

دانشگاه شیراز

۳۷۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مبانی مهندسی مخازن نفت و گاز

تدوین و گردآوری:

مهندس مینو نعمت‌اللهی

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز

۱۳۸۴

نعمت اللهی ، مینو

مبانی مهندسی مخازن نفت و گاز / تدوین و گردآوری مینو نعمت اللهی -
شیراز : دانشگاه شیراز ، مرکز نشر ، ۱۳۸۴ .

۲۱۶ ص : مصور ، جدول ، نمودار - (انتشارات دانشگاه شیراز ، ۳۷۸)

شابک ۹۶۴-۴۶۲-۳۷۷-۰

ص . ع . به انگلیسی :

Minoo Nematollahi . Introduction to Oil and Gas Reservoir Engineering .

کتابنامه در پایان هر فصل

۱. نفت - مهندسی مخازن زیرزمینی . الف . عنوان . ب . فروست .

۶۲۲/۳۳۸۲

مبانی مهندسی مخازن نفت و گاز

تدوین و گردآوری : مهندس مینو نعمت اللهی

ویراستار : آمنه کمالی سروستانی

حروفچین رایانه ای و صفحه آرایی : معصومه رودکی و لیلا کشاورزی

ناشر : مرکز نشر دانشگاه شیراز

لیتوگرافی ، چاپ و صحافی : چاپخانه ی مرکز نشر دانشگاه شیراز

چاپ اول : ۱۳۸۴

شمارگان ۱۰۰۰ نسخه

شابک : ۹۶۴ - ۴۶۲ - ۳۷۷ - ۰

بها : ۱۹۵۰۰ ریال

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه شیراز محفوظ است .

شورای انتشارات دانشگاه شیراز

شریف (معاون پژوهشی و رئیس شورای انتشارات)

بازرگان لاری (رئیس مرکز نشر دانشگاه شیراز)

فقیه

دادرس

طاهری

کریمیان

مقدسی

جعفری

شهیم

دکتر حبیب

عبدالرضا

دکتر نظام الدین

دکتر حبیب ...

دکتر منصور

دکتر نجفعلی

دکتر جلیل

دکتر سید محمد مهدی

سیما

سخنی با خوانندگان

در طول سالهای متمادی که به تدریس دروس مقدمات پالایش نفت و گاز و فرآیندهای پالایش در دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز اشتغال داشته‌ام به این نکته برخورد کرده‌ام که دانشجویانی که در رشته مهندسی شیمی و صنعت نفت آموزش می‌بینند نیاز به دانش پایه در رابطه با زمین‌شناسی نفت و چگونگی تشکیل مخازن هیدروکربنی و ارزیابی ذخیره‌های آن و همچنین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی آن دارند. دانشجویانی که این دروس را می‌گذرانند پس از فراغت از تحصیل با مراجعه به اینجانب مکتوب این مطالب را مفید می‌دانستند و لزوم آن را یادآور می‌شدند. آگاهی از این نکته انگیزه تدوین کتاب حاضر شد و کوشش شد تا مطالب (در حدی که به درک موضوع لطمه‌ای وارد نکند) با زبانی ساده بیان گردد به طوری که دانشجویانی که هیچگونه پیش‌زمینه‌ای در علم زمین‌شناسی ندارند بتوانند از آن بهره‌گیرند. در مورد واژه‌های ناآشنای به کار رفته، معادل انگلیسی آن آورده شده تا به درک مطلب کمک کند.

در قسمت‌های مرتبط به زمین‌شناسی مخازن تلاش بر این بوده است که مثال‌ها و نگاره‌ها در رابطه با مخازن نفتی ایران باشد. امید آنکه این کتاب برای علاقه‌مندان و دانشجویان مهندسی شیمی، نفت و گاز مفید باشد و خوانندگان با یادآوری نارسایی‌ها و با پیشنهادهای ارزنده خود موجبات امتنان نویسنده را فراهم آورند.

