



اصول مهندسی بهره‌برداری

Professor Tarek Ahmed

رشته‌های مهندسی نفت:

اکتشاف، بهره‌برداری، حفاری و مخازن هیدروکربوری

ترجمه و تصحیح: طارق احمد

ترجمه و تصحیح:

دکتر محمد کمال قاسم العبدی

مهندس محمد حسن معصومیا



موسسه انتشارات مکتب

سرشناسه	: احمد، طارق. ۱۹۴۶ - م. Tarek H. Ahmed
عنوان و نام پدیدآور	: اصول مهندسی بهره‌برداری لایر طارق احمد؛ ترجمه و توصیف محمد کمال قاسم‌العسکری، محمد حسن معصومیان.
مشخصات نشر	: تهران : ستایش، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۳۶۴ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۱۸۵۰۰۰ ریال 978-600-5184-42-6
وضعیت فهرست	: قیفا
نویسی	
یادداشت	: عنوان اصلی: handbook, 4th ed, c2010 Reservoir engineering.
یادداشت	: کتابنامه.
زبان دیگر	: مرجع کامل مهندسی مخازن نفت و گاز.
موضوع	: نفت -- مهندسی مخازن زیرزمینی
موضوع	: نفت -- میدان‌ها
موضوع	: مخزن‌های گاز
مراسم افزوده	: قاسم‌العسکری، محمد کمال، ۱۳۲۶ - مترجم
شناسه ورود	: معصومیان، محمد حسن، ۱۳۶۴ - مترجم
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۱ م ۴ الف / TN۸۷۱
رده‌بندی دیوید	: ۶۷۰۸۲
شماره کتابشناسی	: ۷۷

set
resft
ation
Institute



مؤسسه انتشارات ستایش

تهران - صندوق پستی: ۹۶۹-۱۳۱۴۵ تلفن: ۶۹۴۸۹۹۵ ۱۲ ۶۹۴۸۹۵۰ (۰۲۱)

اصول مهندسی بهره‌برداری

ترجمه و توصیف: محمد کمال قاسم‌العسکری، محمد حسن معصومیان

ناشر: مؤسسه انتشارات ستایش

نوبت چاپ: اول/ ۱۳۹۱

شمارگان: ۲۰۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۸۴-۴۲-۶

قیمت: ۱۸۵۰۰۰ ریال

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

سخن ناشر

ستایش خداوند جان و جهان که بخشید لطف و کرم بی‌کران

به حول و قوه‌ی الهی موسسه انتشارات ستایش با اهداف علمی - فرهنگی و ارائه خدمات، جهت تقاء آگاهی، سطح معلومات، دانش عموم، به‌ویژه ترویج کتاب و کتابخوانی اقدام به چاپ و انتشار کتاب‌های گوناگون نموده؛ امید است بتوانیم رابط موثری بین پدیدآورندگان و مخاطبان باشیم..... انشاءالله.

از انجمن مهندسان، محققان، اندیشمندان و صاحب‌نظران در زمینه‌های گوناگون علمی، کامپیوتری، فنر و مهندسی به‌ویژه مهندسی صنایع نفت دعوت می‌نماییم تا ما را در ارائه و گسترش اهداف مؤثرتری نمایند.

لازم به ذکر است که این اثر اصول مهندسی بهره‌برداری و دو جلد دیگر آن (اصول مهندسی مخازن هیدروکربوری و خصلت‌های مخازن) برگرفته از آخرین ویرایش کتاب پروفیسور طارق احمد با عنوان "Reservoir Engineering Handbook" می‌باشد که با تایید مولف این اثر آقای پروفیسور طارق احمد، منتشر شده است. شایسته است از آقایان مهندس محمد مهدی بادی و طالب اسفندیاری که بازبینی این اثر را انجام داده‌اند تشکر و قدردانی نماییم.

شایان ذکر است که در صورت تمایل به همکاری یا هر نوع انتقاد و پیشنهادی می‌توانید با ما به نشانی پست‌الکترونیکی setayeinbooks@yahoo.com یا تهران صندوق پستی ۱۶۱۸-۱۳۴۴۵ مکاتبه نمایید. لطف شما مایه افتخار ما خواهد بود.

