

تراوایی نسبی در مخازن هیدروکربوری

مؤلفین

Mehdi Honarpour

Associate Professor of Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
Montana College of Mineral Science and Technology
Butte, Montana

Leonard Koederitz

Professor of Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
University of Missouri
Rolla, Missouri

A. Herbert Harvey

Chairman
Department of Petroleum Engineering
University of Missouri
Rolla, Missouri

مترجمین

مهندس امیر حسین علیزاده

مهندس بهزاد رستمی

مهندس امیر طاهری

سرشناسه:	هنرپور، مهدی
عنوان و نام پدیدآور:	Honarpour, Mehdi تراوایی نسبی در مخازن هیدروکربوری / مؤلفین مهدی هنرپور، لئونارد کودریتز.
مشخصات نشر:	تهران: سمر، ۱۳۸۶.
مشخصات ظاهری:	۲۱۶ ص.
شابک:	964-6508-56-1
وضعیت فهرست نویسی:	فیا
یادداشت:	عنوان اصلی: Relative permeability of petroleum reservoirs
موضوع:	سنگ ها - نفوذپذیری.
موضوع:	نفث - مهندسی مخازن و ژئومبسی.
موضوع:	مخزن های کربناته.
شناسه افزوده:	کودریتز، لئونارد
شناسه افزوده:	Koederitz, Leonard
شناسه افزوده:	هاروی، ا. هربرت
شناسه افزوده:	Harvey, A. Herbert
شناسه افزوده:	علیزاده، امیرحسین
شناسه افزوده:	ظاهری، امیر، ۱۳۶۰-
شناسه افزوده:	رستمی، بهزاد
شناسه افزوده:	شرکت ملی نفت ایران، مدیریت پژوهش و توسعه.
رده بندی کنگره:	۱۳۸۶ ق ۴ ر ۹ ص ۱۵ / TN۸۷۰
رده بندی دیویی:	۵۵۲-۵
شماره کتابشناسی ملی:	۱۰۵۸۲۱۸

تراوایی نسبی در مخازن هیدروکربوری
Relative Permeability of Petroleum Reservoirs

ناشر: مرکز نشر سمر / نوبت چاپ: اول (تابستان ۱۳۸۶)

تیراز: ۲۰۰۰ جلد

(حق چاپ محفوظ است)

شابک: ISBN ۹۶۴-۶۵۰۸-۵۶-۱



مرکز نشر سمر

تهران ۱۵۷۷۶/خ، سهروردی شمالی / بالاتر از استاد مطهری /

کوچه خشنودی / شماره ۵ / طبقه اول

تلفن ۸۸۷۳۱۳۹۸ و ۸۸۷۵۵۸۸۳ / نمایر: ۸۸۷۳۱۳۹۸

مقدمه

با افزایش رو به رشد مصرف انرژیهای فسیلی پس از جنگ جهانی دوم و به دنبال آن کاهش تولید طبیعی از مخازن نفت و گاز، تلاشها برای استخراج قسمت اعظم این منابع آغاز گردید. در این راستا تکنیکهای افزایش برداشت از مخازن و همچنین علم آن گسترش یافت. از سوی دیگر جهت برنامه ریزی و پیش بینی آینده مخازن نیازمند ابزاری بودیم تا بتوان پیچیده ترین میادین نفت و گاز را شبیه سازی کنیم. با پیشرفت علم کامپیوتر این مشکل نیز از پیش رو برداشته شد و هم اکنون قادریم تا با برنامه ریزیهای اصولی در جهت مدیریت و صیانت از این منابع انرژی گام برداریم. اما با این وجود دقت نتایج حاصله بستگی به صحت اطلاعاتی دارد که ما به عنوان ورودی در اختیار این شبیه سازها قرار می دهیم. در این میان اطلاعات یک مخزن اعم از داده های سنگ و سیال نقشی کلیدی را ایفا می کنند. پارامتر تراوایی نسبی یکی از مهمترین و حیاتی ترین این اطلاعات بوده که تحقیقات فراوانی به منظور شناخت و بررسی آن در شرایط مخزن صورت گرفته است. می توان گفت که کتاب حاضر یکی از معدود منابع لاتین در مورد نفوذپذیری نسبی در مخازن هیدروکربوری و اولین کتابی است که در این زمینه به فارسی ترجمه شده است. مؤلفین کتاب که خود از اساتید مطرح مهندسی نفت هستند اکثر روشها و معادلاتی معتبری را که تا زمان تألیف ارائه شده بودند را در این کتاب جمع آوری کرده و به همین دلیل این مجموعه کاربرد بسیار زیادی در شبیه سازی و محاسبات مخازن هیدروکربوری دارد. در اینجا وظیفه خود می دانیم که از حمایت های همه جانبه **واحد پژوهش و توسعه شرکت ملی نفت ایران** که مترجمین را همواره در امر ترجمه و انتشار این اثر یاری نمودند، تشکر و قدردانی نماییم. موجب امتنان است اگر خوانندگان ارجمند مترجمین را از نظرات ارزنده خود مطلع سازند.