در پایان لازم می‌دانم از دست‌اندرکاران انتشارات دانشگاه شیراز و تمام کسانی که در انتشار این کتاب نقشی داشته‌اند به ویژه استادان محترمی که داوری این کتاب را بر عهده داشته و با رهنمودهای خود در رفع کاستیهای آن همکاری داشته‌اند صمیمانه قدردانی نمایم. سپاس بی‌پایان خود را از سرکار خانم لیلا کشاورزی که با بردباری و دقت فراوان حروفنگاری رایانه‌ای کتاب را به عهده گرفته و به پایان برده‌اند ابراز می‌دارم و از آقای پوریا بهپور و خانم معصومه بردبار به خاطر همکاری در پردازش تصاویر سپاسگزارم.

مینو نعمت‌اللهی

پیش گفتار

۱- منشأ نفت

۲- نظریه غیر آلی بودن منشأ نفت

۳- نظریه منشأ آلی نفت

فصل اول: تاریخ تشکیل زمین

۱-۱- دوران های زمین شناسی

۱-۱-۱- تعیین سن سنگ ها در زمین شناسی

۱-۱-۲- سن نسبی و سن مطلق

۱-۱-۳- چگونگی تشکیل سنگواره

۲-۱- زمین شناسی عمومی

۱-۲-۱- ژئودینامیک خارجی زمین

۱-۲-۲- ژئودینامیک داخلی زمین

۱-۲-۳- ژئوتکتونیک یا ساختمان کره زمین

۱-۲-۴- نظریه ی تکتونیک صفحه ای یا نقل مکان قاره ها

۳-۱- زمین شناسی نفت و چگونگی تشکیل مخازن هیدروکربنی

۱-۳-۱- منشأ

۱-۳-۲- محفوظ ماندن مواد آلی درون رسوبات از اثرهای تخریبی

۱-۳-۳- مهاجرت مواد نفتی از رسوبات سنگ مادر به درون سنگ مخزن

۴-۱- وجود سازند مناسب برای ایجاد سنگ مخزن نفت

۱-۴-۱- چگونگی تشکیل سنگ های مخزن نفت

۱-۴-۲- انواع نفتگیرها و چگونگی تشکیل آنها

۵-۱-۱-۰- زمین شناسی مخازن نفت خیز ایران

پرسش های فصل اول

منابع فصل اول

فصل دوم: ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نفت خام

۱-۲- ویژگی های فیزیکی نفت خام

۱-۱-۲- دسته بندی نفت خام

۲-۱-۲- چگالی

۳-۱-۲- نمایه رابط (Correlation Index)

۴-۱-۲- فاکتور مشخصه ی واتسون (Watson Characterization Factor)

۵-۱-۲- مقدار سولفور

۶-۱-۲- نقطه ی ریزش (Pour Point)

۷-۱-۲- باقیمانده کربن (Carbon Residue)

۸-۱-۲- مقدار نمک (Salt Content)

۹-۱-۲- مقدار نیتروژن

۱۰-۱-۲- دامنه ی نقطه ی جوش

۱۱-۱-۲- مقدار فلزات

۱۲-۱-۲- نقطه ی آنیلین (Aniline Point)

۱۳-۱-۲- نمایه شکست (Refractive Index)

۱۴-۱-۲- گرانیروی (Viscosity)

۲-۲- ترکیب شیمیایی نفت خام

۱-۲-۲- هیدروکربن ها

۲-۲-۲- ترکیبات غیر هیدروکربنی

(ب)