فهرست مطالب دوره سه جلدی در یک نگاه

❖ نگاهی به فهرست مطالب جلد اول

- فصل اول: رفتار سیال‌های مخزن
- فصل دوم: خواص سیال‌های مخزن
- فصل سوم: بررسی آزمایشگاهی سیال‌های مخزن
- فصل چهارم: خواص سنگ‌های مخزن
- فصل پنجم: مدل‌های محاسبه‌ی تراوایی نسبی
- فصل ششم: بیان تجربی سیال‌های مخزن

❖ نگاهی به فهرست مطالب جلد دوم

- فصل هفتم: عملکرد چاه نفتی
- فصل هشتم: عملکرد چاه گاز
- فصل نهم: مخروطی شدن
- فصل دهم: نفوذ جریان آب $water\ influx$
- فصل یازدهم: سازوکارهای بازیافت نفت و معادله مؤلفه‌ی مواد
- فصل دوازدهم: پیش‌بینی عملکرد مخازن نفتی

❖ نگاهی به فهرست مطالب جلد سوم

- فصل سیزدهم: مخازن گازی
- فصل چهاردهم: اصول سیلاب‌زنی با آب
- فصل پانزدهم: تعادل فازي مایع-بخار
- فصل شانزدهم: تحلیل منحنی‌های افت فشار
- فصل هفدهم: مخازن شکافدار

تشکر و قدردانی

مؤلف محترم این کتاب با درایت و خضوع تمام تشکر نامه‌ای را در متن کلی کتاب خود قرار داده است، که به‌طور خلاصه به کلمات کلیدی آن اشاره می‌شود: "اغلب مطالب این کتاب از مقالات و نشریه‌های معتبر جهان تهیه و تدوین شده است". او طی چندین سال اخیر مطالب این کتاب را به‌صورت سه درس کارشناسی در مهندسی مخازن هیدروکربوری ارائه نموده است و نتایج آن تدریس را در اختیار دانشجویان دانشگاه مونتانا تکنولوژی در ایالات مونتانا قرار داده است. پروفسور طارق احمد طی سال‌های متمادی با دانشمندان این رشته تبادلات علمی فراوانی داشته و به همین دلیل است تا مطالب این کتاب را هر سال بهینه‌تر نماید.

ما به‌عنوان مترجمان این کتاب، بکندگان این اثر اعتراف می‌کنیم که مطالب علمی تدوین‌یافته با تجربیات مؤلف محترم هم‌پایه است که مخاطب را در متن مطالب علمی فرو می‌کشانند و زوایای کاربردی معادله‌های التماس در اصول موضوعه‌ی این علم را منعکس می‌کند. لذا مترجمان این کتاب سعی بر آن داشته‌اند تا با نگاه مؤلف محترم مطالب را دنبال کنند و هر جا که مفهوم در لفافه‌ای بیان شده آن را با زبان ساده‌تری توضیح نمایند. لذا این امکان وجود دارد که مطالب ترجمه شده با مطالب آورده شده در متن اصلی کتاب مطابقت کاملی نداشته باشند.

جا دارد از همکاری مدیر مسئول محترم انتشارات آقای علی‌اکبر حائری برای تدوین هر چه بهتر این کتاب تشکر و قدردانی نماییم. ضمناً از دانشجویان مهندسی نفت به‌خصوص آقایان مرتضی آسمانی، طالب اسفندیاری و محمد منصورآبادی که در پیاده‌نگری این کتاب همکاری لازم را داشته‌اند قدردانی می‌شود.

فهرست مطالب

۱۱	فصل هفتم: عملکرد چاه نفتی
۱۱	مقدمه
۱۲	۷- عملکرد چاه نفتی عمودی
۱۲	۱-۱- شاخص بهره‌دهی و IPR
۲۰	۲-۱-۷ شاخص
۲۸	۳-۱-۷ روش
۳۱	۴-۱-۷ روش
۳۴	۵-۱-۷ روش
۴۸	۶-۱-۷ روش کلینر
۵۱	۲-۷ عملکرد چاه نفت افقی
۵۵	۱-۲-۷ میزان تولید چاه افقی تحت شرایط جریان پایدار
۵۶	۲-۲-۷ روش بوریسف
۵۷	۳-۲-۷ روش جوشی
۵۸	۴-۲-۷ روش رنارد-دویای
۶۲	۵-۲-۷ میزان تولید چاه افقی تحت جریان شبه پایدار
۶۴	مسائل فصل هفتم
۶۷	منابع
۶۹	فصل هشتم: عملکرد چاه گازی
۶۹	۱-۸ مقدمه
۶۹	۲-۸ عملکرد چاه گازی عمودی
۸۰	۱-۲-۸ روش آرام-لخت-آشفته
۸۵	۲-۲-۸ آزمایش فشار بازگشتی
۹۴	۳-۲-۸ روابط عملکرد جریان (IPR) آینده
۹۵	۴-۲-۸ معادله‌ی فشار بازگشتی
۹۸	۳-۸ عملکرد چاه گازی افقی

۱۰۲.....	مسائل فصل هشتم.....
۱۰۴.....	منابع.....

