعیت تاهل : متاهل
تاریخ تولد : 69/5/1	شماره ملی : 2280505673
وضعیت نظام وظیفه : معافیت تحصیلی	تلفن ثابت : 071-38215256
تلفن همراه : 09171070897	
پست الکترونیک : aesmaeilbeig@gmail.com	
آدرس : شیراز - خیابان آبیاری - کوچه 3 - پلاک 234	

سوابق آموزشی

مقطع تحصیلی	رشته	گرایش	مدت تحصیل از تا	محل تحصیل	معدل
دیپلم	ریاضی و فیزیک		86	دبیرستان نمونه دولتی ابن سینا - شیراز	19/2
کارشناسی	مهندسی نفت	مخازن	87 91	دانشگاه شیراز	15/48
کارشناسی ارشد	مهندسی شیمی	صنایع شیمیایی معدنی	92 95	دانشگاه علم و صنعت	15/67

در حال حاضر دانشجوی دکتری مهندسی شیمی دانشگاه شیراز



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



دوره های آموزشی گذرانده

کارآموزی دوره کارشناسی: شرکت طراحی و مهندسی گروه صنعتی عالی نام (نفت، گاز و پتروشیمی)
دوره آموزشی شبیه سازی دینامیک مولکولی با نرم افزار LAMMPS - دانشگاه امیرکبیر - اردیبهشت 93
دوره آموزشی شبیه سازی مولکولی با نرم افزار Material Studio - گروه دنیای شبیه سازی مولکولی - اردیبهشت 95

مهارت نرم افزاری

LAMMPS
C++
Excel+VBA
AutoCAD

سوابق پژوهشی

Esmailbeig, M., Movahedirad, S., & Norouzbeigi, R. (2015). Prediction of Wetting Behavior of Graphite Plate by Molecular Dynamics Simulation. The 9th International Chemical Engineering Congress and Exhibition. Shiraz, Iran.

Esmailbeig, M., & Movahedirad, S. (2017). Prediction of the self-diffusion coefficients in aqueous KCl solution using molecular dynamics: A comparative study on two force fields. Korean Journal of Chemical Engineering.



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



خلاقیت علمی - اختراع

SHIRAZ SPE



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



بسم الله الرحمن الرحيم

جمهوری اسلامی ایران
پایتخت جمهوری

شیراز

کمیته انترنشنل

شماره: ۹۶۰/۳۳۱
تاریخ: ۱۳۹۴

جناب آقای صادق حسن پورچادگان معنی به نمایندگی از آقای مسعود ریاضی، محمد رضا لاری و مهدی اسکروچی

باسلام

دکابل سمرقند به اطلاع می رساند حسب نظریه سنت و ادوارن بشواره اختراعات و باجارات معنای رویش زرد کوکود که در آند سال ۱۳۹۶ برگزار شده است، اختراع: «دستگاه اندازه گیری کشش مین سطحی آب - نفت و زئولیت مین سطح و سیالیت و شرایط آنالیزنگاهی» با شماره ثبت ۲۲۵۲۵۱، به عنوان اختراع سطح ۳، بنیادینی نتجان شناخته شده است.

هدف اصلی بنیاد از شناسایی اختراع های برگزیده، تحلیل از خلایق طبی و آواراز مخرمان و ایجاد زمینه ای برای توانمندی آنگان برای ایجاد محصولی تجاری و بازاری پیدار برای آن است. از این رو امید است بایستی خداوند حکیم و تلاش و پشتکار حضرتعالی، منتهی تبدیل اختراع برگزیده به محصولی باارز و بار بار باشیم.

مسئول نظریه سنت و ادوارن
دین بنیاد نتجان معنی زرد کوکود

مسئول نظریه سنت و ادوارن
دین بنیاد نتجان معنی زرد کوکود

www.speiran.com



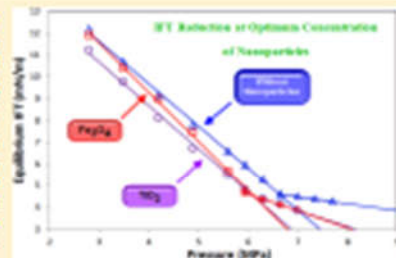
Asphaltene Precipitation during Injection of CO₂ Gas into a Synthetic Oil in the Presence of Fe₃O₄ and TiO₂ Nanoparticles

Sadeq Hassanpour,[†] Mohammad Reza Malayeri,^{*,†,2} and Masoud Riazi[†]

[†]Enhanced Oil Recovery Research Centre, Department of Petroleum Engineering, School of Chemical and Petroleum Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

²Institute for Process Technology and Environment (IVU), Technische Universität Dresden, Dresden, 01062, Germany

ABSTRACT: The production rate of oil reservoirs decreases gradually as reservoir pressure drops. This would occur due to various reasons, among them the precipitation and deposition of asphaltene. In this study, the impacts of two nanoparticles of titanium oxide and iron oxide with various concentrations were investigated for retarding the precipitation of asphaltene in the process of CO₂ injection into synthetic oil. The experimental interfacial tension results clearly showed that both nanoparticles can effectively impede the precipitation of asphaltene. This has been sought in terms of change in the slope of interfacial tension curves. In this process, the adsorption of asphaltene by nanoparticles and interaction with precipitated asphaltene at the interface between the two fluids were imperative in terms of adsorption capacity and affinity. The comparison of these two nanoparticles also revealed that Fe₃O₄ nanoparticles were more effective than TiO₂ for reducing the precipitation of asphaltene at the interface between CO₂ and oil and intensified the miscibility of CO₂ into oil. Furthermore, the optimum weight fraction of both nanoparticles was found to be 1.0%. Finally, the reduction of the asphaltene precipitation intensity for the optimum concentration for oil solutions containing TiO₂ and Fe₃O₄ nanoparticles was 17 and 18%, respectively.



1. INTRODUCTION

The flow of heavy crude oil with high viscosity in tortuous passages of oil reservoirs could profoundly be decelerated. The problem can further be exacerbated if precipitation of asphaltene occurs which may result in heavier and denser crude oils.¹ This, in turn, may cause permeability reduction, decreased water saturation, and wettability alteration within porous media. Asphaltenes are defined as an oil solubility class which are insoluble in light alkanes but are soluble in toluene or dichloromethane.^{2–5} They comprise aromatic polycyclic clusters variably substituted with alkyl groups and may contain a trace of metals (e.g., nickel, iron, and vanadium) and heteroatoms (N, S, O). The precise physicochemical properties of asphaltenes are difficult to define using existing analytical tools, and it remains the subject of ongoing research and contentious debates.^{6–7}

Minimum miscibility pressure (MMP) plays a significant role for evaluation of the displacement efficiency of different gas injection processes in the oil reservoir.⁸ There are numerous experimental methods to assess gas/oil miscibility under reservoir conditions namely the rising bubble apparatus (RBA), the slim tube, pressure/composition (*P*/*X*) diagrams, and the recently developed vanishing interfacial tension (VIT) technique⁹ that are briefly described as follows:

Rising Bubble (RBA). This method is ordinarily used to evaluate the gas/oil miscibility.⁹ The observation of changes in shape and behavior of a gas bubble that rises in a visual high

pressure cell filled with reservoir oil is the base of this method.¹⁰

Slim Tube. The slim tube technique is the most common approach for the determination of the miscibility of gas into oil. The method, in particular, evaluates the MMP, the minimum miscibility composition (MMC), the optimization of injection parameters, and composition of lean and enriched gas.¹¹

Pressure/Composition (*P*/*X*) Diagrams. The *P*/*X* diagrams for miscibility gas–oil systems are plotted by determination of phase-behavior measurements in high pressure visual cells at reservoir conditions. The method is expensive, time-consuming, and cumbersome, requires a large volume of fluids, and is accompanied by noticeable experimental error.¹²

Vanishing Interfacial Tension (VIT). This method, which is used in this study, is a powerful and new technique which provides rapid determination of the MMP. It consists of measuring the IFT of the injected gas phase and the crude oil system for different pressures. The IFT is then determined by digitization of the images of the profiles of the sessile and pendant drops of crude oil enclosed in the vicinity of injected gas.¹³

Received: October 13, 2017

Accepted: March 27, 2018

The VIT method unlike other techniques is capable of measuring MMP in oils of high asphaltene content. This approach is widely being used to understand the precipitation of asphaltene in gas injection processes.^{13,14} To do so, the utilization of a plane method is the easiest and most common approach to evaluate and to calculate the pendant drop for two immiscible fluids.¹⁵ The theory of the pendant drop was first presented in 1882 by Bashforth and Adams.¹⁶ Nonetheless as this theory was complicated, Andreas¹⁷ offered the following empirical equation for calculation of interfacial tension (IFT):

$$\gamma = \frac{\Delta\rho D_p^2}{H} \quad (1)$$

where γ denotes the interfacial tension, $\Delta\rho$ is the density difference, and D_p is the equatorial diameter of the droplet, respectively. H is a correction factor which is proportional to the shape factor of the pendant drop, S , which is expressed as

$$S = \frac{D_p}{D_h} \quad (2)$$

D_h is the droplet diameter measured horizontally at a distance D_h away from the apex of the droplet. Bashforth and Adams¹⁶ proposed a correlation for the estimation of H value as a function of S values. Figure 1 illustrates the shape of the pendant drop in a typical liquid-gas system along with parameters defined in eq 2.

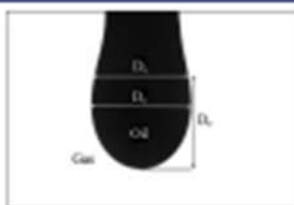


Figure 1. Relationship between dimensions of a pendant drop.

Hosseini-Sarpanzeh et al.¹⁸ calculated the IFT and miscibility of a CO₂-crude oil mixture experimentally in

which the effect of temperature, pressure, and composition was taken into consideration. They concluded that at low pressures as temperature increases, IFT decreases due to increased CO₂ solubility. At high pressures, though, increased temperature led to higher IFT due to the decrease in CO₂ solubility. They also showed that the type of paraffin would have the greatest impact on the slope of IFT versus pressure at a given temperature.

In recent years, technological advancements of nanotechnology have given impetus for their utilization in the oil industry. Although their utilization in enhanced oil recovery (EOR) processes is in its infancy¹⁹, several investigations have shown promising results. Kazemzadeh et al.²⁰ investigated the impact of adding Fe₃O₄ nanoparticles to the synthetic oil solutions on the precipitation of asphaltene using interfacial tension (IFT). They showed that the presence of Fe₃O₄ increased the slope of the IFT-pressure curve at elevated pressures to the same of those without nanoparticles indicating a reduced severity of asphaltene precipitation. This has mainly been attributed to the adsorption of asphaltene on the surface of the nanoparticles which is of interest for the oil industry especially for heavy crudes for two main reasons: (i) rapid depletion of asphaltene from heavy oil and (ii) use of nanoparticles as catalysts for the conversion of asphaltene to usable light products.²¹ Esmailzadeh et al.²² found three nanoparticles of SiO₂, TiO₂, and CNT that would change the wettability of reservoir carbonate rocks from the strongly liquid-wetting to the gas-wetting state.

