



# نشریه علمی نفتا - شماره ۶

نشریه علمی دانشجویان دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پایه ۹۷

نشانی: تهران - خیابان حافظ - روبروی خیابان سیه - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - دانشکده مهندسی نفت - طبقه دوم - دفتر انجمن علمی



@AUT\_Petroleum



@sape\_aut



ترم نامه فنی - تخصصی  
دانشکده مهندسی نفت  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

یاسر عبدالله فرد

مدیر مسئول:

فاطمه فصاحت

سر دبیر:

اداره انجمن های علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حمایت پشتیبانی:

فاطمه فصاحت

صفحه آرایی:

محمد هومند

طراحی جلد:

رضا خلیلی، یاسر عبدالله فرد، هلیا قلع، سیده فاطمه موسوی، میلاد کاظمی و علیرضا فاضلی کیا

تحریریه:

هلیا قلع، سیده محدثه موسوی

ویرایش:

دکتر رفیعی، دکتر شیرینی، دکتر ده وداری، دکتر احمدی و دکتر فیم پور

بانشکر از:



# فهرست

مقدمه..... ۳

بakteri های نفت خوار نظافت کنندگان محیط زیست..... ۴

منابع نفت و گاز غیر متعارف..... ۸

آشنایی با روش های ازدیاد برداشت به کمک تزریق گاز..... ۱۳

برترین دانشگاه های نفت دنیا..... ۱۷

انرژی های جایگزین نفت..... ۲۴

آزمایشگاه های دانشکده مهندسی نفت..... ۲۸

معرفی شرکت..... ۳۵

مصاحبه..... ۳۷

مقاله..... ۴۳

سخن آخر..... ۸۲



## مقدمه

نشریه علمی نفتا-شماره ۶ به همت اعضای انجمن علمی سیزدهم و جمعی از دانشجویان کارشناسی دانشکده مهندسی نفت در پاییز ۹۷ منتشر گردید.

موضوعات انتخاب شده اکثراً مطابق با نظر اساتید محترم دانشکده مهندسی نفت بوده و سعی شده است به صورت مختصر و مفید به موضوعات علمی و فنی مهندسی نفت پرداخته شود و مقالات علمی آورده شده، گزیده از مقالات اساتید و دانشجویان دانشکده، در سه زمینه مهندسی مخازن، بهره برداری و حفاری است که به تازگی در کنفرانس ها و مجلات علمی معتبر خارجی و داخلی پذیرفته و چاپ شده اند.

خداوند منان را شاکریم که ما را در گردآوری این نشریه علمی یاری نمود و امید است که مطالب نشریه برای دانشجویان دانشکده مهندسی نفت مفید واقع گردد و سبب بالا آمدن بار علمی دانشجویان دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر شود.



## باکتری های نفت خوار نظافت کنندگان محیط زیست

گردآورنده: هلیا قاطع



جلوگیری کنند همچنین نمی توان لکه های کوچک نفتی را با این روش های مکانیکی جمع آوری کرد بنابراین باریکه هایی از نفت روی آب باقی می ماند.

لکه های نفتی به محیط زیست آسیب می رساند و می تواند اقتصاد مناطق توریستی را تهدید کند. باکتری های نفت خوار قادر به تجزیه آلودگی های نفتی در محیط های دریایی می باشند.

دریا پاکیزه است زیرا می تواند به خودی خود آلودگی هایش را پاک کند میکرو ارگانیسم های زنده در آب با تجزیه آلودگی ها آب را پاک می کنند اما این روند وقت گیر است.

استفاده از صافی ها برای جمع آوری آلودگی های نفتی از سطح آب که از طریق قایق های مخصوص انجام میشود معمولا روش ناقصی برای مواجهه با این گونه حوادث است زیرا این تکنولوژی محدود است و اشکال اساسی این است که صافی های شناور نمی توانند از نشست دوباره نفت

### اهمیت:

استعمال و مصرف آن به وسیله مصرف کننده نهایی آلودگی ایجاد میشود.

در صورت وقوع آلودگی در خشکی مسئله قابل حل است و به راحتی برطرف میشود اما از بین بردن آلودگی دریایی مشکل است. هر معیاری که سطح فراوانی مدت یا شدت آلودگی سیستم های دریایی به وسیله نفت خام را کاهش دهد توانایی نگهداری و استخراج آن را به عنوان منبع اولیه انرژی و مواد خام افزایش می دهد.

از بین بردن لکه های نفتی سخت است اما اگر باکتری ها سریع تر می توانند این آلودگی ها را تجزیه کنند میکرو ارگانیسم های دریایی یک روش مفید برای این کار است.



نفت یک فرآورده مهم برای اقتصاد و سیاست و البته سمی برای سیستم های بیولوژیک است و آلوده کننده اصلی محیط زیست محسوب می شود. به علت ورود مستقیم نفت به اکوسیستم ها و به خاطر رهایی طبیعی آن از مخازن فعالیت های انجام شده جهت استخراج آن از مخازن و انتقال آن از مخازن به محل مصرف فرآوری بیشتر در پالایشگاه و





## باکتری های نفت خوار:

اخیرا باکتری های دریایی جدیدی که قادر به تجزیه آلودگی های نفتی در محیط های دریایی می باشند از ناحیه ای در نزدیکی جزیره بورکوم در دریای شمال شناسایی شده اند. این باکتری های دریایی میله ای شکل، گرم منفی و هوازی اجباری بودند. این باکتری ها هیدروکربن های آلیفاتیک مختلفی مانند هیدروکربنهای آلیفاتیک خطی یا زنجیره ای شاخه دار و ترکیبات آروماتیک مانند تولوئن نفتالن فنانتین و آنتراسن را به عنوان تنها منبع کربن و انرژی مورد استفاده قرار می دهند. این باکتری ها از نظر فیلوژنیکی سابقه قبلی نداشته اند.

این باکتری ها قادرند در سدیم کلرید با غلظت ۰.۰۸ تا ۳.۵ مولار زندگی کنند.

این میکروارگانیسم ها فیزیولوژی و ترکیب سلولی غیر عادی دارند. کوچک بوده و حجم آنها ۰.۲ میکرومتر مکعب است و سیتوپلاسم رقیقی دارند. نفت خام و محصولات آن چه در هنگام استخراج و چه در مواقع حمل و نقل زمینی و دریایی در نتیجه رخدادهای تصادف ها سبب آلودگی خاک آب یا بطور کلی محیط زیست می شوند. وجود هیدروکربن های نفتی در سطح دریا و در خشکی تهدیدی جدی برای اکوسیستم به شمار می آید زیرا برای محیط زیست به شدت مضر و سرطان زا هستند. وجود نفت خام در سطح زمین سبب آتش سوزی، آلودگی آب های زیر زمینی و آلودگی هوا نیز میشود به همین دلیل پاکسازی این آلودگی ها باید هرچه سریعتر انجام گیرد تا محیطی ایمن و عاری از خطر داشته باشیم. برای پاکسازی و آلودگی زدایی نفتی روش های استاندارد و معمول زیادی وجود دارد که به علت هزینه بالا و پایین بودن کارایی محدود میشوند. پاک سازی بیولوژیک مواد نفتی پروسه هایی هستند که ترکیبات سمی را به مواد غیر سمی و بی خطر تبدیل می کنند. این عمل در نتیجه فعالیت های متابولیک میکروارگانیسم (باکتری نفت خوار) هایی که قادرند از مواد نفتی به عنوان منبع انرژی و کربن

خود استفاده کنند صورت میگیرد. عرضه این فناوری میتواند بسیار مفید باشد زیرا قادر است بدون ایجاد خلل در محیط زیست طبیعی ترکیبات سمی مواد نفتی را به مواد غیر سمی تبدیل کند. در مقایسه با دیگر فناوری های پاکسازی مانند سوزاندن و دفن لجن های نفتی، روش های بیولوژیک بسیار ارزان تر و مقرون به صرفه تر است. امروزه تعداد بیشماری از میکرو ارگانیسم هایی که قادر به تجزیه نفت هستند شناخته شده اند. با مطالعات وسیع روی این میکرو ارگانیسم ها و روش های جداسازی و کشت توانسته اند گونه های شاخص و کارآمد را جداسازی کنند.

هنگامی که میکرو ارگانیسم ها هیدروکربن های نفت خام را می شکند نخستین مرحله این فرآیند اضافه کردن گروه هیدروکسیل به انتهای زنجیره آلکان و یا به حلقه غیرا شباع هیدروکربن آروماتیک چند حلقه ای است که در نتیجه یک الکل شکل می گیرد. این مرحله از واکنش به وسیله ی قارچ های میکرو سکویی انجام می گیرد. پس از این مرحله باکتری ها و مخمر ها الکل را به آلدهید و بی درنگ آلدهید را به اسید کربوکسیلیک تبدیل می کنند و سرانجام پس از طی یک زنجیره بلند از واکنش های احیا محصولات نهایی یعنی آب و دی اکسید کربن و بیوماس تشکیل می شود.

این واکنش ها آنزیم های درون سلولی و برون سلولی که به وسیله این میکرو ارگانیسم ها سنتز می شود انجام می گیرد. عقیده بر این است که ترکیبات با وزن مولکولی پایین به وسیله آنزیم های درون سلولی تجزیه و ترکیبات نفتی با وزن مولکولی بالا به وسیله آنزیم های میکروبی برون سلولی شکسته می شوند.

تمام این محصولات نهایی غیر سمی هستند و از بیوماس پس از پایان یافتن پروسه های فراوری بیولوژیک می توان به عنوان کود استفاده کرد.



می توان با استفاده از روش های میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی نوین این پروسه بیولوژی را تقویت کرد.

در سال ۱۹۹۷ شرکتی به نام TERI پس از چندین سال تحقیق روی باکتری های تجزیه کننده نفت خام و لجن های نفتی موفق به تولید Oil zapper شدند این مواد شامل باکتری های تجزیه کننده نفت به علاوه یک رشته مواد حامل آلی ( به صورت پودر) برای حفظ و نگهداری این باکتری ها هستند. این ترکیب از پنج گونه باکتری تشکیل شده است که قادرند بخش های آلیفاتیک ، آروماتیک آسفالتین و ترکیبات نیتروژنی ، گوگردی و اکسیژنی را در نفت خام و لجن های نفتی به سرعت تجزیه و در نهایت تولید مواد و ترکیبات بی خطری مانند آب دی اکسید کربن و بیوماس کنند.

پاک سازی بیولوژیک آلودگی های نفتی به وسیله باکتری های نفت خوار بسیار آسان است زیرا باکتری های تجزیه کننده ی هیدروکربن های نفتی در حالت طبیعی به طور گسترده در طبیعت (محیط های آبی و خشکی) توزیع شده اند. تحقیقات نشان داده است که جمعیت اینگونه باکتری ها حدود یک درصد از کل جمعیت میکروبی جهان است. این گونه باکتری ها چربی دو ست هستند و به سمت مواد نفتی جذب می شوند.

هنگامی که یک منطقه به وسیله ی مواد نفتی آلوده می شود جمعیت باکتری های نفت خوار افزایش می یابد و به تقریباً حدود ۱۰ درصد از کل جمعیت باکتری ها می رسند این روش در محیط زیست به طور طبیعی صورت میگیرد ولی سرعت این فرایند بسیار کند است .

## برای اینکه لکه های نفتی را ساده تر و سازگار تر با محیط زیست از بین ببریم دقیقاً به چه چیزی نیاز داریم؟

در این باره میشل یاکیموف میکروبیولوژیست دریا می گوید: ما نمونه ای از آب آلوده را از دریا می گیریم و به آزمایشگاه می آوریم و میکرو ارگانیسم ها را در آن کشت می دهیم. هنگامی که یک توده ی بزرگ از باکتری های نفت خوار رشد کردند آنها را بر روی لکه های نفتی می پاشیم بنابراین ما به سادگی فرایند پاکیزه کردن دریا را تسریع می کنیم.

باکتری ها وقتی در آب قرار می گیرند نیاز به تغذیه دارند در نهایت برای تحریک اشتهای باکتری ها محققان آنها را با فسفر و نیتروژن کافی تغذیه می کنند. بنابراین باکتری ها می توانند لکه های نفتی را بسیار موثرتر از بین ببرند .

اول باکتری ها نفت را می خورند بعد پلانکتون ها باکتری ها را می خورند و به این شکل زنجیره غذایی در دریا برقرار می شود. این روش طبیعی پاک کردن لکه های نفتی در آینده ای نزدیک بطور گسترده در دسترس خواهد بود.

پژوهشگران برای تست یک روش جدید یک لکه نفتی را روی آب شبیه سازی می کنند. ابتدا نفت را با آب مخلوط و بعد اسپری تجزیه بیولوژیکی که از تخمیر روغن های گیاهی بدست آمده را به آن می افزایند.

راجر مارچانت میکروبیولوژیست می گوید: اسپری روغن با سورفکتانت یا ماده فعال سطحی نفت را از بین نمی برد کاری که می کند این است که نفت را به قطرات کوچک تبدیل می کند و بعد این قطرات کوچک را می توان به وسیله میکروارگانیسم ها در محیط مورد حمله قرار داد و از بین برد.

بدون نیاز به مهندسی ژنتیک برای دست یابی به باکتری های نفت خوار این باکتری ها در دریا و جایی که لکه های نفتی وجود داشته باشد پیدایشان میشود تنها چیزی که نیاز است کمک به رشد سریعتر این باکتری ها است.



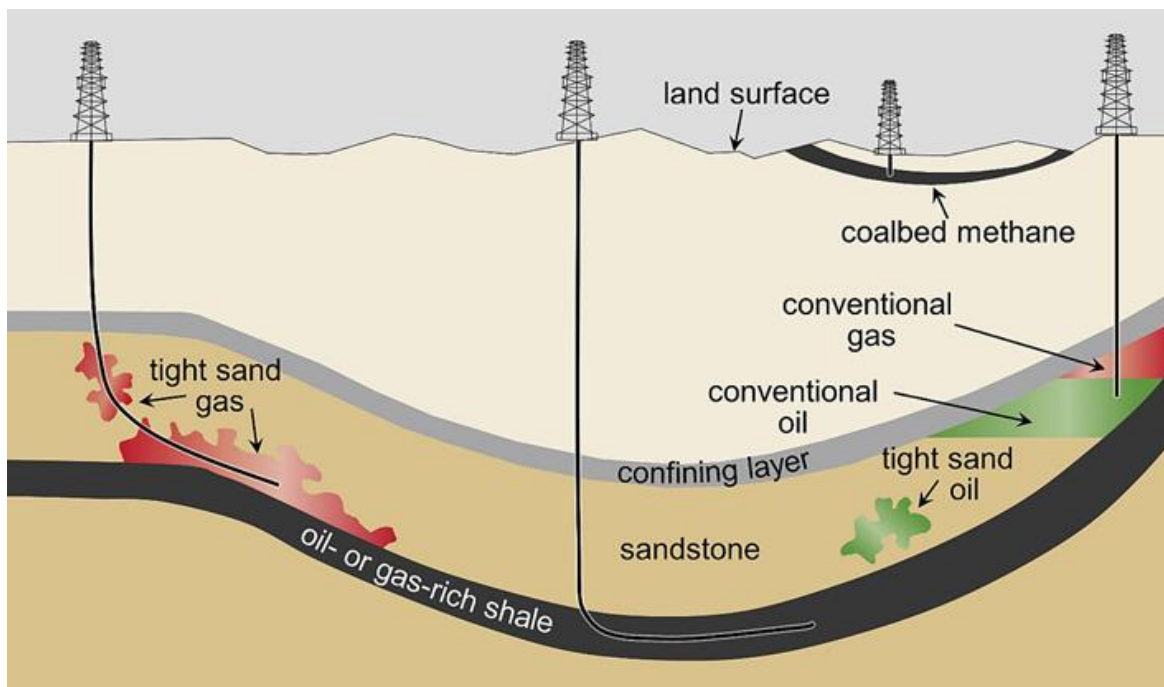
## Unconventional Oil and Gas Resources

گرد آورنده: یاسر عبدالله فرد

می شود نفت متعارف نامیده می شود. تشکیل نفت به صورت مایع معمولاً در نواحی نظیر ایران، عربستان و عراق که امکان رسوخ نفت به لایه های پایین تر در آن وجود دارد رخ می دهد. اما در برخی اماکن دیگر نظیر کانادا که در آن بستر سنگی یکنواخت و معمولاً نزدیک به سطح زمین وجود دارد نفت در همان لایه های بالایی باقی می ماند و با مواد محیطی مانند ماسه مخلوط شده و در طول زمان به شکل جامد در می آید.

نفت غیرمتعارف به انواعی از منابع نفتی گفته می شود که با روش های غیرمتعارف به دست می آید. بسیاری از کشورها که منابع بزرگی از این نفت دارند (مثل کانادا و روسیه) در حال سرمایه گذاری برای پیدا کردن راه های مقرون به صرفه برای استحصال این نوع نفت هستند که این به دلیل کاهش منابع نفت متعارف در سرتاسر جهان است ماسه های نفتی و نفت شیل از انواع نفت های غیرمتعارف هستند.

شکل معمولی نفت که همواره راحت تر استخراج می شود و هم نقل و انتقال آن آسانتر و معمولاً به شکل مایع دیده



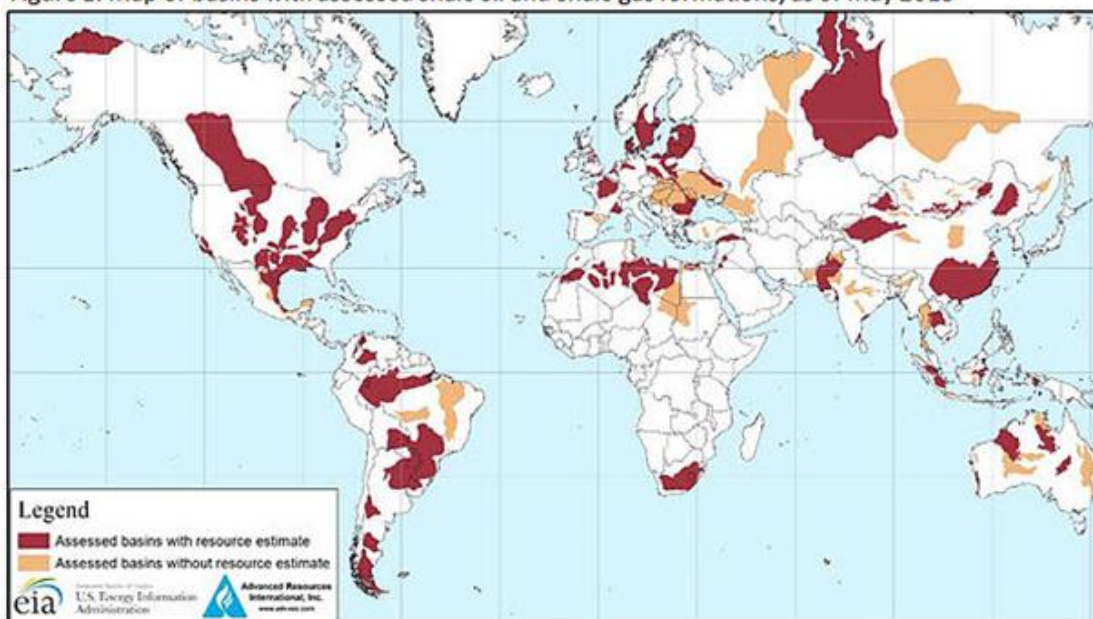


## Shale Oil

نفت شیل نفت نامتعارفی است که از گرماکافت، هیدروژنه کردن و انحلال گرمایی خرده‌های سنگ نفت‌زا به دست می‌آید. این فرایندها مواد آلی درون سنگ (کروژن) را به نفت و گاز مصنوعی تبدیل می‌کنند. از نفت حاصله می‌توان بلافاصله به عنوان سوخت استفاده کرد یا با افزودن هیدروژن و زدودن ناخالصی‌ها چون سولفور و نیتروژن، ارتقائش داد تا به عنوان ماده اولیه وارد پالایشگاه شود و محصولات پالایش شده را می‌توان در همان مصارفی به کار برد که محصولات پالایش شده نفت خام به کار می‌روند. منابع نفت شیل (سنگ نفت یا سنگ نفت‌زا) در پهنه وسیعی از طبیعت از آب‌های شیرین تا دریاچه‌های نمکی و باتلاق‌های رسوبی یافت می‌شود که بین دوره‌های کامبرین و ترشیاری شکل گرفته‌اند. بیشترین ذخایر نفت شیل جهان متعلق به ایالات متحده آمریکا است که حدود ۱۱۰۰ میلیارد بشکه برآورد شده است. چنانچه نصف این مقدار قابل استحصال باشد این حجم از ذخایر تقریباً سه برابر ذخایر نفتی عربستان سعودی است. بقیه ذخایر نفت شیل در جهان به ترتیب در چین، روسیه و اروپا قرار دارد. بقیه کشورهای جهان جمعاً تنها حدود ۱۸ میلیارد بشکه از این ذخایر را در اختیار دارند. در ایران نیز در مناطقی از استان لرستان این سنگ‌های نفتی کشف شده‌اند که در حال حاضر - به دلیل هزینه بالای استحصال - بهره‌برداری از آن توجیه اقتصادی ندارد.

گفتنی است زمانی استفاده از نفت شیل مقرون به صرفه خواهد بود که قیمت نفت بالا باشد و فناوری لازم برای استخراج آن ممکن باشد.

Figure 1. Map of basins with assessed shale oil and shale gas formations, as of May 2013



Source: United States basins from U.S. Energy Information Administration and United States Geological Survey; other basins from ARI based on data from various published studies

نواحی دارای منابع عمده شناخته شده نفت و گاز شیل در جهان



نحوه استخراج نفت شیل به دو صورت است:

مراحل استخراج کروژن از سنگ های نفتی حاصل  
از حفاری سطحی:

#### ۱. حفاری سطحی:

در روش حفاری سطحی مانند روش های قدیمی سنگ را تا دمای ۵۰۰ درجه گرم می کنند ولی در روش های جدید از کریستال قیر استفاده می کنند تا روند پالایش بهینه تر باشد و از کریستال قیر برای فرایند کاتالیستی استفاده می شود.

#### ۲. حفاری درجا:

برای روش حفاری در جا، حرارت دهنده الکتریکی را درون زمین قرار می دهند و سنگ نفت را به مدت ۲ الی ۳ سال تا ۷۰۰ درجه فارنهایت حرارت می دهند و با حفر چاه در کنار آن نفت را استخراج می کنند.

\*\*\* روش حفاری در جا آلودگی محیط زیستی کمتری نسبت به روش های دیگر دارد.

\*\*\* شرکت Shell برای جلوگیری از ترکیب نفت با سفره های آب زیرزمینی روشی را ابداع کرده است که سردسازهایی را به عنوان سد یخی درون زمین قرار می دهند تا مانع از ترکیب این نفت با آب های زیر زمینی شود.

#### ۱- استخراج از معدن

#### ۲- خرد نمودن سنگ معدن

۳- حرارت دادن سنگ معدن به منظور استخراج نفت و بازیافت گاز تولید شده

۴- افزایش کیفیت نفت استحصال شده بوسیله تقطیر و تزریق هیدروژن

در پایان سنگ معدن آنقدر حرارت داده می شود تا حجم نفت استحصال شده به حداکثر برسد. مشکلات عملی برای استحصال نفت از سنگ های نفتی بیشتر شامل هزینه های بالای عملیات، میزان انرژی مصرف شده، میزان آب مصرف شده (به ویژه برای مناطق کم آب) و تخلیه مواد زائد می باشد. نفت شیلی که استخراج می شود، حداقل ۴۰ درصد انرژی تولیدی را به خود اختصاص می دهد و هزینه تولید نفت شیل حدود ۵۰ تا ۹۰ دلار به ازای هر بشکه برآورد می شود که این میزان از هزینه به کیفیت کروژن و نرخ بهره وری استخراج بستگی دارد. که با افزایش تولید هر ساله هزینه های آن کاهش می یابد به طوری که پس از رسیدن به نقطه عطف یک میلیارد بشکه در روز- که حداقل ۲۰ سال زمان می برد- هزینه های آن به ۳۰ تا ۴۰ دلار برای استحصال هر بشکه کاهش خواهد یافت.

## Oil sand

ماسه های نفتی یا ماسه های قیردار نوعی منبع نفت غیرمتعارف است. ماسه های قیری یا به صورت ماسه های آزاد هستند و یا به صورت سنگ های سفت شده ای از مخلوط ماسه، گل رس، آب و قیر، نفت بسیار سنگین و با گرانی بسیار بالاتر از نفت معمولی یافت می شود. بزرگترین منابع ماسه های نفتی جهان در کانادا (استان آلبرتا) و ونزوئلا، و به میزان کمتری در روسیه و قزاقستان قرار گرفته است و ذخایر این کشورها تقریباً با ذخایر نفت معمولی کل جهان برابری می کند.





البته تنها کشور کانادا صنعت قابل توجهی برای استخراج ماسه‌های قیری دارد و بقیه منابع ماسه‌های قیری برداشت نمی‌شوند. اغلب منابع ماسه نفتی جهان در ایالت آلبرتا کانادا واقع شده‌اند. شورای انرژی و خدمات شهری آلبرتا The Alberta Energy and تخمین می‌زند که این منابع در حدود ۱,۶ میلیارد بشکه نفت یعنی حدود ۱۴ درصد از کل منابع نفتی جهان را در خود جای داده است.

## روش های تولید Oil Sands نیز به دو صورت می باشد:

### ۱. معدنکاری روباز:

بیتومن تمیز گردیده با هیدروکربنی سبک تر درهم آمیخته و از طریق خط لوله ای به یک پالایشگاه ارسال می گردد.

نفت می تواند از ماسه های نفتی با استفاده از یک معدن یا روش درجا تولید شود. روش معدنی در جایی که ماسه های نفتی کمتر از ۷۵ متر از سطح باشد، استفاده شود. در رویکرد معدنی، مواد در اطراف ماسه های نفتی برداشته می شوند، و سپس ماسه های نفتی توسط تکنولوژی های معدن روباز جدا می شوند. ماسه های نفتی سپس بصورت قیر (بیتومن) بصورت ماسه و دیگر مواد غیر هیدروکربنی جداسازی می شوند.

بطور کلی بیتومن برای تبدیل به نفت خام سبک تر به بیرون از سطح منتقل می شود. تمام این مراحل می توانند نزدیک هم انجام شوند و یا بصورت پراکنده از هم صورت بگیرند.

جایی که ماسه های نفتی بیشتر از ۷۵ متر پایین تر از سطح باشند، رویکرد معدن با روش درجا شبیه بهره برداری نفت معمولی و بهره برداری گاز است که از چاه ها برای ایجاد ارتباط بیشتر با ماسه های نفتی استفاده شده اند، جایگزین می شود. جوهره روش درجا، تعریفی از گرما، بطور معمول از طریق بخار است که به ماسه های نفتی اجازه می دهد به خوبی جریان یابند و به سطح برسند.

در یک معدن ماسه های نفتی روباره (overburden) کنارزده شده و ماشین های بزرگ معدنکاری ماسه را درون کامیون ها ریخته و آنها این ماسه ها را به یک کارخانه فرآوری در همان نزدیکی حمل می نمایند. در کارخانه فرآوری، ماسه های نفتی خرد شده و سپس جهت آزادسازی بیتومن، با آب داغ و مواد شیمیایی مورد پردازش قرار می گیرند. درگام بعدی بیتومن آزاد شده از آب جدا گردیده، جهت کاهش ویسکوزیته، با هیدروکربن های سبک تری در هم آمیخته شده و از طریق خط لوله به یک پالایشگاه پمپاژ می گردد.

### ۲. تولید به وسیله حفاری:

بیتومن طی فرآیندی که به احیاء درجا معروف است بوسیله حفاری چاه هایی در ماسه هایی که در اعماق زیادی دفن گردیده اند، جدا می گردد. چندین چاه درون ماسه های نفتی حفر گشته سپس بخار داغ و مواد شیمیایی به درون یکی از چاه ها فرستاده می شود. بخار داغ و مواد شیمیایی، بیتومین را نرم کرده، از ویسکوزیته (گرانروی) آن کاسته و نهایتاً آنرا به سمت چاهای استخراجی یعنی جایی که از آنجا به سمت سطح پمپاژ می گردد، روان می سازد. در سطح زمین،





## افق های ماسه های نفتی:

در مناطق معدودی که قطران را از ماسه های قیری استحصال می کنند تا بیش از پیش شبیه نفت شود. قطران و نفت سنگین نسبت به نفت خام از مطلوبیت کمتری برخوردار است، زیرا نمی توان به همان آسانی آنها را به بنزین تبدیل کرد و پس از فراوری و پالایش آنها مقادیر زیادیتری از فرآورده های نفت سنگین بر جای می ماند. همچنین آن حاوی گوگرد و نیتروژن زیادیتری نسبت به نفت خام بوده و در برخی نواحی مقدار زیادی فلز، بویژه نیکل و وانادیوم دارد.

نفت سنگین و بیتومن نیمه جامد، کارت های برنده منابع جهانی هیدروکربوری به شمار می آیند. نفت سنگین نفتی است که در شرایط عادی مخزن روان می شود، اما تولید آن به روشهای استحصال نفت پیشرفته (EOR) نیازمند است. نفتی را که معمولاً در مخزن روان می شود، قطران می نامند. گرچه قطران در همه سنگها یافت می شود، اما بیشترین توجه به تجمعات عمده ای آن در ماسه سنگها معطوف شده است، که آنها را ماسه های قیری می گویند.

## به طور کلی پنج منبع عمده برای گاز غیرمتعارف معرفی می شود:

۱- گاز هیدرات ها (Gas Hydrates): ذخایر گاز به تله افتاده در کریستال های یخ در مناطق یخ زده و کف اقیانوس ها می باشد. بزرگترین منابع گازی جهان از این نوع است که بیش از مجموع ذخایر سایر منابع است.

۲- گاز متان همراه لایه های ذغال سنگ (Coal-Bed Methane): براساس برآورد آژانس بین المللی انرژی CBM منبع ۱۰ درصد از کل تولید گاز در سال ۲۰۰۸ در ایالات متحده، ۴ درصد در کانادا و ۸ درصد در استرالیا بوده است. چین و مخصوصاً هند ذخایر بسیار عظیمی از این نوع گاز دارند.

۳- گازهای آلی سطحی (shallow biogenic gas): این نوع گاز نیز در رگه های ذغال سنگ یافت می شود. اما روش تولید آن با CBM متفاوت است.

۴- گاز سخت (Tight Gas): این نوع گاز در سازندهای صخره ای با نفوذپذیری بسیار کم وجود دارد که آزاد سازی آنها مستلزم عملیات شکست هیدرولیکی می باشد.

۵- گاز صخره های رُسی (Shale Gas): که در صخره های رُسی وجود دارد و به طور غیرمعمول این صخره ها هم منشأ گازند و هم محل ذخیره آنها، یعنی صخره رُسی ظرف و مظروف گاز می باشد.

\*\*\* دو دسته اخیر یعنی گاز سخت و گاز رُسی هستند که در حال حاضر علاقه محافل تجاری و رسانه ای را به خود جلب کرده و سروصدای زیادی پیرامون آنها برپا شده است. انقلاب گاز رُسی اشاره به تحول اساسی در کشف و تولید این نوع گاز دارد.



## آشنایی با روش های ازدیاد برداشت به کمک تزریق گاز

گرد آورنده: هلیا قاطع

### ازدیاد برداشت به کمک تزریق گاز:

نفت و گازی که در درون مخازن قرار دارند تا حدی که انرژی آنها اجازه‌ی بالا آمدن را به آنها می‌دهد به سطح می‌آیند برای اینکه این انرژی چه در زمانی که نفت با انرژی ذاتی خود بالا می‌آید چه بعد آن، تقویت شود و نفت به راحتی به سطح زمین برسد، نیاز به استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت ثانویه و ثالثیه به منظور افزایش تولید و بازیابی است.

