

ترشوندگی

□ تألیف: ارل سی. دونالدسون، وقیع نام

□ ترجمه: میلاد پورفرج قاجاری

حمید شریفی گلوپیک

عزت... کاظم زاده (عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت)





سرشناسه	دونالدسون، ارل سی، ۱۹۲۶-م.
عنوان و نام پدیدآور	ترشوندگی / تألیف ارل سی. دونالدسون، وقیع علم؛ میلاد پورفرج قاجاری، حمید شریفی گلوپیک، عزت‌الله کاظم‌زاده؛ ویراستار ادبی منیر قنبریان.
مشخصات نشر	تهران: پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	۳۰۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
بارک	۹۷۸-۶۰۰-۸۵۳۱-۰۷-۴
رصیف: فهرست‌نویسی	فیفا
یادداشت	عنوان اصلی: Wettability, 2008.
یادداشت	واژه‌نامه.
موضوع	یادداشت کتاب‌نامه.
موضوع	ترشوندگی
شناسه افزوده	Wettability
شناسه افزوده	عالم وقیع، ۱۹۷۹-م.
شناسه افزوده	Donaldson, Erle C.
شناسه افزوده	پورفرج قاجاری، میلاد، ۱۳۶۷- مترجم
شناسه افزوده	شریفی گلوپیک، حمید، ۱۳۵۸- مترجم
شناسه افزوده	کاظم‌زاده، عزت‌الله، ۱۳۲۱- مترجم
شناسه افزوده	پژوهشگاه صنعت نفت.
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۶QD۵۰۶
رده‌بندی دیویی	۴۵۷/۸۳
شماره کتاب‌شناسی ملی	۴۸۶۱۷۳۲

چاپ این کتاب، پس از دلاوری، در دوازدهمین جلسه شورای نشر پژوهشگاه صنعت نفت، مورخ ۱۳۹۵/۹/۱۵، به تصویب رسیده است.



تهران: بلوار غربی مجموعه ورزشی آزادی، پژوهشگاه صنعت نفت
کد پستی: ۱۱۱۵۲۳۱۱
صندوق پستی: ۱۳۷-۱۴۶۶۵
تلفن مرکز نشر: ۴۸۲۵۲۰۴۸، دورنگار: ۵۴۰۰۴۷۱
وب سایت پژوهشگاه: [E-mail: nashr@ripi.ir](mailto:nashr@ripi.ir) ، www.ripi.ir

ترشوندگی

تألیف: ارل سی. دونالدسون و وقیع علم

ترجمه: میلاد پورفرج قاجاری، حمید شریفی گلوپیک و عزت‌الله کاظم‌زاده

ناشر: پژوهشگاه صنعت نفت
طراح جلد: پرویز بیانی
قیمت: ۳۰۰۰۰۰ ریال
چاپ اول: پاییز ۱۳۹۶
چاپ و صحافی: بهراد
شمارگان: ۲۰۰ نسخه
شمارگان: ۲۰۰ نسخه

ISBN: 978-600-8531-07-4

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۵۳۱-۰۷-۴

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹	پیش‌گفتا
۱۱	پیش‌گفتا ترجمان
۱۳	مقدمه
۱۵	فصل اول: ترش‌بدگی
۱۷	۱-۱- ترش‌وندگی چه رگازنه
۱۷	۱-۱-۱- سیستم آب‌دوست
۱۸	۱-۱-۲- ترش‌وندگی جزیی
۱۸	۱-۱-۳- ترش‌وندگی ترکیبی
۱۸	۱-۱-۴- سیستم نفت‌دوست
۱۹	۱-۲- کشش بین‌سطحی
۲۲	۱-۳- زاویه تماس
۲۶	۱-۴- زاویه‌های تماس پیش‌رونده و پس‌رونده
۲۸	۱-۵- نگهداری مغزه
۲۹	۱-۶- فشار مویینگی
۳۴	۱-۷- شاخص ترش‌وندگی آموت
۳۴	۱-۸- آزمایش ترش‌وندگی ترکیبی آموت - USBM
۳۵	۱-۹- آشام خودبه‌خود
۳۶	۱-۱۰- برداشت نفت به کمک آشام
۳۸	۱-۱۱- پخش شدن
۴۲	۱-۱۲- اثر ترش‌وندگی بر تراوایی نسبی
۴۴	۱-۱۲-۱- اثر ترش‌وندگی بر سیلاب‌زنی
۴۶	۱-۱۲-۲- مراحل کار
۴۷	۱-۱۲-۳- نمودارهای تولید
۴۹	۱-۱۲-۴- اثرات گرانروی
۴۹	۱-۱۳- اثرات ترش‌وندگی بر خواص الکتریکی