Numerous studies have also investigated the possibility of using TiO₂ nanoparticles in EOR processes for the purpose of wettability alteration.²³⁻²⁶ Nasar et al.²⁷ used Fe₃O₄ nanoparticles to investigate the effect of the adsorption and oxidation removal of four types of asphaltene. They found that the absorption rate, affinity, and capacity of the investigated nanoparticles to retard asphaltene precipitation depended on asphaltene molecular weight. The absorption rate and capacity increased when asphaltene molecular weight decreased and vice versa. Moreover, they also showed that in the absence of Fe₃O₄ nanoparticles at 298 K, the oxidation rate was different for the same four types of asphaltene while in the presence of nanoparticles, the oxidation rate was similar indicating the strong role of these nanoparticles as catalyst.²⁷ Nanoparticles of the same metal oxide absorption capacity were

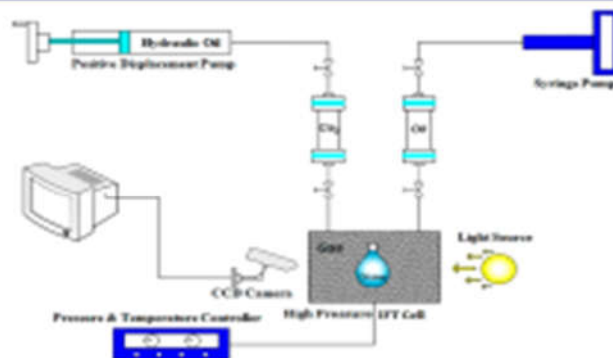


Figure 2. Schematic diagram of the drop-shape analyzer (IFT700) for IFT measurement.



Table 1. Composition of the Crude Oil from Which Asphaltene Was Extracted

component	N ₂	CO ₂	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
mole percentage	0.29	0.80	13.66	5.71	4.36	2.74	2.33	1.60	1.31	3.19	3.59	4.83	4.30	3.78	2.45	43.24	

also capable of reducing the aggregation and precipitation of asphaltene on the rock surface or tubing wall.²⁴

Overall, the pros and cons of utilization of nanoparticles for EOR purposes are still at the know-how stage of development. More experimental endeavors are required before firm conclusions can be made. This is because nanoparticles are intended to be used in the oil industry as multifunctional chemical substances. Some of these nanoparticles can use thermal catalytic characteristics and suspend asphaltene in crude oil and prevent their precipitation.^{26–31} It is particularly of great importance since the process of asphaltene adsorption on nanoparticles is reported to take place in a relatively short period of time which would serve as promising approach to delay the precipitation of asphaltene and possibly subsequent deposition.³² Magnetic properties of the metal nanoparticles are important for the adsorption of asphaltene.^{33,34} In particular, Fe₃O₄ and TiO₂ within the weight fractions of 0.1 to 1%, have not yet been investigated to discern the interfacial tension (IFT) and precipitation of asphaltene in the asphaltic synthetic oil by using the VIT method. In this study, IFT changes, as well as minimum miscibility pressure (MMP) and asphaltene precipitation were analyzed for synthetic oil solutions in both cases without and with nanoparticles (Fe₃O₄ and TiO₂) with various concentrations while CO₂ was also utilized as an injecting gas at a constant temperature and a wide range of pressure was studied. It is worth mentioning that the composition of synthetic oil used in this study was different to that of Kazemzadeh et al.²⁶ to cover a wider range of volume fraction of chemicals. Finally, the two nanoparticles were evaluated in terms of adsorption capacity and affinity which helped to understand the reason for the different performance of nanoparticles to retard asphaltene precipitation.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Experimental Facility. The apparatus used in this study was an IFT700 unit which is schematically depicted in Figure 2. The apparatus contained an injection system (syringe pump with positive displacement feature), phase clear cube (high pressure IFT cell), laboratory camera with a high frame rate (CCD camera) and a proper computing system, and finally an image analyzer (PC computer, Lab View Image Processor). The IFT device made it possible to measure the IFT values between two fluids (gas/oil and water/oil) at ambient and reservoir conditions. It also provided the contact angle between a liquid and solid sample (rock) if required. The chamber fluid and the droplet were provided by the injection system that included two cylinder–piston systems. The injected fluid was then kept in a stainless steel chamber which provided safety requirements for tests. The visual part of this chamber was also made of quartz, enabling observation of the contents of the container without light refractions. The droplet images were then recorded by a CCD monochrome camera and at last the image analysis software calculated the IFT values between the investigated fluids at specified temperature and pressure by image processing.

2.2. Test Materials. In this study CO₂ (with a purity of more than 99.99%), toluene, and n-heptane (Merck with purity

of 99.95%) were used. Asphaltene particles were extracted from one of the heavy oil reservoirs in southern Iran, and the composition of the crude oil is listed in Table 1.

Other materials used in this study included iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄) and titanium oxide (TiO₂) with properties given in Table 2.³⁵

Table 2. Properties of Purity, Size, Specific Surface Area (SSA), Color, and Density ρ of the Investigated Fe₃O₄ and TiO₂ Nanoparticles

nanoparticles	purity/%	size/nm	SSA/m ² g	color	ρ /g/cm ³
Fe ₃ O ₄	99.5	11–20	82	dark brown	5.15
TiO ₂	99	20	145	white	3.66

2.3. Sample Preparation. In this study, the procedure of preparing the asphaltic oil solution without/with nanoparticles was as follows. At first, a solution of toluene and n-heptane with volume ratio of 60% to 40% (i.e., T60–H40) was prepared. The full description of asphaltene extraction has also been given elsewhere³⁶ and avoided here for the sake of brevity. Then the weight fraction of 5% of asphaltene was added to this solution to make it consistent with the same asphaltene content in the investigated crude oil. Asphaltene dissolution in the oil solution was accomplished by using a magnet stirrer (at rotation per minute (rpm) of 600 for 1 h) and shaker (at a speed of 150 rpm for 24 h). If required, at the later stages, Fe₃O₄ and TiO₂ nanoparticles with desired weight percentage were added to the synthetic oil solution. The ultrasonic homogenizer (600 W, 25 kHz) for 30 min was finally used to disperse nanoparticles in the solution, followed by 20 min agitation in a heater stirrer at 50 °C. The colloidal stability of nanoparticles in the solution can be characterized in terms of impacts of van der Waals attraction and electrostatic repulsion forces.^{37,38}

2.4. Experimental Procedure. Before IFT measurements, the solution density was measured by a DMA HPM densitometer (Anton-Paar, Austria). These values were then used as input to the IFT700 unit. Table 3 presents the density of the investigated fluids (gas and oil) at various pressures and at a temperature of 323.15 K. As the mass of added nanoparticles to the solutions was marginal, it was assumed that the nanoparticles would have no considerable effect on the density of synthetic oil solutions.

IFT varies with time until the mass transfer between the two phases of gas and oil ceases and reaches an equilibrium. To achieve the thermodynamic equilibrium faster, about 10 droplets of synthetic oil were added to the cell. After hanging the oil droplet at different pressures, it had enough time to reach thermodynamic equilibrium and the real amount of IFT was then calculated for the last 100 s.³⁹ The measurement was repeated at least three times for each pressure, and repeatability of both dynamic behavior and IFT values and their accuracy was ensured.

3. RESULTS AND DISCUSSION

IFT experimental results confirmed that different trends of IFT-pressure would be expected for the two nanoparticles

Table 3. Measured Densities ρ/gcm^{-3} at 323.15 K and Different Pressures for CO_2 and Synthetic Oil Solution

P (MPa)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CO_2	0.6704	0.6315	0.606	0.578	0.5498	0.5352	0.5172	0.5091	0.505	0.5043
synthetic oil solution	0.776	0.7568	0.738	0.729	0.7001	0.7011	0.7021	0.7032	0.7043	0.7052

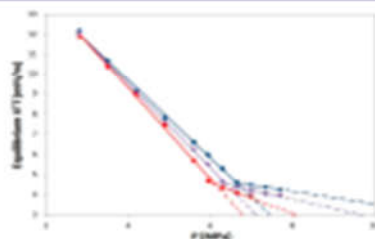


Figure 3. IFT versus pressure for synthetic oil containing asphaltene with different weight percentages of Fe_3O_4 nanoparticles at 323.15 K; blue \bullet , without nanoparticles; purple \blacksquare , with weight fraction of 0.1%; red \blacktriangle , with weight fraction of 1%.

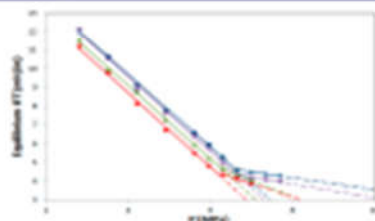


Figure 4. IFT versus pressure for synthetic oil containing asphaltene with different weight percentages of TiO_2 nanoparticles at 323.15 K; blue \bullet , without nanoparticles; purple \blacksquare , with weight fraction of 0.1%; red \blacktriangle , with weight fraction of 1%; green \blacktriangle , with weight fraction of 3%.

investigated in this study. Accordingly, the impact of each nanoparticle on IFT was first discerned before their cooperation.

3.1. Effect of Fe_3O_4 Nanoparticles on IFT. Figure 3 shows IFT equilibrium data as a function of pressure for the synthetic oil solution in the absence of nanoparticles and also with iron oxide nanoparticles with weight fractions of 0.1 and 1% for the range of operating conditions investigated in this study. It should be noted that solid lines correspond to the first and second regions of IFT–pressure curves for the attempted range of pressure, while the dashed lines represent the IFT extrapolation to zero in the first and the second regions to find out the maximum miscibility pressure (MMP). In other words, the extrapolation of the regression equation to zero IFT gives a VIT miscibility.^{5,39}

As it can be observed in Figure 4, higher pressures caused the reduction of IFT between gas and oil in two cases of without and with nanoparticles and the slope of these diagrams monotonously decreased. The addition of iron oxide nanoparticles reduced IFT especially at high pressures (second region). For example, for a pressure of 6.3 MPa, when weight fractions of 0.1 and 1% of Fe_3O_4 nanoparticles were added to asphaltene synthetic oil the amount of IFT decreased from 5.3 mN/m for the without nanoparticles case to 4.65 and 4.36

mN/m, respectively. Moreover at lower pressures (first region), the IFT values of the synthetic oil with and without iron nanoparticles were comparably close together. At the end of the first and second regions, the IFT between the oil solution containing the nanoparticles and CO_2 gas has a greater reduction compared to that without nanoparticles. This primarily lies in the behavior of nanoparticles at the CO_2 /synthetic oil interfaces due to the adsorption of asphaltene onto the nanoparticles.¹² Thus, the addition of nanoparticles to the asphaltene synthetic oil causes the adsorption of asphaltene onto nanoparticles in the vicinity of the interface between the gas and oil phases and moves them further toward the oil phase. The interaction between nanoparticles, gas, and oil would finally lead to the reduction of IFT. This is due to the properties of nanoparticles in terms of high adsorption affinity, high surface area to volume ratio, catalytic performance, and excellent dispersion rate.^{23,34,40} The results also showed that the higher is the concentration of Fe_3O_4 nanoparticles, the more reduction in the slope of IFT should be expected.