در طول ۴۰ سال اخیر، تنوع روش‌های ازدیاد برداشت گسترش یافته و این روش‌ها به طور عمده در مخازن بلوغ یافته و همچنین مخازن تخلیه شده استفاده می‌شوند. به طور معمول تنها ۲۰ در صد تا ۴۰ در صد نفت مخزن توسط روش‌های معمول استخراج نفت در بهره برداری اولیه و بهره برداری ثانویه تولید می‌شود و به همین علت برای برداشت قسمت اعظم مابقی از روش‌های ازدیاد برداشت ثالثیه استفاده می‌شود.

از روش‌های مؤثر در مرحله ثالثیه یکی سیلابزنی آبی و دیگری سیلاب زنی گازی یا تزریق گاز است. در روش

سیلابزنی آبی، آب با فشار زیاد از چاه‌های اطراف چاه تولید نفت، وارد مخزن شده و نیروی محرکه لازم را برای استخراج نفت به وجود می‌آورد. در روش سیلابزنی گازی، گاز (مانند گاز طبیعی) با فشار زیاد به جای آب وارد مخزن شده و نفت را به طرف چاه خروجی به جریان می‌اندازد.

اگر فشار تزریق گاز در یک مخزن به اندازه‌ای پایین باشد که گاز نتواند ضمن راندن نفت به سمت چاه‌های تولیدی با آن مخلوط شود، این فرایند را تزریق غیر امتزاجی گویند.

گاز یکی از متداول‌ترین سیالات تزریقی برای تامین فشار و ازدیاد برداشت است. زیرا اولاً در بسیاری از نواحی چه به صورت گاز همراه و چه به صورت مخازن گازی در دسترس است. ثانیاً چون گاز در سنگ مخزن واکنش شیمیایی پدید نمی‌آورد تزریق آن با کمترین دشواری همراه است. البته گاز تزریق شده در مخزن ذخیره می‌گردد و می‌توان آن را برای مصارف آینده به کار برد. تزریق گاز برای مخازنی که ضریب حجمی نفت آنها نسبتاً بالاست، اثر قابل ملاحظه‌ای را در بازیافت نفت دارند.

### در مورد تزریق گاز در مخازن، نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

۱- مخازن شیب دار برای تزریق گاز مناسب‌ترند زیرا نیروی ثقلی در آنها به مکانیزم تخلیه نفت کمک می‌کند. اگر شیب مخزن کم باشد به علت تحرک زیاد گاز، این گاز سریع‌تر از درون نفت عبور کرده و (Break through) می‌کند (به چاه تولیدی می‌رسد بدون اینکه نفت زیادی را حرکت داده باشد) عملاً نفت زیادی را جابجا نمی‌کند. لذا راندمان حجمی جاروب (Swee Efficiency) پایین می‌آید و عملیات بازده مناسب را ندارد.



۲- تراوایی سنگ مخزن به گونه ای باشد که گاز بتواند داخل سنگ مخزن شود و نفت را به حرکت در بیاورد.

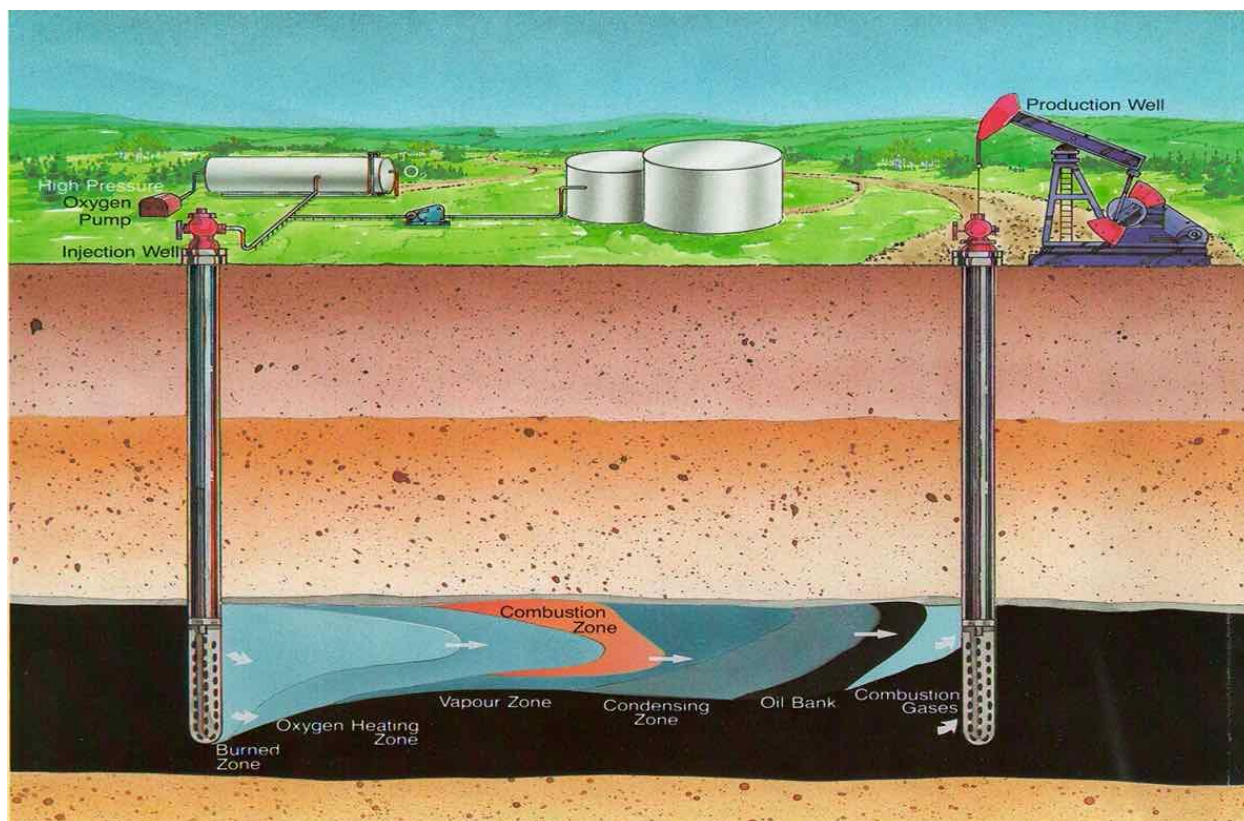
۳- در مورد مخازن چند لایه که در آنها لایه‌هایی با تراوایی بالا و پائین وجود دارند حرکت گاز در داخل مخزن به گونه‌ای است که گاز از لایه‌هایی با نفوذپذیری بالا عبور می‌کند و با پشت سر گذاشتن نفت در لایه‌های کم تراوا، عملاً نفت این لایه‌ها را در داخل حفرات سنگ باقی می‌گذارد.

از عوامل مهمی که در تصمیم‌گیری درباره تزریق گاز در یک مخزن منظور می‌شود وجود یک منبع گاز ارزان، به مقدار کافی و نزدیک به محل تزریق است. تزریق دوباره گاز تولیدی اصلی ترین منبع می‌باشد. این منبع سبب کاهش افت فشار مخزن شده ولی در جلوگیری از افت فشار مخزن به طور کامل ناتوان است. وجود یک منبع گاز ثانویه از مخازن گازی نزدیک یا خطوط لوله در دسترس در این مورد به کار خواهد آمد.

همان‌طوری که گفته شد، گاز ممکن است به دو صورت به یک مخزن نفتی تزریق شود :

۱. تزریق غیر امتزاجی گاز (Immiscible Gas Injection)

۲. تزریق امتزاجی گاز (Miscible Gas Injection)





## تزریق غیر امتزاجی:

تزریق غیر امتزاجی به دو صورت انجام می گیرد:

۱- تزریق گاز در کلاhek گازی

۲- تزریق غیر امتزاجی گاز در لایه نفتی

## تزریق غیر امتزاجی گاز در لایه نفتی:

همانطور که گفته شد، اگر فشار تزریق گاز در یک مخزن به اندازه ای پایین باشد که گاز نتواند ضمن راندن نفت به سمت چاه‌های تولیدی با آن مخلوط شود، این فرایند را تزریق غیر امتزاجی گویند. علاوه بر فشار، ترکیب مولکولی گاز نیز عامل موثری در این فرایند است. به عبارت دیگر تولید نفت بوسیله‌ی تزریق گاز یک فرآیند غیر امتزاجی است، مگر آنکه گاز در فشار بالا تزریق شده یا از هیدروکربن‌های میانه غنی استفاده شود. در تزریق غیر امتزاجی یک جریان دو فاز (مایع (نفت) و گاز با سطح تماس مشخص در حفره‌ها قابل مشاهده است. این نوع تزریق، در مخازن دارای نفوذپذیری عمودی خوب یا ضخیم و با شیب تند، کارآمدتر است. کاربرد این روش اگر چه موثر است ولی با مشکلاتی نیز همراه می باشد. بالا بودن کشش سطحی و نیروی موینگی در حفره‌های بسیار کوچک سبب به تله افتادن قطرات نفت درون آن‌ها می شود. مقدار بالای نیروی موینگی مانع حرکت این قطرات می شود. مقدار نفت‌های به تله افتاده در کل مخزن قابل توجه است. هر چند با افزایش فشار تزریق گاز می توان بر این مشکل تا حدودی غلبه کرد، ولی کاربرد تزریق امتزاجی گاز توصیه می شود.

موفقیت فرآیند تزریق غیر امتزاجی گاز بستگی به راندمان جابجایی نفت توسط گاز تزریقی و در نتیجه تولید نفت دارد. اگر در یک مخزن که ضخامت لایه نفتی کمی دارد و دارای شیب تندی نیست از روش تزریق غیر امتزاجی استفاده شود، پدیده کانالیزه شدن گاز اتفاق می افتد و گاز به سرعت از چاه‌های تزریقی به سمت چاه‌های تولیدی حرکت می کند. در این حالت گاز بدون آنکه نفت زیادی را جابجا کند از چاه تولید خارج شده در نتیجه منجر به تولید بالایی نمی شود.

## تزریق گاز در کلاhek گازی:

هنگامی که یک مخزن در ابتدا دارای کلاhek گازی است یا وقتی که کلاhek گازی، در اثر حرکت مولکول‌های گازهای آزاد شده از نفت به بالای مخزن طی فرآیند تولید اولیه، تشکیل می شود، تزریق گاز برای تأمین و نگهداری فشار (Pressure Maintenance) صورت می گیرد.

افزایش فشار کلاhek گازی سبب راندن نفت به سمت چاه‌های تولیدی می گردد. این فرآیند همانند بالا آمدن سطح تماس آب و نفت در هنگام تزریق آب به آبده پایین مخزن می باشد.

تزریق در کلاhek گازی در مخازنی کاربرد دارد که دارای نفوذپذیری عمودی بالا و ضخامت عمودی لایه نفتی زیاد بوده و گرانیوی نفت هم کم باشد. در این حالت بازیافت نفت زیاد می باشد. تزریق گاز اغلب در نقطه‌ای پایین تر از قله مخزن صورت می گیرد. نیروی ثقلی سبب می شود که گاز به طرف بالا حرکت کرده و نفت را به سمت چاه‌های تولیدی براند. چنانچه نفوذپذیری عمودی، کم باشد عمل تفکیک ثقلی (تفکیک بر اساس وزن مختلف سیالات) کامل نمی شود. اگر میزان تولید نفت از میزان تفکیک ثقلی بیشتر باشد، بازیافت نهایی آن کاهش خواهد یافت.





## تزریق امتزاجی

در فرایند جابجایی امتزاجی که در دهه‌های اخیر مورد توجه شایانی قرار گرفته است، با حذف نیروهای موینگی میزان بازیافت نفت در نواحی تماس با جبهه امتزاجی تا میزان صد در صد قابل حصول خواهد بود. معمولاً جابجایی امتزاجی به چهار صورت انجام می‌شود:

۱. ایجاد جبهه امتزاجی با استفاده از LPG و به دنبال آن تزریق گاز خشک قابل امتزاج.

۲. ایجاد جبهه امتزاجی با استفاده از LPG و به دنبال آن تزریق گاز خشک امتزاج ناپذیر

۳. تزریق گاز خشک در فشار بالا تحت شرایط امتزاج.

۴. تزریق گاز غنی امتزاج پذیر با سیال مخزن

در دو روش اول پیش از تزریق گاز، ال پی جی به میزان کافی به درون مخزن تزریق می‌شود. در این روش‌ها ال پی جی تزریق شده در واقع به صورت یک حائل بین سیال تزریقی و سیال مخزن عمل کرده و به عنوان جبهه امتزاجی بین سیال مخزن و گاز تزریقی باعث افزایش راندمان جابجایی می‌گردد. فشار امتزاج برای ال پی جی زیاد بالا نیست ولی فشار امتزاج گاز خشک با نفت و به ویژه نفت‌های سبک بسیار زیاد است. لذا این نوع تزریق نیاز به کمپرسورهای فشار بالا ندارد زیرا تزریق گاز خشک در زیر فشار امتزاج انجام می‌شود.

در روش‌های سوم و چهارم اجزای میانی هیدروکربوری (مولکول‌های بین مولکول‌های هیدروکربور سنگین و سبک) از یک فاز به فاز دیگر منتقل می‌شوند. این انتقال

ممکن است از فاز مایع به فاز گاز صورت گیرد که باعث غنی شدن گاز خشک تزریقی از مواد هیدروکربوری می‌گردد یا از فاز غنی (گازی که از ابتدا غنی بوده یا گازی که توسط افزودن ال پی جی به آن غنی شده باشد) به فاز مایع صورت گیرد که به نوبه خود باعث غنی شدن مایع می‌گردد. در این فرایند جبهه امتزاجی در اثر انتقال ماده بین دو فاز در حال تماس بوجود می‌آید و نیازی به تزریق اولیه ال پی جی به درون مخزن نمی‌باشد.

در تزریق گاز خشک مکانیزم غالب تبخیر اجزای میانی از درون نفت به درون گاز می‌باشد و در تزریق گازهای غنی مکانیزم غالب میعان اجزای میانی به درون نفت گرفته می‌شود. در نتیجه ی این تبخیر و میعانان بانکی از سیال تزریقی و سیال مخزنی به صورت تک فاز تشکیل می‌شود که در این جبهه نیروهای سطحی و ویسکوزیته بسیار ناچیزی شوند و لذا به راحتی در درون مخزن شروع به حرکت می‌کنند.

هریک از روش‌های فوق دامنه کاربرد خاص خود را دارند. در فرایند تزریق گاز غنی اگر حداقل فشار امتزاجی کمتر از 4500 psi باشد از نظر اقتصادی به روش اول (استفاده از ال پی جی) ترجیح داده می‌شود. در مواردی که عمق مخزن کم باشد و نیز در مواردی که سیال مخزن حاوی مقادیر کمی ترکیبات میانی باشد استفاده از ال پی جی مناسب به نظر می‌رسد.

در طراحی یک فرایند جابجایی امتزاجی اولین اقدام تعیین حداقل فشار امتزاج است. حداقل فشار امتزاج حداقل فشاری است که در آن سیال خروجی از مغزه در زمان میان بر تک فاز باشد و مقدار بازیافت نفت در آن شرایط با افزایش فشار تقریباً ثابت بماند.





## برترین دانشگاه های نفت دنیا

گرد آورنده: رضا خلیلی

به عنوان گردآورنده ی این مطالب نکاتی را ذکر می کنم تا در مطالعه ی آن دچار مشکل نشوید

باتوجه به اینکه رتبه ی دانشگاه ها از منظر رتبه بندی های مختلف با یکدیگر تطابق ندارد از رتبه بندی دانشگاه ها خودداری کردیم و شماری از دانشگاه های مطرح را بدون شماره ذکر کردیم . نام بعضی از دانشگاه ها و مراکز آموزش عالی مطرح دنیا در این لیست وجود ندارد، به این دلیل که شاید مرکز مورد نظر از لحاظ رشته های دیگر یکی از بهترین ها محسوب شود ولی در زمینه ی مهندسی نفت حرفی برای گفتن ندارند.

### Texas A&M University



۱۳۰ کشور جهان دانشجوی می پذیرد البته ۸۶ درصد جمعیت آن را ساکنین تگزاس تشکیل می دهند . با پشتوانه ای مالی به اندازه ی ۵/۶ میلیارد دلار ، ۲۵۰۰ نفر عضو هیئت علمی در شهر کالج استیسن ایالت تگزاس در سال ۱۸۷۱ بنیان گذاری شده است.

یکی از دانشگاه هایی است که ارزش هایی نظیر صداقت احترام ، اعتماد ، مسئولیت پذیری و انصاف را در کلاس ترویج می دهند . با مطالعه ی آماری بر روی استخدام شدگان موسسات معتبر امریکا نمایان می شود که از نظر احتمال تامین مشاغل کلیدی برای فارغ التحصیلانش در رتبه ی دوم امریکا قرار دارد. این موسسه تا کنون ۴ برنده ی جایزه ی نوبل را در خدمت داشته است.

به عنوان نخستین موسسه ی تحصیلات تکمیلی در ایالت تگزاس امریکا و با تمرکز بر مکانیک و کشاورزی گشایش یافت، A و M ابتدای نام مکانیک و کشاورزی و یاد آور ارزش های اولیه ی دانشگاه هستند. این موسسه دو شعبه ی دیگر در قطر و گلوستون دارد . هفتمین دانشگاه بزرگ ایالات متحده است و مجموعاً ۹ کتابخانه دارد که پاسبخ گوی نیازهای ۱۰ کالج این دانشگاه می باشد ، البته کتابخانه ی ریاست جمهوری جرج بوش نیز در این دانشگاه است.

این دانشگاه بیش از ۱۵۰ رشته ی تحصیلی را در ده کالج و ۱۸ موسسه ی تحقیقاتی ارائه می دهد. سالانه ظرفیت پذیرش حدود ۵۰۰۰ دانشجوی را دارد ، از ۵۰ ایالت امریکا و



## شرایط پذیرش و مدارک مورد نیاز:

تکمیل فرم های آنلاین ، پرداخت \$90 application free ، مدارک و ریز نمرات مقاطع پیشین ، توصیه نامه ، انگیزه نامه ، و نمرات آزمون های زبان که دارای این شرایط است.

-A minimum TOEFL score from a date within two years : for paper \_based 550 testing PBT & internet based\_ testing 80 IBT.

-A minimum IELTS score: score of 6.0 overall band.

-GRE verbal reasoning : score of at last 146 & subject to departmental approval.

\_GMAT verbal score: at last 22 & subject to departmental approval.

## The University of Adelaide



در شهر آدلاید استرالیا قرار دارد . دانشگاه ۵ دانشکده ی اصلی داشته که هر کدام از تعدادی دانشکده ی فرعی در زیر گروه خود دارند به عنوان مثال دانشکده ی اصلی : دانشکده ی کامپیوتر ، علوم ریاضی و مهندسی . زیر گروه ها: آموزش نوآوری در تجارت و بازرگانی ، مهندسی الکترونیک و مهندسی الکترونیک ، علوم ریاضی و مهندسی مکانیک ، مهندسی عمران ، مهندسی محیط زیست ، مهندسی معدن، علوم کامپیوتر ، نفت و گاز و مهندسی شیمی است.

کتابخانه ی دانشگاه بزرگترین کتابخانه ی استرالیای جنوبی است ، این کتابخانه بیش از ۲ میلیون جلد کتاب ، ۴۵۰۰ مجله و ۲۰۰۰ منو گراف دارد ، در هر یک از کمپ ها نیز کتابخانه وجود دارد ، البته رشته های حقوق و موسیقی کتابخانه های تخصصی خود را دارند .

این دانشگاه در سال ۱۸۷۴ تاسیس شد و ۴ پردیس هم در خارج از ایالت دارد. دانشجویان باید علاوه بر واحد های مهندسی نفت ، دوره های پژوهش و مدیریت را نیز فرا گیرند .حدود ۲۵ درصد از دانشجویان این دانشگاه را دانشجویان بین المللی تشکیل می دهند . ۳۷ کلوپ ورزشی دارد و تا به حال پنج نفر از برندگان جایزه ی نوبل را در اختیار داشته است.



## شرایط پذیرش :

نمرات زبان unconditional که امکان بررسی برای skill rate را نیز داشته باشند.

At last 6.5 in writing & speaking, at last 6.0 in reading & listening.

در تافل PBT نمره ای برابر با ۵۷۵ و ۴۰۵ در TWE ، یا تافل IBT حداقل نمرات ۷۹ در نوشتار ، ۲۴ در گفتار ، ۲۲ در خواندن و ۱۳ در شنیدار را باید کسب کنند .

## New south wale

در کشور استرالیا و حومه ی شهر سیدنی در سال ۱۹۴۹ تاسیس شد . دارای هشت دانشکده بوده و از بین رشته هایی که ارائه می کند مهندسی ، فناوری ، حقوق ، بازرگانی و اقتصاد از اعتبار بالایی برخوردارند . با پشتوانه هایی چون : ۶۰۱۴ نفر عضو هیئت علمی ، حدود ۴۵۰۰۰ دانشجو و موقوفه ی مالی به ارزش ۱ بیلیون دلار استرالیا



یکی از بهترین دانشگاه های استرالیا است . این دانشگاه بیشترین میلیونر ها را به استرالیا معرفی نموده و بیشتر سمت های مدیریت اجرایی در شرکت های استرالیایی در اختیار فارغ التحصیلان این مرکز می باشد .

## شرایط اخذ پذیرش:

کارشناسی : مدرک متوسطه ، تحصیلات پیش دانشگاهی ( دوره های فاندیشن ) و تحصیلات سابق دانشگاهی .

کارشناسی ارشد (آموزش محور) : عموماً نیاز به یک مدرک کارشناسی از یک موسسه ی دانشگاهی دارد .

نمره های زبان که فقط دو سال اخیر مورد قبول است:

آیلتس : برای همه ی دوره ها نمره ی کل ۶/۵ لازم است .

تافل مبتنی بر دفترچه (PBT) نمره ی کل ۵۷۷ و تافل مبتنی بر اینترنت (IBT) نمره ی کل ۹۰ را باید کسب کنند .



## Colorado School of mines

این موسسه در سال ۱۸۷۴ تاسیس شد و آکادمی های آن از سه کالج تشکیل شده است : ۱-مهندسی و علوم کاربردی ۲- مهندسی و علوم محاسباتی ۳- مهندسی و علوم منابع زمین . این دانشگاه یا موسسه حدود ۱۱۰۰۰ دانشجو و ۲۷۰/۸ میلیون دلار موقوفه ی مالی در اختیار دارد.

آموزش فنون رهبری به دانشجویان ، تمرکز بر پژوهش ، استخدام اساتید متخصص و اجرای کار تیمی از ویژگی های منحصر به فرد این موسسه به شمار می رود.



مدرسه ی معدن کلرادو (معروف به ماینز) به عنوان یک موسسه ی آموزش عالی در ایالت کلرادو امریکا قرار دارد . تخصص این موسسه در توسعه و مدیریت منابع طبیعی و بهره برداری از این منابع ( مانند معادن سنگ و فلز و ... ، نفت ، گاز و ... ) است .

## University of Manchester

است . متقاضیان ورود به این دانشگاه باید در آزمون های ورودی شرکت کنند . مدرک این دانشگاه از اعتبار بالایی برخوردار است . ۲۵ نفر از برندگان جایزه ی نوبل جزو کارکنان و دانشجویان دانشگاه مهارت های تجاری و ارتباطات از منچستر بوده اند . سر فصل های ارائه شده در این دانشگاه انگلیسی است . این دانشگاه به عنوان یکی از مراکز آموزشی و پژوهشی پیشرو در کشور ، خود را نسبت به جذب و حمایت بهترین دانشجویان متعهد می داند . هر ساله بیش از یک سوم دانشجویان کمک هزینه های بالایی دریافت می کنند به این صورت که دانشجویان واجد شرایط بر اساس اطلاعات مربوط به درآمد خانوار توسط مسئولین دانشگاه شناسایی می شوند و نحوه ی دریافت کمک هزینه چه به عنوان پول نقد و یا تخفیف در شهریه و هزینه های مسکن را خود دانشجویان انتخاب می کنند.



این دانشگاه در سال ۱۸۲۹ در شهر منچستر انگلستان تاسیس شد . با امکانات عالی ، دانشجویان ، اساتید متخصص و ۱۷۴/۳ میلیون پوند ، موقوفه ی مالی در رده ی بهترین دانشگاه های انگلستان ( پنجمین دانشگاه برتر ) و اروپا ( هفتمین دانشگاه برتر ) قرار دارد ، همچنین دانشکده ی مهندسی و مدرسه ی مدیریت منچستر در رده ی بهترین های اروپا و جهان قرار دارند.

چهار دانشکده ی این موسسه شامل مهندسی و علوم فیزیکی ، علوم انسانی ، علوم زیستی ، علوم پزشکی و انسانی





## University of Texas at Austin

این دانشگاه به سال ۱۸۸۳ در شهر آستین ایالت تگزاس تأسیس شد. یکی از بزرگترین دانشگاه‌های آمریکا، و عضو لیگ آیوی عمومی و انجمن دانشگاه‌های آمریکاست.

از خصوصیات دیگر آن می‌توان گفت که این دانشگاه فاقد رشته‌های علوم پزشکی می‌باشد. و افراد برجسته‌ای چون واینبرگ و زاکرمن از اساتید این دانشگاه‌اند. آموزش‌های ارائه شده در این دانشگاه از بالاترین سطح علمی دنیا برخوردار می‌باشند. موقوفه‌ی مالی این دانشگاه ۳/۲۷ میلیارد دلار است و تعداد اعضای هیئت علمی آن به ۳۰۷۱ نفر می‌رسد.

این موسسه ۹ برنده‌ی جایزه‌ی نوبل را در خدمت داشته و بیش از ۱۵ سناتور در سنای ایالات متحده از این دانشگاه تحصیلات دارند. در مجموع ۱۷ کتابخانه دارد که پاسخ‌گوی نیازهای ۱۶ دانشکده‌ی این دانشگاه می‌باشد، از طرفی کتابخانه‌ی پرس‌ی کاستاندا‌ی این دانشگاه با ۹ میلیون نسخه کتاب در زمره‌ی بزرگترین کتاب‌خانه‌های آکادمیک آمریکا بوده است.



## University of Stavanger



شرایط گرفتن پذیرش (برای کارشناسی ارشد):

داشتن یک مدرک کارشناسی از یکی از دانشگاه‌های معتبر حداقل نمرات زبان که فقط دو سال اخیر مورد قبول است: برای آیلتس نمره‌ی ۶/۵ و برای آزمون تافل نمره‌ی ۹۰ را باید کسب کنند.

این دانشگاه در کشور نروژ قرار دارد و در سال ۲۰۰۵ به طور رسمی افتتاح شد، دارای سه دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشکده‌ی هنر و دانشکده‌ی علم و صنعت است، ولی بیشتر در زمینه‌ی رشته‌های مرتبط به صنعت نفت اعتبار دارد.

این دانشگاه در شهر نفتی استوانگر قرار دارد. این شهر در فهرست صادرکنندگان جهانی نفت قرار گرفته است و پایتخت نفت

نروژ محسوب می‌شود. پژوهش در مهندسی نفت در کانون فعالیت‌های این دانشگاه قرار دارد. بسیاری از شرکت‌های نفتی برای تصمیم‌گیری در مورد توسعه‌ی میداین جدید از مشاوره‌های تخصصی این موسسه آموزش عالی بهره‌می‌گیرند.





## Curtin University

### شرایط پذیرش دانشجو :

۱- نیازمندی های تحصیلی دانشگاه

۲- نیازمندی های زبان دانشگاه

۳- یکی از موارد زیر برای دوره های مختلف کارشناسی :  
یک رتبه ی پذیرش دانشگاهی استرالیا با امتیاز ۷۰ یا  
معادل آن ، یا مدرک دبیرستان ، یا اتمام موفقیت آمیز یک  
سال از کارشناسی در یک موسسه ی آموزش عالی معتبر  
خارج از استرالیا، و یا برآورده کردن پیش نیاز های درسی  
کارشناسی ارشد : اتمام یک مدرک کارشناسی از یک  
دانشگاه معتبر ، یا مدارک خارجی معادل با آن . البته برخی  
از گواهینامه های فارغ التحصیلی دانشگاه ممکن است  
متقاضیانی با تجربه ی کاری و حرفه ای مربوط به حوزه ی  
تحصیلی را نیز در نظر بگیرند.

### نمرات زبان:

آیلتس : نمره ی کل ۶/۵ و هر یک از مهارت های گفتار ،  
نوشتار ، شنیدار و خواندن ۶/۰ حداقل نمراتی است که باید  
کسب شود.

تافل : (IBT) نمره ی کل ۷۹ و مهارت های شنیدار و  
خواندن حداقل ۱۳ ، گفتار ۱۸ و در نوشتار حداقل نمره ی  
۲۱ را باید کسب کنند.

## Petronas Technology University:

این دانشگاه زیر مجموعه ی شرکت ملی نفت مالزی ، پتروناس ،  
بوده و در سال ۱۹۹۷ تاسیس شده است . موقعیت مکانی  
دانشگاه در ناحیه ای از مالزی قرار دارد که اکنون تبدیل به  
منطقه ای صنعتی شده و دارای بخش هایی چون پارک



بزرگترین دانشگاه غرب استرالیا با ۵۸۰۰۰ دانشجو می باشد  
که به سال ۱۹۰۲ در شهر پرت وتلی تاسیس شد . این

دانشگاه علاوه بر ۵ دانشکده ی اصلی بیش از ۹۵ مرکز  
تخصصی را نیز در اختیار دارد و با ۹۰ مرکز علمی در بیش  
تر از ۲۰ کشور جهان در ارتباط است. این دانشگاه در  
پردیس اصلی خود محل برگزاری نماز جماعت و محل  
اجتماع دانشجویان مسلمان ایجاد نموده است.

به دلیل منابع مهم نفت و گاز در غرب استرالیا این دانشگاه  
در زمینه ی صنعت نفت بسیار قوی است و در زمینه ی  
صادرات مواد نفتی و گازی بسیار فعال است. این مرکز ۲  
کتابخانه ی مجهز به منابع اینترنتی و کتاب های الکترونیکی  
را در اختیار داشته و خدمات دیگری چون مشاوره ، نگهداری  
از کودکان ، حمایت از دانشجویان ، ناتوانان جسمی ، مراکز  
تفریحی و ورزشی و ... به دانشجویان ارائه می نماید.





تکنولوژی و صنعت ، پارک داروسازی ، آموزشی ، علوم و پژوهش است . این مرکز آموزش عالی در زمینه ی رشته های مهندسی ، علوم و تکنولوژی فعالیت می نماید . در حال حاضر ۵ رشته ی مهندسی در مقطع کارشناسی و ۳ رشته ی مهندسی در مقطع کارشناسی ارشد را ارائه می دهد. مهندسی شیمی ، مهندسی عمران و محیط زیست ، مهندسی نفت ، مهندسی الکترونیک ، مهندسی مکانیک ، علوم زمین و IT از رشته هایی است که در این دانشگاه تدریس می شود.

این دانشگاه برای همه ی رشته های خود دوره ی پیش دانشگاهی جداگانه ارائه می کند و دانشجویان ملزم به گذراندن این دوره هستند . از جمله مراکز آموزش عالی است که با هدف تعلیم فارغ التحصیل هایی خلاق و نوآور به فعالیت خود ادامه می دهد همچنین در این دانشگاه به تحقیقات اهمیت بسیار داده می شود .