صفحه	عنوان
۵۲	۱-۱۴-۱- پراکندگی و ترشوندگی
۵۲	۱-۱۴-۱- معرفی
۵۳	۱-۱۴-۲- کاربردها
۵۵	۱-۱۴-۳- تئوری
۵۶	۱-۱۵- اثر ترشوندگی
۵۷	مسائل
۵۹	فصل دوم: نیروهای سطحی
۶۱	۲-۱- مقدمه
۶۳	۲-۲- معادله حالت وان دروالس
۶۴	۲-۳- انرژی های برهم کنشی الکترواستاتیک
۶۵	۲-۴- محیط دیا الکتریک
۶۷	۲-۵- نیروهای برهم کنش داینامیک
۶۷	۲-۵-۱- نیروهای دینامیک
۶۸	۲-۵-۲- نیروهای پراکندگی لایه
۶۹	۲-۶- نیروهای دوقطبی
۶۹	۲-۶-۱- نیروهای دوقطبی-دوقبضی کیهان
۷۱	۲-۶-۲- برهم کنش های دوقطبی القا دینامیک
۷۲	۲-۶-۳- نیروهای وان دروالس
۷۳	۲-۷- پتانسیل زتا و برهم کنش الکتریکی دولایه
۷۷	۲-۸- نظریه DLVO
۷۸	۲-۹- ثابت هامیکر
۷۹	۲-۱۰- فشار جدایش
۸۰	۲-۱۰-۱- نیروهای الکترواستاتیک
۸۱	۲-۱۰-۲- معادله پواسون- بولتزمن
۸۱	۲-۱۰-۳- چگالی یون مخالف نسبت به فاصله (لایه دوگانه انتشاری)
۸۲	۲-۱۰-۴- فشار دافعه اسمزی
۸۳	۲-۱۰-۵- نیروهای هیدراسیون
۸۳	۲-۱۰-۶- فشار جدایش و پتانسیل استاندارد
۸۴	۲-۱۱- پیوند هیدروژنی
۸۵	۲-۱۲- خلاصه نیروهای برهم کنش
۸۶	۲-۱۳- واکنش های اسید/ باز لوییس
۹۳	۲-۱۴- رفتار حلال
۹۴	۲-۱۵- برهم کنش سطح جامد با محلول ها
۹۷	۲-۱۵-۱- تورم رس و حرکت ذرات
۹۹	۲-۱۵-۲- برهم کنش های نفت خام/ سطح جامد

۱۰۱	مسائل
۱۰۵	فصل سوم: ترشوندگی و تولید
۱۰۷	۱-۳-۱- مقدمه، منشا و تجمع هیدروکربن‌ها
۱۰۸	۲-۳-۲- تله‌های نفت خام
۱۱۰	۳-۳-۳- مهاجرت اولیه
۱۱۱	۴-۳-۴- مهاجرت ثانویه
۱۱۲	۱-۴-۳- نیروهای بویانسی (شناوری)
۱۱۴	۲-۴-۳- نیروهای موینگی
۱۱۶	۳-۴-۳- جزر و مد آب‌ها و مهاجرت ثانویه
۱۱۶	۴-۴-۳- جمع‌میدروکربن‌ها در تله
۱۱۷	۵-۳- حیطه ربرسطحی
۱۱۷	۶-۳- خواص سطوح خال و فرج
۱۲۱	۷-۳- جریان چندبازی
۱۲۳	۸-۳- پروفایل اشباع نمودن
۱۲۶	۹-۳- مخازن شکاف‌دار
۱۲۹	۱۰-۳- نسبت تحرک
۱۳۰	۱۱-۳- معادله کسر جریان
۱۳۵	۱۲-۳- معادله پیش‌روی جبهه
۱۳۸	۱۳-۳- اثر ترشوندگی بر سیلاب‌زنی
۱۴۰	مسائل
۱۴۵	فصل چهارم: تأثیرات اندازه خلل و فرج و تغییر ترشوندگی
۱۴۷	۱-۴-۱- مقدمه
۱۴۸	۲-۴-۲- تخلخل
۱۵۱	۱-۲-۴- ساختار خلل و فرج
۱۵۳	۲-۲-۴- بافت خلل و فرج
۱۵۴	۳-۲-۴- ماسه‌سنگ‌ها
۱۵۶	۴-۲-۴- سنگ‌های کربناته
۱۵۸	۳-۴- توزیع آماری اندازه خلل و فرج
۱۵۹	۱-۳-۴- به دست آوردن تراوایی از توزیع آماری اندازه خلل و فرج
۱۶۴	۲-۳-۴- معادله کارمن - کوزنی
۱۶۵	۳-۳-۴- خواص جریانی محیط متخلخل
۱۶۷	۴-۴- تغییر ترشوندگی
۱۶۸	۱-۴-۴- ترکیبات قطبی نفت‌های خام
۱۷۱	۲-۴-۴- ترکیبات قلیایی
۱۷۵	۳-۴-۴- عدد موینگی