3.2. Effect of TiO_2 Nanoparticles on IFT. Similar to Fe_3O_4 nanoparticles, the effect of titanium oxide nanoparticles (with weight fractions of 0.1, 1, and 3%) on IFT CO_2 and asphaltene synthetic oil for the range of operating conditions in this study is presented in Figure 4. The selected weight fraction of 3% of nanoparticles was merely to evaluate IFT changes at weight fractions above 1% as otherwise such concentrations would not be recommended for EOR purposes due to agglomeration of nanoparticles as will be discussed later on.

The experimental results indicate that the addition of TiO_2 nanoparticles with different concentrations to the oil solution reduced the IFT values. IFT curves in the absence of nanoparticles and solution with weight fraction of 0.1% of TiO_2 nanoparticles have only a marginal difference in the first region, while the difference is greater in the second region with that of the solution without nanoparticles (see Table 4). By adding weight fractions of 1 and 3% of these nanoparticles to the oil solution, the reduction of IFT values was significant compared to those of the oil solution without nanoparticles and also to those of the one with 0.1% weight fraction of nanoparticles. Moreover as it can be seen in Table 4, the slope of all four IFT curves in the first region do not show any significant difference contrary to those solutions with Fe_3O_4 nanoparticles.

In the second region, where the precipitation of asphaltene is expected to occur, with the addition of TiO_2 nanoparticles to the synthetic oil solution, the reduction of IFT value for all pressures compared to the case without the nanoparticles is noticeable. In addition, in the second region, the difference between the slope of IFT curves for solutions without and with 0.1% weight fraction of TiO_2 nanoparticles is marginal while for solutions with concentrations of 1 and 3% weight fractions of the nanoparticles, the reduction is the comparative slope is 2.3 and 2.8 times, respectively (Figure 4 and Table 4). Contrastwise, in the first region, the addition of weight fraction 3% of TiO_2 nanoparticles to the synthetic oil solution caused slightly higher IFT values for all pressures compared to solution having 1.0% weight fraction of TiO_2 nanoparticles. The experiment

Table 4. Curve-fitted correlations R^2 ; minimum miscibility pressure (MMP) of the 1st and 2nd regions; % slope change of regions, and reduction of the severity of asphaltene precipitation in synthetic oil with different mass fractions of Fe_2O_3 and TiO_2 nanoparticles at 323.15 K

nanoparticle /weight fraction	region	equation IFT_i, P /MPa	R^2	MMP / MPa	% slope change (region 1/ region 2)	reduction of the severity of asphaltene precipitation/%
0	1st	$IFT = -1.0546P + 17.438$	0.9966	9.20	34	
	2nd	$IFT = -0.5137P + 6.709$	0.9981	21.25		
0.1% Fe_2O_3	1st	$IFT = -1.0833P + 17.942$	0.9991	8.56	78	6
	2nd	$IFT = -0.467P + 7.432$	0.9864	16.27		
0.1% TiO_2	1st	$IFT = -1.0817P + 17.678$	0.9975	8.82	81	3
	2nd	$IFT = -0.5066P + 6.807$	0.992	19.47		
1.0% Fe_2O_3	1st	$IFT = -1.236P + 18.518$	0.9974	8.12	66	18
	2nd	$IFT = -0.7714P + 9.26$	0.9827	12		
1.0% TiO_2	1st	$IFT = -1.0877P + 16.617$	0.9962	8.39	67	17
	2nd	$IFT = -0.636P + 8.839$	0.9988	12.5		
3.0% TiO_2	1st	$IFT = -1.0581P + 16.927$	0.999	8.64	55	29
	2nd	$IFT = -0.5837P + 18.25$	0.9969	11.57		

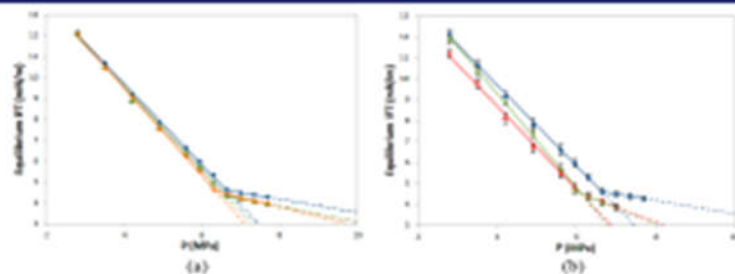


Figure 5. IFT versus pressure for synthetic oil containing asphaltene with different weight percentages of Fe_2O_3 and TiO_2 nanoparticles at 323.15 K: (a) without nanoparticles (blue \bullet), with 0.1 wt % of TiO_2 (green \blacktriangle), and Fe_2O_3 nanoparticles (red \bullet); (b) without nanoparticles (blue \bullet), with 1 wt % of TiO_2 (red \bullet), and Fe_2O_3 nanoparticles (green \blacktriangle).

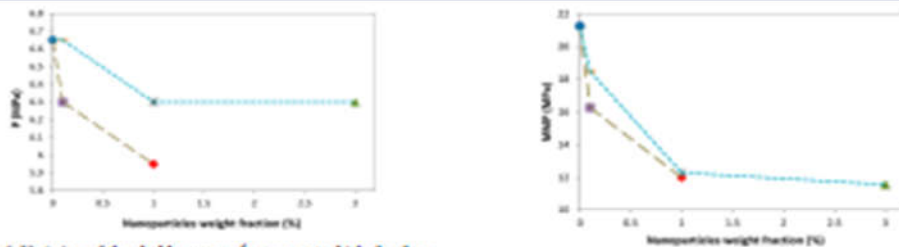


Figure 6. Variation of threshold pressure (pressure at which the slope of IFT curves changes between the two regions) as a function of nanoparticle concentration at 323.15 K for synthetic oil solution containing asphaltene: —, \bullet , \blacktriangle with TiO_2 nanoparticles and \bullet , \blacktriangle with Fe_2O_3 nanoparticles.

was repeated but similar results were obtained. The unexpected result was probably occurred because the addition of nanoparticles to the oil solution to a certain level reduced the

Figure 7. MMP of the 2nd region for synthetic oil solution without and with different mass fractions of Fe_2O_3 and TiO_2 nanoparticles at 323.15 K: —, \bullet , \blacktriangle with TiO_2 nanoparticles and \bullet , \blacktriangle with Fe_2O_3 nanoparticles.

IFT values and asphaltene precipitation but after a certain concentration, further increase in the amount of nanoparticles had a reverse impact which led to increased IFT values. This

Table 5. Langmuir Parameters for Fe₃O₄ and TiO₂ Nanoparticles³³ Langmuir Equilibrium Adsorption Constant, Q_m and Adsorption Quantity, K_L

nanoparticles	Q _m (g/m ²)	K _L (L/g)
Fe ₃ O ₄	0.012	0.001
TiO ₂	0.007	0.002

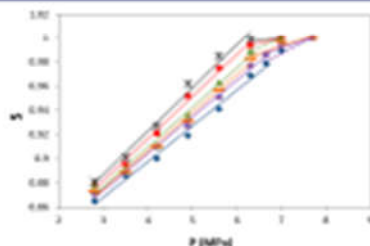


Figure 8. Variation of the slope factor S versus pressure for synthetic oil containing asphaltene with different weight percentages of Fe₃O₄ and TiO₂ nanoparticles at 323.15 K: blue Φ , with nanoparticles; purple Φ , with 0.1% weight fraction of TiO₂; red Φ , with 1% weight fraction of TiO₂; green Δ , with 0.3% weight fraction of TiO₂; orange \rightarrow , with 0.1% weight fraction of Fe₃O₄; black \rightarrow , with 1% weight fraction of Fe₃O₄.

might occur because the nanoparticles could stick together and form flocculation that would not have a prevailing impact on reducing asphaltene precipitation. Thus, the IFT of the synthetic oil solution containing 3% weight fraction of TiO₂ in the range of attempted pressures has increased compared to that of the oil solution containing 1% weight fraction of TiO₂ nanoparticles.

Figure 5 compares the two nanoparticles (TiO₂ and Fe₃O₄) as a function of IFT versus pressure for different concentrations. As can be seen the decreasing trend of IFT in the first region of oil solution containing Fe₃O₄ nanoparticles are almost similar, in contrast to that of the oil solution containing the TiO₂ nanoparticles; this trend changes and shows further reduction by adding the nanoparticles. In the second region in all solutions containing both nanoparticles, a sharp drop of IFT was experienced, except for the solution containing 0.1% weight fraction of TiO₂. It can be concluded that in the second region, the decreasing trend of the IFT–pressure diagram for the addition of Fe₃O₄ nanoparticles is slightly greater than that of the solution with TiO₂ nanoparticles (refer to Figure 5 and Table 4). This is due to the better adsorption and possibility of layer coverage of asphaltene by Fe₃O₄ nanoparticles on the gas/oil interface. It is worth mentioning that the standard deviation

of the experimental data has been calculated for the case of without nanoparticles, the maximum observed standard deviation of IFT data was 0.25 mN/m and the average standard deviation was 0.18 mN/m.

Figure 6 compares the threshold pressure at which the slope of IFT changed between both regions for both nanoparticles and different concentrations. By adding nanoparticles to asphaltene synthetic oils, the slopes change between the two regions of IFT curves at lower pressure. This means that the onset of asphaltene precipitation occurs at lower pressures. In other words, in this case, the solubility of injected gas in the oil solution decreased and asphaltene precipitation occurred earlier than that of the nanoparticle-free oil solution case, which is unfavorable. It is necessary to emphasize that if the decrease in the threshold pressure is accompanied by MMP reduction, this phenomenon is considered to be negligible.³⁰ The results show that with the addition of weight fractions of 0.1 and 1% of Fe₃O₄ nanoparticles to the synthetic oil solution, the threshold pressure occurred at lower pressures compared to that without nanoparticles. As for the addition of 0.1 and 1% weight fractions of TiO₂ nanoparticles to the synthetic oil solution, the threshold pressures were different compared to those of Fe₃O₄ nanoparticles. They were 6.65, 6.3, and 6.3 MPa for weight fractions of 0.1, 1 and 3% of TiO₂ nanoparticles, respectively. The threshold pressures, though, for the cases of 0.0 and 0.1% weight fractions were more or less the same, and those for cases of weight fractions of 1 and 3% were also similar.

The comparison of these two nanoparticles also shows that for the same concentration of nanoparticles, the addition of Fe₃O₄ nanoparticles to the oil solution compared to TiO₂ resulted in a lower threshold pressure. In other words, the beginning of the second region starts at a lower pressure. It should be noted that the slope change at a lower pressure due to the lower solubility of CO₂ gas in the oil solution and also the beginning of asphaltene precipitation at a lower pressure are not desirable phenomena.