## Heriot Watt University



در سال ۱۹۶۶ در بخش اسکاتلند انگلستان دانشگاهی به نام هریوت وات تاسیس شد . این دانشگاه بیشتر در زمینه ی رشته های مهندسی متمرکز و مشهور است ، علاوه بر پردیس اصلی که در اسکاتلند است دارای چند شعبه نیز در شهرهایی چون اورکنی ، دبی امارات و کوالالامپور می باشد این موسسه ارتباطی قوی با صنعت دارد ، در صنعت نفت نیز دارای اعتبار جهانی می باشد و فقط دانشجویان برتر این رشته را برای تحصیل انتخاب می کند البته لازم به ذکر است که از دیرباز فارغ التحصیلانش از تخصص و فرصت شغلی بالایی برخوردار بوده اند.

دانشگاهی بسیار پویا و پیشرو است که به خاطر کیفیت مدرک اعطایی به دانشجویان آن ، بسیاری از کارفرمایانی که در جستجوی کارمندی متبحر هستند از فارغ التحصیلان این دانشگاه دعوت به عمل می آورند.



## انرژی های جایگزین نفت

گردآورنده: رضا خلیلی

آدمی از آغاز خلقت به دنبال چیزی بوده است که بتواند از آن حرارت، روشنایی و نیروی لازم برای گرداندن چرخ زندگی خود را تامین کند، در این بین ابتدا با شاخ و برگ درختان که در دسترس اش بود این نیازها را فراهم می نمود یا بعد ها بوسیله ی پی سوز ها و .... ولی به تدریج با پیشرفت دانش و فن خود به دنبال منابع بهتری برای این کار بوده و هست.

به دور از هر نوع تعصب و غرض ورزی نسبت به رشته مهندسی نفت اگر با اندکی درنگ به جهان آینده ی خود فکر کنیم در می یابیم که نفت منبع مناسبی برای تامین نیاز ما به انرژی نیست، این دنیا دارای منابع انرژی فراوانی است که شماری از آن ها در حال مصرف شدن اند و به صورت طبیعی اکثر منابع مورد استفاده ی ما در صورت استفاده رو به کاهش و اتمام می روند. از طرفی دسته ای از انرژی ها مانند سوخت های فسیلی باید جایگزین شوند.

بیشترین استفاده از نفت و گاز در ایران ما و یا کشور هایی همانند آن سوزاندن نفت و گاز برای تولید انرژی لازم وسایل نقلیه، نیروگاه ها و ... است که با آلودگی محیط زیست و اکوسیستم ما همراه می باشد. در حالی که باید فقط برای محصولات پتروشیمی و پالایشگاهی باشد.

نفت و گاز و در کلامی کلی تر انرژی های فسیلی منابع خوبی برای تهیه ی سوخت خودرو ها، نیروگاه ها و ... نیستند، به چه دلیل؟ این منابع طی هزاران سال و تحت شرایط خاصی شکل می گیرند، سوختن آن ها همراه با آلودگی های زیاد و تاثیرات منفی روی کره ی زمین است، به راحتی و طی زمان کوتاه تجدید نمی شوند و می توان از آن ها استفاده های بهتری کرد.



نمونه ای از نیروگاه تولید برق و آلودگی شهر



## انواع انرژی

انرژی (از واژه یونانی  $\epsilon\nu\epsilon\rho\gamma\acute{o}\varsigma$  به معنی فعالیت، عملیات) یا کارمایه خاصیتی است که قابل انتقال به اشیای دیگر یا قابل تبدیل به حالت‌ها و شکل‌های مختلف است. انرژی کمیته بنیادین است که برای توصیف وضعیت یک ذره، شیئی یا سامانه به آن نسبت داده می‌شود.

منابع انرژی را می‌توان به دو دسته ی تجدید پذیر و تجدید نا پذیر تقسیم کرد:

۱. منابع تجدید پذیر ۲. منابع تجدید نا پذیر

نفت در دسته ی دوم قرار دارد یعنی پس از مصرف دوباره جایگزین نمی‌شود، در واقع زمانی که برای آن لازم است بسیار زیاد است به حدی که از آن به عنوان منبع تجدید ناپذیر یاد می‌شود.

تا به حال با ضروریات جایگزینی نفت با انرژی‌های دیگر آشنا شدیم اینک سراغ منابع جایگزین می‌رویم.

## کدام انرژی؟

عبارتند از: عدم نیاز به تأمین نیروی انسانی زیاد، عدم نیاز به سوخت‌های فسیلی، رایگان و صرفه اقتصادی بودن، تداوم و همیشگی بودن تولید انرژی، تأمین‌کننده بخشی از تقاضای انرژی جامعه، استهلاك سرمایه‌گذاری کمتر، بازده اقتصادی بالاتر در مدت بلند، تنوع بخشیدن به منابع انرژی، عدم نیاز به آب فراوان، عدم نیاز به زمین وسیع برای نصب توربین‌های بادی، عدم آلودگی زیست محیطی و حتی داشتن زمینه‌های اشتغال زایی در صورت تشویق سرمایه‌گذاری خصوصی.

انرژی خورشیدی وقتی مولد برقی (ژنراتور) به گردش در می‌آید انرژی الکتریسته تولید می‌شود؛ و برای گرداندن مولدها از بخار آب استفاده می‌شود؛ و انرژی گرمایی حاصل از سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌تواند آب را بجوشاند. به این ترتیب بخار آب تولید می‌شود؛ و برای این کار می‌توان از انرژی گرمایی خورشید استفاده کرد. سلول‌های خورشیدی انرژی را بدون اینکه نیازی به ماده‌ای با قطعات مکانیکی داشته باشد مستقیماً به حرکت درمی‌آورد. سلول‌های خورشیدی بزرگی بر روی صفحات خورشیدی قرار می‌گیرد و می‌تواند انرژی زیادی را از خورشید جذب کند؛ و می‌توان از آن‌ها برای به کار انداختن وسایل استفاده کرد.

با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و کاهش منابع سوخت فسیلی ضرورت سالم نگهداشتن محیط زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیتهای برق‌رسانی و تأمین سوخت برای نقاط روستایی دور افتاده و... استفاده از انرژی‌های نو مانند، انرژی آب انرژی باد، انرژی خورشید، انرژی هیدروترمال، و... می‌تواند جایگاه ویژه‌ای داشته باشد.

براساس پیش‌بینی دانشمندان و آژانس بین‌المللی انرژی تقاضای مصرف و تولید انرژی در آینده نیز افزایش سریع و نگران‌کننده‌ای خواهد داشت. به‌طوری‌که از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۰ تقاضای جهانی برای برق با ۳۰٪ افزایش به ۲۰۵۸۲ تراوات و با ۵۰٪ افزایش به ۲۷۳۲۶ تراوات خواهد رسید. از سویی بر اساس مطالعات دانشمندان تا سال ۲۰۴۰ نیروی باد ۲۰٪ الکتریسته جهان را تأمین می‌کند هرچه به سوی آینده حرکت می‌کنیم وسایل الکترونیکی بیشتر خواهد شد و هر ساله تقاضای برق ۳۰٪ افزایش همراه بوده‌است که این خود باعث تولید مخازن الکتریسته و باتری لیتیوم یونی شده است.

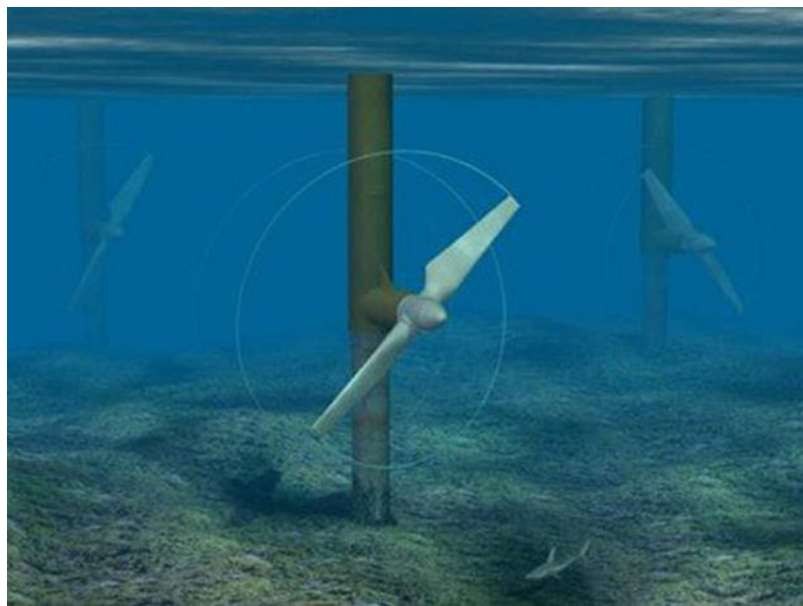
انرژی باد نسبت به سایر منابع انرژی بازگشت نا پذیر از ویژگی‌هایی و مزایایی بالاتری می‌باشد؛ که مهمترین آن‌ها





انرژی خورشیدی مشکلاتی هم دارد: مانند هنگام شب و روزهای ابری نمی‌توانند از انرژی خورشیدی استفاده کرد و ساخت باتری های خورشیدی پرهزینه است.

فواید انرژی خورشیدی: در مصرف سوختهای فسیلی صرفه جویی می‌شود انرژی خورشیدی هیچ گونه آلودگی ایجاد نمی‌کند؛ و انرژی خورشیدی هیچوقت تمام نمی‌شود؛ و موجب صرفه جویی در انرژی های فسیلی می‌شود؛ و انرژی خورشیدی رایگان است؛ و همه جا می‌توان از آن استفاده کرد.



جزر و مد یکی از جدیدترین روش های تولید انرژی استفاده از جریان های زیرآبی و جزر و مد موج هاست که اثر منفی بر طبیعت نمی گذارد. اساس این روش مانند توربین های بادی است با این تفاوت که در توربین و پره های آن در زیر آب قرار داده می شوند.

این روش هنوز در مرحله آزمایشی قرار دارد، اما کارشناسان امیدوار هستند با استفاده از آن در آینده انرژی الکتریسته تولید کنند. اکنون در برخی از ساحل های اقیانوس اطلس در ۲ قاره آمریکا و اروپا توربین هایی در زیر آب قرار دارند.

امواج دریا: امواج سطح دریا نیز یکی دیگر از منابع های انرژی جدید هستند. در این روش مبدل های انرژی به نام پلامیس (Pelamis) بر سطح آب به صورت شناور قرار دارند و با موج های خروشان دریا حرکت می کنند. انرژی دریافتی از قدرت موج ها را می توان برای تولید برق، شیرین کردن آب و یا پمپ کردن آب به مخزن ها مورد استفاده قرار داد.

این مبدل ها در اروپا ساخته و مورد استفاده قرار گرفته اند. اولین استفاده تجاری از این وسیله در کشور پرتغال و در اقیانوس اطلس انجام شده است. البته استفاده از این روش به شدت جریان اقیانوسی بستگی دارد و در زمانی که دریا آرام است میزان انرژی الکتریسته به دست آمده کمتر از زمان طوفان و شدت داشتن جریان آب است.







انرژی ژئوترمال یکی از انرژی‌های بسیار قدرتمند و کاراست که از زمین برای تولید انرژی استفاده می‌شود. در این شیوه انرژی گرمایی درون لایه‌های درونی زمین گرفته شده و برای تولید جریان الکتریسته، گرم کردن آب و گرمایش در فصل‌های سرد سال استفاده می‌شود.

رومیان باستان نیز از این شیوه برای گرم کردن حمام‌های عمومی بهره می‌گرفتند. برای استفاده از این روش تامین انرژی، مکان یابی دقیق محل احداث نیروگاه مهم است و باید در جایی که نزدیک مرزهای صفحه‌های تکتونیکی زمین است، ساخته شود.

است. بر خلاف آنچه که رسانه‌های گروهی در مورد خطرات مربوط به حوادث راکتورها و دفن پسماندهای پرتوزا مطرح می‌کنند از نظر آماری مرگ ناشی از خطرات تکنولوژی هسته‌ای از یک درصد مرگ‌های ناشی از سوختن زغال سنگ جهت تولید برق کمتر است. در سرتاسر جهان تعداد نیروگاه‌های هسته‌ای فعال بیش از ۴۱۹ می‌باشد که قادر به تولید بیش از ۳۲۲ هزار مگاوات توان الکتریکی هستند. بالای ۷۰ درصد این نیروگاه‌ها در کشور فرانسه و بالای ۲۰ درصد آنها در کشور آمریکا قرار دارد.

راکتورهای هسته‌ای دستگاه‌هایی هستند که در آنها شکافت هسته‌ای کنترل شده رخ می‌دهد. راکتورها برای تولید انرژی الکتریکی و نیز تولید نوترون‌ها به کار می‌روند. اندازه و طرح راکتور بر حسب کار آن متغیر است. فرآیند شکافت که یک نوترون بوسیله یک هسته سنگین (با جرم زیاد) جذب شده و به دنبال آن به دو هسته کوچکتر همراه با آزاد سازی انرژی و چند نوترون دیگر شکافته می‌شود. و این زنجیره همینطور ادامه می‌یابد و مقدار زیادی انرژی به ارمغان می‌آورد.

بیومس در این شیوه تولید انرژی از مواد زیستی زنده و یا مرده برای تولید سوخت استفاده می‌شود. از جمله مواد زیستی مورد استفاده در این روش می‌توان زباله‌هایی، چون برگ و شاخه درختان، روغن نخل، نیشکر، صنوبر، ذرت، کف و سایر ضایعات گیاهی را نام برد. در این شیوه از حرارت و سوزاندن این ضایعات و نیز انرژی که از تجزیه آنها به دست می‌آید، برای تولید انرژی استفاده می‌کنند.

انرژی هسته‌ای گرمای حاصل از واکنش هسته‌ای در محیط راکتور هسته‌ای تولید و پرداخته می‌شود. به عبارتی در طی مراحل در راکتور این گرما پس از مهار شدن انرژی آزاد شده واکنش هسته‌ای تولید و پس از خنک سازی کافی با آهنگ مناسب به خارج منتقل می‌شود. گرمای حاصله آبی را که در مرحله خنک سازی به عنوان خنک کننده به کار می‌رود را به بخار آب تبدیل می‌کند. بخار آب تولید شده، همانند آنچه در تولید برق از زغال سنگ، نفت یا گاز متداول است، به سوی توربین فرستاده می‌شود تا با راه اندازی مولد، توان الکتریکی مورد نیاز را تولید کند. در واقع راکتور همراه با مولد بخار، جانشین دیگ بخار در نیروگاه‌های معمولی شده



## آزمایشگاه های دانشکده مهندسی نفت

آزمایشگاه ژئوشیمی آلی:

### دستگاه Rock-Eval 6



این دستگاه ساخت شرکت فرانسوی VINCI است که جهت ارزیابی توان نفت و گاززایی سازندهای مادر به کار می‌رود و توسط آن می‌توان میزان نفت تولیدی و قابلیت تولید سازندها را مورد ارزیابی قرار داد. از دیگر کاربردهای این دستگاه، تعیین میزان بلوغ سنگ مادر می‌باشد. همچنین مدلسازی حوضه‌های رسوبی، جهت بررسی تحولات سازندهای مرتبط با سنگ مادر و تغییرات بلوغ سنگ مادر توسط نرم افزار این دستگاه امکان پذیر می باشد .

کاربردهای دیگر این دستگاه شامل تعیین نوع سنگ و ترکیبات غیرآلی، امکان انجام مطالعات زیست محیطی و اندازه‌گیری مقدار آلودگی‌های هیدروکربوری موجود در خاک‌ها می‌باشد.

### دستگاه PYRO-GC

این دستگاه ساخت شرکت فرانسوی VINCI و یک سیستم کروماتوگرافی گازی است که برای پیرولیز سنگ و آنالیز نمونه‌های نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حرارت بالا، نمونه سنگی پیرولیز و نمونه نفتی، تبخیر شده و هیدروکربن‌های آزاد شده جهت آنالیز به ستون کروماتوگرافی متصل به دتکتور FID منتقل می‌گردند و ترکیبات اشباع آن شناسایی می‌شوند. از ویژگی‌های منحصر به فرد این دستگاه، وجود کروماتوگرافی گازی و دستگاه پیرولیز سنگ در کنار هم می‌باشد که قابلیت و کارایی دستگاه را به مراتب چندین برابر بیشتر از نمونه‌های مشابه ساخته است. ویژگی بارز این دستگاه، تکرارپذیری بالای آن و در نتیجه کسب اطلاعات کاملاً دقیق می‌باشد.





## دستگاه GC/MS/MS



این دستگاه ساخت شرکت هلندی VARIAN می باشد که ترکیبی از دو روش تجزیه‌ای است که گونه‌های یک مخلوط در GC جدا و سپس ساختار هر گونه بوسیله Mass شناسایی می‌شود. این دستگاه از دقیق‌ترین ابزار برای آنالیز نمونه‌های نفتی، هیدروکربن‌ها، ترکیبات آروماتیک و به ویژه biomarker ها است، که کاربرد گسترده‌ای در مطالعات اکتشافی نفت دارد.

مهم‌ترین حسن این دستگاه، تغییر کارایی آن توسط تعویض چند قطعه کوچک است. از کاربردهای مهم دیگر آن می‌توان به شناسایی آب‌های آلوده، شناسایی مواد غذایی، تست‌های دارویی و ... اشاره کرد.

## دستگاه Kerogenatron



این دستگاه ساخت شرکت فرانسوی VINCI می‌باشد و جهت استخراج ماده آلی (کروژن و بایومارکر) موجود در نمونه‌های رسوبی پس از تخریب بافت معدنی آن توسط اسیدهای مختلف نظیر اسید فلوئوریک و اسید کلریک طراحی شده است. دستگاه مجهز به سیستم خنثی‌کننده اسید، سیستم آب، سیستم تصفیه آب و سیستم گرم‌کننده می‌باشد.

بزرگترین حسن این دستگاه، وجود محفظه‌ای است که مانع خروج بخارات اسیدی می‌شود. با استفاده از این دستگاه می‌توان، مواد آلی ۸ نمونه را همزمان استخراج کرد.

## دستگاه FT-IR



این دستگاه ساخت شرکت BRUKER آلمان می‌باشد و برای ناحیه near-infrared طراحی شده است. به دلیل این که اکثر گروه‌های عاملی را می‌توان توسط فرکانس ارتعاشی مشخصه آن گروه تعیین کرد، با بررسی طیف‌های مادون قرمز نمونه‌ها در این دستگاه، براحتی و با اطمینان کامل می‌توان یک ترکیب را به طبقه خودش نسبت داد.

مهم‌ترین مزیت دستگاه، قابلیت آزمایش نمونه‌های مایع و جامد است.





## آزمایشگاه آنالیز مغزه:



### دستگاه Plug Parallel Dressing Machine (Trim Saw)

این دستگاه برای برش نمونه‌های پلاگ با طول‌های برابر و استاندارد، بوسیله دو تیغه دوار موازی استفاده می‌شود.



### دستگاه Precision End-Face Grinder

این دستگاه جهت سنگ‌زنی دو طرف نمونه برش خورده و تسطیح ناهمواری‌های حاصل از برش استفاده می‌شود.

### دستگاه Core Flooding System (CFS700)

قابلیت اساسی این دستگاه انجام سیل‌زنی نمونه‌های مغزه با استفاده از سیالات مختلف است. این قابلیت امکان انجام آزمایش‌های متعددی را در این آزمایشگاه فراهم می‌آورد که از آن جمله عبارتند از :

الف) تزریق تک فاز (از جمله آب، نفت و غیره) و یا گازها (نیتروژن، هوا، متان و ...) به درون نمونه‌های مغزه. این قابلیت امکان اندازه‌گیری و محاسبه تراوایی مطلق نمونه‌ها (Absolute Permeability) را ایجاد می‌نماید .

ب) اندازه‌گیری تراوایی موثر نمونه‌های مغزه نسبت به سیالات مختلف (آب، نفت و یا گاز) در حضور همزمان دوفاز در سنگ متخلخل

ج) امکان اندازه‌گیری و محاسبه منحنی‌های تراوایی نسبی دوفازی (۲) Phase Relative Permeability Curves-برای نمونه‌های سنگ مخزن بصورت دو فاز (در حالت گاز-مایع و یا مایع - مایع) با انجام آزمایش (الف) و انجام مکرر آزمایش (ب) برای چندین درجه اشباع مختلف



قابل ذکر است که روش انجام آزمایش در این دستگاه روش حالت ناپایا (Unsteady State Method) می‌باشد .

د) امکان محاسبه ضریب بازیافت نفت از مغزه‌های نفتی در اثر تزریق سیالات مختلف (آب، گازهای مختلف و یا محلول‌های شیمیایی مختلف) که امکان ارزیابی‌های مربوط به برخی از فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت و مقایسه آنها را فراهم می‌سازد .





ه) اشباع‌سازی نمونه‌ها از نفت و یا آب (Sample Saturation) و یا کاهش درجات اشباع (Sample Desaturation) با جابجایی سیال موجود در حفرات در اثر تزریق سیال جدید

قابل ذکر است که آزمایش‌های مشتمل بر تزریق گاز را می‌توان با استفاده از واحد مکمل مخصوص به این کار یعنی

GIP (Gas Injection Panel) انجام داد. جریان گاز ورودی را تا فشار حداکثر ۱۴۰ بار معادل ۲۰۰۰ پام کنترل و با دقت بالا به نمونه سنگ مغزه تزریق می‌نماید.

-انجام آزمایشات با خود دستگاه تا فشار ۱۰۰۰۰ پام (۶۹۰ بار) و حداکثر دمای  $175^{\circ}\text{C}$  ( $350^{\circ}\text{F}$ ) امکان‌پذیر می‌باشد.

-مغزه‌های قابل آزمایش با این دستگاه در دو قطر مختلف و به شرح زیر می‌باشد:

۱. قطر ۱/۵ اینچ و طول ۱ تا حداکثر ۶ اینچ      ۲. قطر ۴ اینچ و طول ۱ تا حداکثر ۱۲ اینچ

ضمناً این دستگاه ساخت شرکت Vinci فرانسه می‌باشد.

## آزمایشگاه آسیب سازند

### دستگاه Formation Damage System (FDS350)

این دستگاه اساساً با هدف ارزیابی نحوه و میزان نفوذ سیالات تراویده از گل و یا سیمان حفاری، سیالات ورودی به سازند در اثر عملیات تمیزکاری و یا اسیدکاری چاه‌ها، طراحی و ساخته شده است. ارزیابی‌ها بر مبنای اندازه‌گیری تراوایی مطلق نمونه‌ها نسبت به سیالات مختلف و مقایسه آنها در مراحل زمانی مختلف (مثلاً قبل و بعد از تزریق هر سیال خاص) صورت می‌پذیرد. بنابراین از جمله قابلیت‌های این دستگاه عبارتند از:

الف) اندازه‌گیری تراوایی مطلق سنگ مخزن نسبت به مایعات مختلف

ب) آزمایش فیلتراسیون استاتیک گل حفاری

ج) انجام آزمایش نفوذ دینامیک گل حفاری با نرخ چرخش گل حداکثر تا ۶ لیتر در دقیقه که با بهره‌گیری از تجهیزات جانبی و پمپ مخصوص امکان‌پذیر است.

د) ارزیابی نفوذ سیالات مختلف با محاسبه فشار در نقاط طولی مختلف مغزه با استفاده از تپ‌های متعدد.





ه) آزمایش ارزیابی عملکرد اسیدکاری به عنوان یک عملیات تحریک چاه که در شرایط دما و فشار مخزن قابل انجام است.

و) ارزیابی میزان حساسیت سنگ مخزن به آب‌های تزریقی (Compatibility Test)

با این دستگاه پارامترهایی مثل سرعت بحرانی، غلظت نمک، غلظت اسید و موارد مرتبط مشابه قابل ارزیابی و آزمایش هستند. سیالات نفوذ کننده، مشابه با حالت واقعی درون چاه به صورت مماس با سطح نمونه در جریان بوده و محفظه نگهدارنده نمونه به گونه‌ای طراحی شده که هرزروی گل را نیز مشابه‌سازی می‌نماید.



حداکثر فشار قابل اعمال به اطراف نمونه مغزه به عنوان فشار فراز طبقاتی ۱۰۰۰۰ پام و حداکثر فشار منفذی و فشار گل قابل اعمال ۵۰۰۰ پام می‌باشد. حداکثر دمای عملیاتی دستگاه نیز ۱۵۰ درجه سلسیوس است. مغزه نگهدار قادر به نگهداری و انجام آزمایش بر روی نمونه‌های به قطر ۱/۵ اینچ و حداکثر به طول ۴ اینچ است. در صورت ضرورت امکان بکارگیری دستگاه برای اندازه‌های دیگر نیز

وجود دارد. متالورژی تجهیزات به گونه‌ای است که بکارگیری سیالات شیمیایی مختلف متداول در صنعت نفت و مخصوصاً اسیدها را امکان‌پذیر می‌سازد. دستگاه مربوطه ساخت شرکت Vinci فرانسه می‌باشد.

## آزمایشگاه ازدیاد برداشت

### دستگاه Slim Tube

این دستگاه ساخت کشور VINCI فرانسه است که جهت بدست آوردن اطلاعات دینامیکی امتزاجی سیالات در شرایط دما و فشار مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد. منحنی‌های بازیافت نفت با استفاده از داده‌های خامی که در طول انجام آزمایش بدست می‌آیند، رسم می‌شوند. با استفاده از دستگاه سنجش چگالی و گاز کروماتوگرافی متصل به سیستم می‌توان چگالی سیال را در کلیه مراحل انجام آزمایش بدست آورده و نیز انواع گازهای تولیدی را شناسایی کرد. با مطالعه نتایج حاصل می‌توان پارامترهای حداقل فشار امتزاجی (MMP)، حداقل ترکیب امتزاجی (MMC)، فاکتورهای بهینه تزریق، ترکیب گازهای نامرغوب و گازهای غنی شده را اندازه‌گیری نمود. همچنین شرایط لازم برای بازیافت نفت را می‌توان مورد بررسی قرار داد. دستگاه فوق از دستگاه‌های مهم و ضروری جهت انجام پژوهش و مطالعات نفتی محسوب شده به طوری که قبل از تزریق گاز به میدان بایستی عملیات تزریق توسط این دستگاه شبیه‌سازی شود تا درصد بازیافت و سایر پارامترهای تزریق شناسایی شوند. لازم به ذکر است که دستگاه نصب شده در دانشکده نفت یکی از مجهزترین و پیشرفته‌ترین دستگاه‌ها در مراکز پژوهشی صنعت نفت می‌باشد.



## آزمایشگاه حفاری

### دستگاه Mud Cake Characterization Tests

دستگاه تعیین خواص مکانیکی کیک حفاری قادر به تعیین پارامترهای ذیل می باشد :

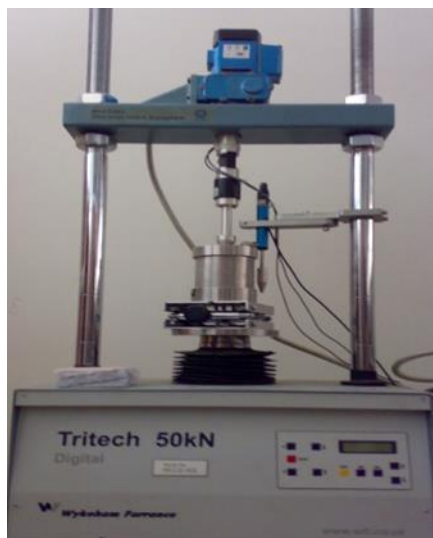
مقاومت فشاری و مدول فشاری کیک حفاری

مقاومت و مدول چسبندگی کیک حفاری

مقاومت پیچش کیک حفاری

مقاومت کششی

ضریب گیرایی کیک حفاری



### دستگاه Membrane Efficiency Measurement Equipment

این دستگاه قادر به اندازه‌گیری میزان قابلیت تولید گل‌های حفاری مختلف می‌باشد. دستگاه به منظور شبیه‌سازی اندرکنش بین شیل و گل حفاری و همچنین نرخ تولید و یا کاهش فشار منفذی در حضور ترکیب‌های مختلف شیل گل حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر اساس آن بهترین سیستم گل حفاری تعیین می‌شود.

انجام آزمایش بر روی شیل‌ها تحت تنش، فشار منفذی و گل حفاری و حرارت متناظر با وضعیت شرایط چاه می‌باشد. نمونه‌های مورد استفاده دارای قطر ۴/۲۵ میلیمتر و طول تقریبی ۱۰ میلیمتر می‌باشند. تمامی این دستگاه‌ها ساخت شرکت CSIRO استرالیا و جدیدترین نسخه در ایران می‌باشند.



## آزمایشگاه مکانیک سنگ

اندازه‌گیری مقاومت سه محوری سنگ‌ها

### (Triaxial Compressive Test):

با این دستگاه می‌توان مقاومت سنگ‌ها تحت تنش‌های سه محوری نمونه‌ها و پارامترهای مقاومتی آن مثل زاویه اصطکاک داخلی و نیروی چسبندگی را تعیین کرد. آزمایش مقاومت فشاری سه محوره بیانگر رفتار واقعی





سنگ در اعماق زمین تحت شرایط تنش‌های سه محوره است. در این روش، برای اعمال تنش سه محوره از سلول هوک که در آن ضمن اعمال یک فشار جانبی هیدرولیکی، نمونه تحت تنش قائم نیز قرار می‌گیرد استفاده می‌شود. در نتیجه انجام این آزمایش تحت تنش‌های جانبی با مقادیر گوناگون، نخست پوش گسیختگی سنگ رسم و بر پایه آن پارامترهای مقاومتی نظیر  $C$  بدست می‌آیند.

### اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری (Uniaxial Compressive Test):

مقاومت فشاری تک محوره یکی از متداول‌ترین آزمایش‌های مکانیک سنگ در آزمایشگاه است.

با این دستگاه می‌توان مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های سنگ و همچنین کرنش‌های طولی و قطری نمونه، مدول الاستیسیته و نسبت پواسون را اندازه‌گیری کرد. آزمایش دستگاه اندازه‌گیری مقاومت برشی سنگ‌ها (جعبه برش):

(Test) در بعضی از مسائل طراحی در مکانیک سنگ همچون پایداری کانسارهای معدنی زیرزمینی، تعیین درجه پایداری یا ضریب اطمینان سطوح شیب‌دار و پله‌ها و ارزیابی پایداری در مقابل لغزش ساختمان‌ها، آگاهی از مقاومت برشی ضروری است.

با این دستگاه می‌توان نمونه‌های سنگ را پس از آماده‌سازی در جعبه برش (Shear Box) تحت تنش برشی و قائم قرار داد و با اندازه‌گیری جابجائی در طول مدت آزمایش و اعمال تنش در راستای افقی و عمودی، مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت برشی سنگ را با رسم منحنی‌های مربوطه نشان داد. آزمایش برشی (Shear)

### دستگاه آزمایش دوام (Slake-Durability Index):

دوام برابر است با درصد وزن مواد باقی مانده از نمونه پس از تر و خشک شدن متوالی و پیوسته به وزن اولیه تعریف شده که بیانگر میزان پایداری سنگ در برابر هوازدگی طبیعی است. هرچه میزان این شاخص بیشتر باشد، مقدار فرسایش، انحلال و خردشدن در برابر هوازدگی کمتر است.