۸۱	۳-۲- برآورد و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی مایعات نفتی
۸۱	۱-۳-۲- برآورد چگالی
۸۶	۲-۳-۲- محاسبه‌ی تغییرات چگالی مایعات نفتی بر حسب دما و فشار
۸۸	۳-۳-۲- اثر متان و اتان در مقدار چگالی مایعات هیدروکربنی
۹۴	۴-۳-۲- گرانروی مایعات نفتی
۹۸	۵-۳-۲- مشخصه‌های تقطیر (Distillation Characteristics)
۱۰۰	پرسش‌های فصل دوم
	مسئله‌ی فصل دوم
۱۰۲	منابع فصل دوم
۱۰۳	فصل سوم : ویژگی‌های گازهای هیدروکربنی
۱۰۴	۱-۳- رفتار فازی سیستم‌های چند جزئی
۱۰۶	۲-۳- ویژگی‌های فیزیکی آمیزه‌ی گازهای هیدروکربنی
۱۱۰	۱-۲-۳- معادله‌ی حالت (Equation of State)
۱۱۲	۲-۲-۳- منابع گازهای هیدروکربنی و چگونگی رفتار فازی آنها
۱۱۸	۳-۲-۳- معادلات حالت برای گازهای غیرایده‌آل یا گاز واقعی
۱۵۲	پرسش‌های فصل سوم
۱۵۳	مسائل فصل سوم
۱۵۵	منابع فصل سوم
۱۵۷	فصل چهارم: ویژگی‌های مخازن هیدروکربنی
۱۵۷	۱-۱-۴- فشار مخزن
۱۵۸	۲-۱-۴- فشار غیر طبیعی مخزن

۱۶۰	۳-۱-۴- دمای مخزن
۱۶۰	۲-۴- تخلخل و نفوذپذیری سنگ مخزن
۱۶۰	۱-۲-۴- تخلخل (Porosity)
۱۶۵	۳-۴- نفوذپذیری سنگ مخزن (Permeability)
۱۶۶	۱-۳-۴- معادله‌ی دارسی (Darcy Equation)
۱۶۷	۲-۳-۴- سیالات موجود در مخزن
۱۶۹	۴-۴- برداشت نفت از مخازن
۱۷۰	۱-۴-۴- رانش‌های طبیعی
۱۸۲	۲-۴-۴- رانش مصنوعی
۱۸۲	۳-۴-۴- بازیافت دوم
۱۸۴	۴-۴-۴- محاسبه‌ی ظرفیت مخازن هیدروکربنی و تولید آن
۱۸۸	۵-۴-۴- محاسبه‌ی دبی نفت گاز در چاه‌های تولیدی
۱۹۹	پرسش‌های فصل چهارم
۲۰۰	مسائل فصل چهارم
۲۰۳	منابع فصل چهارم
۲۰۵	فصل پنجم: اکتشاف مخازن نفتی
۲۰۶	۱-۵- روش‌های اکتشاف نفت
۲۱۳	۲-۵- تاریخچه‌ی اکتشاف در ایران
۲۱۵	پرسش‌های فصل پنجم
۲۱۶	منابع فصل پنجم

- نگاره‌ی ۱-۱- هسته‌ی مرکزی، هسته، پوشش و پوسته زمین
۲
- نگاره‌ی ۲-۱- هاگدانه‌های فسیلی
۱۳
- نگاره‌ی ۳-۱- الف- یک برش نازک از سنگ آهک با میکروفسیل‌های درون آن
۱۴
- نگاره‌ی ۳-۱- ب- فسیل بزرگ شده با میکروسکوپ الکترونی
۱۹
- نگاره‌ی ۴-۱- الف- خشکی واحد پلنگه و تطبیق ساحل شرقی آمریکای جنوبی با ساحل غربی
آفریقا
- نگاره‌ی ۴-۱- ب- تشکیل نفت در حاشیه صفحات تکتونیکی
۲۲
- نگاره‌ی ۵-۱- تغییر شکل لایه‌های زمین در اثر نیروهای وارد شده
۲۳
- نگاره‌ی ۶-۱- حرکات قائم پوسته زمین
۲۴
- نگاره‌ی ۷-۱- مراحل گوناگون انباشته شدن هیدروکربن در تاق‌دیس
۲۷
- نگاره‌ی ۸-۱- مرحله‌ی نهایی وضعیت هیدروکربن در نفتگیرهای سری
۲۸
- نگاره‌ی ۹-۱- نمایش رابطه‌ی مقدار نفت و آب با اندازه‌ی منافذ سنگ مخزن
۲۹
- نگاره‌ی ۱۰-۱- نمایش ماسه و ماسه‌سنگ که در اثر سیمان طبیعی به هم چسبیده
۳۱
- نگاره‌ی ۱۱-۱- تخلخل و نفوذپذیری سنگ آهک درزدار
۳۲
- نگاره‌ی ۱۲-۱- شکاف‌های ایجاد شده در تاق‌دیس لایه‌ی آسماری
۳۳
- نگاره‌ی ۱۳-۱- تقسیم‌بندی انواع نفتگیرها
۳۵
- نگاره‌ی ۱۴-۱- نفتگیر تاق‌دیزی
۳۶
- نگاره‌ی ۱۵-۱- نفتگیر گسلی
۳۶
- نگاره‌ی ۱۶-۱- چگونگی تشکیل نفتگیر دگرشیبی
۳۹
- نگاره‌ی ۱۷-۱- چگونگی تشکیل نفتگیر ریفی
۴۰
- نگاره‌ی ۱۸-۱- چگونگی تشکیل نفتگیر گنبد نمکی
۴۱