صفحه	عنوان
۱۷۷	۴-۴-۴- سورفکتانت‌ها
۱۸۳	۴-۵- تغییر ترشوندگی به دلیل رشد و فعالیت میکروب‌ها
۱۸۴	۴-۶- شیمی ماسه سیلیکایی
۱۸۶	۴-۷- شیمی سنگ آهک، سنگ گچ و دولومیت
۱۸۸	۴-۸- خواص تاثیرگذار نفت‌های خام بر ترشوندگی
۱۹۰	۴-۹- قدرت حل شوندگی آسفالتین مربوط به نفت‌های خام
۱۹۰	۴-۹-۱- جذب روی سنگ‌های مخزن
۱۹۲	۴-۱۰- جمع‌بندی و نتایج کلی
۱۹۴	مسائل
۱۹۷	فصل پنجم: کاربردهای عملیاتی ترشوندگی
۱۹۹	۵-۱- مقدمه
۲۰۰	۵-۲- ترشوندگی و برده برداشت اولیه و ثانویه
۲۰۰	۵-۳- ترشوندگی و برده برداشت ثانویه
۲۰۱	۵-۴- تغییر ترشوندگی با استفاده از گرما برای افزایش برداشت
۲۰۲	۵-۵- میدان گابا نورث
۲۰۴	۵-۶- میدان قرن عالم
۲۰۷	۵-۷- جلوگیری از تغییر نامطلوب ترشوندگی با فرآیند ازدیاد برداشت
۲۰۷	۵-۸- آزمایش میدانی فرآیند رسوب CaCO_3 در پالک گرمایی الک پوینت
۲۰۹	۵-۹- ازدیاد برداشت نفت با تغییر ترشوندگی در اثر تزریق مواد شیمیایی
۲۱۰	۵-۱۰- تعیین امکان به کارگیری تغییر ترشوندگی
۲۱۲	۵-۱۱- اثر سیالات حفاری و تکمیل چاه بر ترشوندگی و پایداری در چاه
۲۱۳	۵-۱۲- به حداقل رساندن آسیب سازند با کنترل ترشوندگی
۲۱۵	مسائل
۲۱۷	فصل ششم: برنامه‌های زبان برنامه‌نویسی فورترن
۲۱۹	۶-۱- مقدمه
۲۱۹	۶-۲- انتشار
۲۲۵	۶-۳- کسر جریان دوفازی
۲۲۷	۶-۴- توزیع آماری اندازه خلل و فرج
۲۳۴	۶-۵- توزیع آماری اندازه خلل و فرج
۲۴۰	۶-۶- برآورد تراوایی
۲۴۲	۶-۷- تراوایی نسبی
۲۵۳	پیوست
۲۶۵	منابع
۲۷۹	واژه‌نامه

مقدمه

در صنعت نفت به موضوع ترشوندگی، با وجود نقش مهمش در برداشت حداکثری از مخزن، توجه چندانی نشده است که دلیل اصلی آن عدم وجود دانش لازم درباره این موضوع نسبتاً پیچیده است. تفاسیر اولیه درباره ترشوندگی را آمیکس^۱ و باس^۲ و وایتینگ^۳ در کتاب «خواص فیزیکی مهندسی مخازن نفت» در دهه ۱۹۶۰ انجام دادند و نویسنده اصلی این اثر روش USBM برای اندازه‌گیری ترشوندگی را در دهه ۱۹۷۰ ارائه کرد. اولین مطالعه جدی درباره ترشوندگی را بزرگ‌ترین شرکت اکتشاف و تولید (E&P)، شرکت نفت عربی-آمریکایی (که پس از ملی شدن در سال ۱۹۸۸، با نام آرامکو^۴ عودتی شناخته می‌شود) انجام داده است. این شرکت در اواخر دهه ۱۹۸۰ از نویسنده اصلی این کتاب دعوت کرد تا به مدت هفت سال به‌عنوان مشاور در یک پروژه تحقیق و پژوهش همکاری و به تعیین ترشوندگی بزرگ‌ترین میدان نفتی جهان (در عربستان) کمک کند.