با این دستگاه مقاومت نمونه‌های سنگ در مقابل هوازدگی و فرسایش اندازه‌گیری می‌شود. آزمایش شاخص دوام اغلب، در بررسی پایداری سنگ‌های مصرفی در ساخت موج شکن‌ها و یا سنگ‌هایی که برای بدنه یا کرانه‌های سد استفاده می‌شود برای تعیین میزان دوام و پایداری نمونه‌ای از سنگ تحت مراحل متوالی تر و خشک شدن قابل کاربرد است. شاخص

تست مقاومت (بار) نقطه‌ای: آزمایش بار نقطه‌ای روشی سریع و ساده جهت محاسبه مقاومت نمونه سنگ یا بتن است. وسیله عرضه شده دقیقاً مطابق معیارهای پیشنهادی انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM) تهیه شده است.





## معرفی شرکت

گرد آورنده: سیده فاطمه موسوی

## Exxonmobile

اکسون موبیل شرکت نفت و گاز آمریکایی و دومین شرکت نفتی بزرگ جهان است که دفتر مرکزی آن در شمال شهر ایروینگ، تگزاس قرار دارد. شرکت اکسون موبیل هم اکنون به عنوان سومین شرکت بزرگ جهان بر پایه ی میزان در آمد سالانه شناخته میشود. در سال ۲۰۱۲ این شرکت، در فهرست فوربز جهانی ۲۰۰۰، در رتبه نخست از بزرگترین کمپانی های جهان قرار گرفت. در سال ۲۰۰۷ ذخایر نفتی اکسون موبیل معادل ۷۲ میلیارد بشکه برآورد شد. با توجه به تعداد ۳۷ پالایشگاه نفت این شرکت، که در ۲۱ کشور مستقر میباشند، اکسان موبیل با ظرفیت پالایش روزانه ۶/۳ میلیون بشکه نفت، بزرگترین پالایشگر جهان محسوب می شود. در فهرست شش کمپانی برتر نفتی جهان، که به نام < سوپر میجر > طبقه بندی می شوند، اکسان موبیل، رتبه نخست را به خود اختصاص داده است. محصولات تولید شده توسط شرکت اکسان موبیل، با سه برند < اکسون >، < موبیل > و < سو > عرضه میشوند. بنیانگذار این شرکت نفتی، جان دیویس راکفلر بود.

### Brands:

Exxon: مشتریان این شرکت در ایالات

متحده، برای رفع نیازهای شخصی و صنعتی خود به مواد سوختی، روان سازها و سایر خدمات، از این نام تجاری استفاده می کنند.

Mobil: موبیل به عنوان یک برند جهانی، به

نوآوری و عملکرد برتر شهره است. موبیل به خاطر تکنولوژی پیشرفته مواد سوختی، روان سازها و خدماتی که ارائه می دهد، شناخته شده است.

Esso: مشتریان بین المللی این شرکت، برای رفع

نیازهای شخصی و کاری خود، به مواد سوختی، روان سازها و سایر خدمات، با این نام تجاری سروکار دارند.

### History:

شرکت اکسون موبیل در واقع، وارث اصلی و نسل جدیدی از کمپانی نفتی استاندارد اویل؛ جان دیویس راکفلر میباشد. اکسان موبیل، در تاریخ ۳۰ نوامبر ۱۹۹۹، با ادغام دو شرکت نفتی آمریکایی < اکسون > و < موبیل > تاسیس شد، که در واقع اکسان همان استاندارد اویل نیوجرسی و موبیل نیز استاندارد اویل نیویورک بودند، که با گذشت زمان، تغییر نام دادند.



## Operations

یاری رسانده، بهبود خطوط کاری را تقویت کرده و تکنولوژی‌ها و منابع انرژی جدید و نوظهور را، کاوش می‌کند. شرکت اکسان موبیل، از ۱۰ شرکت مستقل و مجزا تشکیل شده‌است، که در مجموع به سه بخش طبقه‌بندی می‌شوند: بخش بالادستی، بخش پایین دستی، صنایع شیمیایی

اکسون موبیل، نوآوری و تکنولوژی را بکار می‌بندد، تا انرژی و محصولات پتروشیمی را، برای رفع نیاز جهانی در حال رشد، عرضه کند. کارکنان، دانش فنی، توان مالی و دسترسی به بازارهای جهانی، به ایجاد مزیت رقابتی و ظهور فرصت‌های ناب، از اکتشاف میادین گرفته، تا فرصت‌هایی که نیازمند همکاری نزدیک بین واحدهای است، برای شرکت می‌انجامد. برنامه‌های تحقیقاتی مستمر شرکت، به عملیات‌های کاری



## Environmental record

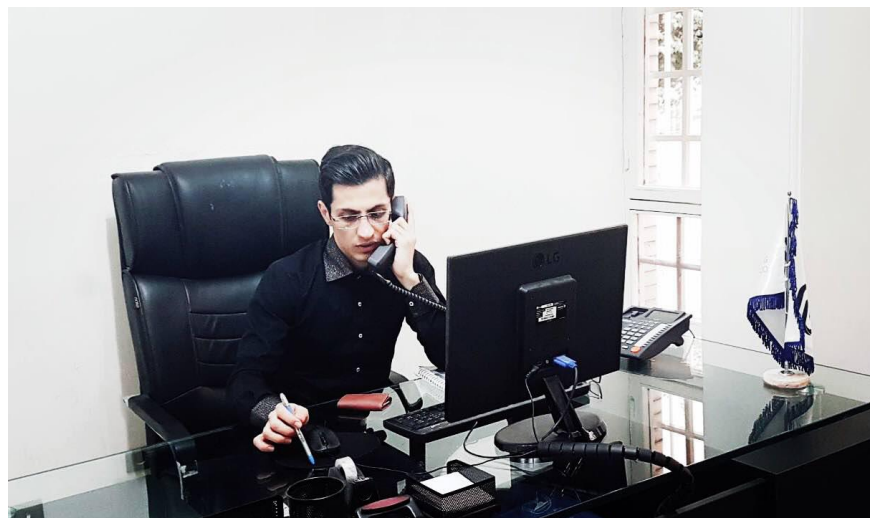
تولیدی و سیستم‌های حمل و نقل و توزیع را برای ارائه ی سوخت‌های پاک، روان سازها و دیگر محصولات با ارزش بالا، به مشتریان بکار گرفته‌است. اکسون موبیل، بزرگترین پالایشگر در دنیاست، که کارخانجاتش در نزدیکی بازارهای اصلی، در سراسر دنیا مستقر می‌باشند. این شرکت در ایالات متحده ی آمریکا هفت پالایشگاه با ضریب ایمنی بالا را اداره می‌کند.

اکسون موبیل، تقریباً در کلیه حوزه‌های انرژی و صنایع پتروشیمی، جایگاه نخست را دارد. این کمپانی، در اکثر کشورهای دنیا، دارای کارخانه بوده، یا به بازرگانی محصولات مشغول است و در شش قاره جهان به اکتشاف نفت و گاز اشتغال دارد. اکسان موبیل و شرکت‌های وابسته به آن، به صورت بین‌المللی فعالیت می‌کنند. وبسایت‌های این شرکت‌ها، اطلاعاتی در خصوص انواع فعالیت‌ها و فرصت‌های موجود در هر حوزه، ارائه می‌دهند. واحد پالایش و پخش شرکت اکسون موبیل، شبکه قدرتمندی از کارخانه‌های



## مصاحبه

مصاحبه با حامد رحیمی مدیر عامل و عضو هیئت مدیره شرکت بهینه حفاری زاگرس



مختلف صحبت کردیم و وارد فضای ساخت تجهیزات در زمینه عملیات حفاری شدیم.

و در ابتدا با دستگاهی که ایده اولیه آن برای پژوهشگاه صنعت نفت بود شروع کردیم. زیرا آن ها دستگاهی نیاز داشتند که بتواند H<sub>2</sub>S Scavenger های مایع را تست کند که در کار های قبلی از فیلتراسیون استفاده می کردند. ما با ایده گرفتن از نمونه های مشابه خارجی دستگاهی را از صفر شروع به ساخت کردیم و در نهایت به دستگاهی برای اندازه گیری میزان یون سولفید محلول در سیال حفاری رسیدیم. که به طور دقیق می تواند کنترل کیفیت مواد H<sub>2</sub>S Scavenger را انجام دهد و این دستگاه هم اکنون نیز در پژوهشگاه صنعت نفت مورد استفاده قرار میگیرد. و بعد از آن شرکت دیاکو انرژی پژوه نزدیک به ده دستگاه

در مورد شرکت خود و طرح اولیه تان برایمان توضیح دهید:

در ابتدا کار ما با شرکت دیاکو انرژی پژوه بود که آن را با یکی از دوستان تاسیس کرده بودیم و فضای کاری در زمینه ساخت دستگاه های اندازه گیری خواص سیال حفاری بود. و دلیل کار ما نیز این بود که در این زمینه هیچ گونه شرکتی نداشتیم. مشابه به این شرکت شرکت هایی مثل پترو اهورا و انرژی توانای کیش بود که دارای دستگاه هایی برای اندازه گیری خواص سیال مخزن بودند.

اما در فضای عملیات حفاری و به خصوص دستگاه های اندازه گیری آزمایشگاهی که در کنار علم مکانیک به علم نفت نیز نیاز است خلأ وجود داشت. و در ابتدا با شرکت های



مختلف دیگر در این زمینه را ساخت و به بازار ارائه داد. علاوه بر شرکت دیاکو انرژی پژوه ما وارد فضای دیگری نیز شدیم. و ایده هایی در زمینه بهینه سازی عملیات حفاری داشتیم زیرا هزینه هایی که برای عملیات حفاری صرف می شد هزینه های زیادی بود و فهمیدیم که این فضا یعنی بهینه سازی عملیات حفاری نیاز به کار دارد و ایده های اولیه نیز در این زمینه وجود داشت مثلاً سرعت عملیات حفاری را با هوش مصنوعی پیش بینی کنیم و در نهایت پارامترها را بهینه کنیم که در این فضا یکی از اساتید نیز (مهندس برادران) کار کرده بودند و دانشجویان زیادی رو هم توی این زمینه پرورش داده بودند. وقتی این ایده را با دوستان مطرح کردیم فهمیدیم این فضا نیاز به تحقیق و کار زیاد دارد تا

### ایده این طرح برای فرد خاصی بود یا گروهی به این ایده رسیدید؟

بتواند به برنامه ای جامع برای بهینه سازی عملیات حفاری برسد. زیرا عملیات حفاری یک عملیات پیچیده است و به علم مدیریتی و جامع تری نیاز دارد. و در این فضا با دو نفر از افرادی که شرکتی به نام بهینه حفاری زاگرس تاسیس کرده بودند اما فعالیتی نداشت، فعالیت شرکت را شروع کردیم. سرمایه گذاری از طرف موسسین اصلی بود و ما بحث مدیریتی و فنی را بر عهده گرفتیم و شرکت رو پیش بردیم و بنده به عنوان مدیرعامل این مجموعه فعالیت رو شروع کردم. و در حال حاضر بنده مدیر عامل و عضو هیئت مدیره شرکت بهینه حفاری زاگرس هستم و در شرکت دیاکو انرژی سهام دار و عضو هیئت مدیره هستم.

در شرکت بهینه حفاری زاگرس کار ما به دست آوردن برنامه ای جامعی جهت بهینه سازی عملیات حفاری و کاهش زمان و هزینه های این عملیات بود که این کار را انجام دادیم. و بعد از به دست آمدن برنامه ای جامع برای مدیریت عملیات حفاری و بهینه سازی زمان و هزینه این عملیات، این برنامه را تبدیل به یک نرم افزار برای بهینه سازی حفاری به نام OptiTech کردیم. و این نرم افزار هیچ مشابه خارجی و ایرانی نداشت و با تحقیق و توسعه و استفاده از دانش روز دنیا به دست آمده است و در حال حاضر هم ثبت عملی کردن طرح چقدر از شما زمان گرفت؟

اختراع بین المللی شده است. ایده دیاکو انرژی با شروع از دستگاه مورد اشاره در بالا بود یعنی از نیاز پژوهشگاه صنعت نفت این ایده استخراج شد، که با همکاری مهندس نصیری ساخت دستگاه را شروع کردیم و ثبت اختراع کردیم. چون ایده اولیه از مهندس نصیری بود ایشان نیز در ثبت اختراع بودند.

مهم ترین چیز داشتن ایده اولیه برای تأمین یک نیاز صنعت است و در کار استارت آپ یکی از مهم ترین چیزها وقت است. زیرا کار جدید است و مثلاً فرایند بهینه سازی عملیات حفاری در ایران وجود نداشت و باید تلاش زیادی کنیم تا مورد قبول صنعت قرار بگیرد و این فرهنگ در صنعت حفاری جا بیفتد که سرویس بهینه سازی عملیات حفاری یک سرویس جداگانه است. حتی رسیدن به این برنامه جامع و تبدیل آن به نرم افزار زمان زیادی برد و در دیاکو نیز هم هزینه زیاد و هم وقت زیادی صرف شد. زیرا ریسک زیادی

وجود دارد. کارآفرینی یک کار صفر و یکی است تا مدتی ممکن است کاملاً صفر باشی اما از یک زمانی به بعد موفقیت کامل شروع می شود و ابتدای کار خیلی سخت است اما این کار شیرین است زیرا در انتها کار برای خودت است. در فضای بهینه سازی حفاری زاگرس چون بهینه سازی نیاز کنیم. و استفاده از سرمایه گذار باعث شد ما فقط زمان روی این کار بگذاریم زیرا کار مهندسی است و هزینه ثابتی نیاز ندارد. و در فضای کار آفرینی باید این را بپذیری که تا مدت ها ممکن است درآمدی نداشته باشی.





## جذب سرمایه گذار به چه شکلی بود؟

و یکی از اعضای این صندوق نوآوری عضو هیئت مدیره شده و تصمیم گیری ها با موافقت آن شخص انجام شده و هزینه ها پرداخت می شود. سرمایه گذار های بیرون نیز به همین شکل اند و هر کس ایده خود را دارد و می تواند ایده را به یک بیزینس پلن تبدیل کند که شامل طرح تکنیکال و پروپوزال مالی و... می شود. و اگر ایده درستی وجود داشته باشد طرح حمایت می شود و سرمایه گذار وارد کار خواهد شد. بدین شکل که ایده شما ارزش گذاری خواهد شد و به میزان ارزش ایده شما، ارزش شرکت شما را خواهد ساخت و نهایتاً سرمایه گذار بخشی از شرکت شما را براساس ارزش گذاری انجام شده خریداری مینماید.

در فرایند سرمایه گذاری ما چندین روش داریم. به عنوان مثال صندوق نوآوری و شکوفایی بستری را برای اجرای این کار فراهم کرده است. فرایند دانش بنیان شدن یک شرکت بیش از یک ماه طول نمی کشد. و اگر ایده شما تایید شود شما به عنوان یک شرکت دانش بنیان می شوید. شرکت دانش بنیان یک سری تسهیلات دریافت می کند. از جمله کار مشارکتی با صندوق نوآوری شکوفایی و این صندوق حمایت ها و تسهیلاتی برای شرکت های دانش بنیان قرار می دهد. اگر طرح شما خوب باشد در طرح مشارکت می کنند و ۴۰ درصد از شرکت شما را گرفته و بدون محدودیت هر مقدار پولی که نیاز باشد در اختیار شرکت قرار می دهند.

## دانشگاه چقدر در عملی کردن طرح از شما حمایت کرد؟

اولین شرکتی که تاسیس کردیم دیاکو انرژی بود که نیاز به حمایت زیادی داشت و اگر دانشگاه این حمایت را انجام نمی داد شاید هیچ وقت این شرکت ادامه پیدا نمی کرد. ولی برای بهینه حفاری زاگرس ما حمایت خاصی از طرف دانشگاه دریافت نکردیم.

دانشگاه برای شرکت دیاکو انرژی مکانی را در مرکز رشد در اختیار ما قرار داد که طرح توجیهی را به آن ها تحویل دادیم و توسط یکی از اعضای دانشکده مهندسی نفت داوری شد و در نهایت در شورای مرکزی دانشگاه تایید شد و ما به عنوان یک شرکت فن اور داخلی در مرکز رشد دانشگاه مستقر شدیم. و به این شرکت ها وام هایی نیز می دهند.

## فرایند ثبت شرکت چگونه بود؟

فرایند ثبت آن و دانش بنیان کردن شرکت و ... فرآیندی سخت نیست اما وقت زیادی میگیرد و نیاز به کار دارد. و باید نیازی از صنعت شناخته شود ایده ایجاد شود تا این نیاز بر طرف شود و محصولی به بازار ارائه شود.

ثبت شرکت کار خاصی نیست و اداره کل ثبت شرکت ها و موسسات غیر تجاری وجود دارد که شرکت می تواند آنجا ثبت شود و نکته مهم ادامه پیدا کردن کار شرکت است.

شرکت یک فضای حقوقی است که ثبت می شود در ابتدا باید بدانیم چرا می خواهیم شرکت ثبت کنیم در ادامه نیز

**کلام آخر:** بدونید می خواهید چه کار کنید و اگر می بینید فضایی که می خواهید آینده خود را بسازید در راستای درسی که میخوانید یا فعالیتی که میکنید نیست خیلی راحت آن را کنار بگذارید. با آرزوی موفقیت برای همه شما عزیزان.



## مصاحبه با مهندس عباس دلاور فارغ التحصیل رشته مهندسی نفت دانشگاه Delfa هلند



### ۱. لطفا خودتون رو معرفی کنید؟

سلام من عباس دلاور هستم؛ دوره ی کارشناسی را در رشته ی مهندسی مخزن در دانشگاه صنعت نفت گذراندم و بعد از آن کارشناسی ارشد را در رشته ی مهندسی نفت از دانشگاه Delfa هلند. در حال حاضر به عنوان مهندس نفت در شرکت BP مشغول به کار هستم.

### ۲. چرا مهندسی نفت را انتخاب کردید؟

می تواند باعث تولید بودجه برای انجام چندین و چند پروژه ی عظیم عمرانی، بهداشتی، آموزشی، تکنولوژی و ... شود. با فعالیت در این صنعت احساس کردم که میتوانم تاثیر زیادی روی محیط اطرافم بگذارم، به همین خاطر این رشته ی دانشگاهی را انتخاب کردم؛ البته امکانات خوب دانشگاه صنعت نفت هم یکی از دلایل بود. از انتخاب این رشته به هیچ عنوان پشیمان نیستم.

به علت اینکه صنعت نفت و به خصوص فعالیت های بالا دستی تاثیر بسیار زیادی در حوزه های دیگر اقتصادی و صنعتی دارد. عدد و رقمی که در این صنعت باهاش کار میشود خیلی بزرگ هستند؛

مثلا تولید سه میلیون بشکه در روز، ذخیره ی ۱۰۰ تریلیون فوت مکعب در یک مخزن یا سرمایه گذاری های چند میلیارد دلاری. انجام یک پروژه ی موفق در صنایع بالادستی

### ۳. از دوران تحصیل خود برای مان بگویید .

هستند. تعداد دانشجویهای ورودی ما تقریباً ۱۸۰ نفر بود در پنج رشته ی مختلف. بخاطر کوچک بودن دانشگاه و کم بودن دانشجویها دوستی و هماهنگی جالبی بین ما وجود داشت؛ مثلاً کنسل کردن کلاس یا به تاخیر انداختن یک امتحان خیلی راحت بود علاوه براین فرصت سوال و جواب بیشتری در کلاس داشتیم.

غیر از درس هم وقتم را با موسیقی و پیاده روی در خیابان امیری آبادان یا کیانپارس اهواز می گذراندم.

من سال ۸۲ وارد دانشگاه صنعت نفت شدم. دو سال اول را در آبادان گذراندم. در این مدت روی دروس پایه و زبان بیشتر کار کردیم.

دو سال آخر لیسانس را در اهواز گذراندم و روی دروس تخصصی و آزمایشگاه کار کردیم. دو سال اول خیلی بیشتر خوش گذشت چون آبادان را بخاطر هیاهوی شهرش خیلی دوست داشتم.

دوستان بسیار خوبی در دانشگاه پیدا کردم که تقریباً همه ی آنها در شرکت های مختلف داخلی و خارجی مشغول به کار



#### ۴- از چه زمانی وارد صنعت نفت شدید؟ و تاکنون با چه چالش هایی روبرو شده اید؟

من بعد از پایان تحصیلات کارشناسی ارشد در نابستان ۱۳۸۸ مشغول به کار شدم. در مدت ۹ سال گذشته بیشتر در میدانهای فراساحلی کار کردم. تا حالا روی سه میدان گازی و سه میدان نفتی کار کردم. چالش اصلی در محیط کار برای من گذار از بحث های تئوریک به کارهای عملی بوده. در دانشگاه معمولاً تمرکز بر یک موضوع خاص در یک مبحث خاص است؛ مثلاً محاسبه ی نفوذپذیری مخزن با استفاده از یک روش خاص، اما در محیط کار هدف انجام موفقیت آمیز یک پروژه است؛ برای انجام یک پروژه به ابزارها و توانایی های متعددی نیاز است که تنها بخشی از این توانایی ها فنی هستند و تنها بخشی از این توانایی های فنی

را میتوان در دانشگاه یاد گرفت. علاوه بر مباحث فنی، داشتن توانایی های رفتاری و ارتباطی هم شرط لازم برای داشتن یک عملکرد موفق در تیم است. چندسال طول کشید تا توانستم تا حدی این توانایی های رفتاری را در محیط کار به دست بیاورم و این شاید بزرگترین چالشی بود که در سال های اخیر داشتم و شاید هنوز هم بعضی وقت ها داشته باشم. (علاوه بر این صحبت نکردن به زبان مادری هم در محیط کار کمی فهماندن منظور به همکاران را سخت میکرد اما با کار بیشتر روی زبان و حفظ اعتماد بنفس میتوان بر این مشکل غلبه کرد)

#### ۵. نظر شما راجع به apply برای تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد یا دکتری چیست؟

به نظر من چیز بدی نیست اما مشروط بر دو چیز: اول داشتن توقعات واقع بینانه؛ و وضعیت کاری در اروپا و آمریکا به خوبی چند سال پیش نیست و متأسفانه ممکن است پس از اتمام تحصیلات به راحتی کار مرتبط و مناسبی پیدا نشود. دوم اینکه ترجیحاً همراه با دریافت کمک هزینه ی تحصیلی از دانشگاه یا نهاد دیگری باشد؛ بعضی از دانشجویها با هدف پیدا کردن کار بعد از فارغ التحصیلی هزینه ی سنگینی برای ۶-خاطره ای از دوران تحصیل خود بگویند.

تحصیلات تکمیلی در خارج از کشور میکنند. اما متأسفانه به واسطه ی شرایط نامناسب بازار کار، موفق نمیشوند در این شرایط به ایران بازگردند و و یا تحصیلشان را در مقطع بالاتر ادامه میدهند که هیچ کدام از این راهکار بد نیستند اما اگر چیزی نباشد که دانشجو از اول به دنبال آن بوده صرف هزینه ی هنگفت از منابع شخصی قابل توجیه نخواهد بود.

خاطرات تلخ و شیرین زیادند. اما چیزی که شاید بشود در نشریه تان چاپ کنید مربوط میشود به امتحانات پایانترم ما در سال ۸۳؛ تصمیم گرفته بودم که دو هفته ی امتحانات خوب درس بخوانم و بعد از پایان آن دوره به رستوران مورد علاقه ام در خیابان امیری آبادان بروم. بعد از گذراندن دو

هفته ی سخت و پایان آخرین امتحان آن دوره، با هیجان تمام به سمت رستوران مورد علاقه ام رفتم و در کمال تعجب دیدم که رستوران بعلت عدم رعایت اصول بهداشتی، پلمپ شده بود. نمیدانستم باید خوشحال باشم یا ناراحت.

#### ۷. چرا تصمیم گرفتید خارج از ایران مشغول به کار شوید. آیا از تصمیم خود راضی هستید؟ در این زمینه چه

توصیه ای برای دانشجویان دارید؟

من در مصاحبه ی شرکت نفت برای بورس دانشجویی پذیرفته نشدم. بر همین اساس احتمال دادم که برای استخدام هم به مشکل بخورم آماده شدن برای کنکور

کارشناسی برای من بسیار سخت و پراسترس بود؛ اینطور فکر میکردم که کنکور کارشناسی ارشد احتمالاً تکرار همان تجربه ی تلخ خواهد بود بعلاوه سطح زبان انگلیسیم و



فرصت های پیشرفت و رقابت سالم وجود دارد . البته نمیگویم که بهترین تصمیم را گرفتیم. چون متأسفانه در ایران کار نکردم و شاید با ماندن در ایران شرایط مالی و کاری بهتری میداشتم.

سابقه ی تحصیلیم در دوره ی کارشناسی بد نبود . به همین خاطر تصمیم گرفتم شانسم را در دانشگاه های خارج از کشور امتحان کنم.

بله از تصمیم خود راضی هستم؛ احساس میکنم که در محیط کاری الانم تمامی توان ذهنیم به کار گرفته میشود و

## ۸. در نهایت چه پیشنهاد و توصیه ای برای دانشجویان دارید؟

توصیه من این است که برای پیشرفت در صنعت نفت و یا هر رشته ی دیگری دو چیز لازم است:

اول صبر و حوصله؛ بعضی از ما انتظار داریم که بعد از فارغ التحصیلی بلافاصله با شرایط کاری و حقوق بالا استخدام شویم . من فکر میکنم چنین رویایی در هیچ جای دنیا میسر نمیشود. ما در این صنعت حدوداً ۴۰ سال مشغول خواهیم بود . میتوانیم در ۱۰ سال اول تلاش کنیم تا مهارتهای فنی و رفتاری مختلف را بدست آوریم و پس از آن درآمد و شرایط کاری خوب خود به خود مهیا میشود.

دوم بحث پشتکار و پیگیری است؛ پروژه های نفتی پروژه های گران ، پیچیده و پر ریسکی هستند . فکر میکنم همه ی ما دوست داریم که پروژه های موفق هم در مدت اشتغالمان در این صنعت انجام دهیم. انجام یک پروژه ی موفق نیاز به مطالعه ی کافی ، درگیر شدن با چالشهای مختلف، هماهنگی بین چندین ارگان و... دارد. بدون داشتن پشتکار و روحیه ی پیگیر هیچ وقت نمی شود یک پروژه را با موفقیت به اتمام رساند.







# مقاله

## ارائه یک روش تحلیلی جدید به منظور مدیریت تخصیص آب به چاه های تزریقی در پروژه های سیلاب زنی

علی چپرلی و یوسف رفیعی

### چکیده

یکی از چالش های عمده صنایع نفت و گاز، تولید آب می باشد که باعث بروز مشکلات زیست محیطی، عملیاتی و اقتصادی فراوانی می شود. از جمله عوامل تولید آب ناخواسته، آب ناشی از تزریق در فرآیندهای سیلاب زنی می باشد که میزان آن در اثر برنامه تزریق نامناسب و عدم مدیریت افزایش می یابد. بنابراین عملیات سیلاب زنی باید به گونه ای مدیریت شود تا میزان ضریب بازیافت و کارایی جاروب افزایش یافته و به تبع آن میزان تولید تجمعی آب کاهش یافته و نفت بیشتری در چاه تولید شود. از جمله عوامل مهم در تصمیم گیری و مدیریت سیلاب زنی مخازن نفتی، مدیریت تخصیص آب می باشد. مدیریت تخصیص به این معناست که به هر چاه تزریقی که ارتباط بهتری با چاه تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم دارد، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد. پیوستگی بین چاه های تزریقی و تولیدی پارامتری بسیار مهم می باشد که مدیریت تخصیص آب را تحت تأثیر قرار می دهد. این پارامتر مشخص می کند که چگونه یک چاه تزریقی و تولیدی با یکدیگر ارتباط دارند. روش های مختلفی برای محاسبه این پارامتر ارائه شده است که در این بین روش ظرفیت-مقاومت مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. در این روش، مخزن، مشابه سیستمی فرض می شود که محرکی از بیرون اخیرا دریافت می کند (نرخ تزریق) و عکس العملی (نرخ تولید) از خود نشان می دهد. در معادلات این روش، دو دسته پارامتر اصلی (مجهول) وجود دارند. دسته اول ثوابت زمانی و دیگری ضرایب وزنی می باشند. با استفاده از تاریخچه تولید چاه ها، پارامترهای مجهول به دست می آیند. پس از یافتن مجهولات، میزان تولید سیال پیش بینی شده است. سپس با تعریف شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص مؤثر تولید نفت الگوریتمی جدید برای محاسبه کسر آب تزریقی اختصاص یافته به هر کدام از چاه های تزریقی ارائه



شده است و این الگوریتم جدید با بهبود تخصیص آب به چاه های تزریقی، باعث افزایش تولید جمعی نفت و کاهش تولید جمعی آب شده است.

#### مقدمه

ظرفیت به مفهوم تراکم پذیری و اثر مقاومت به مفهوم انتقال پذیری بود. به این ترتیب برای هر جفت چاه تزریقی و تولیدی دو ضریب تعیین می شود، پارامتر ضریب وزنی که میزان ارتباط بین چاه ها را مشخص می کند و پارامتر دیگر ثابت زمانی می باشد که میزان ذخیره شدن سیال بین دو چاه را به طور کمی مشخص می کند.

سیارپور نیز با در نظر گرفتن سه حجم کنترل متفاوت، معادلات نیمه تحلیلی مربوط به روش ظرفیت مقاومت را به صورت ریاضی بیان کرد. همچنین مطالعات موردی گسترده ای با استفاده از روش ظرفیت مقاومت بر روی مخازن متعددی صورت گرفت. لیانگ با استفاده از این روش، یک آنالیز حساسیت روی میزبان تولید نفت با در نظر گرفتن قیمت نفت و هزینه تزریق آب انجام داد. همچنین سیارپور چهار مورد مطالعه موردی روی میدان های واقعی انجام داد. او در این بررسی نشان داد که این روش برای مخازن واقعی که به مراتب پیچیده تر از مخازن مصنوعی بوده و ناهمگن هستند، قادر است تطبیق تاریخچه را با دقت بالا انجام دهد. دلشاد نیز در سال ۲۰۰۹ نشان داد که این روش می تواند برای تشخیص شکاف در مخزن شکاف دار طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. لی و همکارانش در سال ۲۰۱۱، کن و کبیر در سال ۲۰۱۲ این روش را جهت محاسبه پیوستگی بین چاه های یک مخزن مورد استفاده قرار دادند و نتایج قابل قبولی را به دست آوردند. ژانگ و همکارانش روش ظرفیت مقاومت را با فیلتر کالمین ترکیب نمودند و پیوستگی بین چاه ها را در یک مخزن لایه ای محاسبه کرد. اشراقی و

یکی از مشکلات عمده صنایع نفت و گاز تولید آب می باشد. تولید آب در چاه های نفت و گاز علاوه بر مشکلات عملیاتی، باعث بروز مشکلات قابل توجه اقتصادی و زیست محیطی می شود. قسمتی از این آب تولیدی ناشی از تخصیص نامناسب آب به چاه های تزریقی و برنامه تزریق نامناسب است. از این رو مدیریت عملیات سیلاب زنی و ارائه یک برنامه تزریق مناسب می تواند به بهبود تخصیص آب به چاه های تزریقی کمک کرده و باعث کاهش تولید آب ناشی از عملیات مدیریت نشده سیلاب زنی گردد. یکی از فاکتور های مهم در مدیریت سیلاب زنی مخازن نفت و گاز، آگاهی از پیوستگی و ارتباط بین چاه های تزریقی و تولیدی می باشد. زیرا با آگاهی از ارتباط بین این چاه ها می توان فرآیند تخصیص آب به چاه های تزریقی را به خوبی کنترل نمود. در واقع با در دست داشتن ارتباط بین چاه های تزریقی و تولیدی می توان طوری آب تزریقی را به هر کدام از چاه های تزریق اختصاص داد که به زمان رسیدن آب و شروع تولید آب در چاه تولیدی به تأخیر افتد.

