

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# جهان مهندسی نفت

جلد سوم: مهندسی مخازن، بهره برداری و جریان دوفازی

---

نویسندگان:

مهدی رضوی فر (بخش درسنامه)

نیاز نیسانی سامانی (بخش سوالات)

تقدیم بہ

دانشجویان محترم، فارغ التحصیلان و صنعتگران رشتہ مہندسی نفت

## مقدمه مؤلفین

تربیت نیروهای متخصص و با دانش در صنعت نفت کشور به عنوان یک نیاز اصلی مطرح است. در سال‌های اخیر، نبود یک مرجع مناسب و جامع برای آموزش دروس تخصصی رشته مهندسی نفت که با رویکردی متفاوت و نکته محور، اقدام به آموزش دقیق اصول، قواعد و مفاهیم اساسی این رشته کند حس می‌شد. در همین راستا و به منظور پاسخ به این نیاز اصلی در بین دانشجویان، فارغ التحصیلان و صنعتگران تالیف مجموعه کتاب‌های "جهان نفت" از سال ۱۴۰۰ آغاز شد. در تالیف این کتاب‌ها به دور از کلی‌گویی و ارائه فرمول‌های غیر ضروری، صرفاً به آموزش و یادگیری مفاهیم کلیدی و نکات مهم هر درس پرداخته شده است.

این مجموعه کتاب که در سه جلد آماده و تالیف شده است، شامل تمام دروس اصلی و تخصصی رشته مهندسی نفت بوده و برای شرکت در آزمون‌های دکتری، کارشناسی ارشد و استخدامی‌های مرتبط با مهندسی نفت کاربرد دارد. در فصول مختلف این کتاب‌ها، مفاهیم اصلی در کنار مثال‌های کاربردی و هم چنین نکات کلیدی مورد نیاز در حل مسائل و تست‌های مرتبط به صورت دقیق ارائه شده‌اند. از طرفی چون این مجموعه کتاب‌ها تخلیص و جمع‌بندی مطالب اصلی کتب دانشگاهی مهندسی نفت می‌باشند، دانشجویان و داوطلبان آزمون‌های دکتری، ارشد و استخدامی می‌توانند با صرف زمان کوتاه‌تر، به اهداف خود دست یابند. در این راستا لازم به ذکر است ویدئوهای تدریس محتوی کتاب‌ها و حل مسائل بصورت آنلاین پس از انتشار کتاب‌ها در وبسایت رسمی خانه مهندسی نفت به آدرس "[www.PeteDep.com](http://www.PeteDep.com)" قرار خواهد گرفت.

این مجموعه کتاب‌ها طبق تجارب نویسندگان تالیف شده و در صورت داشتن هرگونه پیشنهاد یا انتقاد در راستای بهبود کیفیت و یا تمایل به همکاری در سایر تالیفات پیشرو می‌توانید با آدرس ایمیل "[Petedep.info@gmail.com](mailto:Petedep.info@gmail.com)" با ما در ارتباط باشید.

در انتها ضمن تشکر از مدیریت مجموعه خانه مهندسی نفت ایران جناب آقای میلاد مقصودی اکبری، امیدواریم که این مجموعه کتاب‌ها مورد رضایت شما عزیزان واقع شده و گامی مفید در راستای عدالت آموزشی در کشور باشد. آرزو داریم این اثر کمک شایانی در مسیر موفقیت شما عزیزان داشته باشد.