ک فصل نهم: مخروطی شدن..... ۱۰۵

۱-۹.....	۱-۵.....	مقدمه.....
۱-۶.....	۲-۹.....	مخروطی شدن.....
۱۱۰.....	۳-۹.....	مخروطی شدن در چاه‌های عمودی.....
۱۱۰.....	۱-۳-۹.....	روابط مربوط به دبی بحرانی در چاه‌های عمودی.....
۱۴۱.....	۲-۳.....	انسان میان شکن در چاه‌های عمودی.....
۱۵۲.....	۴-۹.....	مخروطی شدن در چاه‌های افقی.....
۱۵۲.....	۱-۱.....	روابط مربوط به تعیین دبی بحرانی در چاه افقی.....
۱۵۸.....	۲-۴-۹.....	زمان میانی شدن در چاه‌های افقی.....
۱۶۷.....		مسائل فصل نهم.....
۱۶۹.....		منابع.....

ک فصل دهم: جریان آب نفوذی (ورودی)..... ۱۷۱

۱۷۱.....	۱-۱۰.....	مقدمه.....
۱۷۲.....	۲-۱۰.....	دسته‌بندی سفره‌های آبد.....
۱۷۶.....	۳-۱۰.....	تشخیص جریان آب نفوذی طبیعی.....
۱۷۷.....	۴-۱۰.....	مدل‌های آب ورودی.....
۲۴۵.....		مسائل فصل دهم.....
۲۴۸.....		منابع.....

ک فصل یازدهم: سازوکارهای بازیافت نفت و معادنی مرتبط با مواد..... ۲۴۹

۲۴۹.....	۱-۱۱.....	مقدمه.....
۲۵۰.....	۲-۱۱.....	سازوکارهای بازیافت اولیه.....
۲۵۰.....	۱-۲-۱۱.....	رانش به وسیله‌ی انبساط سنگ و سیال مخزن.....
۲۵۰.....	۲-۲-۱۱.....	مکانیزم رانش تخلیه.....
۲۵۳.....	۳-۲-۱۱.....	رانش کلاهدک گازی.....
۲۵۸.....	۴-۲-۱۱.....	سازوکار رانش با آب.....
۲۶۲.....	۵-۲-۱۱.....	سازوکار رانش ریزش ثقلی.....
۲۶۶.....	۶-۲-۱۱.....	سازوکار رانش ترکیبی.....

۳-۱۱ معادله‌ی موازنه‌ی مواد.....	۲۶۸
۱-۳-۱۱ فرض‌های اصلی در معادله‌ی موازنه‌ی مواد.....	۲۸۲
۲-۳-۱۱ معادله‌ی موازنه‌ی مواد به عنوان معادله یک خط راست.....	۲۸۷
۳-۳-۱۱ روش خط راست برای حل معادله‌ی موازنه‌ی مواد.....	۲۸۹
۴-۳-۱۱ معادله موازنه‌ی مواد تریسی	۳۱۵
مسائل فصل یازدهم.....	۳۱۹
منابع.....	۳۲۲

فصل دوازدهم: پیش‌بینی عملکرد مخازن نفتی	۳۲۳
۱- مقدمه	۳۲۳
۲-۱۲ روش پیش‌بینی عملکرد مخزن (فاز ۱).....	۳۲۴
۲-۱۲-۱ نسبت فاز به نفت لحظه‌ای	۳۲۴
۲-۲-۱۲ نسبت فاز به اشباع سیالات مخزن.....	۳۲۹
۲-۲-۱۲ تطبیق درجه‌ی اشباع نفت برای آب ورودی.....	۳۳۱
۲-۲-۱۲ تطبیق درجه‌ی اشباع نفت برای انبساط کلاهی گازی.....	۳۳۲
۲-۲-۱۲ تطبیق درجه‌ی اشباع نفت برای رانش ترکیبی.....	۳۳۳
۲-۲-۱۲ تطبیق درجه‌ی اشباع نفت برای انقباض کلاهی گازی.....	۳۳۴
۳-۱۲ رابطه‌ی عملکرد مخزن با زمان.....	۳۵۸
مسائل فصل دوازدهم.....	۳۶۲
منابع.....	۳۶۳

پیشگفتار

جلد دوم مربوط به اصول مهندسی بهره‌برداری در مخازن هیدروکربوری است. بهره‌برداری از مخازن نفتی از اصول موضوعه علم شناسایی رفتار مخازن محسوب می‌شود که به استناد آن باید مرحله به مرحله با اعمال روش‌های شناسایی مخزن در طی مراحل تولید صورت گیرد. در فصل هفتم عملکرد چاه نفتی مورد مطالعه قرار گرفته و رفتار مخزن طی زمان تولید بررسی گردیده است.

در فصل هشتم عملکرد چاه گازی به استناد اصول انتقال سیال‌های گازی مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل نهم مخروشی شدن به استناد روش‌های تحلیلی و عددی مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌ها و روش‌های محاسباتی ارائه شده کمک بزرگی به فهم پدیده‌ی مخروشی شدن سطوح سیال‌ها در مخزن می‌کنند.