روش های مختلفی جهت محاسبه میزان ارتباط بین چاه ها ارائه شده است که اکثر این روش ها بر پایه آنالیز داده های تولید و تزریق می باشند. در سال ۲۰۰۲ آلبرتونی و همکاران روشی را تحت عنوان رگرسیون خطی چند متغیره ارائه نمود. در ادامه یوسف و همکارانش از مدل کامل تری استفاده کردند که شامل اثر



نفتی-اممال می شود و میزان پیوستگی بین چاه های این مخزن محاسبه می گردد. سپس الگوریتمی جدید براساس ضریب پیوستگی بین چاه ها و فاکتور هایی از جمله نرخ تولید چاه ها و برش آب در چاه های تولیدی جهت مدیریت تخصیص آب به چاه های تزریقی ارائه می شود.

دارد. همچنین رابطه ۱ را میتوان به صورت گسسته بر حسب زمان همانند رابطه ۲ بیان کرد.

که در آن  $q_D(t_k-1)$  بیانگر نرخ تولید چاه تولیدی قبل از شروع عملیات سیلاب زنی،  $J_p$  شاخص بهره دهی چاه تولیدی  $P$  و  $\frac{\Delta p_{wf,p}^{(k)}}{\Delta t_k}$  بیانگر تغییرات فشار ته چاهی چاه  $p$  در  $\Delta t_k$  بازه زمانی است. عبارت  $t_k-1$  به ترتیب بیانگر زمان تزریق درگام  $k-1$  است.

ارائه الگوریتمی جدید به منظور بهبود تخصیص آب به چاه های تزریقی

جهت بهبود تخصیص آب به چاه های تزریقی، باید به هر چاه تزریقی که ارتباط بهتری با چاه تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم دارد، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد تا حمایت بهتری از چاه های تولیدی به تولید نفت بهتر، توسط این چاه های تزریقی صورت گیرد.

بنابراین با استفاده از پارامتر میزان پیوستگی بین چاه ها که نشان دهنده ارتباط بین چاه ها است و همچنین پارامتر برش آب که نشان دهنده عملکرد چاه های تولیدی می باشد، شاخص های جدیدی تعریف می شود و با استفاده از این شاخص ها به اولویت بندی

همکارانش نیز با استفاده از این روش و ترکیب آن با الگوریتم های بهینه سازی عملیات تزریقی امتزاجی دی اکسید کربن را بهینه سازی نمودند. مطالعات قبلی نشان می دهد که روش ظرفیت-مقاومت نسبت به دیگر روش ها از دقت بیشتری برخوردار است. بنابراین در این مقاله روش ظرفیت-مقاومت بر روی داده های تزریق و تولید یک مدل استاندارد مخزن

### معادلات روش ظرفیت-مقاومت

همان طور که بیان شد سیارپور با در نظر گرفتن سه حجم کنترل متوالی، معادلات تحلیلی مربوط به روش ظرفیت-مقاومت را به صورت ریاضی بیان کرد که در این مقاله از مدل حجم کنترل برابر با شعاع ریزش هر چاه تولیدی استفاده می شود. برای یک میدان که شامل  $N_i$  چاه تزریقی و  $N_p$  چاه تولیدی می باشد، معادله موازنه حجم بر روی شعاع ریزش هر چاه تولیدی اعمال می شود و نرخ تولید هر چاه بر اساس نرخ تزریق، به صورت رابطه ۱ بیان می شود.

$$q_p(t) = \sum_{i=1}^{N_i} f_{ip} I_i(t) - \tau_p \frac{dq_p(t)}{dt} \quad (1)$$

که در آن  $q_p(t)$  بیانگر نرخ تولید چاه تولیدی  $p$  در زمان  $t$  و  $f_{ip}$  بیانگر ضریب وزنی (میزان پیوستگی) چاه تولیدی  $p$  و چاه تزریقی  $i$ ،  $I_i(t)$  بیانگر نرخ تزریق چاه تزریقی  $i$  و بیانگر ثابت زمانی خاه تولیدی  $p$  و عبارت  $\int_{t_k-1}^{t_k} dq_p(t) dt$  بیانگر میزان تغییر نرخ تولید چاه تولیدی  $p$  بر حسب زمان می باشد. هر چه مقدار پارامتر  $f_{ip}$  بزرگ تر باشد، به این معنا است که چاه تزریقی ارتباط و پیوستگی بیشتری با چاه تولیدی  $p$

$$q_p(t_k) = q_p(t_{k-1}) e^{\frac{t_k - t_{k-1}}{\tau_p}} + (1 - e^{\frac{t_k - t_{k-1}}{\tau_p}}) \left( \sum_{i=1}^N f_{ip} I_i^{(k)} - J_p \tau_p \frac{\Delta p_{wf,p}^{(k)}}{\Delta t_k} \right) \quad (2)$$



چاه های تزریقی پرداخته می شود. در واقع این شاخص ها این امکان را فراهم می سازند تا به چاه های تزریقی که ارتباط بهتری با چاه های تولیدی به عملکرد بهتر دارند، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد. این شاخص ها به قرار زیر هستند:

(۱) شاخص تولیدی آب برای جفت چاه های تزریقی و تولیدی

این شاخص بیانگر میزان تولید آب ناشی از سیلاب زنی می باشد و به صورت رابطه ۳ بیان می گردد.

(۳)

$$WPI_{ip} = f_{ip} \times WC_p \times q_p$$

که در آن  $WPI_{ip}$  بیانگر شاخص تولید آب چاه تولیدی  $p$  می باشد که تولید آب آن در اثر ارتباط این چاه با چاه تزریقی  $i$  هست و  $f_{ip}$  بیانگر ضریب وزنی چاه تولیدی  $p$  و چاه تزریقی  $i$  و عبارت  $WC_p$  بیانگر برش آب مربوط به چاه تولیدی  $p$  و  $q_p$  نیز بیانگر نره تولید سیال در چاه تولیدی  $p$  می باشد. هر چه میزان  $WPI_{ip}$  بیشتر باشد، به این معنی است که چاه تزریقی  $i$  با چاه تولیدی با تولید آب بالاتر ارتباط بیشتری دارد.

(۲) شاخص تولید نفت برای جفت چاه های تزریقی و تولیدی این شاخص بیانگر میزان تولید نفت ناشی از سیلاب زنی می باشد و به صورت رابطه ۴ بیان می گردد. این شاخص بیانگر تولید مؤثر نفت از چاه های ، از تفریق ۵ تولیدی می باشد و به صورت رابطه شاخص تولید نفت و شاخص تولید آب برای جفت چاه های تزریقی و تولیدی محاسبه می شود.

$$OPI_{ip} = f_{ip} \times (1 - WC_p) \times q_p$$

(۳) شاخص مؤثر تولید نفت برای جفت چاه های تزریقی و تولیدی این شاخص بیانگر تولید مؤثر نفت از چاه های تولیدی می باشد و به صورت رابطه ۵، از تفریق شاخص تولید نفت و شاخص تولید آب برای جفت چاه های تزریقی و تولیدی محاسبه می شود.

(۴) شاخص مؤثر تولید نفت برای چاه تزریقی این پارامتر که مطابق با رابطه ۶ بیان می شود، بیانگر میزان تولید نسبی نفت در نتیجه تزریق آب از چاه تزریقی  $i$  می باشد و مقادیر مثبت این پارامتر بیانگر ارتباط بهتر چاه تزریقی  $i$  با چاه های تولیدی به عملکرد بهتر و تولید آب کم می باشد.

$$EOPI_i = \sum_{p=1}^{p=N_p} EOPI_{ip}$$

این شاخص بیانگر میزان اثر چاه تزریقی  $i$  بر روی، چاه های تولیدی می باشد و مقادیر بزرگ تر این شاخص نشان دهنده ارتباط بهتر چاه تزریقی به مورد نظر به عملکرد بهتر و تولید نفت بالا و تولید آب کم می باشد و با استفاده از این پارامتر می توان چاه های تزریقی را اولویت بندی نمود تا به چاه تزریقی که ارتباط بهتری با چاه تولیدی با عملکرد بهتر دارد، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد. الگوریتم محاسبه کسر آب تزریقی بهبود یافته از طریق شاخص مؤثر تولید نفت برای محاسبه کسر آب تزریقی بهبود یافته به صورت زیر عمل می گردد:

(۱) محاسبه شاخص مؤثر تولید نفت برای

چاه تزریقی  $i$  با استفاده از رابطه ۶.

(۲) محاسبه شاخص مؤثر تولید نفت کل چاه های

تزریقی که به صورت رابطه ۷ بیان می شود.





تولیدی می باشد و این چاه های تولیدی توسط ۴ چاه تزریقی حمایت می شوند و تزریق در این میدان از ابتدای تولید صورت گرفته است و سفره آبی نیز در این مخزن وجود

ندارد. شکل ۱ موقعیت چاه ها را نشان می دهد. خصوصیات سنگ و سیال مخزن نیز مطابق جدول ۱ می باشد. شرایط نرخ ثابت تولید-سیال (آب و نفت) در سطح-بر روی چاه های تولیدی اعمال شده است، ولی نرخ تولید در شرایط ته چاهی با نرخ تولید در سطح متفاوت می باشد. در واقع بر اثر آزاد شدن گاز حل شده از نفت در سطح، میزان ضریب حجمی تشکیل نفت در گذشت زمان تغییر کرده و در نتیجه میزان تولید ته چاهی در شرایط مخزن و تولید سرچاهی در شرایط استاندارد (سطح) متفاوت خواهد بود و علی رغم اینکه تولید در شرایط سطحی ثابت است، تولید در شرایط ته چاهی روند نزولی دارد.

جدول ۱ خواص سنگ و سیال

| مقدار          | خواص                      |
|----------------|---------------------------|
| ۳۰ API         | چگالی نفت                 |
| ۵۰۰ SCF/STB    | نسبت نفت به گاز           |
| ۰/۰۰۰۰۰۳ 1/psi | تراکم پذیری               |
| ۰/۲-۰/۲۵       | تخلخل                     |
| ۲۰۵۴ Psia      | فشار نقطه حباب            |
| ۲۰ × ۱۵ × ۴    | تعداد بلوکها در شبیه سازی |
| ۴۰۰ Psia       | فشار اولیه مخزن           |
| ۲۲-۲۳۰ md      | نفوذپذیری                 |

همچنین نرخ تزریق کلیه چاه های تزریقی با یکدیگر برابر می باشد. شکل ۲ تاریخچه ۲۰ سال تولید و تزریق در شرایط ته چاهی برای هر یک از چاه ها و میزان برش آب در هر چاه تولیدی پس از ۲۰ سال را نشان می دهد.

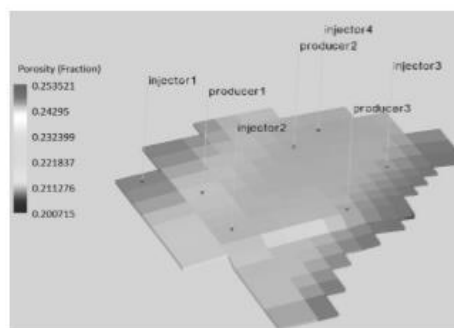
$$EOPI_T = \sum_{i=1}^{i=N_i} EOPI_i \quad \gamma$$

(۳) محاسبه کسر آب تزریقی برای هر چاه تزریقی که مطابق ب رابطه ۸ است.

$$WIA_i = \frac{EOPI_i}{EOPI_T} \quad \delta$$

## مطالعه موردی

روش ظرفیت-مقاومت بر روی یک مخزن شبیه سازی شده توسط نرم افزار ریویسل از مجموعه نرم افزارهای مدل سازی یکپارچه-تولید-اجرا خواهد شد. این مدل شامل چهار چاه تزریقی عمودی و سه چاه تولیدی عمودی می باشد که مدلی استاندارد برای مطالعه پروژه های تزریق-آب و سیلاب زنی می باشد که توسط شرکت پترولیوم اکسپرت ارائه شده است. مخزن مورد مطالعه در حال تولید نفت از طریق ۳ چاه



شکل ۱ مرزهای مخزن و موقعیت چاهها در آن (رنگها بیانگر توزیع تخلخل در مخزن می باشد)

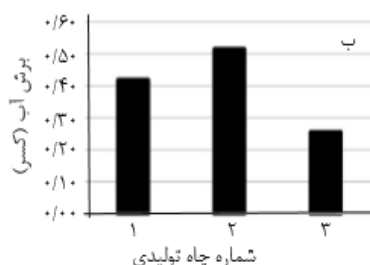
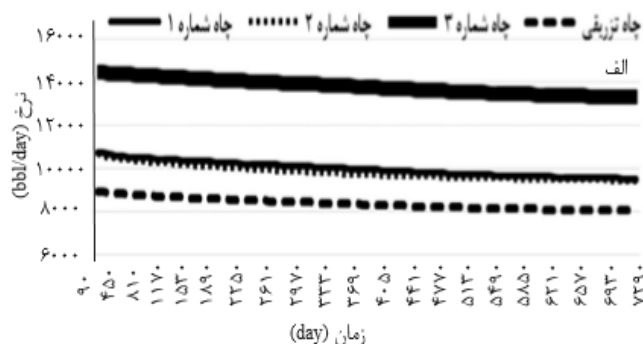
همچنین میزان تولید آب در چاه های تولیدی بر اثر تزریق آب می باشد و تولید آب همزاد نیز بسیار ناچیز است. میزان کل تزریق سیال در چاه های تزریقی نیز برابر با میزان تولید در شرایط ته چاهی می باشد و بنابراین میزان تزریق نیز در شرایط ته چاهی روبه کاهش خواهد بود.



## نتایج و بحث

ضریب وزنی چاه های تزریقی\_تولیدی و ثوابت زمانی چاه های تولیدی می باشد. پس از تطبیق تاریخچه و به دست آوردن پارامترهای روش ظرفیت-مقاومت، نرخ تولید-د چاه های تولیدی برای ۱۰ سال دوم پیش بینی شده اند و با تاریخچه تولید مربوط به این ۱۰ سال مقایسه شده اند. شکل ۴ بیانگر میزان خطای این روش می باشد. همان طور که مشاهده می کنید، این روش به موفقیت توانسته است نرخ تولید چاه ها را پیش

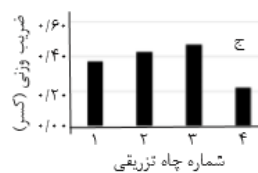
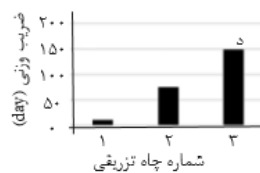
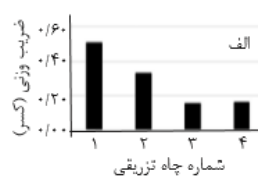
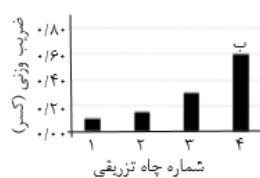
داده های ۱۰ سال اول تاریخچه تولید و تزریق، به عنوان داده های ورودی در روش ظرفیت-مقاومت، مورد استفاده قرار گرفته اند. در طی این ۱۰ سال، موج افت فشار به تمام مرزهای مخزن رسیده است و پدیده میان شکن در چاه های تولیدی رخ داده است. معادله ۲ جهت محاسبه پیوستگی بین چاه های تزریقی و تولیدی به عنوان مقادیر اولیه ضریب وزنی در نظر گرفته



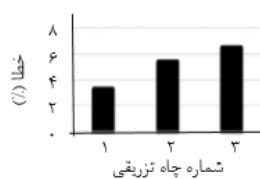
شکل ۲ الف) داده های ۲۰ سال تولید و تزریق چاه ها، ب) مقادیر برش آب چاه های تولیدی پس از ۲۰ سال

بینی کنده و میزان خطای این روش بسیار پایین بوده و روشی قابل قبول جهت محاسبه پیوستگی بین چاه ها است.

شده اند و با حداقل کردن اختلاف بین مقادیر محاسبه شده از طریق قرار دادن این مقادیر اولیه در رابطه ۲ و داده های واقعی توسط نرم افزار اکسل، مقادیر واقعی این پارامتر ها محاسبه شده اند. شکل ۳ بیانگر



شکل ۳ الف) ضریب وزنی چاه شماره ۱، ب) ضریب وزنی چاه شماره ۲، ج) ضریب وزنی چاه شماره ۳  
د) ثابت زمانی چاه‌های تولیدی



شکل ۴ خطای روش ظرفیت-مقاومت در مقایسه با ۱۰ سال دوم تاریخچه تولید و تزریق



بهبود تخصیص آب به چاه های تزریقی، مقادیر محاسبه شده کسر آب تزریقی ( شکل ۵-الف) به مدت ۲۰ سال به هر یک از چاه های تزریقی اعمال شده اند و با حالتی که در آن نرخ تزریق همواره چاه های تزریقی برابر می باشد، مورد مقایسه قرار گرفته اند. نتایج این دو حالت در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. برای حجم برابر از میزان آب تزریقی در دو حالت بهبود یافته و غیر بهبود یافته، روش ارائه شده در ۲۰ سال آینده منجر به افزایش تولید تجمعی نفت به میزان ۳۲/۶ میلیون بشکه و کاهش برش آب به میزان ۱۶/۳ درصد شده است.

اکنون که پیوستگی بین چاه ها محاسبه شده است و اعتبار روش مورد بررسی قرار گرفته است، با استفاده از داده های برش آب در شکل ۲، مقادیر مربوط به ضریب پیوستگی بین چاه ها در شکل ۳ و الگوریتم جدید ارائه شده، مقادیر شاخص های بیان شده در معادلات ۳ تا ۶ محاسبه شده اند و این مقادیر بر حسب بشکه در روز برای هر یک از چاه ها مطابق با جدول ۲ می باشد. همچنین میزان آب تزریقی به صورت کسری از کل آب تزریقی و شاخص مؤثر تولید نفت بر حسب بشکه در روز برای هر یک از چاه های تزریقی در شکل ۵ نمایش داده شده است. جهت

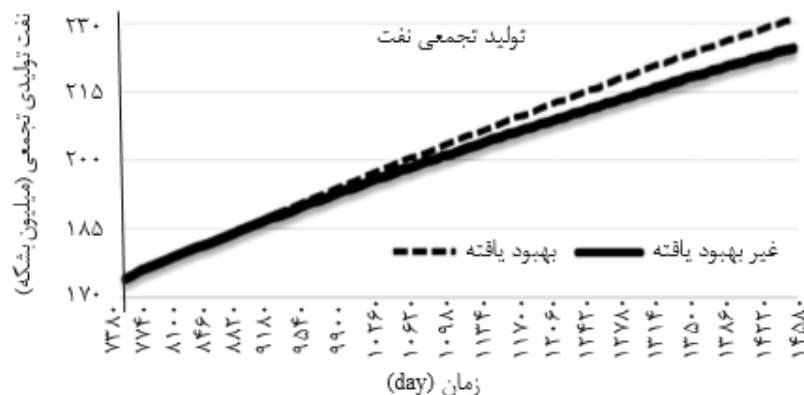
جدول ۲ مقادیر شاخص تولید آب، شاخص تولید نفت و شاخص مؤثر تولید نفت برای چاه ها

| متغیر       | چاه تولیدی شماره ۱ | چاه تولیدی شماره ۲ | چاه تولیدی شماره ۳ |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $WPI_{1p}$  | ۲۰۶۴/۲۱            | ۵۰۸/۹۰             | ۱۱۵۸/۷۲            |
| $WPI_{2p}$  | ۱۳۳۵/۶۶            | ۷۶۳/۳              | ۱۳۴۶/۶۲            |
| $WPI_{3p}$  | ۶۰۷/۱۲             | ۱۵۲۶/۷۲            | ۱۴۷۱/۸۹            |
| $WPI_{4p}$  | ۶۴۷/۵۹             | ۳۰۵۳/۴۵            | ۶۸۸/۹۷             |
| $OPI_{1p}$  | ۲۵۲۵/۷۶            | ۳۹۱/۰۹             | ۳۲۸۱/۲۷            |
| $OPI_{2p}$  | ۱۶۳۴/۳۳            | ۵۸۶/۶۳             | ۳۸۱۳/۳۷            |
| $OPI_{3p}$  | ۷۴۲/۸۷             | ۱۱۷۳/۲۷            | ۴۱۶۸/۱۰            |
| $OPI_{4p}$  | ۷۹۲/۴۰             | ۲۳۴۶/۵۴            | ۱۹۵۱/۰۲            |
| $EOPI_{1p}$ | ۴۶۱/۵۷             | -۱۱۷/۸۱            | ۲۱۲۲/۵۵            |
| $EOPI_{2p}$ | ۲۹۸/۶۶             | -۱۷۶/۷۲            | ۲۴۶۶/۷۴            |
| $EOPI_{3p}$ | ۱۳۵/۷۵             | -۳۵۳/۴۵            | ۲۶۹۶/۲۱            |
| $EOPI_{4p}$ | ۱۴۴/۸۰             | -۷۰۶/۹۱            | ۱۳۶۲/۰۵            |

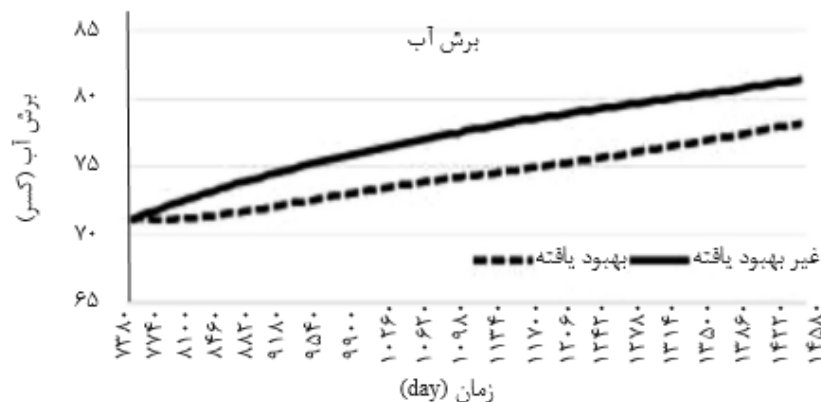




شکل ۵ الف) کسر آب تزریقی اختصاص یافته به هر چاه تزریقی، ب) شاخص موثر تولید نفت برای هر یک از چاه‌های تزریقی



شکل ۶ مقایسه تولید تجمعی نفت در دو حالت بهبود یافته و غیر بهبود یافته



شکل ۷ مقایسه برش آب در دو حالت بهبود یافته و غیر بهبود یافته

## نتیجه گیری

۲- با مدیریت تخصیص آب به چاه‌های تزریقی، عملیات سیلاب زنی به خوبی مدیریت شده و میزان برش آب کاهش یافته و بازیافت نهایی افزایش می‌یابد.

۱- روش ظرفیت-مقاومت روش-سی-سریع و کم-هزینه است و تنها با اطلاعات مربوط به تاریخچه تولید و تزریق توانسته است یک ارزیابی اولیه از مخزن در اختیار قرار داده و به خوبی پیوستگی بین چاه‌ها را محاسبه نماید.



چاه های تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم است.

۵- الگوریتم ارائه شده جهت بهبود تخصیص آب به چاه های تزریقی، باعث افزایش قابل توجه تولید تجمعی نفت و کاهش قابل توجه تولید تجمعی آب شده است که روشی قابل قبول و سریع جهت بهبود عملکرد پروژه های سیلاب زنی است.

۳- آب در چاه های تولیدی و پیوستگی بین چاه ها است.

۴- پارامتر جدید تعریف شده تحت عنوان شاخص مؤثر تولید نفت برای یک چاه تزریقی تابعی از نرخ تولید، ضریب پیوستگی بین چاه ها و برش آب می باشد و این شاخص بیانگر ارتباط بهتر چاه تزریقی مورد نظر با

### علائم و نشانه ها

$Q_p$ : نرخ تولید سیال چره تولیدی  $p$  بر حسب (bbl/day)

$t$ : زمان بر حسب (day)

$T_p$ : ثابت زمانی چاه تولیدی  $p$  بر حسب (day)

$\Delta P_{wf}$ : تغییرات فشار ته چاهی چاه تولیدی  $p$  بر حسب psi

$I_i$ : نرخ تزریق چاه تزریقی  $i$  بر حسب (bbl/day)

$J_p$ : ضریب بهره دهی چاه تولیدی  $p$  بر حسب (bbl/psi.day)

$f_{ip}$ : ضریب پیوستگی چاه تزریقی  $i$  با چاه تولیدی  $p$

$WPI_p$ : شاخص تولید آب بر حسب (bbl/day) در چاه تولیدی  $p$  که در ارتباط با چاه تزریقی  $i$  می باشد

$WC_p$ : برش آب در چاه تولیدی  $p$  بر حسب (کسر)

$OPI_p$ : شاخص تولید نفت بر حسب (bbl/day) در چاه تولیدی  $p$  که در ارتباط با چاه تزریقی  $i$  می باشد

$EOPI_i$ : شاخص مؤثر تولید نفت برای چاه تزریقی  $i$  بر حسب (bbl/day)

$WLA_i$ : کسر آب تزریقی اختصاص یافته به چاه تزریقی  $i$



## مراجع:

Hibbeler J. C. and Rae P. J., "The environmental benefits of reducing unwanted water production," SPE Asia Pacific Health, Safety and Environment Conference and Exhibition, Kuala Lumpur, Malaysia, 2005.

[2]. Albertoni A. and Lake L. W., "Inferring interwell connectivity only from well-rate fluctuation in waterfloods," SPEREE, Vol .6, No. 1, pp. 6-16, 2002.

[3]. Yousef A. A., Gentil P. H., Jensen J. L. and Lake L. W., "A capacitive model to infer interwell connectivity from production and injection-rate fluctuation," SPEREE, Vol. 9, No. 5, pp. 630-646, 2005.

[4]. Sayarpour M., Zuluaga E., Kabir C. S. and Lake L.W., "The use of capacitive resistive model for rapid estimation of waterflood performance," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Anaheim, California, 2007.

[5]. Liang X., Weber D. B., Edgar T. F., Lake L. W., Sayarpour M. and Yousef A. A., "Optimization of oil production based on capacitive model of production and injection rates," Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, Dallas, Texas, 2009.

[6]. Sayarpour M., Kabir C. S. and Lake L. W., "Field application of capacitive-resistive models in waterfloods," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, 2009.

[7]. Delshad M., Bastami A. and Pourafshari P., "The use of capacitive-resistive model for estimating of fracture distribution in the hydrocarbon reservoir," SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium, Khobar, Saudi Arabia, 2009.

[8]. Lee K. H., Ortega A., Ghareloo A. and Ershaghi I., "An active method for characterization of flow units between injection/production wells by injection-rate design," SPEREE., Vol.14, No. 4, pp. 433-445.

[9]. Can B. and Kabir C. S., "Simple tools for forecasting waterflood performance," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX, 2012.

[10].

Zhang Z., Li H. and Zhang D., "Water flooding performance prediction by multilayer capacitance-resistive models combined with the ensemble Kalman filter," J. Pet. Sci. Eng., Vol. 127, pp. 1-19, 2015.

[11]. Eshraghi S. E., Rasael M. R. and Zendeboudi S., "Optimization of miscible CO<sub>2</sub> EOR and storage using heuristic methods combined with capacitance/resistance and Gentil fractional flow models," J. Nat. Gas Sci. Eng., Vol. 32, pp. 304– 318

[12]. Rafiei Y., "Improved oil production and waterflood performance by water allocation management," Ph. D Thesis, Heriot Watt university, Edinburgh, Scotland, 2014



## مروری بر فرایند فیلتراسیون گل حفاری در چاه و روابط آن

یاسر ارجمند، بابک لطیفی، محسن ده ودار

### خلاصه

در طی یک عملیات حفاری فراتعادلی، بدلیل اختلاف فشار بین گل حفاری و سازند با تراوایی بالا، بخشی از پساب گل به درون سازند متخلخل نفوذ کرده و باعث کاهش تراوایی در اطراف چاه خواهد شد، که نوعی آسیب سازند محسوب می شود. به این پدیده فیلتراسیون گل حفاری گویند. در بعضی از موارد فرایند فیلتراسیون شدید گل حفاری منجر به ایجاد هرزروی گل در داخل سازند می شود که یکی از موارد جدی آسیب سازند محسوب می شود. کنترل پدیده فیلتراسیون و حفظ آن در حالت بهینه جهت جلوگیری از هرزروی، لازمه یک عملیات حفاری موفق می باشد. در این پژوهش مفاهیم کلی تئوری فیلتراسیون، عوامل تاثیر گذار بر آن، روش ها و روابط موجود جهت اندازه گیری فیلتراسیون و شبیه سازی آن، مورد بررسی و جمع بندی قرار گرفته است.

### مقدمه

این بخش می باشد. در حین حفاری لایه های متخلخل و تراوا، قسمت مایع گل حفاری در اثر حرکت در فضای حلقوی و تماس با دیواره چاه، بر مبنای خواص رئولوژی و فیزیکی خود، به داخل سازند نفوذ کرده و قسمت جامد گل که توانایی عبور از فضای متخلخل را نداشته باشد بر روی دیواره چاه تجمع می یابد. پساب عبوری را فیلترات گل و قطعه ظخیم تجمع یافته بر روی دیواره چاه را کیک گل می نامند. به این فرایند که منجر به ورود ناخواسته پساب گل حفاری به داخل سازند می شود فیلتراسیون گل می گویند. فیلتراسیون گل بسته به خواص گل و نوع سازند در حال حفاری تواند متغیر باشد. اندازه گیری میزان فیلترات گل و مقابله با آن تا حد امکان امری ضروری جهت جلوگیری از آسیب سازند و یا کاهش آن می باشد.

هرگونه حرکت ناخواسته سیال بین چاه و سازند یک نوع آسیب سازند به حساب می آید. آسیب سازند ایجاد شده می تواند در غالب یک ضریب پوسسته یا افت فشار اضافی در داخل سیستم باشد. کنترل عوامل آسیب سازند در حین عملیات حفاری، امری ضروری می باشد. یکی از عوامل ایجاد آسیب سازند در حین حفاری چاه، ورود ناخواسته سیال حفاری به داخل سازند متخلخل می باشد گل حفاری رایج در چاه های نفت و گاز شامل سه بخش مایع، جامد و گاز می باشد. در بسیاری از موارد بخش گازی گل حفاری ناچیز و یا صفر می باشد. بخش جامد گل به طور عمده شامل افزایه های کنترل وزن گل و یا خرده های حفاری موجود در داخل آن می باشد. قسمت مایع گل حفاری عمده ترین بخش آن می باشد که خواص گل، عملکرد و رفتار آن تابع

تئوری فیلتراسیون استاتیک



$$\frac{Q_c}{Q_w} = \frac{1-x}{x}$$

(۱)

و ضخامت کیک  $h$  بر واحد سطح کیک برابر خواهد بود با :

$$h = \frac{1-x}{x} Q'_w$$

$$Q'_w = Q_w / A_m$$

(۲)

$$\frac{dq}{dt} = \frac{kP}{\mu h}$$

(۳)

قانون داری :

فیلتراسیون استاتیک هنگامی رخ می دهد که گل در حال گردش نباشد و کیک گل بدون ورود به سازند شروع به رشد کردن کند و فیلتراسیون دینامیک هنگامی رخ می دهد که گل در حال گردش است و رشد کیک گل در چاه با حرکت فرساینده ی حاصل از عبور گل محدود می شود. نرخ فیلتراسیون دینامیک بسیار بیشتر از مقدار استاتیک آن است و بیشتر فیلترات های نفوذکننده در سازندهای زیر سطحی در شرایط دینامیکی رخ می دهند.