- نگاره‌ی ۱-۱۹- نفتگیر ترکیبی ۴۳
- نگاره‌ی ۱-۲۰- مقطع عمودی انواع نفتگیرها ۴۴
- نگاره‌ی ۱-۲۱- مقطع عمودی نفتگیرهای گسلی و تغییر رخساره ۴۵
- نگاره‌ی ۱-۲۲- چین خوردن لایه‌ها در جنوب و غرب ایران و تشکیل تاقدیس‌ها در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی ۴۷
- نگاره‌ی ۱-۲۳- تاقدیس کبیر کوه در لرستان بر اثر چین خوردگی‌های ناشی از فشار صفحه‌ی عربستان ۴۷
- نگاره‌ی ۱-۲۴- نمایش جهت‌یابی میدان‌های نفتی در جنوب و غرب ایران ۴۸
- نگاره‌ی ۱-۲۵- موقعیت سازند آسماری در ستون زمین‌شناسی جنوب ایران ۵۱
- نگاره‌ی ۱-۲۶- مقطع زمین‌شناسی از ناحیه خلیج فارس در امتداد جنوب غربی - شمال شرقی ۵۲
- نگاره‌ی ۱-۲۷- مقطع ساده شده حوزه نفتی مژدوران واقع در شمال شرقی ایران ۵۳
- نگاره‌ی ۱-۲- رابطه تقریبی جرم ملکولی و چگالی نسبی مایعات هیدروکربنی ۸۲
- نگاره‌ی ۲-۲- رابطه چگالی و دما برای مایعات ۸۳
- نگاره‌ی ۲-۳- رابطه چگالی آمیزه هیدروکربنی با فشار و دما ۸۴
- نگاره‌ی ۲-۴- چگالی نسبی آمیزه هیدروکربن در فشار حباب ۸۵
- نگاره‌ی ۲-۵- رابطه‌ی خواص مایع هیدروکربنی با متغیرهای گوناگون مربوط به آن ۸۷
- نگاره‌ی ۲-۶- اثر دما و فشار بر چگالی مخلوط هیدروکربن‌های مایع ۸۸
- نگاره‌ی ۲-۷- چگالی نسبی مایعات هیدروکربنی شامل متان و اتان در فشار و دمای ۱۵ درجه ۹۱
- نگاره‌ی ۲-۸- تصحیح چگالی نسبی نسبت به فشار مربوط به نگاره‌ی ۲-۷ ۹۲
- نگاره‌ی ۲-۹- رابطه چگالی نسبی با دما ۹۳
- نگاره‌ی ۲-۱۰- گرانروی هیدروکربن‌های پارافینی ۹۵