**با امید موفقیت و سربلندی شما**

مهدی رضوی فر - نیاز نیسانی سامانی

## فهرست مطالب

عنوان

صفحه

مقدمه مولفین.....	۴
بخش اول: کلیات مهندسی مخازن	
فصل اول: درسنامه - کلیات مهندسی مخازن .....	۱۹
۱-۱ معادله داری .....	۱۹
۲-۱ رابطه تخلخل و تراوایی .....	۲۸
۳-۱ دسته‌بندی سیستم‌های جریان در مخازن .....	۳۳
نوع سیال مخزن .....	۳۳
رژیم جریان سیال .....	۳۵
وضعیت هندسی مخزن .....	۳۷
جریان‌های فازی مخزن .....	۴۰
۴-۱ شرایط مرزی در جریان سیال در مخازن .....	۴۱
الف) شرط مرزی داخلی .....	۴۱
ب) انواع شرایط مرزی رایج: .....	۴۲
۵-۱ سیستم‌های واحدی .....	۴۵
فصل دوم: جریان یک فازی پایدار .....	۴۷
۱-۲ حالت پایدار در مخازن با هندسه جریان خطی .....	۴۷
الف) سیال تراکم‌ناپذیر .....	۴۸
ب) سیال کمی تراکم‌پذیر .....	۴۹
ج) سیال تراکم‌پذیر .....	۵۰
۱) روش مجددور فشار .....	۵۳
۲) روش شبه فشار .....	۵۴
۲-۲ جریان شعاعی در مخازن با شکل هندسی استوانه‌ای در حالت رژیم پایدار .....	۵۵
الف) سیال تراکم‌ناپذیر .....	۵۶
ب) سیال کمی تراکم‌پذیر .....	۵۸
ج) سیال تراکم‌پذیر .....	۵۹
۳-۲ جریان شعاعی پایدار در مخزن با شکل هندسی کروی .....	۵۹
۴-۲ افت فشار در یک چاه تولیدی .....	۶۰
۵-۲ فشار میانگین مخزن .....	۶۱
۶-۲ ناحیه با تراوایی تغییر یافته .....	۶۲
۷-۲ اثر پوسته‌ایسته به دبی جریان .....	۶۸
فصل سوم: جریان یک فازی ناپایدار (گذرا) .....	۷۱
۱-۳ معادلات حاکم جریان .....	۷۲
الف) جریان خطی در مختصات کارترین .....	۷۲

۷۵	.....(ب) جریان شعاعی در مختصات استوانه‌ای
۷۸	.....۲-۳ جریان شعاعی نفت به سوی چاه عمودی واقع در یک مخزن استوانه‌ای
۸۴	.....محدوده کاربرد جواب انتگرال نمایی و محدودیت‌ها
۸۴	.....۳-۳ جریان شعاعی گاز به سوی چاه عمودی واقع در یک مخزن استوانه‌ای
۸۹	.....فصل چهارم: جریان یک فازی شبه پایدار
۹۱	.....۱-۴ سیال کمی تراکم‌پذیر در جریان شعاعی
۹۵	.....۲-۴ اثر ناحیه تحت تخلیه غیر دایره‌ای چاه
۹۹	.....۳-۴ سیال تراکم‌پذیر در جریان شعاعی مختصات استوانه‌ای
۹۹	.....۴-۴ ضریب بهره‌دهی چاه و منحني‌های IPR
۱۰۶	.....فصل پنجم: جریان دو فاز امتزاج ناپذیر در مخزن
۱۱۰	.....۱-۵ روش تحلیلی یک بعدی باکلی لورت
۱۱۶	.....۲-۵ حل مسئله یک بعدی باکلی لورت
۱۲۴	.....۳-۵ ساختار ولج
۱۲۹	.....۴-۵ محاسبه بازیافت نفت
۱۳۱	.....فصل دوم: سوالات درس مخازن

#### بخش دوم: بهره برداری

۱۹۷	.....فصل اول درسنامه
۱۹۷	.....۱- چالش رسوب واکس در بهره‌برداری از مخازن نفت
۱۹۸	.....۱-۲- خواص واکسها
۱۹۹	.....۱-۳- دماهای مهم برای واکس‌ها
۲۰۰	.....۱-۴- مشکلات رسوب واکس
۲۰۲	.....۱-۵- روش‌های حذف رسوبات واکس
۲۰۲	.....۱-۶- عوامل موثر در رسوب واکس
۲۰۳	.....۱-۷- روش‌های جلوگیری از رسوب واکس
۲۰۴	.....۱-۸- مکانیسم‌های رسوب واکس
۲۰۵	.....۱-۹- شرایط رسوب واکس
۲۰۵	.....۲- چالش رسوب آسفالتین در بهره‌برداری از مخازن نفت
۲۰۶	.....۱-۲- آسفالتین
۲۰۷	.....۲-۲- رزین‌ها
۲۰۸	.....۲-۳- عوامل موثر در تشکیل رسوبات آسفالتین
۲۰۸	.....۲-۳-۱- تأثیر رزین‌ها در رسوب آسفالتین
۲۰۹	.....۲-۳-۲- تأثیر دما در رسوب آسفالتین
۲۰۹	.....۲-۳-۳- تأثیر فشار در رسوب آسفالتین
۲۰۹	.....۲-۳-۴- تأثیر نوع حلال‌های رسوب آسفالتین
۲۱۰	.....۲-۳-۵- تأثیر نسبت گاز به نفت در رسوب آسفالتین
۲۱۰	.....۲-۳-۶- تأثیر نوع جریان در رسوب آسفالتین‌ها
۲۱۰	.....۲-۳-۷- تأثیر پتانسیل جریان در رسوب آسفالتین
۲۱۰	.....۲-۴- روش‌های جلوگیری از تشکیل رسوبات آسفالتینی