اگر یک واحد حجمی از یک سوسپانسیون پایدار از جامد از یک لایه ی تراوا عبور کند  $X$  را حجم فیلترات در نظر بگیریم ، آنگاه  $1-X$  حجم کیک ( ذرات جامد به همراه مایع ) روی لایه رسوب خواهد کرد. بنابراین اگر  $Q_c$  و  $Q_w$  حجم فیلترات :

$k$  = تراوایی - داری  $P$  = اختلاف فشار - اتمسفر  $h$  = ضخامت - سانتی متر  $q$  = حجم فیلترات - سانتی متر مکعب  $t$  = زمان - ثانیه  $\mu$  = ویسکوزیته - سنتی پویز

بنابراین :

$$\frac{dq}{dt} = \frac{kP}{\mu Q_w} \times \frac{x}{1-x}$$

(۴)

پس از انتگرال گیری :

$$Q_w^2 = \frac{2kP}{\mu} \times \frac{Q_w}{Q_c}$$

(۵)

اگر سطح کیک گل برابر  $A$  باشد :

$$Q_w^2 = \frac{2kPA^2}{\mu} \times \frac{Q_w}{Q_c} t$$

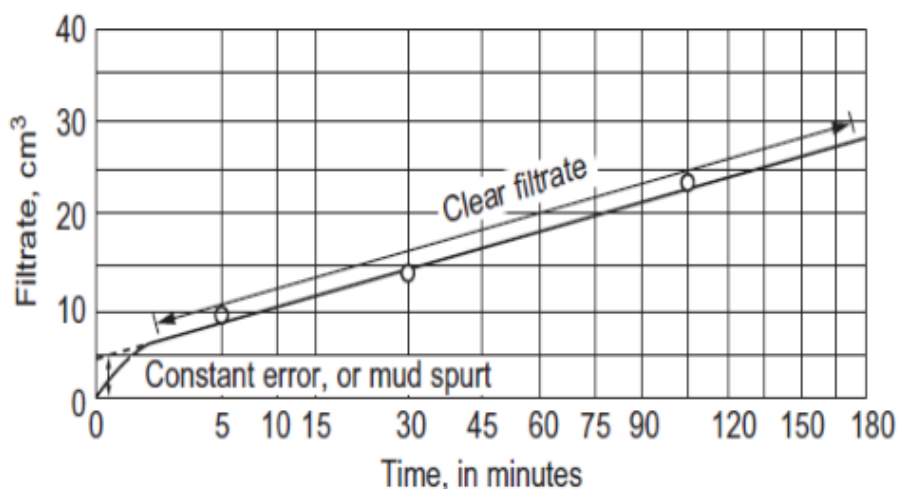
(۶)





## رابطه ی بین حجم فیلترات و زمان

لارسن (۱۹۳۸) متوجه شد اگر گل در یک ورق در دما و فشار ثابت تشکیل فیلترات بدهد، با متناسب خواهد شد  $Q_w$  با جذر  $t$  متناسب خواهد بود. با خطای ناچیز. با در نظر گرفتن مورد فوق برای یک گل معین  $k$  و  $Q_w/Q$  در معادله (۶) با گذشت زمان ثابت می ماند. اگرچه این موضوع برای گل های دیگر الزاماً صادق نیست اما برای اهداف کاربردی به اندازه ی کافی مناسب و اساسی برای تفسیر مکانیک فیلتراسیون استاتیک می باشد. (von Engelhardt and schindewolf 1952) شکل زیر نمودار تجمعی حجم فیلترات بر حسب زمان را نمایش می دهد. عرض از مبدا روی محور  $y$  خطای صفر نامیده شده است. معمولاً این خطای صفر جهش گل نامیده می شود که عموماً بدلیل تمایل ذرات هم اندازه تر گل برای عبور از کاغذ فیلتر تا منافذ بسته شوند، می باشد. در اینجا فقط فیلترات بیان شده و منحنی خطی شده است. در اکثر گل های حفاری خطای صفر کوچک است و اغلب نادیده گرفته می شود.



شکل ۱- رابطه ی حجم فیلترات بر حسب مجذور زمان [3]



اما هنگامی که فیلتراسیون در سنگ متخلخل رخ می دهد میتواند اهمیت پیدا کند. برخی گل های حفاری درجا کاغذ فیلتر را تقریباً پر می کنند، بطوریکه خطای صفر منفی می شود. برای یک فشار روابط تجربی لارسن به صورت زیر است:

بنابراین خواص فیلتراسیون برای گل های گوناگون که با اندازه گیری حجم تجمعی فیلترات می توان ارزیابی کرد در زمان و شرایط استاندارد. ( شرایط تعریف شده توسط API) مطابق زیر است:

زمان: ۳۰ دقیقه و فشار: ۱۰۰ پام و سطح مقطع کیک: تقریباً ۷ اینچ مربع

حجم فیلترات ر ۳۰ دقیقه توسط  $Q_w$  مشاهده شده در زمان  $t_1$  را می توان توسط معادله ی زیر پیش بینی نمود:

$$Q_{w30} - q_o = (Q_{w1} - q_o) \frac{\sqrt{t_{30}}}{\sqrt{t_1}} \quad (9)$$

$$Q_w - q_o = A\sqrt{C \times t} \quad (7)$$

که  $q_a$  خطای صفر است و  $C$  ثابتی است از فرمول زیر:

$$C = \frac{2kP}{\mu} \frac{Q_w}{Q_r} \quad (8)$$

برای مثال  $t_1 = 7/5$  بر حسب دقیقه اندازه گیری می شود و حجم فیلترات برابر با ۲ می شود.

### رابطه ی فشار و حجم فیلترات

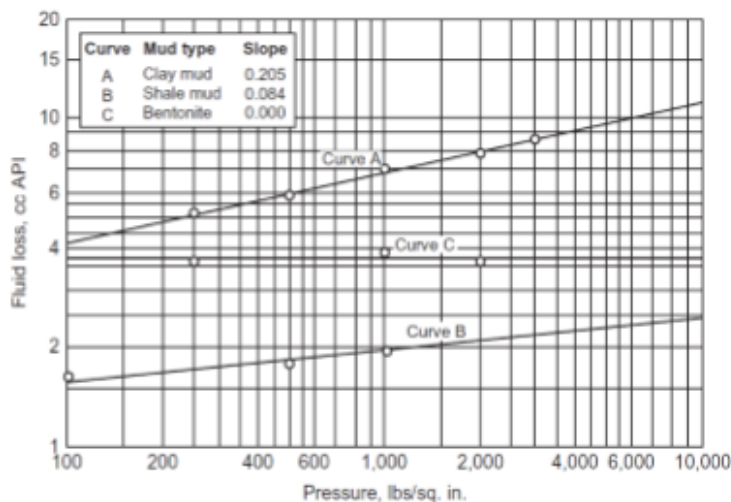
طبق معادله (۷)  $Q_w$  باید با جذر  $p$  متناسب با شد و نمودار  $\log-\log$  برحسب  $p$  باید خطی با شیب ۰.۵ باشد، با ثابت در نظر گرفتن تمامی فاکتورها. در واقع این شرایط هیچگاه رخ نمی دهد چون کیک های گل بزرگتر یا کوچکتر از آن هستند که تراکم پذیر باشند، بنابراین تراوایی ثابت نیست اما با افزایش فشار کاهش می یابد. بنابراین طبق رابطه ی (Larsen 1938 ; von

$$Q_w \propto P^x \quad \text{Engelhardt and Schindewolf 1952) داریم:}$$

(۱۰)



مقدار  $X$  برای هر گل متفاوت است اما همیشه کمتر از ۰.۵ است همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است.  $X$  بستگی زیادی به اندازه و شکل ذرات تشکیل دهنده ی کیک دارد. کیک های بنتونیتی برای مثال بسیار تراکم پذیرند و  $X$  برابر صفر و  $Q_w$  در هرفشاری ثابت است. علت این رفتار این است که بنتونایت تقریباً به طور کامل از ذرات به هم اندازه-پخش شده ی خوب تقسیم شده ی مونتموری نایت تشکیل شده است که با افزایش فشار تمایل به موازی قرارگرفتن دوه دو در لایه دارند.



شکل ۲- رابطه ی هرزروی بر حسب فشار [3]

بنابراین تراوایی کیک گل به میزان بیشتری کاهش می یابد. با گل های رسی حفاری دیگر، به صورت تجربی مشاهده شده است که تابع  $X$  از صفر تا ۰.۲ تغییر می کند، بنابراین با نرخ فیلتراسیون ظاهر می شود که نسبتاً با تغییرات فشار تغییری نمی کند.

اوتمانس (۱۹۶۳) یک معادله ی نظری که ممکن است در پیش بینی تغییرات حجم فیلترات با تغییر فشار فیلتراسیون به کار برود ارائه داد، اگر تراکم پذیری کیک مشخص باشد. در مورد گل حفاری پایه روغنی، فاکتورهای دیگری نقش بازی می کنند: افزایش در ویسکوزیته ی فیلترات (معمولاً گازوییل) با افزایش در فشار مطلق (سیمسون ۱۹۷۴) که تمایل دارد هدر رفتن فیلترات را طبق معادله ی زیر کاهش دهد.

$$Q_{w1} = Q_{w2} \sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}}$$

(۱۱)

که مقادیر  $\mu_1$  و  $\mu_2$  مقادیر ویسکوزیته در فشارهای فیلتراسیون در آزمایش ها برای  $Q_{w1}$  و  $Q_{w2}$  می باشد.

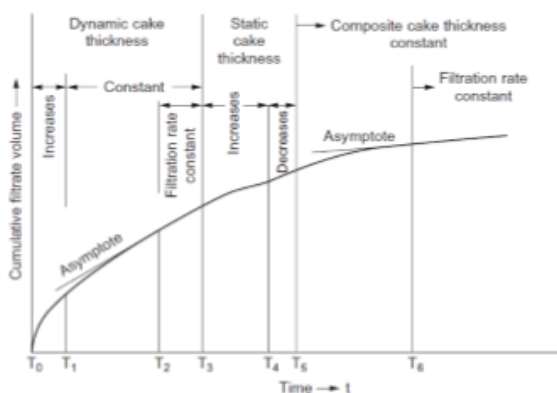


در فیلتراسیون دینامیک لایه ی سطحی نرم که در کیک استاتیک وجود دارد، از بین می رود، زیرا سطح کیک ساییده می شود که به میزان تنش برشی که نیروی هیدرودینامیک گل نسبت به مقاومت برشی لایه های بالایی کیک اعمال می کند بستگی دارد. از زمان  $T_0$  تا  $T_1$  نرخ فیلتراسیون کاهش می یابد و ضخامت کیک افزایش می یابد. از  $T_1$  تا  $T_2$  ضخامت کیک ثابت باقی می ماند اما نرخ فیلتراسیون به صورت پیوسته کاهش می یابد. چون طبق رابطه Outmans (۱۹۶۳) فیلتر کیک همچنان فشرده می شود (بنابراین، نرخ ته نشینست برابر با نرخ فشرده گی می باشد). یک توضیح دیگر توسط Prokop (1952) بیان شد که بیان می کرد تراوایی کیک بخاطر عملکردهای متفاوت فرسایشی مسیر گل و سطح سوبات از جای کنده شده ی کیک کاهش می یابد. در زمان  $T_2$  شرایط تعادل برقرار است و نرخ فیلتراسیون و ضخامت کیک گل ثابت می ماند. نرخ فیلتراسیون در معادله ی زیر آمده است:

$$Q = \frac{(\tau/f)^{-u+1} K_1}{(-u+1) \mu \delta}$$

(۱۲)

$K_1$  تراوایی کیک گل در فشار ۱ پام است،  $\delta$  تنش برشی اعمال شده توسط گل در حال عبور،  $f$  ثابت اصطکاک داخلی کیک در لایه ی سطحی است.  $\delta$  ضخامت کیک تحت فرسایش و  $(-u+1)$  تابعی از تراکم پذیری کیک است.



شکل ۳- نسبت فیلتراسیون استاتیک و دینامیک در درون چاه [4]

ضخامت  
کیک گل  
در آزمایش  
فیلتراسیون

فرض می شود ضخامت کیک متناسب با فیلترات است، بنابراین کافیس فقط مقدار فیلترات تعیین شود. در واقع گرچه ضخامت کیک به میزان فیلترات بستگی دارد، یک رابطه ی مشخص برای گل های مختلف موجود است.

$$Q_w^2 = \frac{2kPA^2}{\mu} \times \frac{Q_w}{Q_r} t$$

(۱۳)



مقدار آب باقیمانده در کیک های گل به خاصیت تورم کانی های سازنده ی رس بستگی دارد. در جدول ۱ مقدار آب باقیمانده در کیک ها برای سه نوع گل با مقدار آب جذب شده توسط رس های خشک در آزمایش های تورم رس مقایسه شده است. با افزایش تجمع ذرات جامد میزان فیلترات کاهش می یابد اما حجم کیک افزایش می یابد. اگر به گل حفاری مقدار بیشتری رس، بافرض کاهش فیلترات اضافه شود در واقع افزایش ضخامت کیک را به دنبال خواهد داشت.

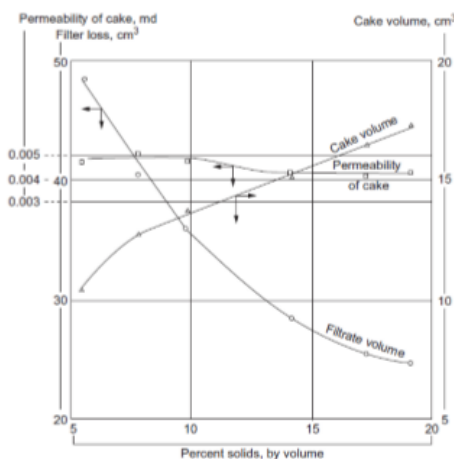
در کل اندازه گیری ضخامت کیک عمدتاً به دلیل عدم تشخیص مرز بین گل و سطح بالایی کیک به صورت دقیق مشکل است. این مشکل با فشردگی کیک به دلیل کشش هیدرولیکی فیلترات تراویده شده درون خلل و فرج بیشتر هم می شود.

جدول ۱ [3]

**TABLE 6.2** Correlation between the Amount of Water Adsorbed by Dry Clay and Water Retained in the Filter Cake\*

| Type of Clay       | Swelling Test %<br>Solids in Swollen Clay | Filtration Test           |                             |                              |
|--------------------|-------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                    |                                           | % Solids in<br>Suspension | 100 psi %<br>Solids in Cake | 1000 psi %<br>Solids in Cake |
|                    |                                           | 3.17                      | 16.5                        |                              |
| Bentonite          | 14.4                                      | 4.53                      | 15.0                        | 16.7                         |
|                    |                                           | 6.8                       | 15.2                        |                              |
| Mojave             | 62.0                                      | 23.4                      | 64.5                        | 64.5                         |
| Desert             |                                           | 30.2                      | 64.8                        |                              |
| Clay               |                                           | 39.6                      | 65.4                        |                              |
| West Texas<br>clay | 40.7                                      | 2.42                      | 45.1                        | 53                           |

\*Data from Larsen (1938), in *Petroleum Engineer*, Nov. 1938.

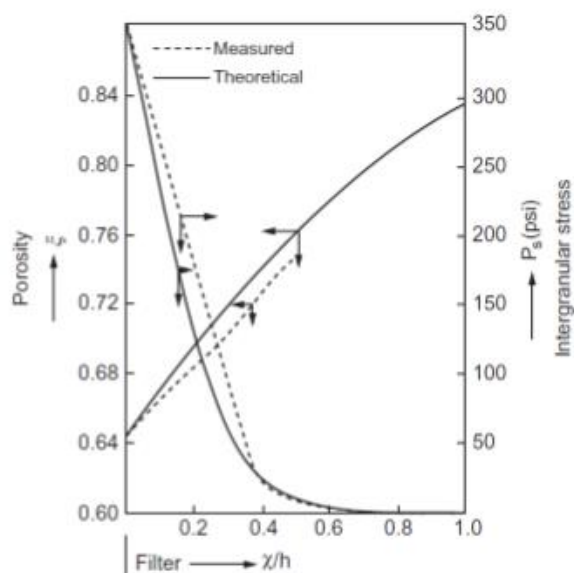


شکل ۴- نمودار حجم فیلترات - ضخامت کیک گل و تراوایی کیک گل را بر حسب درصد حجمی جامد (solid) [3]





توزیع های نشان داده شده در شکل با افزایش ضخامت کیک تغییر نخواهند کرد، بنابراین تخلخل میانگین کیک با گذشت زمان ثابت خواهد ماند.



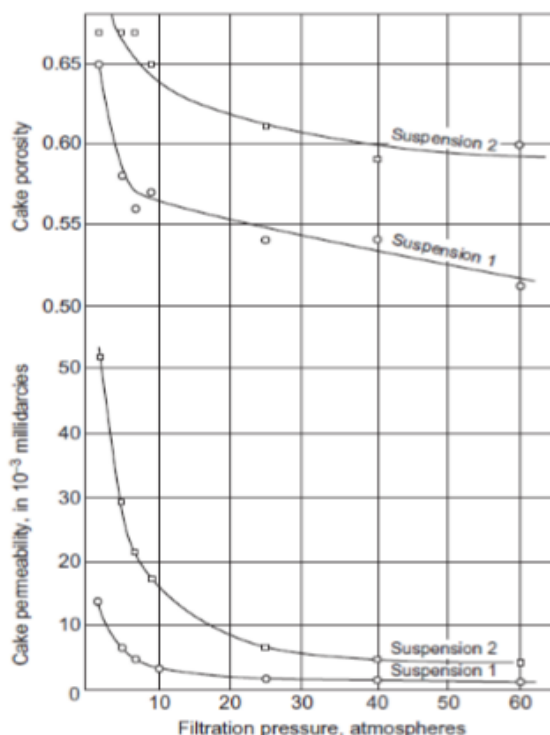
شکل ۵- توزیع تخلخل ( $\phi$ ) و تنش موثر ( $P_g$ ) در فیلتر کیک از سوسپانسیون گچ در فشار فیلتراسیون ۲۵۰ پام. [3]

### اثر فلوکولیشن و اگریگیشن بر تراوایی کیک گل

فلوکولیشن گل ها باعث می شود ذرات به صورت بی نظم در یک آرایش بی قاعده و شبکه ای باز قرار بگیرند. این ساختار بر محدود کردن تشکیل کیک گل اصرار دارد، که باعث افزایش قابل توجه در تراوایی می شود. فشار فیلتراسیون بیشتر، باعث مسطح کردن بیشتر این ساختار می شود. بنابراین هم تراوایی هم تخلخل با افزایش فشار کاهش می یابد. درجه ی فلوکولیشن بالاتر، نیروهای جاذبه ی بین مولکولی بیشتری را نتیجه می دهد و بنابراین ساختار قوی تر و مقاومت بیشتر در برابر فشار را فراهم خواهد ساخت.

اگر فلوکولیشن با اگریگیشن همراه شود ساختار حتی قوی تر هم خواهد شد، چون بسته های ضخیم تر از صفحات مسطح رس ساخته می شود. برای مثال سوسپانسیون شماره ۱ در شکل ۶ تنها ۰٫۴ گرم بر لیتر سدیم کلرید در فیلترات دارد، که مناسب برای ساخت یک ساختار ضعیف فلوکولیشن است. سوسپانسیون ۲ با اضافه کردن ۳۵ گرم بر لیتر سدیم کلرید به سوسپانسیون ۱ به دست آمد. که برای ساخت یک ساختار قوی فلوکولیشن به اضافه ی اگریگیشن است. در نتیجه تراوایی و تخلخل های سوسپانسیون ۲ به طرز قابل ملاحظه ای بزرگتر از سوسپانسیون ۱ حتی در فشار های بالاتر خواهد بود.

برعکس، دیفلوکولیشن یک کیک گل با افزودن عامل رقیق کننده (thinning) می تواند کاهش تراوایی کیک را باعث شود. علاوه بر این بیشتر رقیق کننده ها نمک های سدیم هستند و در رس چندظرفیتی جایگزین شود، از این طریق با پراکنده شدن رس های متراکم شده و کاهش بیشتری در تراوایی را نتیجه می دهد. بنابراین شرایط الکتروشیمیایی در تعریف تراوایی گل های فلوکولیت شده در مرتبه ی ۰.۰۱md و آن دسته از گل هایی که با آب تازه (Freshwater) درمان نشده اند در مرتبه ی ۰.۰۰۱md و گل هایی که با عوامل رقیق کننده درمان شده اند در مرتبه ۰.۰۰۰۱md یک عامل عمده ی غالب هست.



شکل ۶- کاهش تخلخل و تراوایی کیک با افزایش فشار فیلتراسیون. سوسپانسیون ۱ - 0/3004g از رس  
Altwarmbüchen در ازای هر گرم سوسپانسیون، سوسپانسیون ۲ - 0/2836g از رس از نوع  
Altwarmbüchen به علاوه ی 35g/1 سدیم کلرید. زمان فیلتراسیون - ۶۰ دقیقه [3]

## Bridging process در کنترل فیلتراسیون

همانطور که بحث شد، جهش گل در آغاز آزمایش فیلتر، قبل از شروع فیلتراسیون روی کاغذ و پس از آن حجم فیلترات با مجذور زمان متناسب می شود. در چاه در حال حفاری، جهش گل ممکن است به مراتب در سنگ های تراوا هنگام فیلتراسیون بسیار بیشتر اتفاق بیفتد؛ درواقع این فرآیندها می توانند نامحدود باشند (هرزروی گل) مگر گل حاوی ذراتی باشد که بتوانند خلل و فرج سنگ را bridge کنند و بنابراین بستری برای شکل دادن به یک گل را فراهم کنند.

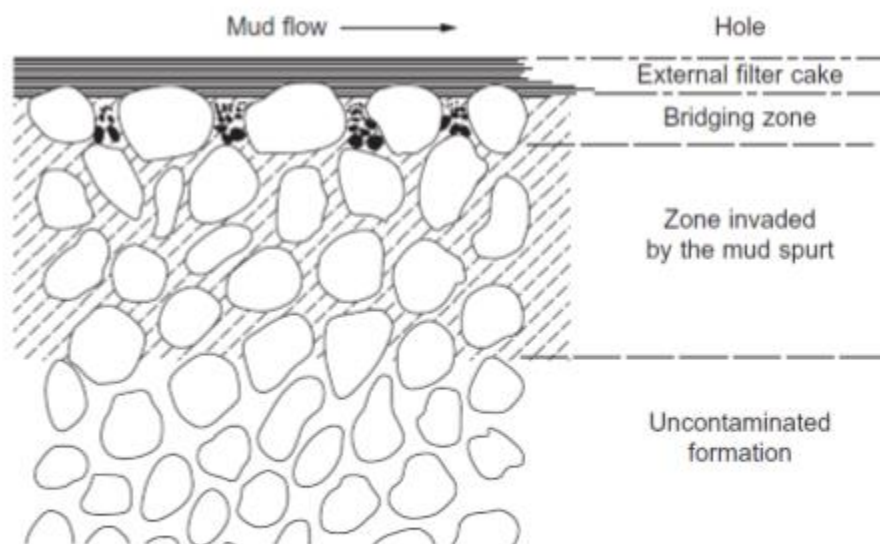
تنها ذراتی با اندازه ی مشخص نسبت به اندازه ی حفره می توانند bridge کنند. ذرات بزرگتر از ورودی حفره نمی توانند وارد آن شوند و توسط جریان گل جاروب می شوند؛ ذراتی که اندازه ی بحرانی دارند در گلوگاه های کانال جریانی می چسبند و یک پل را در سطوح حفرات تشکیل می دهند. وقتی یک پل اولیه تشکیل می شود، پی در پی ذرات کوچکتر با تشکیل کلویید، به دام می افتند و سپس تنها فیلترات به درون سازند نفوذ می کند. زمان جهش گل بسیار کوتاه است حدود ۱ یا حداکثر ۲ ثانیه.

بعنوان نتیجه ای از فرآیندی که توضیح داده شد، سه رده بندی ذرات در یک سازند تراوا به شرح زیر می باشد:

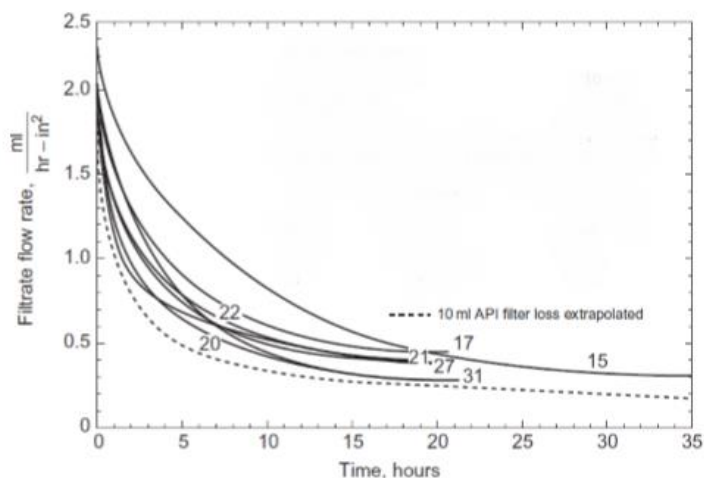
- ۱- یک کیک گل خارجی روی یدوره درون چاه ۲- یک کیک گل داخلی به وسیله قرار گیری زوج دانه ها به صورت قطری در سازند ۳- ناحیه invaded توسط ذرات هم اندازه و جورشده در طی دوره ی جهش گل که معمولا حدود ۱ اینچ درون سازند نفوذ می کند.



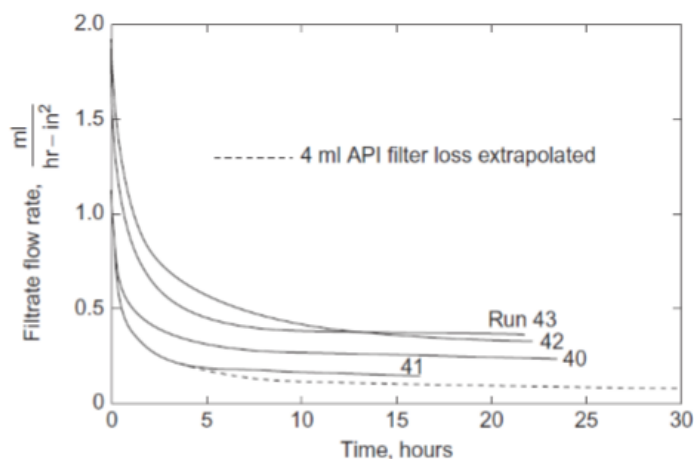
نتایج تجربی که توسط Krueger and Vogel (۱۹۵۴) گزارش شده است، پیشنهاد می دهد که ذرات جور شده و هم اندازه به خودی خود باعث اختلال در تراوایی نیستند، اما ممکن است بعد از پیشرفت فیلتراسیون برای چند ساعت عمل کنند، که احتمالا به علت مهاجرت و به دنبال بسته شدن منافذ می باشد.



شکل ۷- نفوذ ذرات جامد گل در سازند تراوا [7]



شکل ۸- فیلتراسیون دینامیک گل بنتونیتی [7]



شکل ۹- فیلتراسیون دینامیک گل نشاسته-آهکی [7]



## مقایسه و تفاوت ها :

سرعت گردش گل های متفاوت، تفاوت دارند، نرخ فیلتراسیون دینامیک به طور قابل ملاحظه ای از نرخ استاتیک به دست آمده از تست هرزروی API بیشتر است و زمان رسیدن به نرخ فیلتراسیون دینامیک پایدار از ۵ ساعت تا ۳۵ ساعت متفاوت بوده که بستگی به نوع گل و سرعت جریان دارد.

سایر تفاوت ها در جدول ۲ بیان شده است:

### Bentonite Mud

---

Average properties:

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| API 30 min. filter loss | 10 ml  |
| Marsh viscosity         | 43 sec |
| Density                 | 73 pcf |

Filtration pressure 400 psi, drill string rotation 45 rpm. Mud velocity between 4¼ OD drill collar and 5¾ hole:

| Run | Velocity                |
|-----|-------------------------|
| 15  | 124 gal/min 3.37 ft/sec |
| 17  | 94 2.56                 |
| 20  | 83 2.26                 |
| 21  | 130 3.54                |
| 22  | 113 3.08                |
| 27  | 111 3.02                |

### Lime-starch Mud

---

Average properties:

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| API 30 min. filter loss | 4 ml   |
| Marsh viscosity         | 50 sec |
| Stormer viscosity       | 25 cp  |
| Density                 | 75 pcf |

Filtration pressure 200 psi, drill string rotation 90 rpm. Mud velocity between 4¼ OD drill collar and 5¾ hole:

| Run | 92 gal/min | Velocity   |
|-----|------------|------------|
| 40  | 40.5       | 2.5 ft sec |
| 41  | 125        | 1.1        |
| 42  | 111        | 3.4        |
| 43  |            | 3.0        |

جدول ۲ [3]

## رابطه بین تراوایی، دبی و ارتفاع کیک گل

تراوایی فیلترات پارامتری اساسی در کنترل فیلتراسیون استاتیک و دینامیک می باشد. این پارامتر نسبت به سایر عوامل رفتار فیلتراسیون درون چاه را صحیح تر بازتاب می کند. همانطور که یک پارامتر برای ارزیابی خواص فیلتراسیون گل در مقادیر متفاوت تجمع ذرات جامد است.

تراوایی کیک توسط دستگاههای اولیه ی رفتار فیلتراسیون اندازه گیری می شود.