امیر حسین علیزاده

امیر طاهری بهزاد رستمی

مؤلفان

دکتر **Mehdi "Matt" Honarpour** پروفیسور مهندسی نفت در کالج تکنولوژی و علوم معدنی Montana می باشد. دکتر Honarpour مدارک M.S.، B.S. و Ph.D. خود را در زمینه مهندسی نفت از دانشگاه Missouri-Rolla دریافت نمود. او در زمینه های مهندسی مخازن و آنالیز مغزه تعداد زیادی مقاله به رشته تحریر درآورده است. دکتر Honarpour در ۱۵ سال گذشته به عنوان مهندس مخزن، مهندس تحقیق، مشاور و استاد فعالیت نموده است. وی عضو چندین سازمان تخصصی شامل انجمن مهندسين نفت AIME، انجمن Pi، Sigma Xi، Epsilon Tau و Phi Kappa Phi می باشد.

دکتر **Leonard F. Koederitz** پروفیسور مهندسی نفت در دانشگاه Missouri-Rolla می باشد. او مدارک M.S.، B.S. و Ph.D. را از دانشگاه Missouri-Rolla دریافت نمود. Koederitz در Atlantic-Richfield و قبل از آن به عنوان رئیس گروه در Rolla فعالیت نموده است. وی تعدادی مقاله تخصصی و دو متن در زمینه مهندسی مخازن را به رشته تحریر در آورده است.

دکتر **A. Herbert Harvey** مدارک B.S. و M.S. را از دانشکده معدن Colorado و مدرک Ph.D. را از دانشگاه Oklahoma دریافت نمود. وی تعداد زیادی مقاله فنی را در ارتباط با موضوعات بهره برداری و تولید نفت به رشته تحریر در آورده است. دکتر Harvey رئیس انجمن نفت و گاز Missouri-Rolla و گروه مهندسی نفت دانشگاه Missouri-Rolla می باشد.

فهرست

فصل اول

۱	اندازه گیری تراوایی نسبی سنگ	۱
۱	مقدمه	۱
۲	روش های پایا	۲
۲	الف) روش Penn-State	۲
۴	ب) روش Single-Sample Dynamic	۴
۶	پ) روش های Stationary Fluid	۶
۷	ت) روش Hassler	۷
۸	ث) روش Hafford	۸
۹	ج) روش Dispersed Feed	۹
۱۰	۳. روش های ناپایا	۱۰
۱۳	۴. روش های فشار موئینگی	۱۳
۱۵	۵. روش های سانتریفیوژ	۱۵
۱۶	۶. محاسبه از اطلاعات میدان	۱۶
۱۹	منابع	۱۹

فصل دوم

۲۱	تراوایی نسبی دو فازی	۲۱
۲۱	۱. مقدمه	۲۱
۲۳	۲. LEAS , RAPOPORT	۲۳
۲۴	۳. FULCHER , LIETZ , GATES	۲۴
۲۵	۴. BURDINE , DYKSTRA , FATT	۲۵
۲۸	۵. GARDNER , SPRANGLER , WYLLIE	۲۸
۲۹	۶. JOHNSON , COREY , TIMMERMAN	۲۹

۳۸	 WYLLIE , TORCASO , WAHL ۷
۴۰	 COREY , BROOKS ۸
۴۱	 TORCASO , GARDNER , WYLLIE ۹
۴۲	 BOATMAN , PIRSON , ROSE , WYLLIE , LAND ۱۰
۵۱	 HIRASAKI , HONARPOUR ET AL. , KNOPP ۱۱
۵۸	 منابع