با کمک تحقیقات و تجربیات فراوانی که از آن دوران و از چندین پروژه دیگر در دنیا گرد آمدند، کتاب حاضر روی‌کردی ساماندهی برای شرکت این پدیده پیچیده فراهم می‌آورد. براساس فیزیک و شیمی بنیادی پدیده ترشوندگی، این مفهوم به مهندسی نفت بسط داده شد تا سازوکارهای مخازن نفت نسبت به کشش بین‌سطحی و فشارهای سیوگی^۵ درک شوند. این کتاب اثرات ترشوندگی در سازوکارهای برداشت اولیه و ثانویه را نیز بررسی و تحلیل می‌کند. در کتاب حاضر جنبه‌های مختلف ترشوندگی گردآوری شده‌اند تا دانشجویان و محققان این مجارب را کسب کنند.

نویسندگان با شرح تئوری ترشوندگی با جزئیات فنی که آن‌ها گنجاندن مفاهیم و کاربردهای جذاب مهندسی، با ارائه‌ای برنامه‌ریزی شده، دانشجویان محققان و استادان را کاملاً با مفاهیم درگیر می‌کنند.

این کتاب موضوع ترشوندگی را با شرح جزئیات این مفهوم و به بررسی زاویه تماس و کشش بین‌سطحی و گنجاندن روش‌های آزمایشگاهی ثبت‌شده برای اندازه‌گیری آن، از کرده است. نویسندگان با بحث درباره اثرات ترشوندگی بر تراوایی نسبی و انتشار اهمیت ویژه ترشوندگی در برداشت نفت را شرح داده‌اند. کاربردهای این مفاهیم گسترده نیز به‌دقت شرح داده شده‌اند.

در فصل دوم، علوم پایه مربوط به ترشوندگی و اطلاعات تاریخی به‌دست‌آمده در فیزیک و فیزیک شیمی که جای آنها در علم حاضر مربوط به ترشوندگی غایب بود بررسی می‌شود. این اطلاعات بسیار برای محققان سودمند هستند و مثال‌های ارائه‌شده در انتهای فصل به دانشجویان در

^۱ Amyx

^۲ Bass

^۳ Whiting

^۴ Saudi Aramco

درک این موضوع پیچیده کمک می کنند.

در فصل سوم، تمرکز دوباره از «علم محض خسته کننده» به موضوع جذاب تر مهندسی معطوف می شود: تولید نفت. این فصل طیفی وسیع از مهندسی نفت را در برمی گیرد؛ از جمله این که به کمک تئوری های جریان جزیی و پیش روی جبهه در مهندسی مخزن، چگونه ترشوندگی به موضوع زمین شناسی نفت مربوط به تجمع هیدروکربن و مهاجرت مرتبط می شود. این بحث بلافاصله به موضوعات کاربردی از جمله سیلاب زنی، رایج ترین روش ازدیاد برداشت نفت، می رسد و درباره اثر ترشوندگی بر موفقیت و شکست پروژه های سیلاب زنی نیز بحث شده است. نمونه سئوالاتی برای تکمیل درک این مفاهیم مفید هستند.

در فصل چهارم به فرآیندهای پیچیده فیزیکی و شیمیایی که در مقیاس منفذی عمل می کنند اشاره و نحوه تاثیر ترشوندگی بر دو نوع اصلی سنگ ها (ماسه سنگ و کربناته) مشخص شده است. علاوه بر آن ترشوندگان ترشوندگی را در قبال انحلال آسفالتین موجود در نفت خام و جذب روی سنگ مخزن شرح می دهند.

در فصل پنجم، آگاهی های نا اید، میدانی از میادین مختلف جهان گردآوری شده اند و نویسندگان تجارب منحصربه فرد خود را در عنوان «شاهزادان متخصص را ارایه کرده اند. مواردی تاریخی، که تمام تئوری های ارایه شده درباره ترشوندگی در فصل های قبلی را پوشش می دهند، در این فصل ذکر شده اند که لزوم در نظر گرفتن ترشوندگی بعد از آن کلید گشودن ذخایر عظیم نفت را نشان می دهند؛ ذخایری که اگر گشوده نشوند، استخراج باقی می ماند. در نهایت، در فصل ششم، برنامه هایی به زبان فورترن به محققان صنعت اکتشاف و تولید و نیز دانشگاهیان تقدیم شده اند.

برای تسریع آموزش در کلاس ها، می توان یک نرم افزار دسی را برای این کتاب در نظر گرفت و به ترتیب، مطالعه فصل های اول، چهارم، سوم و پنجم رعیه می شود. فصل های اول و چهارم را می توان به آسانی در برنامه درسی دانشجویان پتروفیزیک گنجانید.

دکتر ام. رافیکول اول

آکادمی مهندسی نفت، دانشگاه خزاس تک،

لوبوک، تگزاس