- نگاره‌ی ۲-۱۱- گرانروی هیدروکربن‌های پارافینی با استفاده از روش EMR ۹۶
- نگاره‌ی ۲-۱۲- گرانروی هیدروکربن‌های خالص پارافینی در فشار زیاد ۹۷
- نگاره‌ی ۲-۱۳- منحنی‌های نشان‌دهنده، چند نمونه تقطیر TBP ۹۸
- نگاره‌ی ۳-۱- نمونه‌ای از رفتار فازی برای آمیزه چند جزئی ۱۰۴
- نگاره‌ی ۳-۲- اثر مقدار اجزاء هیدروکربن در منحنی رفتار فازی برای سیستم دوگانه ۱۱۱
- متان، پروپان
- نگاره‌ی ۳-۳- محل مکان هندسی نقاط بحرانی سیستم دوگانه. ۱۱۱
- نگاره‌ی ۳-۴- کاربرد منحنی رفتاری در پیش‌بینی وضعیت مخازن هیدروکربنی ۱۱۲
- نگاره‌ی ۳-۵- تغییرات حجمی نفت خام به علت جدا شدن گازهای حل شده در آن ۱۱۵
- نگاره‌ی ۳-۶- الف - نمایه حجمی نفت سازند برحسب تابعی از فشار ۱۱۶
- ب - حجم استاندارد گازهای حاصل شده در نفت برحسب تابعی از فشار
- پ- گرانروی نفت برحسب تابعی از فشار
- نگاره‌ی ۳-۷- فرآورده های نفت خام ۱۱۷
- نگاره‌ی ۳-۸- ضریب فشردگی گاز متان ۱۲۰
- نگاره‌ی ۳-۹- ضریب فشردگی گازهای طبیعی بر حسب فشار کاهش یافته و دمای ۱۲۲
- کاهش یافته
- نگاره‌ی ۳-۱۰- شرایط بحرانی C_v در گاز طبیعی بر حسب جرم ملکولی ۱۲۵
- نگاره‌ی ۳-۱۱- شرایط بحرانی مجازی گاز طبیعی بر حسب چگالی نسبی ۱۲۷
- نگاره‌ی ۳-۱۲- ضریب فشردگی گاز طبیعی با چگالی نسبی ۰/۱۶ ۱۲۸
- نگاره‌ی ۳-۱۳- ضریب فشردگی گاز طبیعی با چگالی نسبی ۰/۱۶۵ ۱۲۹
- نگاره‌ی ۳-۱۴- ضریب فشردگی گاز طبیعی با چگالی نسبی ۰/۱۷ ۱۳۰
- نگاره‌ی ۳-۱۵- ضریب فشردگی گاز طبیعی با چگالی نسبی ۰/۱۸ ۱۳۱
- نگاره‌ی ۳-۱۶- ضریب فشردگی گاز طبیعی با چگالی نسبی ۰/۱۹ ۱۳۲

- نگاره‌ی ۱۷-۳- ضریب فشردگی گاز طبیعی میعانی با چگالی نسبی ۰/۹ ۱۳۳
- نگاره‌ی ۱۸-۳- ضریب فشردگی گاز طبیعی متفرقه با چگالی نسبی ۱/۰ ۱۳۴
- نگاره‌ی ۱۹-۳- ضریب فشردگی گاز طبیعی میعانی با چگالی نسبی ۱/۰ ۱۳۵
- نگاره‌ی ۲۰-۳- ضریب فشردگی ضریب تصحیح دمای بحرانی برای گازهای ترش ۱۴۱
- نگاره‌ی ۲۱-۳- رابطه EMR بر حسب ρ^2 (چگالی) ۱۴۵
- نگاره‌ی ۲۲-۳- رابطه EMR و $T_C / \sqrt{P_C}$ ۱۴۶
- نگاره‌ی ۲۳-۳- رابطه EMR و T_C / P_C ۱۴۷
- نگاره‌ی ۲۴-۳- ضریب فشردگی بر حسب P_r و T_r با روش EMR ۱۴۸
- نگاره‌ی ۱-۴- تخمین فشار سازند ۱۵۶
- نگاره‌ی ۲-۴- وضعیت قرار گرفتن ذرات کروی در یک واحد سلولی مکعبی شکل ۱۶۲
- نگاره‌ی ۳-۴- وضعیت قرار گرفتن ذرات کروی به حالت روبوهدرال ۱۶۳
- نگاره‌ی ۴-۴- تغییر حجم خاک رس بر اثر فشار ۱۶۵
- نگاره‌ی ۵-۴- مخزن آبران ۱۶۹
- نگاره‌ی ۶-۴- مخزن گاز ران (گاز حل شده در نفت) ۱۷۲
- نگاره‌ی ۷-۴- چگونگی شرایط مخزن گاز ران (گاز حل شده در نفت) ضمن سال‌های مختلف برداشت ۱۷۳
- نگاره‌ی ۸-۴- مخزن گاز ران (گاز کلاهدک) ۱۷۵
- نگاره‌ی ۹-۴- چگونگی داده‌های تولید از یک نمونه مخزن گاز ران (گاز جدا شده در کلاهدک) ۱۷۶
- نگاره‌ی ۱۰-۴- مخزن نفت آب ران ۱۷۸
- نگاره‌ی ۱۱-۴- داده‌های تولید از یک نمونه مخزن آب ران ضمن سال‌های مختلف برداشت ۱۷۹
- نگاره‌ی ۱۲-۴- مخزن دارای انرژی آب رانش از نوع آرتزین ۱۸۰