3.3. Impact of Fe₃O₄ and TiO₂ Nanoparticles on MMP of First and Second Regions. In addition to IFT data, the impact of nanoparticles with different concentrations on MMP is of prime importance. Table 4 presents IFT correlations as a function of pressure in both regions: the coefficient of determination of a linear regression (R^2), MMP, % slope change of the first region to the second region, and the reduction of asphaltene precipitation intensity for various oil solutions.

The data of this table shows that the addition of both nanoparticles to the synthetic oil solution reduces the MMP values in the first region, causing better gas miscibility in oil at lower pressures. The reduction of MMP in the oil solution containing Fe₃O₄ nanoparticles is greater to that containing

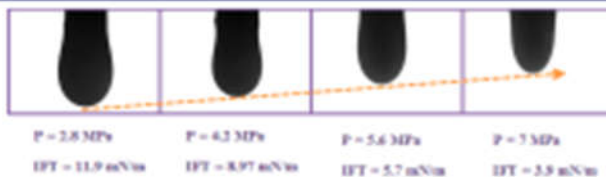


Figure 9. Variation of droplet shapes for synthetic oil containing asphaltene with weight fraction of 3% Fe₃O₄ nanoparticles at a temperature 323.15 K with increase of pressure.

TiO₂ nanoparticles. In addition, the presented data in Table 4 confirmed that for a weight fraction of 1% for both nanoparticles, the difference between the slopes of these curves in the first region is marginal compared to that without nanoparticles. On the contrary, the addition of nanoparticles to the synthetic oil containing asphaltene, caused an increase in the slope of the second region.

As shown in Figure 7 and Table 4, the MMP values in the second region decreased by adding the Fe₃O₄ and TiO₂ nanoparticles. The results show that the reduction of this parameter is greater in the synthetic oil solution containing Fe₃O₄ nanoparticles. In other words, gas miscibility in the oil solution is obtained easier and at lower pressures using Fe₃O₄ than TiO₂. The data of Table 4 also shows that the slope change of the second region to the first region becomes moderate by adding both nanoparticle types to the synthetic oil. The point in which the slope changes is the key indication of the onset of asphaltene precipitation. If the difference between the first and second slopes reduces then a lower intensity of asphaltene precipitation is expected.^{36,38} Hence, according to the experimental results of this study, using 0.1 and 1% weight fractions of Fe₃O₄ nanoparticles reduces 6 and 18% of the intensity of asphaltene precipitation, whereas, weight fractions of 0.1, 1, and 3% of TiO₂ nanoparticles reduced the severity of asphaltene precipitation by 3, 17, and 29%, respectively. Since the synthetic oil and gas compositions for all attempted tests in this study (in the range of operating conditions investigated) were the same, then the difference in severity of asphaltene precipitation would be attributed to the presence of nanoparticles. Masanpour et al.³⁶ also showed that adding weight fractions of 0.01, 0.1, and 1.0% of Co₃O₄ nanoparticles to the same asphaltene synthetic oil solution had reduced the severity of asphaltene precipitation at the interface of the gas/oil by 7%, 14%, and 13%, respectively.

In 2011, Nasou³⁷ reported that asphaltene adsorption on the surface of metal oxide nanoparticles depended on the asphaltene type and nanoparticle substrate, as well as the strength of interaction between them. Therefore, it is necessary to understand the Langmuir parameters. These include K_L as the Langmuir equilibrium adsorption constant, which corresponds to the affinity of binding sites (L/g), a parameter that explains the ability of a specific adsorbent (nanoparticles) to be in equilibrium with adsorbate (asphaltene) which is termed the adsorption quality. The other parameter, Q_m known as adsorption quantity, is the maximum amount of adsorbed asphaltene per unit surface area of nanoparticles for complete monolayer coverage (g/m²). The latter would be used to determine the affinity of different metal oxides surfaces to contact asphaltene. Thus, Q_m and K_L are called the adsorption capacity and the adsorption affinity, respectively. The Q_m parameter is the mass to surface ratio (for nanoparticles, the reverse of specific surface area (SSA) in Table 2), and the K_L parameter is the volume to mass ratio (for nanoparticles, the reverse of density in Table 2). Table 5 presents Q_m and K_L , according to the definition of these two parameters, for both investigated nanoparticles.

As can be seen in Table 5, based on the quantities of adsorption quantity, that is, Q_m and adsorption quality, that is, K_L , Fe₃O₄ has a higher Q_m compared to that of TiO₂ and contrarily TiO₂ nanoparticles have larger K_L in comparison with Fe₃O₄. It means that with respect to quantity, Fe₃O₄, and with respect to quality, TiO₂, would be prone to better

adsorption. Thus, the surface area of Fe₃O₄ is higher than that of TiO₂ and absorbs more asphaltene.

3.4. Effect of TiO₂ and Fe₃O₄ Nanoparticles on Shape Factor (S). Small droplets usually tend to be spherical because surface forces depend on area. In principle, one can determine the interfacial tension from measurements of the shape of the droplet. In the case of the pendant drop, the most convenient and measurable shape dependent quantity is defined in eq 2. Figure 8 shows the variation of the factor versus pressure for different concentrations of Fe₃O₄ and TiO₂ nanoparticles.

As can be seen from Figure 8, the S factor increases with pressure. That is, D, increases with pressure that corresponds to larger S values and consequently greater H values. According to eq 1, an increase in H factor causes IFT to decrease. In other words, the pressure increase causes the droplet shape changes from a balloon to a cylindrical shape ($\epsilon \approx 1$). Also, as can be seen in Figure 9, the pressure increase causes a smaller volume and droplets contact surface area with CO₂. Furthermore, the addition of nanoparticles to the synthetic oil solution led to a larger S factor. This would, in turn, mean higher miscibility of the gas in oil, thus smaller IFT and finally lower precipitation of asphaltene at the interface of gas/oil would be expected.

4. CONCLUDING REMARKS

Nanoparticles of various types can potentially be utilized for EOR purposes through their application in a know-how stage of development. The following conclusions can be drawn from the experimental results presented in this study:

- The change in the slope of IFT curves as well as the pressure where this occurs were the key parameters which could indicate the affinity of asphaltene precipitation onto nanoparticles.
- TiO₂ and Fe₃O₄ nanoparticles were able to reduce the IFT between CO₂ gas and synthetic oil solution and increased the miscibility of gas in the oil leading to reduced intensity of asphaltene precipitation. The intensity of asphaltene adsorption is characterized in terms of adsorption capacity and affinity and the data showed that the surface area of Fe₃O₄ is higher than that of TiO₂ so it absorbs more asphaltene.
- The optimum weight fraction of both nanoparticles based on evaluation of IFT and MMP values was 1.0% for the range of operating conditions in this study.
- The reduced intensity of asphaltene precipitation in the optimum concentration for oil solutions containing Fe₃O₄ and TiO₂ nanoparticles was, respectively, 18 and 17%.
- Adsorption quality between adsorbate, asphaltene, and adsorbents (nanoparticles) for TiO₂ is greater than that for Fe₃O₄. Adsorption quantity between adsorbate and adsorbents for Fe₃O₄ is larger than for TiO₂.

■ AUTHOR INFORMATION

Corresponding Author

*E-mail: malayeri@shirazu.ac.ir.

ORCID

Mohammad Reza Malayeri: 0000-0001-8376-8655

Mansour Razi: 0000-0003-0373-1766

Notes

The authors declare no competing financial interest.



ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their gratitude to S. Afshar and S. Sharif for their help to set up the experimental test facilities. The crude oil used in this research project was supplied by the National Iranian South Oil Company (NISOC) which is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- (1) Alkhatib, A.; Abd Shaker, H.; Jabbari, N. The evaluation of EOR methods for a heavy-oil reservoir with the AHP method: the case of Fardousi reservoir. *Pet. Sci. Technol.* 2013, 31, 267–275.
- (2) Mallin, O. C.; Shera, F. Y.; Hansman, A.; Marshall, A. G. *Aphaltenes, Heavy Oil and Petrogenesis*; Springer Science+Business Media, LLC: New York, 2007.
- (3) Hansmani, A.; Phelps, C. H.; Manger-McClain, T.; Little, T. M. *Aphaltenes precipitation from live oils: an experimental investigation of onset conditions and reversibility*. *Energy Fuels* 2008, 14, 14–18.
- (4) Stanilowicz, A. R.; Flannery, M. D.; Fara, N. A.; Brusa, G.; Couch, J. L.; Dziew, S. T.; Lyon, S. D.; Ratalewski, J.; Westrich, J. T. Prediction of asphaltene deposition risk in E&P operations. In *Proceeding of 3rd International Symposium on Mechanisms and Mitigation of Fouling in Petroleum and Natural Gas Production*, AIChE 2002 Spring National Meeting, New Orleans, USA, March 10–14, paper 47C, 2002, 410–416.
- (5) Speight, J. G. *The Chemistry and Technology of Petroleum*, 2nd ed.; Marcel Dekker Inc.: New York, 1991.
- (6) Grosvenor, H.; Mallin, O. C. Asphaltene molecular size and structure. *J. Phys. Chem. A* 1999, 103, 11237–11245.
- (7) Grosvenor, H.; Mallin, O. C.; East, S.; Mathews, J.; Yang, M. G.; Jones, D. Asphaltene molecular size for solubility calculations obtained by fluorescence depolarization. *Energy Fuels* 2003, 17, 498.
- (8) Ayuda, S. C.; Rao, D. N. Comparative evaluation of a new gas bubble miscibility - Determination Technique. *Canadian Pat. Technol.* 2011, 50, 71–81.
- (9) Ahmad, W.; Yalizi-Norhad, G.; Al-Breusai, A. S.; Al-Wahabi, Y. Experimental determination of minimum miscibility pressure. *Process Eng.* 2004, 148, 1191–1198.
- (10) Elsharkawy, A. M.; Fortmann, F. H.; Christensen, R. L. Measuring CO₂ minimum miscibility pressure: slit-tube or rising bubble method? *Energy Fuels* 1996, 10, 443–448.
- (11) Rao, D. N.; Lee, J. I. Determination of Gas-Oil Miscibility Conditions by Interfacial Tension Measurements. *J. Colloid Interface Sci.* 2003, 262, 474–482.
- (12) Thomas, F. R.; Zhou, X. L.; Bessiau, D. R.; Bessiau, D. W. A comparative study of EOR, P-6, multicontact and slit tube results. *Canadian Pat. Technol.* 1994, 33, 17–26.
- (13) Rao, D. N. A new technique of vanishing interfacial tension for miscibility determination. *Fluid Phase Equilib.* 1997, 139, 311–324.
- (14) Nabhate, M.; Maghadam, S.; Gu, Y. Determination of CO₂ Minimum Miscibility Pressure from Measured and Predicted Equilibrium Interfacial Tension. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2008, 47, 8918–8925.
- (15) Jena, J. The pendant drop method of surface tension measurement: interpolating the shape factor tables for several selected planes. *Czech. J. Phys.* 1997, 47, 351–357.
- (16) Eadsforth, F.; Adams, J. C. *An Attempt to Test the Theories of Capillary Action*. University Press Cambridge, England, 1883.
- (17) Andrus, J. M.; Hauer, E. A.; Tucker, W. B. Boundary tension by pendant drop. *J. Phys. Chem.* 1938, 42, 1001–1019.
- (18) Hosseini-Sarpedeh, A.; Aytollahi, S.; Ghazvini, M.; Masli, M. Experimental determination of interfacial tension and miscibility of the CO₂-crude oil systems: temperature, pressure, and composition effects. *J. Chem. Eng. Data* 2014, 59, 61–69.
- (19) Kang, X.; Chak, M. M. Applications of micro and nano technologies in the oil and gas industry—overview of the recent progress. *Proceedings of the Abu Dhabi International Petroleum Exhibition Conference*, in SPE 138241, 2010.
- (20) Karamzadeh, Y.; Maleki, M. R.; Riasi, M.; Faruqi, R. Impact of Fe₃O₄ nanoparticles on asphaltene precipitation during CO₂ injection. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2015, 22, 227–234.
- (21) Nassar, N. N. Asphaltene adsorption onto alumina nanoparticles: Kinetics and thermodynamic studies. *Energy Fuels* 2010, 24, 4116–4122.
- (22) Esmailzadeh, P.; Sadeghi, M. T.; Fakhreian, Z.; Babaeian, A.; Norouzbeg, R. Wettability alteration of carbonate rocks from liquid-wetting to ultra gas-wetting using TiO₂, SiO₂ and CNT nanofluids containing fluorosurfactants, for enhanced gas recovery. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2015, 26, 1294–1305.
- (23) Eltousli, H.; Aludain, M. M.; Taghikhani, V.; Ghazvini, M. H. Enhanced heavy oil recovery in sandstone cores using TiO₂ nanofluid. *Energy Fuels* 2014, 28, 423–430.
- (24) Sun, T.; Wang, G.; Feng, L.; Liu, F.; Ma, Y.; Jiang, L.; Zhu, D. Reversible switching between superhydrophilicity and superhydrophobicity. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2004, 43, 357–360.
- (25) Shinde, N. J.; McHale, G.; Newton, M. L.; Perry, C. C.; Roach, P. Porous materials show superhydrophobic to superhydrophilic switching. *Chem. Commun.* 2005, 25, 3135–3137.
- (26) Capora, G.; Nebbe, C.; Kipp, T.; Rasi, M.; Grillo, V.; Caruso, F.; Manna, L.; Ciapolini, R.; Corrad, P. D.; Athanassiou, A. Reversible wettability changes in colloidal TiO₂ nanorod thin-film coatings under selective UV laser irradiation. *J. Phys. Chem. C* 2008, 112, 701–714.
- (27) Nassar, N. N.; Hassan, A.; Carbogian, L.; Lopez-Linares, F.; Pereira-Almaraz, F. Iron oxide nanoparticles for rapid adsorption and enhanced catalytic oxidation of thermally cracked asphaltenes. *Fuel* 2012, 95, 257–262.
- (28) Karamzadeh, Y.; Ebrahimi, S. F.; Soroush, S.; Rayhani, M. An interface-analyzing technique to evaluate the heavy oil swelling in presence of nickel oxide nanoparticles. *J. Mat. Liq.* 2015, 211, 553–558.
- (29) Nassar, N. N. Asphaltene adsorption onto alumina nanoparticles: kinetics and thermodynamic studies. *Energy Fuels* 2010, 24, 4116–4122.
- (30) Tarbouch, B. J. A.; Hussein, M. M. Adsorption of asphaltene from heavy oil onto in situ prepared NiO nanoparticles. *J. Colloid Interface Sci.* 2012, 378, 64–69.
- (31) Franco, C.; Patino, E.; Benjumea, P.; Rasi, M. A.; Cortes, F. B. Kinetic and thermodynamic equilibrium of asphaltene adsorption onto nanoparticles of nickel oxide supported on nanoparticulated alumina. *Fuel* 2013, 105, 408–414.
- (32) Franco, C. A.; Nassar, N. N.; Rasi, M. A.; Pereira-Almaraz, F.; Cortes, F. B. Nanoparticles for inhibition of asphaltene damage: adsorption study and displacement test on porous media. *Energy Fuels* 2013, 27, 2899–2907.
- (33) Nassar, N. N.; Hassan, A.; Pereira-Almaraz, F. Application of nanotechnology for heavy oil upgrading: Catalytic steam gasification/cracking of asphaltene. *Energy Fuels* 2011, 25, 1566–70.
- (34) Nassar, N. N.; Hassan, A.; Pereira-Almaraz, F. Thermogravimetric studies: catalytic effect of metal oxide nanoparticles on asphaltene pyrolysis under inert conditions. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2012, 110, 1327–32.
- (35) Iranian Nanomaterials Pioneers Company, Iran, <http://www.irnanotech.com> (accessed 2015).
- (36) Houshpour, S.; Maleki, M. R.; Riasi, M. Utilization of Co₃O₄ nanoparticles for reducing precipitation of asphaltene during CO₂ injection. *J. Nat. Gas Sci. Eng.* 2014, 31, 39–47.
- (37) MACosque, R. L.; Allen, A. J.; Haddley, V. A. Dispersion stabilization of silver nanoparticles in synthetic lung fluid studied under in situ conditions. *Nanotechnology* 2011, 5, 140–156.
- (38) Guo, D.; Xia, G.; Liu, J. Mechanical properties of nanoparticles: basics and applications. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2014, 47, 1–25.
- (39) Orr, F. M. J.; Jones, K. An analysis of the vanishing interfacial tension technique for determination of minimum miscibility pressure. *Fluid Phase Equilib.* 2007, 255, 99–108.
- (40) Houshpour, S.; Panahpour, D.; Maleki, M. R.; Riasi, M. Improved characteristics of crude oil/carbon dioxide mixtures using metallic nanoparticles. *first international conference on improved/*



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



Journal of Chemical & Engineering Data

Article

enhanced oil and gas recovery, International Society for Process Media (INERFORM), Tulsa, 22–24 April 2017.

(41) Nassar, N. N.; Hassan, A.; Fawzi-Ahmad, P. Metal oxide nanoparticles for asphaltene adsorption and oxidation. *Energy Fuels* 2011, 25, 1017–1023.

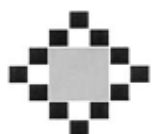
DOI: 10.1021/acs.jced.7b00921
J. Chem. Eng. Data 2017, 18, 1021-1023



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



مرکز حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان



گروه حمایت از ایده های برتر



دانشگاه شیراز

عنوان طرح پژوهشی:

طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری کشش بین سطحی

زمینه فنی:

مهندسی نفت (ازدیاد برداشت از منابع نفتی)

مجری طرح:

صادق حسن پور

همکار مجری:

سید مهدی موسوی

ناظر طرح:

دکتر محمد رضا ملایری

مشاور طرح:

دکتر مهدی اسکروچی

اردیبهشت ۹۶



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



سپاسگزاری

سیاس و ستایش نخست خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

این طرح در سال فروردین ماه ۱۳۹۴ با حمایت مادی و معنوی گروه حمایت از ایده های برتر وابسته به مرکز حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان (که زیر مجموعه معاونت فرهنگی دانشگاه شیراز محسوب می شود) آغاز و در اسفند ماه ۱۳۹۴ به پایان رسید.

شایسته است که از بخش های مختلف دانشگاه شیراز که عبارتند از آقایان محمدی، مهندس مهرداد خلجی و دکتر مسعود ریاضی در گروه حمایت از ایده های برتر، آقایان محتشم ظهراپی، سعید کریمی و سرکار خانم ها زهرا فرامرزی و صدیقه فروتن در مرکز حمایت از فعالیت های علمی دانشجویان، آقای دکتر مسعود حسین جاری معاون محترم فرهنگی دانشگاه شیراز، آقایان دکتر مهدی اسکروچی مشاور طرح و دکتر محمدرضا ملایری ناظر طرح و همچنین آقای سید مهدی موسوی همکار مجری و دانشجوی رشته مهندسی نفت دانشگاه شیراز به سبب همکاری، مساعدت و همچنین پشتیبانی های مادی و معنوی از این طرح قدردانی لازم به عمل آید.

صادق حسن پور

مجری طرح



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه
۱	۱-۱- کشش بین سطحی
۴	۲- پیشینه طرح و پژوهش های انجام شده
۶	۳- هدف از ساخت دستگاه
۸	۴- عکس ها و شماتیک تهیه شده از اجزای دستگاه
۱۲	۵- آزمایش انجام گرفته به عنوان نمونه
۱۲	۶- نتیجه گیری
۱۴	۷- فهرست منابع



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



۱- مقدمه

در مخازن نفتی ممکن است آب، نفت و گاز هر سه با هم حضور داشته باشند، در چنین شرایطی دانستن خواص سطحی این سیالات و چگونگی ارتباط این سیالات با هم و نیز با سنگ مخزن بسیار مهم خواهد بود.

توزیع و رفتار سیالات در محیط متخلخل (مخازن نفتی) به طور قابل ملاحظه‌ای به پارامترهایی مانند کشش بین سطحی، ترشوندگی، فشار مویینگی و انتقال جرم بین سطح سیالات بستگی دارد که باید مورد بررسی قرار گیرند. در رابطه با سیستم های چند فاز هیدروکربنی لازم است که تاثیر نیرو بر روی سطح مشترک دو سیال غیر امتزاج پذیر با هم، کشش بین سطحی و همچنین با سطح جامد یا سنگ مخزن، ترشوندگی بررسی شوند. کشش بین سطحی به عنوان خاصیت مهم در مخازن نفتی در ادامه توضیح داده می شوند:

۱-۱- کشش بین سطحی

همه فازهای سیال در شرایط مخزن امتزاج ناپذیرند. وقتی که دو سیال آب و نفت با هم در تماس هستند آنها به وسیله ی لایه ای از هم جدا می گردند که این به عنوان سطح مشترک تعریف شده و به آن سطح میانی دو سیال گفته می شود. کشش بین سطحی بر پارامترهایی مانند ترشوندگی، فشار مویینگی و تراوایی نسبی اثر زیادی دارد. وقتی که این فازهای سیال درون مخزن نفتی در تماس با هم قرار می گیرند، می توان کشش بین سطحی را بین زوج های گاز - نفت، گاز - آب و نفت - آب به خوبی تعریف نمود. بنابراین کشش بین سطحی بین دو فاز، یک پارامتر بحرانی برای جریان سیال در محیط متخلخل است و یک خاصیت مهم برای فرآیندهای زیادی مانند ازدیاد برداشت نفت توسط تزریق گاز یا سیال دیگر در محیط متخلخل، انتقال جرم و انتقال حرارت است. مروری بر تحقیقات گذشته نشان می دهد که کشش بین سطحی صفر شرط لازم و ضروری برای رسیدن به حالت امتزاج پذیری سیالات است. صفر شدن کشش بین سطحی بین سیال تزریق شده و نفت خام به تله افتاده در مخزن چیزی نیست جز به حداقل رسیدن نیروی مویینگی و افزایش امتزاج پذیری بین سیال تزریقی و مخزن نفتی.