فصل سوم

۶۱	 عوامل مؤثر بر تراوایی نسبی دو فازی
۶۱	 ۱. مقدمه
۶۱	 ۲. منحنی های تراوایی نسبی دو فازی
۶۷	 ۳. اثرات وضعیت های اشباع
۶۹	 ۴. تأثیر خصوصیات سنگ
۷۶	 ۵. تعریف ترشوندگی و علل آن
۸۲	 ۶. تعیین ترشوندگی
۸۲	 الف) روش Contact Angle
۸۶	 ب) روش Imbibition
۹۰	 پ) روش Bureau of Mines
۹۰	 ت) روش Capillarimetric
۹۱	 ث) روش Fractional Surface Area
۹۱	 ج) روش Dye Adsorption
۹۱	 چ) روش Drop Test
۹۲	 ح) روش های Bobek و همکارانش
۹۲	 خ) روش Magnetic Relaxation
۹۳	 د) روش Residual Saturation
۹۴	 ذ) روش Permeability
۹۴	 ر) روش Connate Water-Permeability

۹۵.....	Relative Permeability	ز) روش
۹۷.....	Relative Permeability Summation	ز) روش
۹۷.....	Relative Permeability Ratio	س) روش
۹۸.....	Waterflood	ش) روش
۹۸.....	Capillary Pressure	ص) روش
۹۸.....	Resistivity Index	ض) روش
۹۹.....	عوامل مؤثر در ارزیابی ترشوندگی	۷.
۱۰۵.....	اثر ترشوندگی بر جریان چند فازی	۸.
۱۰۸.....	اثرات تاریخچه اشباع	۹.
۱۱۴.....	فشار بالا سری	۱۰.
۱۱۶.....	اثرات تخلخل و تراوایی	۱۱.
۱۱۸.....	اثرات دما	۱۲.
۱۱۹.....	اثرات کشش سطحی و دانسیته	۱۳.
۱۲۱.....	اثرات ویسکوزیته	۱۴.
۱۲۸.....	اثرات اشباع اولیه فاز ترکننده	۱۵.
۱۲۹.....	اثرات فاز سوم غیرمتحرک	۱۶.
۱۳۳.....	اثر سایر عوامل	۱۷.
۱۴۰.....	منابع	

فصل چهارم

۱۵۱.....	نفوذپذیری نسبی سه فازی
۱۵۱.....	۱. مقدمه
۱۵۳.....	۲. نفوذپذیری نسبی فرایند تخلیه
۱۵۳.....	الف) Lewis و Leverett
۱۵۶.....	ب) Wyllie و Henderson, Rathjens, Corey
۱۵۸.....	پ) Reid
۱۵۹.....	ت) Snell

۱۶۳.....	ت) Dean و Donaldson
۱۶۷.....	ج) Sarem
۱۶۸.....	ج) Fatt و Saraf
۱۷۰.....	ح) Gardner و Wyllie
۱۷۱.....	۳. نفوذپذیری نسبی فرایند آشام
۱۷۱.....	الف) Brownscombe و Slobod, Caudle
۱۷۲.....	ب) Wygal و Naar
۱۷۵.....	پ) Land
۱۷۸.....	ت) Owens و Schneider
۱۷۹.....	ث) Spronsen
۱۷۹.....	۴. مدل‌های احتمالی
۱۸۳.....	۵. تأیید آزمایشگاهی
۱۸۸.....	۶. دستگاه‌های آزمایشگاهی
۱۹۱.....	۷. ملاحظات عملی برای تست‌های آزمایشگاهی
۱۹۳.....	۸. مقایسه مدل‌ها
۱۹۵.....	منابع
	ضمیمه
۱۹۷.....	اعلام

پیشگفتار

در سال ۱۸۵۶، Henry P. Darcy نشان داد که شدت جریان آب از میان یک فیلتر

شنی را می‌توان توسط معادله زیر بیان کرد:

$$q = KA \frac{h_1 - h_2}{L}$$

که در این رابطه q شدت جریان آب عبوری به سمت پایین در یک ستون شنی فشرده عمودی به سطح مقطع A و طول L ، h_1 و h_2 به ترتیب فشار هیدرواستاتیکی در ورود و خروج محیط و K نیز یک مقدار ثابت می‌باشد. اما آزمایشات داری تنها به جریان آب در یک بستر شنی که از این سیال به طول کامل اشباع شده بود، محدود می‌گشت.