برای تعریف حجم کیک و محاسبه ی تراوایی با جابه جایی معادله ۷ داریم :

$$k = Q_w Q_c \mu / 2tPA^2$$

(۱۴)

مشروط براینکه  $Q_w$  و  $Q_c$  برحسب  $cm^3$ ،  $t$  برحسب ثانیه،  $P$  برحسب اتمسفر،  $A$  برحسب  $cm^2$ ،  $\mu$  برحسب سنتی پویز. این معادله با آزمایش استاندارد API به صورت زیر در میاید :

$$k = Q_w Q_c \mu \times 1/99 \times 10^{-5} \text{ md}$$

(۱۵)



این مدل برای مطالعات آزمایشگاهی فیلتراسیون استاتیک مناسب است. در محیط عملیاتی که دقت زیاد مهم نیست، معمولاً فیلترات به صورت دستی اندازه گیری می شود و از معادله (۱۴) به صورت زیر استفاده می شود:

$$k = Q_w h \mu / 2 t P A$$

(۱۴)

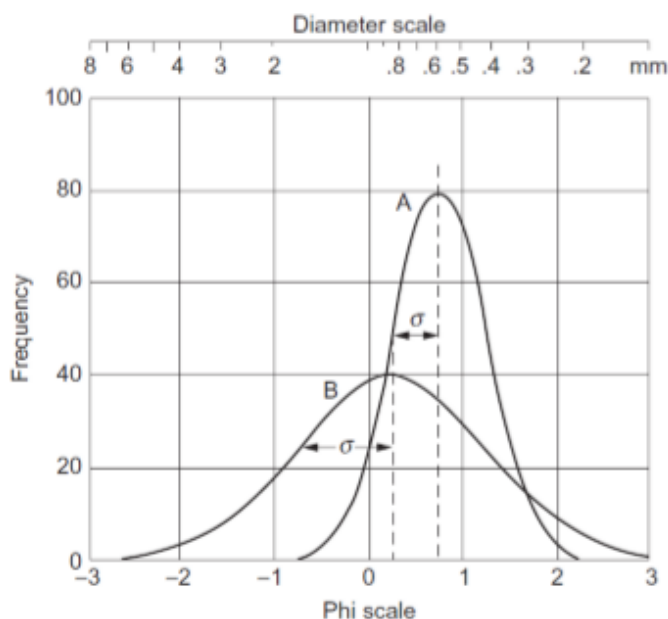
مشروط بر اینکه  $h$  بر حسب میلیمتر باشد و در حالت استاندارد API معادله به صورت زیر نوشته می شود:

$$k = 8/95 \times 10^3 Q_w h \mu \text{ md}$$

(۱۵)

### اثر سایز و شکل ذرات در تراوایی کیک گل

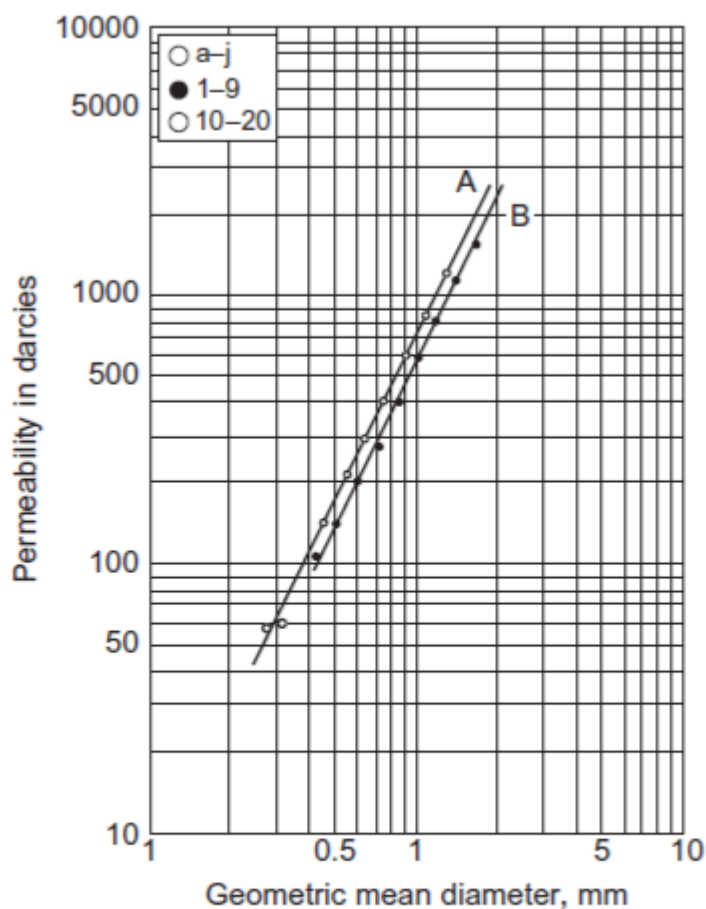
krumbein & monk (1943) تراوایی کیک گل های ماسه ی رودخانه ای را با جدا کردن ماسه به ۱۰ جزء از نظر اندازه و ترکیب مجدد برای بدست آوردن دو مجموعه از مخلوطها را تحقیق کرده و به دست آوردند. در یک مجموعه مخلوط ها، ذراتی وجود داشتند که قطر بزرگتری نسبت به میانگین داشتند، اما دارای اندازه های تقریباً یکسانی بودند که در پارامتر فی در شکل نشان داده شده اند.



شکل ۱۰- مثال برای بازه ی تغییرات کم و زیاد اندازه ی ذرات [7]

در یک مجموعه ی دیگر، تمامی مخلوط ها دارای ذرات با قطر یکسان بودند اما در یک بازه ی وسیع تر تغییرات اندازه ی ذرات. نتایج نشان داد که در مورد اول تراوایی کیک کاهش یافت و در مورد دوم با گسترده تر شدن بازه ی تغییرات اندازه سایز ذرات تراوایی افزایش یافت.





شکل ۱۱- تفاوت تراوایی کیک گل ماسه ای و میاتنگین شعاع ذرات و گستره ی اندازه ی ذرات. [7]

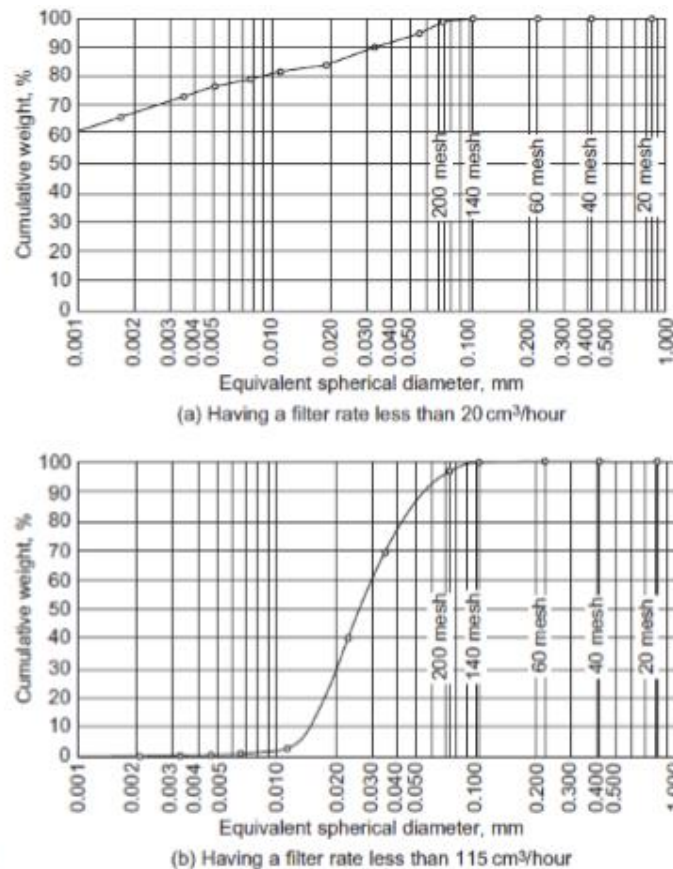
ممکن است کسی انتظار حداقل تراوایی را با دو رده بندی اندازه ی ذرات داشته باشد. به هر حال آزمایشات Be et al نشان داده است حداقل تراوایی ها هنگام حضور بیش از حد ذرات هم اندازه رخ می دهد و نه هنگامی که منحنی توزیع ذرات خطی است. تغییرات یکسان اندازه ی ذرات از نظر اهمیت در درجه ی دوم قرار می گیرد، اما نباید ذرات هم اندازه و جور شده تر از منافذ درشت تر عبور کنند و یک حفره ایجاد کنند.

Krumbein and Monk نشان دادند برای سیالات حفاری که ذاتا شامل مقادیری ذرات کلوییدی که اندازه ی کوچکی، حتی کمتر از  $0.0001$  میکرون دارند به شدت کاهش می یابد. بنابراین تراوایی کیک گل به نسبت و خواص جزء کلوییدی بستگی دارد. Gates and Bowie همچنین نشان دادند برای گل های با جزء بیشتر کلوییدی تراوایی کیک گل در بازه ی  $1.5$  تا  $0.00031$  mdt بتوان آن را اندازه گیری کرد.



تراوایی کیک همچنین تابع نوع کلویید هم است. برای مثال، کیک گل های سوسپانسیون بنتونایت در آب شیرین به طرز استثنایی دارای تراوایی کمی بخاطر مسطح و فیلم مانند بودن طبیعی صفحات رس دارد که آنها را قادر می سازد در جهت جریان محکم به هم بچسبند.

Hartmann et al روی ساختار کیک گل های خشک منجمد شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی تحقیق کرد و ساختار ۶ گوشه ای (مانند خانه ی زنبور عسل) در کیک های آب شیرین-بنتونایت را مشاهده نمود. مولکول هایی مانند نشاسته که ارگانیک هستند نسبت به اندازه ی کوچکشان توانایی تغییر شکل دارند .



شکل ۱۲- توزیع اندازه ی ذرات برای گل های انتخاب شده. نمودار اول دارای نرخ فیلتراسیون کمتر از 20cm<sup>3</sup>/hr نمودار دوم دارای نرخ فیلتراسیون بیشتر از 115cm<sup>3</sup>/hr است. [7]

### دستگاه شبیه ساز گیر و فیلتراسیون

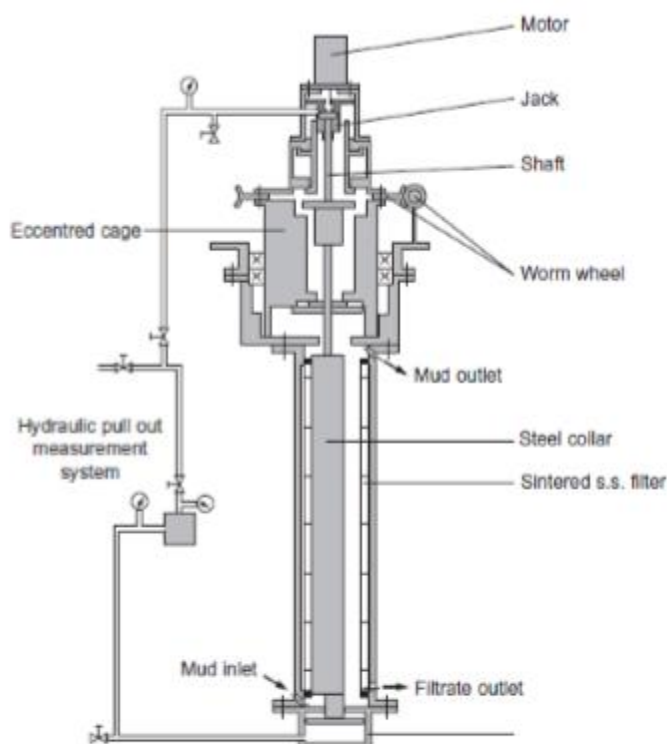
افزایش مشخص در نرخ های فیلتراسیون در شرایط دینامیک توسط Vaussard et al در سلول نشان داده در شکل ۱۳ نشان داده شده است. برای آزمایش ها لوله در مرکز قرار می گیرد. شرایط حلقوی چاه با لوله ای به قطر 6/5 inch در حفره ای به قطر 8/5 inch شبیه سازی شده است.



Peden et al مشاهده کردند که با افزایش سرعت در آنالوس، هنگامی که در یک چاه مدل گل پلیمری KCl در حال گردش است، نرخ فیلتراسیون دینامیک کاهش می یابد. آنها پیشنهاد دادند علت این امر، سرعت بالای آنالوس بود که تمایل به فرسایش ذرات زبرتر داشته و افزایش از بین رفتن زنجیره های پلیمری است، بنابراین تراوایی کیک کاهش می یابد. باید در نظر گرفت که در بیشترین سرعت آنالوس، جریان آشفته است و نرخ برش در دو سرعت پایین بسیار بیشتر از نرخ برش در سرعت های معمولی در دیواره ی چاه است.

دیگر یافته های Vaussard et al عبارتند از:

- ۱- نرخ دینامیک در دروه ی رخ دادن فیلتراسیون استاتیک کاهش می یافت، اما اگر نرخ جریان حلقوی افزایش می یافت نرخ دینامیک نیز افزایش می یافت، به طور مشخص در شروع جریان آشفته که در حدود  $1800 \text{ l/min}$  رخ می دهد.
- ۲- کیک های امولسیون معکوس به سادگی ساییده می شوند، در نرخ های دینامیک بالاتر که از هرزروی API مربوط به خودشان نشان می دهد. هرزروی های ناگهانی در هنگام میزان ذرات جامد کم، بیشتر بود.
- ۳- نرخ فیلتراسیون دینامیک مستقل از سنگ بود جز در محیط رسوبی.



شکل ۱۳- دستگاه شبیه ساز گیر و فیلتراسیون [4]

### رابطه ی بین دما و حجم فیلترات در حالت استاتیک

افزایش دما به طرق مختلف می تواند باعث افزایش حجم فیلترات شود. درگام اول گرانیروی فیلترات را کاهش می دهد و سپس حجم فیلترات افزایش می یابد. گرانیروی آب و آب نمک 6% در گستره های دمایی مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است.

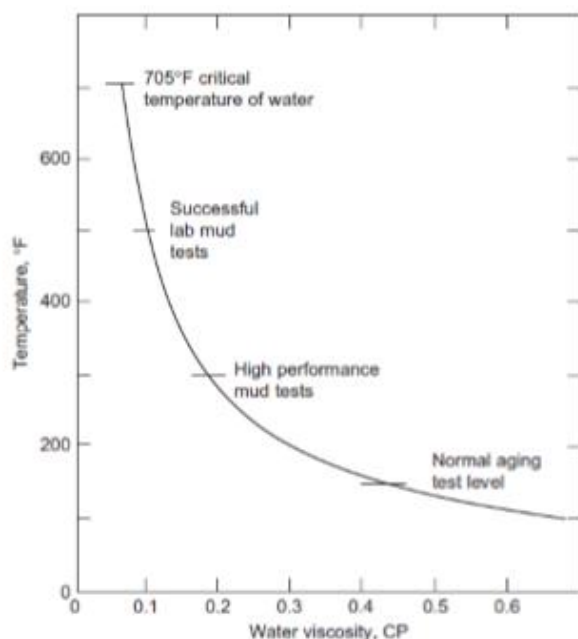


همینطور برای یک بازه وسیع تر برای تنها آب در شکل ۱۴ مشهود است که تغییر دما ممکن است تغییرات اساسی روی حجم فیلترات به دلیل تغییرات در گرانیوی فیلترات داشته باشد.

جدول ۳ [3]

**TABLE 6.1** The Viscosity of Water and 6% Sodium Chloride Brine at Various Temperatures

| Temperature (°C) | Temperature (°F) | Viscosity Water (Centipoise) | Viscosity Brine (Centipoise) |
|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0                | 32               | 1.792                        | —                            |
| 10               | 50               | 1.308                        | —                            |
| 20.2             | 68.4             | 1.000                        | 1.110                        |
| 30               | 86               | 0.801                        | 0.888                        |
| 40               | 104              | 0.656                        | 0.733                        |
| 60               | 140              | 0.469                        | 0.531                        |
| 80               | 176              | 0.356                        | 0.408                        |
| 100              | 212              | 0.284                        | —                            |



شکل ۱۴ - گرانیوی آب در دماهای مختلف [3]

تغییر در دما همچنین به دلیل برهم زدن تعادل الکتروشیمیایی که درجه ی فلوکولیشین و اگریگیشن را کنترل می کند روی تراوایی کیک گل می تواند موثر باشد. بنابراین معمولاً مقادیر فیلترات گل بزرگتر از مقدار حساب شده از رو معادلت هستند. ( Milligan and Weintritt 1961) برای مثال Byck(1939) از آمایش با ۶ گل متوجه شد که در دمای 175 F سه گل، ۸ تا 58% افزایش هرزروی اضافی فیلترات داشتند که انتظار می رفت. همزمان تراوایی کیک گل نیز افزایش داشت با بازه ی تغییر

۲,۲ تا 0.0045 md و حتی افزایش بیش از 100% نرخ فیلتراسیون سایر گل ها از مقدار پیش بینی شده تنه 5% افزایش یا کاهش داشت. و تراوایی کیک های گل ثابت ماند.



در آزمایش های جامع تر schremp and johson نشان دادند که میزان هرزروی در دماهای بالا با اندازه گیری در دماهای پایین قابل پیش بینی نیست.

بنابراین ضروری است که هر گل در دمای دلخواه به طور جداگانه در یک سلول دما آزمایش شود. از بین رفتن شیمیایی برخی جزءهای تشکیل دهنده، سومین اثری است که تغییر دما می تواند بر گل اثر گذارد. برخی عوامل ارگانیک کنترل فیلتراسیون در دماهای بالای 212 F شروع به کاهش یافتن می کنند و نرخ این کاهش با افزایش بیشتر دما، افزایش می یابد تا وقتی که خواص فیلتراسیون به طور کافی نگه داشته نشود.

### نتیجه گیری و پیشنهاد:

در این پژوهش، تعریف فیلتراسیون گل حفاری، میزان تاثیر پذیری آن نسبت به عوامل مختلف، راهکارها و روش های اندازه گیری و کنترل آن مورد بررسی قرار گرفت.

برای کنترل پدیده فیلتراسیون، تخمین میزان فیلترات گل در داخل آزمایشگاه به وسیله ابزار موجود و با استفاده از شبیه سازی شرایط مخزنی امری ضروری می باشد. توصیه می شود برای درک بهتر این پدیده و پیش بینی دقیق تر آن، با استفاده از روابط موجود و یک شبیه ساز مجازی، این پدیده را شبیه سازی نمود و سپس رفتار آن را در طول حفاری یک چاه با تغییر پارامترهای تاثیر گذار بر روی آن، مورد بررسی قرار داد.

### مراجع

1. Recommended Practice for Standard Field Procedure jar Testing Drilling Fluids (Tentative), API Code 29, ThirdEd.,(May, 1950), American Petroleum Institute, Dalla" Tex.
2. "Method of Determining the Filtration Characteristics of Drilling Muds," Drilling Mud, Baroid Sales, (May, 1948) 6, No. 1
3. Amoco - Drilling Fluid Manual
4. Prokop, C. L.: "Radial Filtration of Drilling Mud," Trans. AIME (1952), 195, 5.
5. Williams, M.: "Radial Filtration of Drilling Mud," Trans. AIME (1940), 136, 55.
6. "Recommended Practice for Standard Field Procedure for Testing Drilling Fluids," API RP29 (May, 1950) 3rd Ed.
7. Ryen\_Caenn,\_H.C.H.\_Darley\_and\_George\_R.\_Gray\_(Aut(BookZZ.org))
8. Williams, M.: "Radial Filtration of Drilling Muds," Trans. AIME, (1940) 136, 57. Baker Hughes INTEQ. 1996. Syn-Tec Environmental Manual. April 1996 Edition.
- 9.





## یک رابطه دقیق تجربی برای پیش بینی ضریب تراکم پذیری گاز طبیعی

احسان سنجری - ابراهیم نعمتی / تهیه و ترجمه: علیرضا فاضلی کیا

### چکیده:

ضریب تراکم پذیری گاز طبیعی یک پارامتر بسیار مهم در محاسبات مهندسی نفت و گاز به شمار می آید. این پژوهش یک مدل تجربی جدید را به منظور محاسبه سریع ضریب تراکم پذیری گاز طبیعی ارائه می دهد. این مدل بر روی ۵۸۴۴ داده آزمایشگاهی از ضریب تراکم پذیری، فشار شبه کاهش یافته در محدوده ۰/۰۱ و ۱۵ و دمای شبه کاهش یافته در محدوده ۱ تا ۳، پیاده شده است. دقت این رابطه تجربی جدید با روش های موجود رایج مورد مقایسه قرار گرفته است. مقایسات برتری مدل تجربی جدید را بر سایر روش ها نشان می دهند و میانگین درصد انحراف مطلق آن ۰/۶۵۳۴ است.

واژه های کلیدی: گاز طبیعی؛ ضریب تراکم پذیری؛ رابطه؛ مدل تجربی؛ معادله حالت

### ۱. مقدمه:

گاز طبیعی یکی از زیرشاخه های طبیعی نفت و مخلوطی پیچیده از هیدروکربن ها و مقادیری ترکیبات غیر آلی است و دانستن رفتار ترمودینامیکی (حجم، فشار، دما) آن برای حل بسیاری از مسائل مهندسی نفت ضروری می باشد؛ برای مثال طراحی و آنالیز تولید گاز طبیعی و سیستم های فرآوری.

در اغلب محاسبات مهندسی نفت و گاز طبیعی، ضریب تراکم پذیری و چگالی سیالات برای تعیین میزان گاز، تراکم گاز، طراحی خط لوله ها و تجهیزات سطح الارضی لازم هستند. مهندس نفت نیازمند به پیش بینی خواص فشار، دما و حجم  $(P, V, T)$  را برای سیالات نفتی تحت شرایط معینی است که میتواند از طریق آزمایش آنالیز PVT نمونه سیال و یا استفاده از معادله حالت (EOS) برپایه کدهای کامپیوتری بدست آید؛ آن هم در صورتی که ترکیب اجزای سازنده سیال مشخص باشد. این اطلاعات، خصوصاً در نخستین مراحل توسعه میدان، معمولاً غیرقابل دسترسی بوده یا اینکه نیازمند به تحقیق و همچنین بازبینی و تکمیل در مراحل بعدی توسعه میدان هستند. بنابراین وظیفه رابطه های تجربی است که خواص سیال نفتی را به عنوان تابعی از مشخصات دردسترس مخزن تخمین بزنند. در این پژوهش یک مدل تجربی ساده، سریع و دقیق برپایه داده های آزمایشگاهی ارائه شده و دقت مدل با رابطه های تجربی رایج و مورد استفاده، مانند معادله قدیمی و استاتیکی حالت قابل قیاس است.

### ۲. ضریب تراکم پذیری گاز طبیعی:

در معادله گازهای حقیقی، فاکتور  $Z$  می تواند از معادله زیر محاسبه شود:



$$PV = ZnRT$$

که  $P$  فشار در واحد کیلوپاسکال،  $V$  حجم با یکای لیتر،  $n$  تعداد مول گاز،  $R$  ثابت جهانی گازها،  $T$  دمای مطلق در واحد کلوین و  $Z$  ضریب تراکم پذیری گاز است. تئوری حالات متناظر میگوید که  $Z$  می تواند تنها تابعی از دما و فشار کاهش یافته ( $T_r, P_r$ ) باشد. دما و فشار شبه کاهش یافته ( $T_{pr}, P_{pr}$ ) که به ترتیب در معادلات زیر داده شده اند:

$$T_{pr} = T/T_{pc}$$

$$P_{pr} = P/P_{pc}$$

که  $T_{pr}$  و  $P_{pr}$  به ترتیب دمای شبه کاهش یافته و فشار شبه کاهش یافته بوده و  $T_{pc}$  و  $P_{pc}$  نیز به ترتیب دما و فشار بحرانی هستند که از روابط زیر قابل محاسبه اند:

$$T_{pc} = \sum_{i=1}^n P_{ci} y_i$$

$$P_{pc} = \sum_{i=1}^n T_{ci} y_i$$

که  $T_{ci}$  و  $P_{ci}$  به ترتیب دما و فشار بحرانی و  $y_i$  نیز ضریب مولی جز  $i$  هستند.

برای گاز طبیعی که ترکیب اجزای آنرا می دانیم، دما و فشار کاهش یافته قابل تحویل هستند و در مدل تجربی برای پیش بینی ضریب تراکم پذیری استفاده می شوند. تعدادی روابط تجربی رایج و معادلات حالت برای محاسبه  $Z$  عبارتند از:

۲-۱. درانچاک-ابوکاظم و حیدریان-مقدسی-سالارآبادی (HMS):

در سال ۱۹۷۵ درانچاک و ابوکاظم (DA) معادله زیر را به همراه یازده برای محاسبه ضریب تراکم پذیری گاز ارائه کردند که  $\rho_r$  چگالی کاهش یافته گاز است:

$$Z = [A_1 + A_2/T_{pr} + A_3/T_{pr}^3 + A_4/T_{pr}^4 + A_5/T_{pr}^5] \rho_r + [A_6 + A_7/T_{pr} + A_8/T_{pr}^2] \rho_r^2 - A_9 [A_7/T_{pr} + A_8/T_{pr}^2] \rho_r^5 + A_{10}(1+A_{11}\rho_r^2) \rho_r^2/T_{pr}^3 \exp[-A_{11}\rho_r^2] + 1$$

در سال ۲۰۱۰ حیدریان، مقدسی و سالارآبادی براساس نمودار استندینگ-کاتز رابطه ای را جهت تخمین سریع ضریب تراکم پذیری به شرح زیر ارائه دادند:

$$Z = \frac{A_1 + A_2 \ln(P_{pr}) + A_3 \ln(P_{pr})^2 + A_4 \ln(P_{pr})^3 + A_5/T_{pr} + A_6/T_{pr}^2}{1 + A_7 \ln(P_{pr}) + A_8 \ln(P_{pr})^2 + A_9/T_{pr} + A_{10}/T_{pr}^2}$$

۲-۲. رابطه عزیزی-بهبهانی-عبسی زاده (ABI):

در سال ۲۰۱۰ یک رابطه جدید برای برای ضریب تراکم پذیری گاز های طبیعی برپایه ۳۰۳۸ داده از نمودار استندینگ-کاتز ارائه دادند:

$$Z = A + \frac{B+C}{D+E}$$



که در آن:

$$A = aT_r^{2.16} + bP_r^{1.028} + cP_r^{1.58}T_r^{-2.1} + d\ln(T_r)^{-0.5}$$

$$B = e + fT_r^{2.4} + gP_r^{1.56} + hP_r^{0.124}T_r^{3.033}$$

$$C = i\ln(T_r)^{-1.28} + j\ln(T_r)^{1.37} + k\ln(P_r) + l\ln(P_r)^2 + m\ln(P_r)\ln(T_r)$$

$$D = 1 + nT_r^{5.55} + oP_r^{0.68}T_r^{0.33}$$

$$E = p\ln(T_r)^{1.18} + q\ln(T_r)^{2.1} + r\ln(P_r) + s\ln(P_r)^2 + t\ln(P_r)\ln(T_r)$$

ضرایب وفق یافته در معادلات فوق ثابت و مستقل از پارامترها بوده و می توان بوسیله منحنی های مناسب آنها را محاسبه کرد.

## ۲-۳. معادله حالت پنگ-رابینسون (PR EOS):

در پیش بینی K-value سیستم های هیدروکربنی در گستره فشارهای متوسط تا زیاد بسیار کاربرد است. همچنین نتایج مناسبی از این روش برای دی متانیزرها، دی اتانیزرها، دی پروپانیزرها، دی بوتانیزرها و فرایندهای سرچاهی بدست می آید. از طرفی با کمک این معادله میتوان ضریب تراکم پذیری را هم برای گاز و هم مایع محاسبه کرد.

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)-b(V-b)}$$

## ۲-۴. معادله تئوری پیوستگی/استاتیکی سیال (SAFT):

معادله SAFT پیچیده است اما از نظر دقت میتواند رقیب معادلاتی نظیر NRTL، UNIQUAC یا معادله ویلسون برای مخلوط هایی با پیوند هیدروژنی باشد. به جای روشهای درونیایی، معادله SAFT براساس رفتار فعل و انفعالات پیوند هیدروژنی در واکنش های شیمیایی پایه ریزی شده است.

$$Z = \frac{PV}{RT} = 1 + Z^{\text{seg}} + Z^{\text{chain}} + Z^{\text{assoc}}$$

## ۳. رابطه جدید برای محاسبه ضریب تراکم پذیری:

در این پژوهش تلاش شده تا روش سریعی برای محاسبه Z پیدا شود که درمقایسه با سایر روش هایی که برپایه داده های آزمایشگاهی هستند، از دقت بالایی برخوردار باشد. با احتساب ۵۸۴۴ داده آزمایشگاهی برای Z فاکتور مخلوط گاز های طبیعی مختلف از سال ۱۹۳۹ تا ۲۰۰۹ میلادی توسط پژوهشگران مختلف، و بهره گیری از همه آنالیز های چندگانه رگرسیون، یک رابطه



تجربی برپایه معادله حالت ویریال در بازه  $1.01 \leq T_{pr} \leq 3.0$  و  $0.01 \leq P_{pr} \leq 15.0$  بدست آمده است که ۲ متغیر وابسته و ۸ متغیر مستقل دارد و Z را به صورت زیر محاسبه می کند:

$$Z = A_1 P_{pr} + A_2 P_{pr}^2 + A_3 P_{pr}^{A_4} / T_{pr}^{A_5} + A_6 P_{pr}^{(A_4+1)} / T_{pr}^{A_7} + A_8 P_{pr}^{(A_4+2)} / T_{pr}^{(A_7+1)}$$

برای دقت هرچه تمام متغیرهای  $A_1$  تا  $A_8$  در ۲ بازه مختلف در جدول زیر ارائه شده اند:

**Table 1. Tuned coefficients used in Equation 16**

| Coefficients | $0.01 < P_{pr} < 3.0$ | $3.0 < P_{pr} < 15$ |
|--------------|-----------------------|---------------------|
| $A_1$        | 0.007698              | 0.015642            |
| $A_2$        | 0.003839              | 0.000701            |
| $A_3$        | -0.467212             | 2.341511            |
| $A_4$        | 1.018801              | -0.657903           |
| $A_5$        | 3.805723              | 8.902112            |
| $A_6$        | -0.087361             | -1.136000           |
| $A_7$        | 7.138305              | 3.543614            |
| $A_8$        | 0.083440              | 0.134041            |

وزن مولکولی مخلوط های گازی بین ۱۱,۳ تا ۳۰ و چگالی نسبی ۰,۳۸۹ تا ۱,۰۴ بوده و سایر خواص در جدول table2 آورده شده است.

**Table 2. Properties of different natural gas used in this study**

| Composition (mol%) | Minimum | Maximum | Average |
|--------------------|---------|---------|---------|
| Methane            | 30.64   | 100     | 88.29   |
| Carbon dioxide     | 0       | 50      | 3.4970  |
| Ethane             | 0       | 64.56   | 2.2368  |
| Propane            | 0       | 21      | 0.8194  |
| <i>i</i> -butane   | 0       | 0.755   | 0.0236  |
| <i>n</i> -butane   | 0       | 0.755   | 0.0221  |
| <i>i</i> -pentane  | 0       | 0.299   | 0.0092  |
| <i>n</i> -pentane  | 0       | 0.304   | 0.0067  |
| Hexane             | 0       | 0.058   | 0.0003  |
| Heptane plus       | 0       | 0.043   | 0.0004  |
| Nitrogen           | 0       | 50      | 4.1563  |
| Hydrogen           | 0       | 33.75   | 0.9382  |
| Pressure (bar)     | 0.1     | 973     | 173.51  |
| Temperature (K)    | 240     | 598     | 372.73  |
| Z-factor           | 0.5221  | 1.431   | 0.9439  |

برای مقایسه دقت رابطه ارائه شده، Z فاکتور ۵۸۴۴ داده آزمایشگاهی مختلف محاسبه و آورده شده است. Figure1 همچنین تفاوت نتایج آزمایشگاهی با خروجی رابطه را برای بازه معین شده بیان می کند.

جدول ۳ نیز در صد AARD را برای رابطه جدید در مقایسه با سایر روش ها نشان می دهد. ترکیب گاز های NG1 تا NG10 نیز در table4 در ذیل آن ارائه شده است .