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



کاهش کشش بین سطحی سیالات را از این جهت نیازمندیم که بتوانیم دوباره مقدار قابل توجهی از نفت خام به تله افتاده را به حرکت درآوریم و به طور موثر بازیافت را بهبود بخشیم. در رابطه با سیستم‌های چند فاز هیدروکربنی لازم است که تاثیر نیرو بر روی سطح مشترک دو سیال غیر امتزاج پذیری بررسی شود. وقتی که دو سیال با هم در تماس هستند آن‌ها به وسیله ی لایه ای از هم جدا می‌گردند که این به عنوان سطح مشترک تعریف می‌شود. این لایه که ضخامتی به اندازه ی چند قطر مولکولی می‌باشد، تمام خواص فاز سیال را دارد و همچنین مجموع تمام نیروهای فعال ترشوندگی و فشار موینگی، کشش بین سطحی را در محیط متخلخل تعیین می‌کند. با وجود این لایه، بین سیالات مخزن همیشه کشش بین سطحی وجود دارد. رفتار کشش بین سطحی بین آب و نفت با دما و فشار قابل درک نمی‌باشد. مطالعات گذشته ثابت می‌کند که تغییرات دما و فشار، نشان از عدم وجود یک روند مشخص در تغییرات کشش بین سطحی در این سیستم دارد. بنابراین انجام آزمایش‌های کشش بین سطحی آب-نفت در شرایط آزمایشگاهی (دما و فشار) جهت مشاهده فعل و انفعالات در حال انجام بین سیالات، یک ضرورت مهم و اجتناب ناپذیر است. همچنین روش‌های مختلف زیر برای اندازه‌گیری کشش بین سطحی وجود دارد:

1. Capillary Rise Method
2. Pendant Drop Method
3. Wilhelmy Plate Method
4. Spinning Drop Method (Rotating Drop Method)

دستگاه ساخته شده حاضر کشش بین سطحی را به روش قطره آویزان (Pendant Drop Method) اندازه می‌گیرد. روش انتخاب سطح انتخاب شده ساده‌ترین و رایج ترین روش برای ارزیابی و محاسبه قطره آویزان بین دو سیال امتزاج ناپذیر است. شکل تئوری قطره آویزان در سال ۱۸۸۲ توسط باشفورت و آدامس [۱] ارائه شد. آن‌ها همچنین جدولی از خطوط هم تراز قطره محاسبه کردند. از این جدول با مطابقت این خطوط هم تراز محاسبه شده به روش آزمایشگاهی با نمودار تجربی، برای محاسبه کشش بین سطحی استفاده می‌شد. همچنین

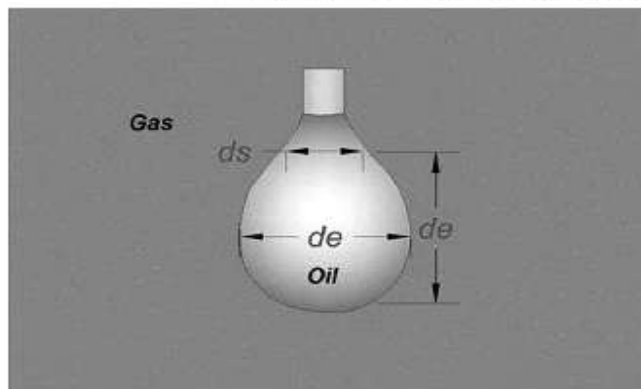
عکس‌هایی از قطره در زمان‌های مختلف جهت مقایسه می‌تواند گرفته شود. از آنجایی که این روش پیچیدگی خاصی داشت، آندرس در سال ۱۹۳۸ [۲] رابطه تجربی (معادله ۱) زیر را برای محاسبه کشش بین سطحی ارائه داد.

$$\gamma = \frac{\Delta\rho g D_e^2}{H} \quad (\text{معادله ۱})$$

در معادله ۱، γ کشش بین سطحی، $\Delta\rho$ کشش بین سطحی سیالات، D_e بزرگترین قطر افقی قطره، H پارامتر وابسته شکل قطره (ضریب تصحیح^۱) که به ضریب شکل^۲ قطره آویزان وابسته است. ضریب شکل به صورت معادله ۲ تعریف می‌شود:

$$S = \frac{D_s}{D_e} \quad (\text{معادله ۲})$$

D_s قطر افقی در فاصله عمودی D_e از انحناى راس قطره تعریف می‌شود. همچنین شکل ۱، شکل قطره و ارتباط بین ابعاد قطره آویزان را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ارتباط بین ابعاد قطره آویزان در اندازه گیری کشش بین سطحی

^۱ Shape dependent parameter (correction factor)

^۲ Shape factor



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



بر اساس مشاهدات موجود در مطالعات گذشته، مقدار H بر اساس فرمول تجربی بدست می آید و به مقدار S وابسته بوده و با هم ارتباط مستقیم دارند که در نهایت توسط جدولی مقدار I/H بر اساس مقدار S بدست می آید. کشش بین سطحی به عنوان یکی از خواص سطحی فیزیکی مهم سیالات بر انتقال جرم و حرارت اثر می گذارد. بررسی کشش سطحی آب و نفت در صنایع نفت به خصوص در روش های ازدیاد برداشت و تشکیل امولسیون های نفت و آب به منظور انتقال نفت خام حائز اهمیت می باشد.

۲- پیشینه پژوهش های انجام شده

همتی سرپرده و همکاران (۲۰۱۳) به محاسبه آزمایشگاهی کشش بین سطحی و امتزاج پذیری سیستم دی اکسید کربن- نفت خام و آثار دما، فشار و ترکیب بر آن ها پرداختند. همتی و همکاران به این نتیجه رسیدند که در فشارهای پایین با افزایش دما کشش بین سطحی به دلیل افزایش حلالیت دی اکسیدکربن، کاهش می یابد، درحالی که در فشارهای بالا با افزایش دما، کشش بین سطحی به دلیل کاهش حلالیت دی اکسیدکربن، افزایش می یابد در نتیجه کشش بین سطحی در هر دمای ثابت تابعی از فشار است. بنابراین آنها فشاری را نزدیک به نقطه رسوب آسفالتین برای تغییر اثر دما بر کشش بین سطحی معرفی کردند [۳].

ذوالقدر و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر دما بر کشش بین سطحی بین دی اکسید کربن و سه سوخت هیدروکربوری (هپتان، هگزاکان و سوخت دیزلی) در فشارهای مختلف پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که در فشارهای پایین (تأثیر ۵/۱۷ مگاپاسکال) به ازای دماهای بالاتر به دلیل کاهش کشش بین سطحی نمونه ها، بهترین نتایج برای بازیافت نفت حاصل شده است. در فشار ۵/۱۷ مگاپاسکال کشش بین سطحی به دما وابسته نیست و سطح پایدار تشکیل می شود. بنابراین این فشار برای تزریق دی اکسیدکربن پیشنهاد نمی شود. همچنین وقتی که فشار بیشتر افزایش می یابد (بیش از ۵/۱۷ مگاپاسکال)، مخازن با دمای کمتر بهترین گزینه برای تزریق دی اکسیدکربن هستند، زیرا شیب تغییرات کشش بین سطحی در مقابل فشار مثبت می باشد. همچنین تفاوت سیالات هیدروکربنی خالص و مخلوط نشان می



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



دهد که برای فشار بالاتر از ۵/۱۷ مگا پاسکال، با افزایش دما، کشش بین سطحی افزایش می یابد [۴].

کاظم زاده وهمکاران (۲۰۱۵) به مطالعه پیش بینی رسوب آسفالتین با اندازه گیری کشش بین سطحی بین دی اکسیدکربن یا متان (به عنوان گاز جا به جا کننده) و انواع نفت های مختلف با محتوای آسفالتین پرداختند. کشش بین سطحی در حالت تعادلی بین انواع نفت خام و گازهای متان یا دی اکسیدکربن، با افزایش فشار برای هر دو نوع گاز کاهش می یابد [۵].

ریاضی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر رسوب آسفالتین بر کشش بین سطحی بین محلول نفت سنتز شده و گاز دی اکسیدکربن در فشارهای مختلف پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که کشش بین سطحی محلول های تولون و پارافین نرمال حاوی آسفالتین در حضور دی اکسیدکربن به صورت خطی با دو شیب مختلف کاهش می یابد. همچنین نتایج آنان نشان می دهد که با سنگین تر شدن آسفالتین، شدت رسوب آسفالتین نیز افزایش می یابد. در واقع با افزایش غلظت آسفالتین تا یک مقدار مشخص، ذرات آسفالتین به سمت سطح گاز-نفت حرکت می کند. حضور ذرات در این سطح سبب بر هم زدن نیروهای بین مولکولی و کاهش کشش بین سطحی می شود. درحالی که انحلال دی اکسید کربن در نفت نیز سبب کاهش کشش بین سطحی می شود. این دو فاکتور مختلف سبب کاهش کشش بین سطحی می شوند [۶].

مهدوی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر هیدرو کربن گروه پارافینی (نرمال هپتان در این مورد) بر رفتار کشش بین سطحی سیستم نفت خام آسفالتینی و دی اکسیدکربن پرداختند. نتایج آزمایش های آن ها نشان می دهد که کشش بین سطحی نمونه های نفت خام آسفالتینی دو شیب رفتاری را در نمودار کشش بین سطحی - فشار دارد. برای نفت های با مقدار آسفالتین بالا افزایش مقدار نرمال هپتان نمونه نفتی، احتمال رسوب آسفالتین را افزایش می دهد بنابراین شیب کشش بین سطحی در فشار کمتری تغییر می کند، در حالی که برای نفت های با مقدار آسفالتین کم، افزایش نرمال هپتان اثر کمتری بر نقطه تغییر شیب کشش بین سطحی دارد

[۷].



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



معینی و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر شوری، دما و فشار را بر روی کشش بین سطحی نفت سنگین- آب نمک بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش دما، کشش بین سطحی به دلیل افزایش آنتروپی در فصل مشترک دو فاز، کاهش می‌یابد و فشار تأثیر ناچیزی بر روی کشش بین سطحی آب نمک- نفت دارد، اما وابسته به نوع نمک و شوری آن کشش بین سطحی نفت- آب نمک تغییر می‌کند. طبق نتیجه حاصل از کار آن‌ها کشش بین سطحی آب نمک کلسیم کلرید و نفت خام نسبت به آب نمک سدیم کلرید و نفت خام بیشتر است [۸].

گلکاری (۲۰۱۴) تأثیر دما، فشار را بر کشش بین سطحی را سیستم های نفت خام+ آب نمک+ دی اکسید کربن اندازه گرفتند. نتایج آزمایشگاهی این مطالعه نشان می‌دهد، برای هر دو سیستم آب نمک+ دی اکسید کربن و سیستم نفت خام+ دی اکسید کربن، کشش بین سطحی با افزایش فشار، کاهش ولی با ازدیاد دما، افزایش می‌یابد. این موضوع را میتوان به حلالیت بیشتر دی اکسید کربن در فشار بالاتر و حلالیت کمتر دی اکسید کربن در دمای بیشتر نسبت داد. حضور دی اکسید کربن در سیستم نفت خام- آب نمک کشش بین سطحی را به شدت کاهش میدهد. با افزایش فشار، کشش بین سطحی سیستم نفت خام- آب نمک اندکی افزایش می‌یابد اما کشش بین سطحی نفت خام- آب کربناته کاهش می‌یابد [۹].