- نگاره‌ی ۴-۱۳- مخزن رانش ترکیبی آب و گاز ۱۸۱.
- نگاره‌ی ۴-۱۴- تزریق آب از چاههای جانبی به قسمت زیرین نفت ۱۸۲
- نگاره‌ی ۴-۱۵- مفاهیم معادلات حجمی مخزن ۱۸۶
- نگاره‌ی ۴-۱۶- حرکت خطی سیال در لایه‌های گوناگون ۱۸۹
- نگاره‌ی ۴-۱۷- حرکت شعاعی سیال در چاههای تولیدی ۱۹۳
- نگاره‌ی ۵-۱- مقطع لایه‌بندی طبقات زمین در حوزه خوزستان ۲۰۷
- نگاره‌ی ۵-۲- تأثیر نیروی جاذبه در یک ناقدیس مدفون شده در زمین ۲۰۸
- نگاره‌ی ۵-۳- ترتیب رخدادها در لرزه‌نگاری به روش بازتاب امواج ۲۱۱
- نگاره‌ی ۵-۴- بازتاب و شکست امواج زلزله ۲۱۳
- نگاره‌ی ۵-۵- انتشار و بازتاب امواج در زمین در روش لرزه‌نگاری ۲۱۲

فهرست جداول

شماره صفحه

جدول ۱-۱- دوران‌های زمین‌شناسی	۴
جدول ۲-۱- مواد رادیواکتیو، ایزوتوپ پایدار و نیمه عمر آنها	۱۰
جدول ۳-۱- انواع سنگ‌های رسوبی	۱۷
جدول ۱-۲- تبدیل درجه API در دمای اندازه‌گیری شده به API در دمای ۶۵ درجه	۶۵
جدول ۲-۲- آنالیز نفت خام	۷۱
جدول ۳-۲- تعداد ایزومرها بر حسب تعداد کربن	۷۱
جدول ۴-۲- فرآورده‌های نفتی بر حسب شمار کربن	۸۰
جدول ۵-۲- مشخصات فرآورده‌های نفتی	۸۱
جدول ۶-۲- روش حل مثال	۸۹
جدول ۷-۲- مقدار ثابت آب در دماهای گوناگون	۹۶
جدول ۱-۳- ثابت‌های فیزیکی اجزاء گاز طبیعی	۱۰۷
جدول ۲-۳- ویژگی‌های هیدروکربن‌های پارافینی-سیستم انگلیسی	۱۰۸
جدول ۳-۳- ویژگی‌های هیدروکربن‌های پارافینی-سیستم متریک	۱۰۹
جدول ۴-۳- مربوط به حل مثال ۱-۳	۱۲۳
جدول ۵-۳- مربوط به حل مثال ۶-۳	۱۳۸
جدول ۶-۳- مربوط به حل مثال ۸-۳	۱۵۰
جدول ۱-۴- الف: معادلات داری برای جریان آرام سیال همگن در دمای ثابت	۱۹۷
جدول ۱-۴- ب: ضریب C برای تبدیل معادلات داری به واحدهای کاربردی	۱۹۷