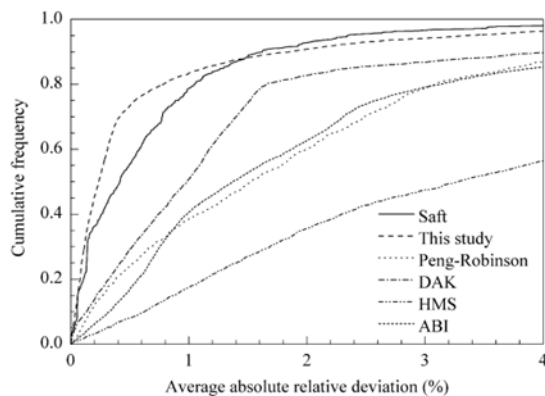
**Table 3. Average absolute relative deviation of this study compared with other empirical models and EOSs**

| Methane<br>(mol%) | Other<br>components             | Data<br>points | <i>P</i> range<br>(MPa) | <i>T</i> range<br>(K) | DA      | HMS     | ABI    | PR-<br>EOS | SAFT-<br>EOS | This<br>study | Ref.         |
|-------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|---------|---------|--------|------------|--------------|---------------|--------------|
| 0.5–0.9           | CO <sub>2</sub>                 | 277            | 0.01–80                 | 307–673               | 2.8762  | 5.1101  | 1.3853 | 2.7114     | 0.9405       | 1.4399        | [9,18,27]    |
| 0.5–0.9           | N <sub>2</sub>                  | 455            | 0.6–80                  | 240–673               | 1.6106  | 2.3193  | 2.3344 | 2.1464     | 0.7913       | 0.6804        | [9,18,24,31] |
| 0.6–0.8           | CO <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> | 56             | 20–80                   | 373–573               | 1.5438  | 1.4754  | 4.3232 | 4.0402     | 0.6472       | 1.2978        | [19]         |
| 0.54–0.94         | H <sub>2</sub> O                | 70             | 7.5–18.8                | 430–698               | 4.3349  | 5.377   | 2.4659 | 0.3891     | 0.3565       | 2.2396        | [20]         |
| 0.35–0.85         | C <sub>2</sub>                  | 558            | 0.1–24.1                | 294–394               | 1.9081  | 5.0589  | 2.1445 | 2.2584     | 0.9406       | 0.9107        | [10,23]      |
| 0.79–0.93         | C <sub>3</sub>                  | 56             | 0.9–10                  | 278–313               | 0.6971  | 3.9476  | 0.9912 | 2.311      | 0.8687       | 1.4817        | [21]         |
| 0.91–0.94         | C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>  | 30             | 0.8–10.1                | 293–313               | 0.5511  | 5.5574  | 1.0182 | 2.558      | 0.1939       | 0.7617        | [22]         |
| 0.3–0.34          | C <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> | 60             | 0.7–7.5                 | 283–333               | 3.0628  | 2.9833  | 0.8676 | 2.4633     | 1.4118       | 0.9113        | [25]         |
| 0.35–0.53         | C <sub>4</sub>                  | 71             | 8.8–48.1                | 316–479               | 1.5802  | 3.9886  | 3.5132 | 1.487      | 0.6939       | 0.8601        | [26]         |
| 0.55–0.81         | H <sub>2</sub>                  | 109            | 0.4–51                  | 273–348               | 1.4738  | 3.3327  | 2.485  | 1.8357505  | 0.6931       | 0.7994        | [11,15]      |
| 1                 | –                               | 3336           | 0.1–100                 | 250–573               | 2.1609  | 2.5584  | 2.2452 | 1.6887     | 0.5913       | 0.4841        | [9–17]       |
| 0.8484            | N. G.1                          | 40             | 0.24–14                 | 241–455               | 0.8099  | 11.3732 | 3.4509 | 0.9832     | 0.1301       | 0.2029        | [32]         |
| 0.9016            | N. G.2                          | 45             | 4.46–25.1               | 263–303               | 4.0135  | 11.6532 | 1.3212 | 1.1834     | 0.8112       | 0.5242        | [33]         |
| 0.8001            | N. G.3                          | 34             | 13.3–25.3               | 262–304               | 13.2343 | 17.8473 | 1.1322 | 4.4563     | 1.6011       | 2.0733        | [33]         |
| 0.922             | N. G.4                          | 45             | 4.9–25.2                | 262–304               | 4.0129  | 7.0848  | 4.7866 | 3.0021     | 0.7353       | 0.6965        | [33]         |
| 0.8957            | N. G.5                          | 224            | 0.1–20.1                | 260–320               | 3.5317  | 8.2178  | 2.87   | 3.6513     | 0.9919       | 0.6289        | [16]         |
| 0.8433            | N. G.6                          | 224            | 0.1–20.2                | 269–320               | 2.6531  | 8.7632  | 2.6523 | 1.9734     | 1.1032       | 0.3569        | [16]         |
| 0.9835            | N. G.7                          | 28             | 1.0–15                  | 253–323               | 0.9843  | 1.8322  | 0.8546 | 0.8812     | 0.4512       | 0.3212        | [28]         |
| 0.9036            | N. G.8                          | 28             | 1.0–15                  | 253–323               | 0.7916  | 2.0003  | 1.6598 | 0.8113     | 0.5087       | 0.4457        | [28]         |
| 0.9244            | N. G.9                          | 28             | 1.0–15                  | 253–323               | 1.1569  | 3.1456  | 1.1232 | 1.7632     | 0.4257       | 0.8322        | [28]         |
| 0.9099            | N. G.10                         | 70             | 2.2–34.5                | 263–350               | 3.4362  | 3.8321  | 3.0013 | 2.3421     | 0.9588       | 0.7144        | [30,31]      |
| Average           |                                 | 5844           |                         |                       | 2.2684  | 3.7086  | 2.4063 | 1.9566     | 0.7097       | 0.6535        |              |

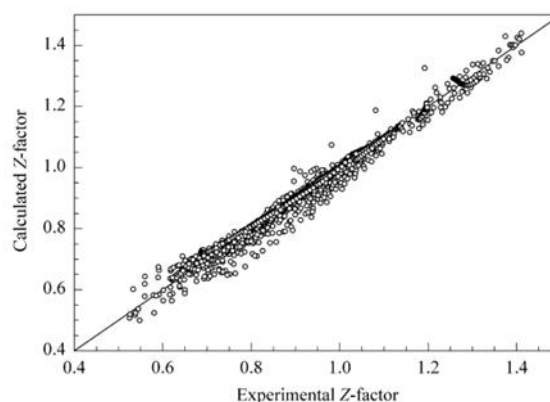
**Table 4. Compositions of 10 different natural gas mixtures mentioned in Table 3**

|                      | N.G.1 | N.G.2  | N.G.3   | N.G.4   | N.G.5  | N.G.6  | N.G.7  | N.G.8  | N.G.9  | N.G.10 |
|----------------------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Methane              | 84.84 | 90.16  | 80.0079 | 92.2045 | 89.57  | 84.33  | 98.352 | 90.362 | 92.436 | 90.991 |
| Ethane               | 8.4   | 6.3077 | 9.3063  | 4.3373  | 6.1464 | 3.4085 | 0.511  | 5.708  | 1.285  | 2.949  |
| Propane              | 0.5   | 0.801  | 4.963   | 0.5396  | 1.2532 | 0.6023 | 0.153  | 1.124  | 0.348  | 1.513  |
| <i>n</i> -Butane     | –     | 0.0643 | 1.2791  | 0.0771  | 0.1924 | 0.1282 | 0.031  | 0.169  | 0.046  | 0.755  |
| <i>i</i> -Butane     | –     | 0.0446 | 0.7188  | 0.2562  | 0.2857 | 0.1033 | 0.021  | 0.301  | 0.041  | 0.755  |
| <i>n</i> -Pentane    | –     | 0.0044 | 0.2499  | 0.0198  | 0.0324 | 0.035  | 0.011  | 0.029  | 0.014  | 0.304  |
| <i>i</i> -Pentane    | –     | 0.0054 | 0.2556  | 0.0468  | 0.0565 | 0.0375 | 0.008  | 0.059  | 0.015  | 0.299  |
| Hexane               | –     | 0.0014 | 0.1793  | 0.0606  | 0.0572 | 0.0388 | 0.005  | 0.058  | 0.012  | –      |
| Heptane              | –     | 0.0005 | 0.101   | 0.0364  | 0.034  | 0.0174 | 0.001  | 0.035  | –      | –      |
| Heptane <sup>+</sup> | –     | 0.0001 | 0.0621  | 0.0091  | 0.0095 | 0.0072 | 0.0003 | 0.008  | –      | –      |
| Hydrogen             | –     | –      | 0.001   | 0.0005  | 0.0007 | 0.0005 | –      | –      | –      | –      |
| Helium               | –     | 0.0068 | 0.0084  | 0.0168  | 0.0137 | 0.052  | –      | 0.015  | –      | –      |
| Water                | –     | 0.0006 | –       | –       | –      | –      | –      | –      | –      | –      |
| Argon                | –     | 0.0514 | –       | –       | 0.0419 | 0.01   | –      | 0.011  | –      | –      |
| Nitrogen             | 5.6   | 0.7587 | 0.6601  | 1.3916  | 1.5324 | 9.752  | 0.841  | 1.474  | 5.751  | 2.031  |
| Carbon dioxide       | 0.66  | 1.7947 | 2.1902  | 1.003   | 0.774  | 1.4523 | 0.066  | 0.647  | 0.052  | 0.403  |
| Benzene              | –     | 0.0002 | 0.0173  | 0.0007  | –      | 0.025  | –      | –      | –      | –      |





**Figure 2.** AARD% of various methods in calculating natural gas Z-factor as function of cumulative frequency



**Figure 1.** Accuracy of this study versus 5844 experimental data points

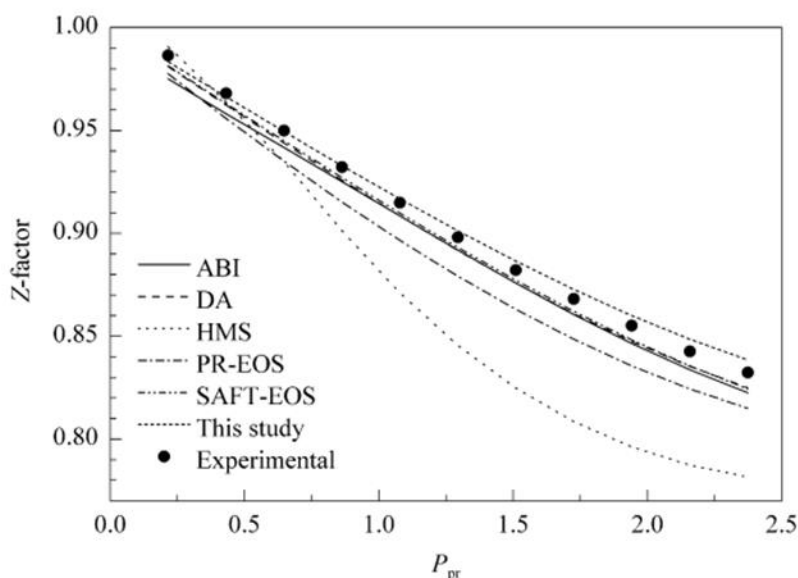
منحنی های Figure 2 نیز تقسیم فرکانس تجمعی بر درصد AARD را برای رابطه جدید و همتایانش را نشان می دهد، که براساس آن معادله حاصله از سایر معادلاتی که بحث شدند دقت بالاتری دارد. در روش جدید ۷۳٪ از اندازه گیری ها AARD% کمتر ۰.۵ و ۸۴٪ از داده ها AARD% کمتر از یک دارند. تنها ۳.۵ درصد از ۵۸۴۴ داده دارای AARD% بالای ۴ هستند. دومین روش دقیق معادله SAFT است که AARD% برای ۵۶٪ اندازه گیری ها کمتر از ۰.۵ و ۷۹٪ کمتر از یک می باشد. بنابراین رابطه جدید برتری خود را درمقایسه با سایر روش ها به رخ می کشد.

به منظور برآورد کارآمدی رابطه جدید در محاسبه ضریب تراکم پذیری گاز های طبیعی مختلف، داده ها و نتایج آزمایشگاهی معادله آن و سایر روش های ذکرشده، در فشار شبه کاهش یافته و دمای ثابت، برای ترکیب های متفاوت گازی پالایشگاه خانگیران را بدست آورده ایم. توجه شود که داده های Z فاکتور پالایشگاه خانگیران را در آنالیز رگرسیون مدل جدید به کارنگرفته ایم. درصد اجزای ترکیب گاز خانگیران نیز در جدول زیرین آورده شده است

همچنین شکل بیانگر دقت بالای روش جدید در پیش بینی ضریب تراکم پذیری با متوسط  $AARD\% = 0.3789$  است.

**Table 5. Composition of Khangiran Refinery natural gas**

| Components        | Composition (mol%) |
|-------------------|--------------------|
| Methane           | 98.64              |
| Ethane            | 0.593              |
| Propane           | 0.065              |
| <i>n</i> -Butane  | 0.034              |
| <i>i</i> -Butane  | 0.015              |
| <i>n</i> -Pentane | 0.019              |
| <i>i</i> -Pentane | 0.026              |
| <i>n</i> -Hexane  | 0.125              |
| Nitrogen          | 0.428              |
| Carbon dioxide    | 0.055              |



**Figure 3.** Calculated and measured Z-factor for Khangiran Refinery data ( $T = 298 \text{ K}$ )

#### ۴. نتیجه گیری:

در این پژوهش یک رابطه تجربی آسان جهت پیش بینی سریع ضریب تراکم پذیری گاز های طبیعی ارائه شد. این رابطه برپایه ۵۸۴۴ داده آزمایشگاهی از گازهای طبیعی که تابعی از دما و فشار کاهش یافته بود شکل گرفت و دقت آن با سایر روش های رایج برای اندازه گیری ضریب تراکم پذیری مانند DA, HMS, ABI و همچنین معادلات حالت PR و SAFT مقایسه شد. این قیاس ها برتری روش جدید را با میانگین  $\text{AARD\%} = 0.6535$  ثابت کرد.



## EAGE ANNUAL

«بهینه سازی فرآیند تولید و توسعه یکی از مهم ترین اجزای مدیریت مخزن می باشد. پیاده سازی روش های ریاضی بهینه سازی موجود به دلایل متعدد از جمله محدودیتهای فراوان (مخزن، عملیاتی، اقتصادی...)، اندازه بزرگ میادین نفت و گاز، بالا بودن تعداد متغیرهای تصمیم گیری با چالش هایی روبرو می باشد. آنچه این چالش را دوچندان می سازد، وجود سطوح تصمیم گیری در مدیریت پروژه می باشد. از این رو ما با الهام گرفتن از مفهوم تصمیم گیری چندمرحله ای برای بهینه سازی فرآیند توسعه در میادین نفت و گاز یک متدولوژی طراحی کردیم. از مهمترین عناصر این متدولوژی یکپارچگی مطالعه، وجود درگاه های تصمیم گیری، اتوماتیک بودن فرآیندها می باشد. موفقیت پیاده سازی و نتایج امیدوار کننده آن در میدان پارس جنوبی، ما را بر آن داشت تا بخشی از نتایج آن را در کنفرانس مذکور ارائه دهیم. همین رویکرد یکی از تلاش های ما در دانشکده مهندسی نفت برای استفاده از جدیدترین پارادایم های مدیریت مخازن می باشد.»

### Introduction

A key component of the reservoir management is to take decisions about the life-cycle development or re-development activities in the oil and gas reservoirs (Jansen et al., 2008, 2009; Shirangi and Durlofsky, 2015; Wang et al., 2007). Decision making generally entails optimization of development scenarios based on the reservoir model whose performance in the prediction of future is reliable. In the literature, many researches have been addressed to cover some aspect of the general reservoir development optimization. Cumulative oil production (COP), net present value (NPV), production plateau time (PT), and voidage replacement ratio (VRR) are among the most-used criteria in the production optimization (Almeida et al., 2007; Awotunde and Sibaweih, 2014; Bellout et al., 2011; Doublet et al., 2009; Echeverría Ciaurri et al., 2011; Gross, 2012; Humphries et al., 2014; Isebor et al., 2014; Lorentzen et al., 2006; Onwunalu and Durlofsky, 2010; Van Essen et al., 2011; Zandvliet et al., 2008). Almost, a single optimization approach has been implemented in all the mentioned works. In the real practice, the aim is to find an optimum design to satisfy multiple objectives, which may be possibly conflicting (Bagherinezhad et al., 2017). Another issue that increases the complexity of optimization in the giant fields is the high number of variables. Reservoir development optimization may require to determine the well/jacket location, injection/production patterns, and also time-varying controls. In giant fields, optimizing all these parameters may be impossible regarding run-time cost. This motivates us to develop a multi-level decision making workflow which can be used in real field optimization to achieve near-optimal plan. In this methodology, both reservoir and economical objective functions are considered. In the next section, a brief description of proposed workflow has been presented. Then, results of implementation in a giant offshore field has been depicted briefly.

**Optimization Workflow** In real field development optimization, different aspects of decision taking should be considered. This may be reservoir-side objective functions as well commercial or



contractual targets. In this regards, we develop an integrated workflow to optimize the development concept in real field. This workflow can be easily customized for any green or brown field. This is based on the rule that any design variable (field rate, well numbers, jackets...) is decided by a specific level in reservoir management structure. For example, field rate or number of drilling for green field are the most important parameters that affect the cost of project. In this regards, they have the higher priority and should be optimized at the first stage. At the end of this stage, a decision should be taken. So we will have different levels of optimizations aligned with different level of decision taking; between each two level a decision gate should be considered. It should be noted that different levels have been optimized in decoupled manner. In each level, the optimization parameters of lower level have been set by practical and engineering tools. Figure 1 presents the proposed workflow for green field development optimization. It consists of the following steps for a giant field:

[1] Field Level Optimization: the first level includes determination of parameters which have major effects on the capital cost of project. For example, the field rate may be optimized in this level. For giant field, the best practice is phase development. Phasing of field, assigning priority to each phases and etc. can be optimized in this step. In this step, parameter that will be optimized in next steps (e.g. well locations) can be set by simple engineering tools. For example, concept of Simulation Opportunity Index (Abd Karim and Abd Raub, 2011) in green field or Dynamic Measure (Taware et al., 2012) for brown field can be used for well placement (Figure 2).

[2] Field Level Decision Gate: in this gate, one of scenarios which are planned in step 1 should be selected. The selection process can be multi-objective based on technical/economical objectives.

[3] Phase Level Optimization: in each phase, number of jackets (offshore) or clusters (onshore) , number of wells, well rates and etc. should be optimized. Although the decision taken in the step 2 will be optimized more in this step, it don't change the high level objective drastically.

[4] Phase Level Decision Gate: similar to step2, scenario designed in step 3 are evaluated in this gate. Optimum scenario based on the project objectives will be selected and confirmed.

[5] Next Levels: this multi-level optimization can be continued or customized for next levels. For example, in well level, it may be optimized the condition of well, lifting strategy, work-over plan, and etc.

The workflow has been implement in a giant offshore field in Iran. The results are presented in the next section.

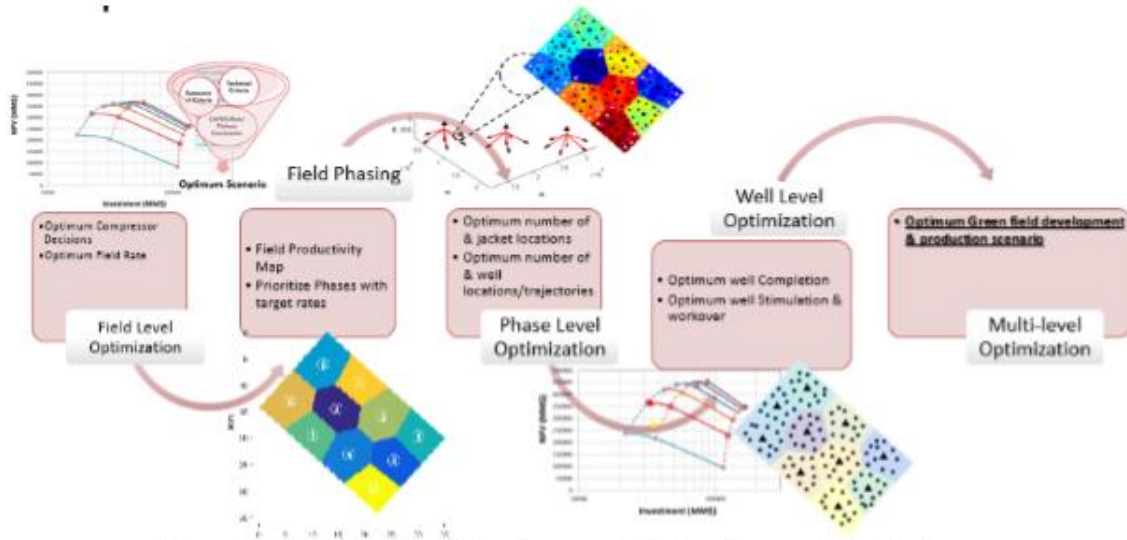


Figure 1 schematic of workflow for green field development optimization.

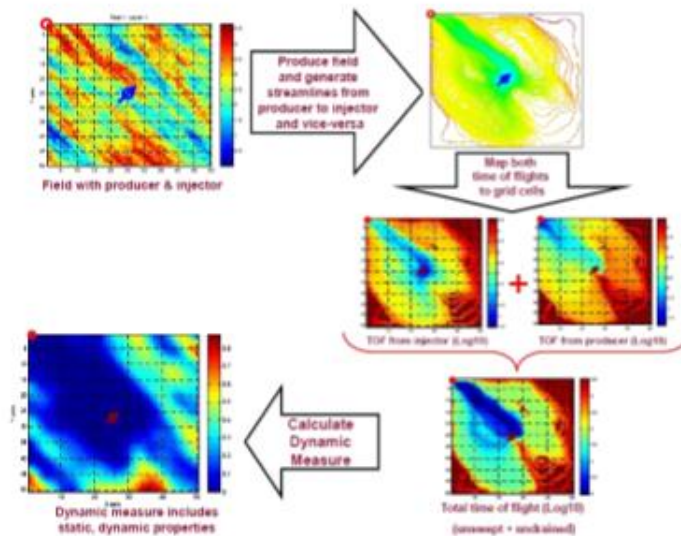


Figure 2 procedure of calculation of Dynamic Measure (Taware et al., 2012).

## Case Study

The proposed workflow has been implemented in a giant offshore field in south of Iran. Field has been produced for several years and now for production sustainability, some IOR/EOR activates are planned. We implement two parallel approaches for two purposes:

[1] Green field level optimization: we performed this to find the optimal scenarios for field development. This produces some optimal guideline to judge about the current situation of field and also finding the best solution to improve the performance of field by some IOR/EOR activities.

[2] Brown field optimization: this workflow is customized for current condition of field to reach sustainable production. Figure 3 shows the procedure designed for IOR/EOR activity optimization to find the best solution. Logic of this procedure is the same as described in previous section; only some modification has been applied.





After implementing the multi-level decision making in the field, the optimum scenario of IOR/EOR which includes drilling new infill wells, and also implementing lifting in the wells have been selected.

In Figure 4, results of two mentioned approaches have been presented. Lines show the optimal guidelines which can be used for decision making considering the constraints and also objectives. This lines are used for evaluation of current condition of field (red triangle). Selected scenario in brown field optimization has been shown by yellow circle; the results shows reaching the optimal from current condition need some extra capital cost. Blue dot shows the high-cost scenario which can be considered as maximum possible limit for improvement.

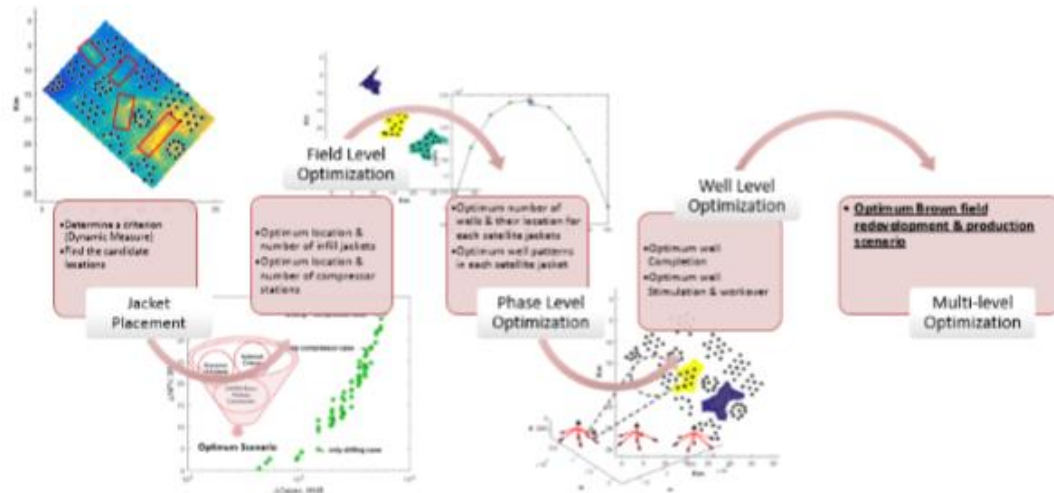


Figure 3 schematic of workflow for brown field development optimization.

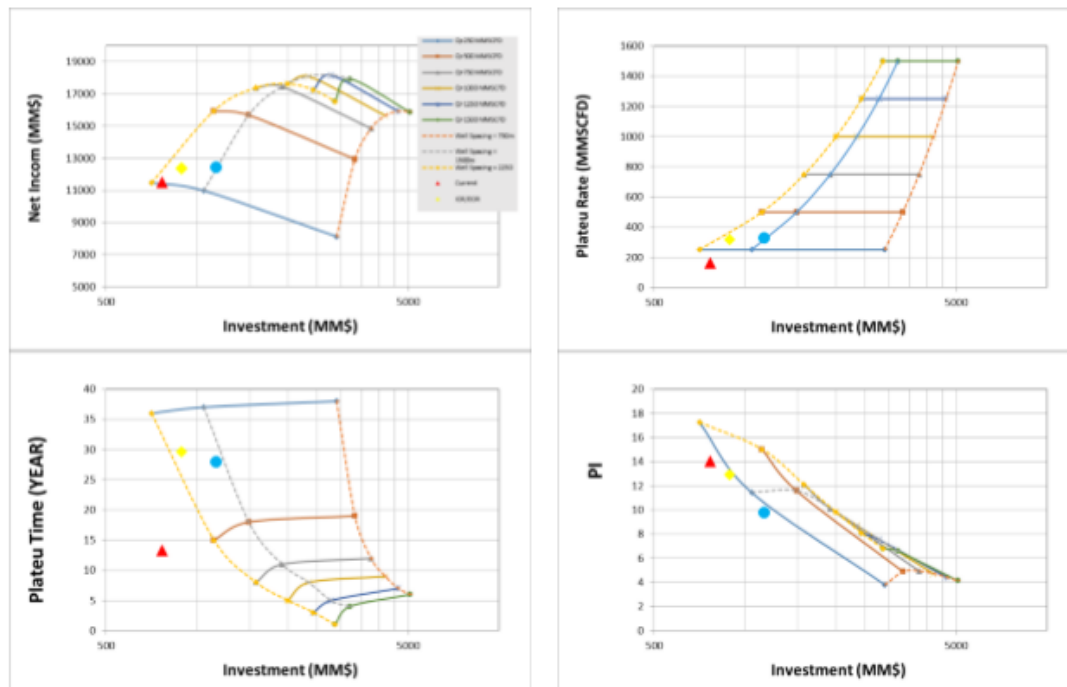


Figure 4 Results of development optimization.



## Conclusion

Implementing optimization procedure in real fields usually has encountered with operational challenges. These are the multi-objective conflicts, high number of parameter to be optimized, high computational cost, and different decision maker levels. This motivates us to design an integrated workflow for development optimization met the mentioned concern. Proposed workflow has been implemented in a giant offshore field; optimum scenario for IOR/EOR activates to sustain the production has been planned. Flexibility in multi-level optimization workflow causes that it can be customized for any type field regarding its condition.

## References

- Abd Karim, M.G., Abd Raub, M.R. Bin, 2011. Optimizing Development Strategy and Maximizing Field Economic Recovery through Simulation Opportunity Index, in: SPE Reservoir Characterisation and Simulation Conference and Exhibition. pp. 2–7. doi:10.2118/148103-MS Almeida, L.F., Tupac, Y.J., Lazo, J.G.L., Pacheco, M.A.C., Vellasco, M.M.B.R., 2007. Evolutionary Optimization of Smart-Wells Control Under Technical Uncertainties, in: Latin American & Caribbean Petroleum Engineering Conference. SPE 107872, Buenos Aires, Argentina. doi:10.2118/107872-ms
- Awotunde, A.A., Sibaweihi, N., 2014. Consideration of Voidage-Replacement Ratio in Well- Placement Optimization. SPE Econ. Manag. 40–54.
- Bagherinezhad, A., Bozorgmehry Boozarjomehry, R., Pishvaie, M.R., 2017. Multi-Criterion Based Well Placement and Control in the Water-Flooding of Naturally Fractured Reservoir. J. Pet. Sci. Eng. 149, 675–685. doi: 10.1016/j.petrol.2016.11.013
- Bellout, M.C., Ciaurri, D.E., Durlofsky, L.J., Foss, B., Kleppe, J., 2011. Joint Optimization of Oil Well Placement and Controls. Int. J. Math. Model. Numer. Optim. 16, 1061–1079.
- Doublet, D.C., Aanonsen, S.I., Tai, X.C., 2009. An efficient method for smart well production optimisation. J. Pet. Sci. Eng. 69, 25–39. doi: 10.1016/j.petrol.2009.06.008
- Echeverría Ciaurri, D., Isebor, O.J., Durlofsky, L.J., 2011. Application of derivative-free methodologies to generally constrained oil production optimization problems. Int. J. Math. Model. Numer. Optimisation` 2, 134–161. doi: 10.1016/j.procs.2010.04.145
- Gross, H., 2012. Response surface approaches for large decision trees: decision making under uncertainty, in: ECMOR XIII-13th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery.
- Humphries, T.D., Haynes, R.D., James, L. a., 2014. Simultaneous and sequential approaches to joint optimization of well placement and control. Comput. Geosci. 18, 433–448. doi:10.1007/s10596- 013-9375-x
- Isebor, O.J., Echeverri, D., Durlofsky, L.J., 2014. Generalized Field-Development Optimization with Derivative-Free Procedures. SPE J. 891–908.
- Jansen, J., Bosgra, O.H., Hof, P.M.J. Van den, 2008. Model-based control of subsurface flow. J. Process Control 1–17.



Jansen, J.D., Douma, S.D., Brouwer, D.R., Van der Hof, P.M.J., Bosgra, O.H., Heemink, A.W., 2009. Closed-Loop Reservoir Management, in: SPE Reservoir Simulation Symposium. Society of Petroleum Engineers, Woodlands, Texas. doi:10.2118/119098-MS

Lorentzen, R.J., Berg, A.M., Nævdal, G., Vefring, E.H., 2006. A New Approach for Dynamic Optimization of Waterflooding Problems, in: SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition. SPE 99690, Amsterdam, The Netherlands.

Onwunalu, J.E., Durlofsky, L.J., 2010. Application of a particle swarm optimization algorithm for determining optimum well location and type. Comput. Geosci. 14, 183–198. doi:10.1007/s10596-009-9142-1

Shirangi, M.G., Durlofsky, L.J., 2015. Closed-Loop Field Development Optimization Under Uncertainty, in: SPE Reservoir Simulation Symposium. SPE 173219-MS, Houston, Texas, pp. 1–22.

Taware, S.V., Park, H., Datta-Gupta, A., Bhattacharya, S., Tomar, a K., Kumar, M., Rao, H.S., 2012. Well placement optimization in a mature carbonate waterflood using streamline-based quality maps, in: Oil and Gas India Conference and Exhibition. Mumbai.

Van Essen, G.M., Van den Hof, P.M.J., Jansen, J.D., 2011. Hierarchical Long-Term and Short-Term Production Optimization. SPE J. 1, 191–199. doi:10.2118/124332-PA

Wang, C., Li, G., Reynolds, A.C., 2007. Production optimization in closed-loop reservoir management, in: SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE 109805, Anaheim, California, USA. doi: DOI: 10.2118/109805-MS

Zandvliet, M., Handels, M., van Essen, G., Brouwer, R., Jansen, J.-D., 2008. Adjoint-Based Well-Placement Optimization Under Production Constraints. SPE J. 13, 26–28. doi:10.2118/105797- PA



## سخن آخر

"هر ظرفی از آنچه در آن می نهند پر می شود ، مگر ظرف  
دانش که هر چه در آن می نهند از آن فراختر می شود."

امام علی (ع)

امیدواریم نشریه علمی نفتا درخت دانش وجودتان را پربار تر کرده باشد.

با تشکر