۳- هدف از ساخت دستگاه

با افت مداوم فشار مخزن، دبی تولید رفته رفته کم شده تا جایی که دیگر تولید طبیعی از مخزن مقرون به صرفه نخواهد بود. این نقطه زمانی اتفاق می‌افتد که بازیابی نفت از مخزن به نسبت پایین است. این بازیابی برای مخازن ایران حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد است؛ به عبارتی ۸۰ تا ۸۵ درصد کل نفت مخزن در سازند باقی می‌ماند. یکی از مشکلات مخازن نفتی جذب شدن نفت بر روی سنگ مخازن می‌باشد که علت اصلی آن نیرو های کشش سطحی است. نیرو های سطحی حباب هایی از نفت تولید می‌کنند که این حباب ها مانع از بیرون آمدن نفت از خلل و فرج ها می‌شود. نیروی کشش بین سطحی علتی برای عدم نفوذ پذیری نفت نسبت به آب است و درصد اشباع آب را بالایی برد، اعتبار پدیده ترشوندگی نیز به خاطر آن است که بسیاری از



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



پارامترهای مخزن از قبیل جریان، موقعیت و توزیع فضایی سیالات مخزن، نفوذپذیری نسبی، فشار موئینگی، مقاومت الکتریکی، برداشت ثانویه و ثالثیه بشدت تحت تاثیر آن قرار می‌گیرند. بنابراین از آنجایی که ترشوندگی سنگ کنترل کننده ی مکان و توزیع و حرکت سیالات در سنگ مخزن می باشد از اهمیت بسیار زیادی در مهندسی نفت برخوردار است. از سوی دیگر افزایش قیمت جهانی نفت خام و نیاز روز افزون کشورهای جهان به این انرژی، مهندسان مخازن را واداشته تا با طراحی شیوه مناسب با کمترین هزینه ممکن، بیشترین تولید را از مخازن نفتی داشته باشند. به منظور دستیابی به این هدف، نیاز است که قبل از انجام عملیات بازیابی نفت از میدان نفتی، به صورت آزمایشگاهی پارامتر های موثر بر تولید نفت مورد مطالعه و بررسی قرارگیرد. از جمله مهم ترین این پارامترها کشش سطحی بین آب و نفت و ترشوندگی بین سنگ و سیالات می‌باشد. بنابراین اهمیت دو پارامتر کشش سطحی آب و نفت و ترشوندگی (با استفاده از زاویه تماس) بین سنگ و سیالات در این است که با بررسی این دو خاصیت و تغییر در آنها می‌توان اثر قابل توجهی در فرایند جایجایی و تولید نفت و در نتیجه رسیدن به درآمد هنگفتی در این زمینه دست یافت.

هدف از ساخت دستگاه تعیین دو پارامتر کشش سطحی سیالات (اندازه انرژی آزاد ویژه سطحی بین دوفاز دارای ترکیب متفاوت) و ترشوندگی (تمایل یک سیال به پخش شدن یا چسبیدن به سطح جامد در حضور سیال و یا دیگر سیال هایی که با آن امتزاج پذیر نباشند) می باشد. جهت رفع مشکلات ناشی از کاهش تولید هیدروکربن با توجه به عدم دسترسی به مخازن زیر زمینی، لازم است که آزمایش هایی در سطح زمین و در صنعت انجام گیرد تا بتوان بیشتر با خصوصیات سیالات و سنگ مخزن آشنا شد. از جمله این آزمایش ها اندازه گیری کشش سطحی بین سیالات مخزن و همچنین زاویه تماس بین سیالات و نمونه سنگ مخزن جهت تعیین ترشوندگی مخزن می باشد. با انجام آزمایش کشش بین سطحی میزان تنش سیالات مخزن نسبت به همدیگر و با انجام آزمایش های زاویه تماس و در نتیجه تشخیص ترشوندگی سنگ مخزن، توزیع و حرکت سیالات در سنگ مخزن قابل ارزیابی خواهد بود. مبنای کار دستگاه مد نظر در اندازه گیری کشش بین سطحی روش قطره آویزان¹ است که با استفاده از پارامترهای



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



هندسی و ابعاد قطره شکل گرفته از سیال فاز پراکنده درون سیال فاز پیوسته دست می آید و مناسب ترین روش برای ارزیابی و محاسبه قطره آویزانین دو سیال امتزاج ناپذیر می باشد. همچنین جهت تعیین ترشوندگی نیز در بین روش های موجود، روش اندازه گیری زاویه تماس (Contact Angle) بین دو سیال امتزاج ناپذیر با یک سطح جامد (سنگ)، به جهت اینکه یک روش مستقیم با هزینه نسبتاً پایین برای بدست آوردن ترشوندگی سنگ و سیال می باشد، انتخاب شده است. اساس کار در اندازه گیری زاویه تماس دینامیکی روش قطره چسبیده (Sessile Drop Method) می باشد که به ابعاد قطره تشکیل شده روی سطح جامد در حضور سیال دیگر وابسته است.

۴- عکس ها و شماتیک تهیه شده از اجزای دستگاه

این دستگاه شامل:

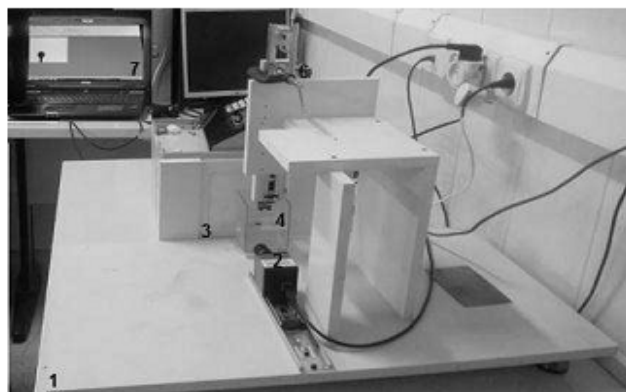
۱. ساختار و پایه دستگاه با طراحی خاص و خاصیت ضد آب
 ۲. دوربین آزمایشگاهی با سرعت فریم مناسب و صفحه کشویی جهت تنظیم آن
 ۳. صفحه توری با قابلیت تنظیم نور
 ۴. مکعب شفاف فازی جهت قرار گرفتن سیالات در آن
 ۵. سیستم تزریق (پمپ تزریق سرنگی، شلنگ های رابط، سوزن تزریق)
 ۶. بال اسکروول جهت تنظیم سوزن تزریق
 ۷. کامپیوتر جهت مشاهده تصاویر و آنالیز آن
- همه اجزاء فوق مطابق شکل های ۳ و ۴ بر روی پایه دستگاه قرار می گیرند. برای اندازه گیری کمیت های مورد اشاره، یک سیال در درون مکعب شفاف فازی ریخته شده (سیال فازی) و سیال دیگر (سیال قطره) از طریق پمپ سرنگی با سوزن (نیدل) به درون محفظه (سیال توده) تزریق می شود. حجم سیال تزریقی بین 0.1 ml/min تا 0.05 ml/min می باشد. تنظیمات دوربین و همچنین سوزن تزریق توسط صفحه کشویی انجام می شود و باید به گونه ای باشد که با حرکت دوربین بر روی صفحه کشویی در جهت های مختلف، منبع نور و محل قرارگیری قطره (به



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



صورت آویزان در اندازه گیری کشش بین سطحی (شکل ۵) و در زیر سطح سنگ در اندازه گیری زاویه تماس (شکل ۶) در یک راستا باشند و بتواند سیال محفظه و قطره آویزان و همچنین خط تماس سیال قطره و فازی با سطح جامد (سنگ مخزن) نمونه را به طور کامل و شفاف مشاهده و ثبت کند. دوربین توسط کابل به کامپیوتر متصل است و تصاویر توسط نرم افزار دوربین که بر روی کامپیوتر نصب شده است به کامپیوتر منتقل می شود و سپس توسط نرم افزار آنالیز قطره تجزیه و تحلیل می شود (شکل های ۳ و ۴). همچنین سوزن تزریق جهت قرارگیری صحیح در محفظه سیال جهت تزریق نفت، توسط بال اسکروول به صورت عمودی تنظیم ارتفاع می شود. برای انجام تست های معرفی شده، دستگاه به شکلی ساخته شده است که با تنظیم نور صفحه نوری و همچنین دوربین بتوان تصاویر هر سیالی را با هر درجه از تیرگی محلول در درون مکعب فازی به صورت تصویر شفاف به کامپیوتر منتقل کند و سپس با آنالیز تصاویر هر کدام از کمیت ها را محاسبه کرد. شکل ۳ نمای روبروی دستگاه را نشان می دهد.



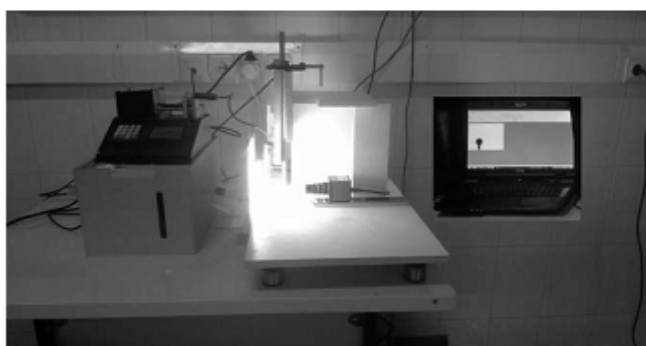
شکل ۳: تصویر دستگاه در مرکز ازدیاد برداشت دانشگاه شیراز از نمای روبرو



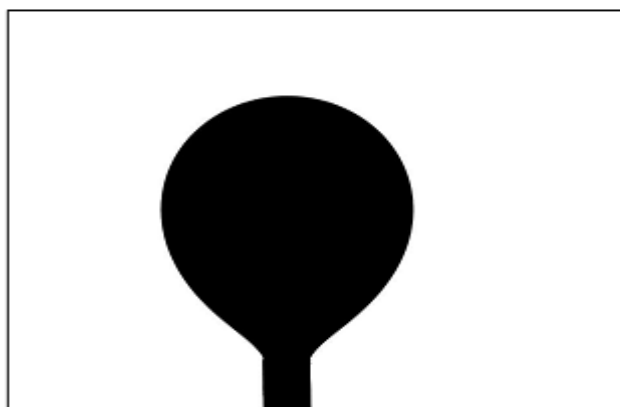
گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



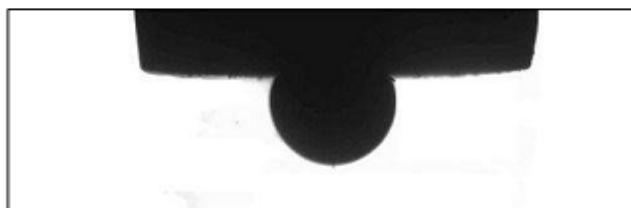
شکل ۴ نمای کناری دستگاه را نشان می دهد.