فصل دهم شامل آبده‌ها (سلول‌های آب) و مدل‌های مربوط است. رژیم‌های جریان مختلفی به صورت مدل‌های واقعی معرفی گردید. این فصل رانش‌های آبی و نفتی به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مثال‌های طرحی شده کمک بزرگی به فهم مطالب این فصل می‌نماید. در فصل یازدهم سازوکارهای بازیافت بهیم نفتی و گاز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. معادله موازنه‌ی مواد به عنوان الگوریتمی مقدماتی برای پیش‌بینی جریان سیال‌ها در مخزن معرفی گردیده است.

ضمناً با چند مثال تحلیلی به بررسی کاربرد معادله موازنه مورد استفاده در مختلف پرداخته شده و در فصل دوازدهم این کتاب پیش‌بینی عملکرد مخازن هیدروکربوری مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

فصل هفتم

عملکرد چاه نفتی

مقدمه

در این فصل، معادلات کاربردی مهندسی بهره‌برداری از مخازن که برای پیش‌بینی عملکرد چاه‌های افقی و عمودی نفت طراحی شده‌اند معرفی گردیده‌اند. همچنین عواملی را که بر جریان سیال، از سازند تا چاه نفت دخالت دارند و نیز نحوه‌ی تأثیر این گونه عوامل بر چگونگی عملکرد تولید چاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این فصل، بررسی معادلاتی از علم مهندسی بهره‌برداری که به‌صورت عملی به منظور پیش‌بینی عملکرد چاه‌های نفتی عمودی و افقی مورد استفاده قرار می‌گیرند پرداخته خواهد شد. همچنین در این فصل، بررسی تأثیر برخی عوامل کنترل‌کننده‌ی جریان سیالات از سازند به‌طرف چاه و میزان اثر آنها بر عملکرد چاه‌های نفتی پرداخته خواهد شد. آنالیز عملکرد تولید یک چاه براساس شاخص‌های چاه سیال صورت می‌گیرد. تحلیل و تفسیر عملکرد تولید بر مبنای ویژگی‌های چاه و سیال نیز مورد بررسی قرار گرفته است که بیشتر شامل:

- ویژگی‌های PVT سیال
- داده‌های تراوایی نسبی سازند
- روابط عملکرد جریان ورودی به چاه (IPR):^۱

۷-۱ عملکرد چاه نفتی عمودی

این شاخص‌ها عبارتند از:

۷-۱-۱ شاخص بهره‌دهی و IPR

توانایی چاه برای تولید را شاخص بهره‌دهی گویند که با نماد J نشان داده می‌شود و برابر است با نسبت دبی کلی جریان نفت به افت فشار.

ای نفت تولیدی عاری از آب، شاخص بهره‌دهی برابر است با:

$$J = \frac{Q_0}{P_r - P_{wf}} = \frac{Q_0}{\Delta p} \quad (1-7)$$

که در آن:

Q_0 : نرخ جریان نفت (STB / day)

J : شاخص بهره‌دهی (STB / day . Psi)

$\bar{P}_r$: (Static pressure) یعنی فشار در ناحیه تخلیه (فشار ایستایی) (Psi)

P_{wf} : فشار جریان در دهانه چاه (Psi)

ΔP : افت فشار (Psi)

معمولاً شاخص بهره‌دهی طی یک آزمایش تولید بر روی چاه، اندازه‌گیری می‌شود. در این آزمایش ابتدا چاه را تا زمان رسیدن به فشار ایستایی مخزن بسته نگاه می‌دارند و سپس به آن اجازه تولید با نرخ ثابت Q و فشار ثبت شده جریان ته چاهی تثبیت‌شده P_{wf} را می‌دهند. از آنجایی که فشار تثبیت شده سطح الزاماً نمی‌تواند یانگ P_{wf} تثبیت‌شده باشد، لازم است فشار جریانی ته چاه به طور پیوسته از لحظه‌ای که جریان ثبت گردد، سپس می‌توان با استفاده از معادله‌ی (۷-۱) شاخص بهره‌دهی را محاسبه نمود.

شایان ذکر است که شاخص بهره‌دهی زمانی معیاری مناسب و معیار برای ظرفیت تولیدی چاه است که چاه در حالت شبه^۱- پایدار جریان داشته باشد. بنابراین برای اندازه‌گیری دقیق شاخص تولید لازم است که چاه با نرخ ثابت به مدت کافی جریان داشته باشد. همان طور که در شکل (۷-۱) نشان داده شده به حالت شبه- پایدار برسد. این شکل نشان می‌دهد که در طول حالت ناپایدار^۲، مقادیر محاسبه شده برای شاخص بهره‌دهی نسبت به زمانی که P_{wf} اندازه‌گیری شده، تغییر خواهد کرد.

1- Pseudo

2- Transient