- ۳-چالش رسوب هیدرات ..... ۲۱۱
- ۳-۱- تعریف هیدرات..... ۲۱۱
- ۳-۲- چگونگی تشکیل هیدرات..... ۲۱۱
- ۳-۳- شرایط تشکیل هیدرات..... ۲۱۲
- ۳-۴- روش‌های جلوگیری از تشکیل هیدرات ..... ۲۱۳
- ۳-۴-۱- حذف آب با استفاده از مواد جذب‌کننده رطوبت ..... ۲۱۳
- ۳-۴-۲- کاهش فشار خط لوله ..... ۲۱۳
- ۳-۴-۳- جلوگیری از خنک شدن خط لوله با استفاده از عایق و یا گرمکن‌ها..... ۲۱۳
- ۳-۴-۴- پیشگیری از تشکیل هیدرات گازی توسط میدان مغناطیسی..... ۲۱۴
- ۳-۴-۵- توپکرانی ..... ۲۱۴
- ۳-۴-۶- بازدارنده‌های هیدرات..... ۲۱۴
- ۳-۵- فواید هیدرات گازی ..... ۲۱۴
- ۴-آسیب سازند ..... ۲۱۵
- ۴-۱- تاثیر مهاجرت ذرات دانه ریز در آسیب مخزن..... ۲۱۵
- ۴-۲- تاثیر رسوب ناشی از آب در آسیب مخزن..... ۲۱۶
- ۴-۳- تاثیر متورم شدن رس‌ها در آسیب مخزن..... ۲۱۶
- ۴-۴- تاثیر امولسیون‌ها در آسیب مخزن..... ۲۱۷
- ۴-۵- تاثیر رسوبات آلی در آسیب مخزن..... ۲۱۷
- ۴-۶- تاثیر عملیات حفاری در آسیب مخزن..... ۲۱۸
- ۴-۷- تاثیر هرزوری گل حفاری در آسیب مخزن..... ۲۱۹
- ۴-۸- تاثیر گل پایه روغنی در آسیب در مخزن..... ۲۲۰
- ۴-۹- تاثیر سیمان کاری در آسیب مخزن..... ۲۲۰
- ۴-۱۰- تاثیر تولید در آسیب مخزن..... ۲۲۱
- ۴-۱۱- تاثیر عملیات مشبک‌کاری در آسیب مخزن..... ۲۲۱
- ۴-۱۲- تاثیر عملیات تزریق در آسیب به مخزن..... ۲۲۲
- ۴-۱۳- تاثیر تکمیل چاه در آسیب به مخزن..... ۲۲۳
- ۵-محاسبه آسیب سازند..... ۲۲۴
- ۶-مکانیزم‌های تولید طبیعی از مخازن هیدروکربنی..... ۲۲۵
- ۶-۱- مکانیزم رانش آبی ..... ۲۲۶
- ۶-۲- مکانیزم رانش توسط کلاهدک گازی ..... ۲۲۷
- ۶-۳- مکانیسم رانش گاز محلول ..... ۲۲۸
- ۶-۴- رانش ثقلی..... ۲۲۹
- ۶-۵- مکانیزم رانش در اثر فشردگی مخزن..... ۲۲۹
- ۶-۶- مکانیسم رانش مرکب ..... ۲۳۰
- ۷-روش‌های حفظ فشار مخزن ..... ۲۳۰
- ۷-۱- تزریق آب با هدف حفظ فشار ..... ۲۳۱
- ۷-۲- تزریق گاز با هدف حفظ فشار ..... ۲۳۳
- ۸- ازدیاد برداشت نفت ..... ۲۳۵