شکل ۴: تصویر دستگاه در مرکز ازیادپر داشت دانشگاه شیراز از نمای کناری



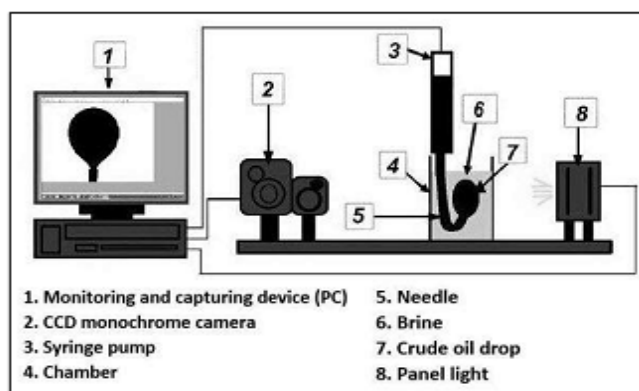
شکل ۵: تصویر قطره اویزان در اندازه گیری کشش بین سطحی



شکل ۶: تصویر قطره آویزان در اندازه گیری زاویه تماس

نمونه اندازه گیری های کشش بین سطحی را نشان می دهد.

همچنین در شکل ۷ شماتیک دستگاه اندازه گیری کشش بین سطحی و زاویه تماس با معرفی اجزا مشاهده می شود.



شکل ۷: شماتیک دستگاه اندازه گیری کشش بین سطحی و زاویه تماس



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



۵- آزمایش انجام گرفته به عنوان نمونه

برای راه اندازی دستگاه یک نمونه سیالات واقعی مخزن مانند آب نمک و نفت به دست آمده از چاه نفتی جهت بررسی کشش سطحی بین این دو سیال و همچنین زاویه تماس بین آب نمک و نفت و سنگ مخزن مورد استفاده قرار گرفت که در شکل های ۵ و ۶ نمونه آزمایش های انجام گرفته مشاهده شده است. همچنین می توان با به کار بردن آب نمک های متفاوت و درجه شوری مختلف بسته به غلظت نمک مورد استفاده هر دو کمیت کشش بین سطحی و زاویه تماس اندازه گرفته می شود. به این ترتیب می توان اثر نوع نمک در غلظت های مختلف را بر دو کمیت مورد ارزیابی قرار داد. همچنین جهت کاهش کشش بین سطحی و تغییر احتمالی ترشوندگی در جهت ازدیاد برداشت از منابع نفتی، می توان از فناوری نانو یا مواد فعال سطحی (مانند سورفکتانت و بایوسورفکتانت) نیز استفاده کرد.

با آویزان کردن سیال قطره با استفاده از تزریق پمپ سرنگی در درون سیال محفظه، تهیه تصاویر قطره نفتی با تنظیم دوربین و ارسال آن به کامپیوتر و سپس آنالیز هندسه این تصاویر، نیروی فصل مشترک دو سیال (کشش بین سطحی در واحد mN/m) و همچنین با تزریق قطره نفتی بر روی نمونه سنگ مخزن در داخل سیال محفظه، تهیه و همچنین آنالیز تصاویر آن، کشش بین سطحی اندازه گیری می شود.

۶- نتیجه گیری

دستگاه ساخته شده با هزینه بسیار پایین تر (دارای صرفه اقتصادی)، کوچکتر، سبکتر و با طراحی و ظاهر مناسب ساخته شده است و در شرایط آزمایشگاهی اندازه گیری ها را انجام می دهد که خطرات ناشی از دستگاه فشارادمای بالا را در موارد غیر ضروری در حوزه های پژوهشی آب و نفت از بین می برد. بهره گیری از فرآیندهای خاص و استاندارد مانند حرکت دوربین در جهت های مختلف و تنظیم محفظه حاوی سیال در ارتفاع مختلف جهت مشاهده کامل قطره نفتی آویزان در آزمایش کشش بین سطحی و زاویه تماس بین سطح و سیالات از هر دو سمت در آزمایش اندازه گیری زاویه تماس و همچنین تنظیم نور صفحه نوری جهت مشاهده تصاویر با



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



کیفیت از قطره نفتی در هر دو آزمایش می باشد که به بالاتر رفتن دقت محاسبات در هر دو کمیت کمک می کنند. همچنین دستگاه طوری طراحی شده که به راحتی بتوان با تغییر در سیستم در کوتاه ترین زمان، هر کدام از دو کمیت مورد نظر (کشش بین سطحی و زاویه تماس) را اندازه گیری کرد.

با توجه به اهمیت فوق العاده این دستگاه در فرآیند ازدیاد برداشت از منابع نفتی، با ساخت این دستگاه می توان آزمایش های زیادی جهت ازدیاد برداشت از منابع نفتی تعریف کرد که هم به لحاظ پژوهشی و هم اقتصادی دارای اهمیت فراوان است. تمامی تنظیمات و مراحل انجام آزمایش ها (میزان و سرعت تزریق سیال، سرعت عکس برداری، تنظیم دوربین و تنظیم سوزن) توسط اپراتور کنترل می شود که این مسئله دقت انجام آزمایش ها و تاخیر در انجام کار به علت خرابی دستگاه را کاهش می دهد. هزینه تمام شده دستگاه بسیار پایین تر از نمونه های خارجی مشابه است. همچنین میزان سیال مصرفی از سیالات مختلف با توجه به نوع طراحی دستگاه در مقایسه با دستگاه های مشابه کم می باشد. مشاهده و ثبت تغییر سیال قطره در همه مراحل اندازه گیری دو کمیت به صورت آنلاین نیز قابل مشاهده می باشد که این ویژگی خطاهای ناشی از انجام آزمایش را به حداقل مقدار می رساند. قابلیت سیستم تزریق به گونه ای است که سوزن تزریق می تواند در هر دو جهت بالا و پایین قرار گیرد این ویژگی سبب می شود که انواع سیالات با توجه به نوع سیالات قطره و محفظه مورد آزمایش قرار گیرند و تاثیرگذاری سوزن را در هندسه و شکل قطره کاهش می دهد. این دستگاه برای اولین بار در ایران در مرکز ازدیاد برداشت از مخازن نفتی دانشگاه شیراز و با پشتیبانی گروه حمایت از ایده های برتر دانشگاه شیراز برای انجام تست های ازدیاد برداشت پروژه های دانشجویی و صنعتی تهیه و ساخته شده است.



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



۷- فهرست منابع

1. Bashforth F. and Adams J.C., "An attempt to test the theories of capillary action", University Press, Cambridge, England, 1883.
2. Andreas J. M., Hauser E.A. and Tucker W.B., "Boundary tension by pendant drop", *Physical Chemistry*, vol. 42, pp. 1001-1019, 1938.
3. Hemmati-Sarapardeh A., Ayatollahi S. and Ghazanfari M., "Experimental determination of interfacial tension and miscibility of the CO₂-crude oil system; temperature, pressure, and composition effects", *Chemical Engineering Data*, vol. 59, no. 1, pp. 61-69, 2014.
4. Zolghadr A., Escrochi M. and Ayatollahi S., "Temperature and composition effect on CO₂ miscible injection by interfacial tension measurement," *Chemical Engineering Data*, vol. 58, no. 5, pp. 1168-1175, 2013.
5. Kazemzadeh Y., Parsaei R. and Riazi M., "Experimental study of asphaltene precipitation prediction during gas injection to oil reservoirs by interfacial tension measurement", *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, vol. 466, no. 5, pp. 138-146, 2015.
6. M. Riazi, Y. Kazemzadeh and R. Parsaei, "Experimental investigation of the effect of asphaltene and normal paraffin on CO₂-Oil interfacial tension," Accepted in *Journal of Dispersion Science and Technology*, 20 Oct 2014.
7. Mahdavi E., Zebarjad F. S., Taghikhani V. and Ayatollahi S., "Effects of paraffinic group on interfacial tension behavior of CO₂-asphaltenic crude oil systems", *Chemical Engineering Data*, vol. 59, pp. 2563-2569, 2014.
8. Moeini F., Hemmati-Sarapardeh A., Ghazanfari M-H, Masihi M. and Ayatollahi S., "Toward mechanistic understanding of heavy crude oil/brine interfacial tension: The roles of salinity, temperature and pressure", *Fluid Phase Equilibria*, vol. 375, pp. 200-191, 2014.
9. Golkari A. and Riazi M., "Study the effect of temperature and pressure on the interfacial tension of carbonated water, oil and CO₂," in *Paper presented at the The 2nd National Iranian Petroleum Conference, Kerman, 2014.*



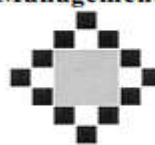
گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



Shiraz University



Scientific Management of Students



Premier Ideas Support Group

Subject:

**Experimental Rig to Determine the Interfacial tension
of Oil/Water System at laboratory Condition**

Technical background:

Petroleum Engineering (Enhanced Oil Recovery)

By:

Sadegh Hassanpour

Assistant:

Seyed Mehdi Mousavi

Supervisor:

Prof. Mohammad Reza Malayeri

Advisor:

Dr. Mehdi Escrochi

April 2017



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی SPE دانشگاه شیراز



تاریخ: ۹۶/۳/۳
شماره: ۹۶/۱۱/۲۴۳
پیوست: ندارد

باسم تعالی

گواهی می شود

جناب آقای صادق حسن پور دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت دانشگاه شیراز به شماره ملی ۴۲۳۱۹۹۹۷۸۳ به عنوان مجری طرح پژوهشی «طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری کشش بین سطحی» مربوط به گروه حمایت از ایده های برتر دانشگاه می باشند که تحت مشاورت جناب آقای دکتر مهدی اسکروچی و نظارت جناب آقای دکتر محمد رضا ملایری با موفقیت به انجام رسانیده اند.

تاریخ تصویب طرح در جلسه کمیته حمایت بر طرح های پژوهشی: ۹۳/۱۲/۱

اعتبار طرح: ۷۶/۰۰۰/۰۰۰ ریال

تاریخ شروع طرح: ۱۳/۱۲/۱

تاریخ پایان طرح: ۹۶/۲/۲۰

همکار طرح: سید مهدی موسوی به شماره ملی ۰۹۲۲۹۴۹۲۴۲

دکتر محمدهادی اسکندری
مدیر پژوهشی دانشگاه شیراز

دکتر محبوبه البرزی
رئیس مرکز حمایت از فعالیت های علمی
دانشجویان دانشگاه شیراز



شیراز، میدان ارم، مجتمع دانشگاهی ارم، معاونت فرهنگی دانشگاه شیراز

خودق پستی: ۷۱۹۲۶-۸۵۳۹۹
فون: ۰۷۱۱-۶۲۹۱۴۱۳-۱۵
رونکار: ۰۷۱۱-۶۲۸۲۷۲۰
www.shirazu.ac.ir



گزارش فعالیت های انجمن علمی دانشجویی
SPE دانشگاه شیراز



پایان

اردیبهشت 1397

SHIRAZ SPE