محققین بعدی دریافتند که می‌توان رابطه داری را با انجام تغییراتی برای جریان دیگر سیالات نیز به کار برد؛ بدین صورت که ثابت تناسب K را با عبارت k/μ جایگزین نموده که k خاصیتی از محیط متخلخل (تراوایی)^۱ و یا نفوذپذیری و μ خاصیتی از سیال (ویسکوزیته) می‌باشد. با این تصحیحات قانون داری را می‌توان به شکل کلی‌تر زیر نوشت:

$$V_s = \frac{k}{\mu} \left[\rho g \frac{dZ}{dS} - \frac{dP}{dS} \right]$$

که

S = فاصله در جهت جریان، که مثبت در نظر گرفته می‌شود.

V_s = شار حجمی عبوری از واحد سطح مقطع محیط در واحد زمان و در راستای مسیر جریان.

Z = مختصات قائم، که به سمت پایین مثبت در نظر گرفته می‌شود.

P = دانسیته سیال.

g = شتاب گرانش زمین.

dP/dS = گرادیان فشار در امتداد S و در نقطه‌ای که V_s بدان اشاره دارد.

^۱ Permeability

شار حجمی V_s ممکن است به صورت نسبت q/Δ تعریف شود که در آن q دبی حجمی سیال و Δ نیز سطح مقطع متوسط عمود بر خطوط جریان می باشد.

می توان نشان داد که ترم نفوذپذیری در قانون دارسی دارای بعد مربع طول می باشد. یک محیط متخلخل دارای نفوذپذیری یک دارسی بوده، هنگامی که سیالی تک فاز با ویسکوزیته یک سانتی پواز که حفرات آن را کاملاً اشغال کرده، تحت جریانی ویسکوز با سرعت یک سانتی متر مکعب بر ثانیه بر سانتی متر مربع و گرادیان فشاری یک اتمسفر بر سانتی متر از واحد سطح مقطع آن بگذرد. ذکر این نکته ضروری است که جریان سیال باید در محیطی که به طور کامل از آن فاز اشباع شده باشد صورت پذیرد. اما از آنجا که این حالت به ندرت در مخازن هیدروکربوری یافت می شود اعمال تغییراتی در رابطه فوق جهت استفاده از آن در مخازن نفت و یا گاز لازم می باشد.

اگر فرض کنیم یک محیط متخلخل که دارای دو یا چند سیال در حفرات خود می باشد نسبت به هر فاز یک نفوذپذیری مؤثر داشته که این نفوذپذیری هم خود تابعی از اشباع آن سیال بوده، می توان شکلی مفیدتر از قانون دارسی را به دست آورد. تراوایی مؤثر یک محیط متخلخل نسبت به یک سیال که آن را ۱۰۰٪ اشباع کرده است برابر نفوذپذیری مطلق محیط می باشد. فرض بر این است که تراوایی مؤثر هر فاز مستقل از دیگر فازها بوده و همچنین جریان فازها در محیط به صورت غیرامتزاجی صورت می پذیرد.

اگر نفوذپذیری نسبی را به صورت نسبت تراوایی مؤثر به تراوایی مطلق تعریف کنیم، قانون دارسی را می توان برای سیستمی که شامل سه فاز می باشد به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$V_o = \frac{k k_{ro}}{\mu_o} \left(\rho_o g \frac{dZ}{dS} - \frac{dP_o}{dS} \right)$$

$$V_g = \frac{k k_{rg}}{\mu_g} \left(\rho_g g \frac{dZ}{dS} - \frac{dP_g}{dS} \right)$$

$$V_w = \frac{k k_{rw}}{\mu_w} \left(\rho_w g \frac{dZ}{dS} - \frac{dP_w}{dS} \right)$$

که زیرنویس های o ، g و w به ترتیب نماینده نفت، گاز و آب می باشند. توجه شود که k_{rg} و k_{rw} معرف نفوذپذیری های نسبی سه فاز در مقدار اشباع های متناظرشان در محیط می باشد.

رابطه داری پایه اکثر محاسبات جریان سیال در مخازن هیدروکربوری می باشد. به منظور استفاده از این قانون، تعیین نفوذپذیری نسبی سنگ مخزن نسبت به هر فاز در سرتاسر محدوده تغییرات اشباع سیالات نیاز می باشد. مشکلاتی که در اندازه گیری و پیش بینی تراوایی نسبی وجود دارد توسط محققین متعددی مورد توجه قرار گرفته که در ادامه خلاصه ای از نتایج مهم این تحقیقات ارائه خواهد شد.

www.ketab.ir