۲۳۵	انواع روش‌های ازدیاد برداشت .....
۲۳۶	۸-۱- تزریق گاز امتزاجی .....
۲۳۷	۸-۲- تزریق متناوب آب و گاز .....
۲۳۹	۸-۳- روش‌های شیمیایی .....
۲۴۱	۸-۴- روش‌های گرمایی .....
۲۴۳	۸-۵- روش‌های میکروبی .....
۲۴۴	۹- روش‌های تحریک چاه .....
۲۴۵	۹-۱- روش تزریق اسید .....
۲۴۵	۹-۲- روش ایجاد شکاف هیدرولیکی .....
۲۴۶	۹-۳- روش تابش امواج فراصوت .....
۲۴۹	۱۰- عملیات اسیدکاری چاه .....
۲۵۳	۱۱- عملیات ایجاد شکاف هیدرولیکی .....
۲۵۵	۱۱-۱- سیالات شکاف هیدرولیکی .....
۲۵۶	۱۱-۱-۱- سیالات پایه آبی .....
۲۵۷	۱۱-۱-۲- سیالات پایه روغنی .....
۲۵۷	۱۱-۱-۳- سیالات پایه اسیدی .....
۲۶۰	۱۱-۲- پروپانت .....
۲۶۵	۱۲- فرمول‌های مربوط به ایجاد شکاف هیدرولیکی .....
۲۶۷	۱۳- فراآوری مصنوعی .....
۲۶۹	۱۴- مشبک کاری .....
۲۷۱	۱۴-۱- خصوصیات مشبک کاری .....
۲۷۱	۱۴-۱-۱- عمق نفوذ .....
۲۷۱	۱۴-۱-۲- قطر مشبک .....
۲۷۲	۱۴-۱-۳- زاویه ایجاد مشبک .....
۲۷۲	۱۴-۱-۴- تعداد مشبک‌ها در یک فوت (تراکم گلوله‌ها یا دانسیته گلوله‌ها) .....
۲۷۲	۱۴-۲- عوامل موثر در عمق مشبک کاری .....
۲۷۳	۱۴-۳- انواع ابزار مشبک کاری .....
۲۷۳	۱۴-۴- تکنیک‌های مورد استفاده در مشبک‌کاری .....
۲۸۰	۱۴-۵- مقایسه روش‌های مشبک‌کاری .....
۲۸۲	۱۵- تکمیل چاه‌های هیدروکربوری .....
۲۸۷	۱۶- چالش تولید شن و رس همراه نفت خام .....
۲۸۸	۱۶-۱- دلایل تولید ماسه همراه نفت: .....
۲۸۸	۱۶-۲- روش‌های کاهش تولید شن .....
۲۸۹	۱۷- محاسبه افت فشار سیال در مسیر تولید و بهره برداری: .....
۲۹۰	۱۸- نمودار عملکرد مخزن .....
۳۰۰	۱۹- نمودار عملکرد لوله مغزی .....
۳۰۱	۲۰- محاسبه جریان طبیعی .....
۳۰۳	۲۱- نمودار عملکرد سر چاه .....

۳۰۳	۲۲- نمودار عملکرد شیر کنترل جریان در سرچاه
۳۰۶	۲۳- محاسبه ضریب بهره‌دهی
۳۰۷	۲۴- نسبت بهره‌دهی
۳۰۷	۲۵- نسبت آسیب دیدگی
۳۰۸	۲۶- فاکتور تخریب
۳۰۸	۲۷- عملکرد چاه‌های گازی
۳۱۰	۲۸- مخروطی شدن آب
۳۱۵	۲۹- عوامل تولید آب در چاه‌های نفت و گاز
۳۱۷	۳۰- تفکیک کننده‌های سیالات
۳۱۷	۳۰-۱- لخته گیرها
۳۱۸	۳۰-۲- تفکیک کننده‌ها
۳۲۰	۳۰-۳- قطره گیرها
۳۲۰	۳۰-۴- شرایط ایده آل برای تفکیک کننده
۳۲۱	فصل دوم سوالات درس بهره برداری
۳۴۵	فصل اول کلیات و مفاهیم پایه

#### بخش سوم: جریان دو فازی

۳۴۶	فصل اول : درسنامه
۳۴۶	۱-۱ مقدمه
۳۴۶	۲-۱ نمودار فازی مخلوط‌های هیدروکربوری
۳۴۸	۳-۱ متغیرهای مورد استفاده در جریان‌های دو فازی
۳۴۸	۳-۱-۱ لغزش
۳۴۹	۳-۱-۲ اثر لغزش در ترکیب درصد جریان دو فازی
۳۵۰	۳-۱-۳ پس ماند
۳۵۲	۳-۱-۴ اثر لغزش بر روی آنتالپی جریان دو فازی (مخلوط گاز - مایع)
۳۵۴	۳-۱-۵ سرعت
۳۵۵	۳-۱-۶ جرم ویژه
۳۵۶	۳-۱-۷ گرانروی
۳۵۶	۴-۱ معادلات اساسی جریان دو فازی
۳۵۶	۴-۱-۱ معادله پیوستگی
۳۵۸	۴-۱-۲ معادله اندازه حرکت
۳۶۰	۴-۱-۳ معادله انرژی
۳۶۱	۴-۱-۴ پیچیدگی کاربرد معادلات اساسی در جریان‌های دو فازی
۳۶۳	فصل دوم: خواص سیالات دو فازی
۳۶۳	۱-۲ مقدمه
۳۶۳	۲-۲ مدل سیال غیر ترکیبی
۳۶۴	۲-۲-۱ ضریب حجمی سازند گاز
۳۶۵	۲-۲-۲ جرم ویژه گاز طبیعی
۳۶۷	۲-۲-۳ گرانروی گاز طبیعی



۳۶۷	..... Carr-Kobayashi- Burrows روش ۱-۳-۲-۲
۳۶۷	..... “Lee-Gonzalez-Eakin” روش ۲-۳-۲-۲
۳۶۸	..... “Dean - Stiel” روش ۳-۳-۲-۲
۳۶۸	..... ۴-۲-۲ حلالیت گاز
۳۷۰	..... ۵-۲-۲ تراکم پذیری همدمای نفت‌های خام تحت اشباع
۳۷۱	..... Vasquez - Beggs روش ۱-۵-۲-۲
۳۷۱	..... Ahmed روش ۲-۵-۲-۲
۳۷۱	..... ۶-۲-۲ فشار نقطه حباب
۳۷۲	..... ۲-۲-۷ ضریب حجمی سازند نفت
۳۷۳	..... ۱-۷-۲-۲ روش‌های محاسبه ضریب حجمی سازند نفت در فشار اشباع
۳۷۵	..... ۲-۷-۲-۲ روش‌های محاسبه ضریب حجمی سازند نفت برای نفت‌های تحت اشباع
۳۷۶	..... ۸-۲-۲ ضریب حجمی سازند کل
۳۷۷	..... ۹-۲-۲ گرانروی نفتی
۳۸۰	..... ۱۰-۲-۲ محاسبه کشش سطحی
۳۸۲	..... ۱۱-۲-۲ تعیین جرم ویژه مایعات با ترکیب نامعلوم
۳۸۲	..... ۲-۳ مدل سیال ترکیبی
۳۸۲	..... ۱-۳-۲ محاسبات تبخیر ناگهانی در دما و فشار ثابت
۳۸۴	..... ۲-۳-۲ تعیین فشار نقاط شبنم و حباب
۳۸۵	..... ۴-۲ مقایسه بین مدل‌های سیال ترکیبی و غیر ترکیبی
۳۸۷	..... فصل سوم: تعیین شرایط عملیاتی خطوط لوله
۳۸۷	..... ۱-۳ مقدمه
۳۸۷	..... ۲-۳ توزیع دما
۳۸۸	..... ۱-۲-۳ توزیع درجه حرارت نامعلوم در خطوط لوله
۳۹۰	..... ۲-۲-۳ محاسبه ضریب کلی انتقال حرارت
۳۹۳	..... ۳-۲-۳ توزیع درجه حرارت معلوم در خطوط لوله
۳۹۵	..... ۳-۳ محاسبه تغییرات دما و فشار در طول خطوط لوله جریان دو فازی
۳۹۷	..... فصل چهارم: الگوهای جریان
۳۹۷	..... ۱-۴ مقدمه
۳۹۸	..... ۲-۴ الگوهای جریان در خطوط لوله افقی
۳۹۸	..... ۲- جریان توبی یا قالبی
۳۹۸	..... ۳- جریان لایه‌ای
۳۹۹	..... ۴- جریان موجی
۳۹۹	..... ۵- جریان لخته‌های
۳۹۹	..... ۶- جریان حلقوی
۳۹۹	..... ۷- جریان قطره‌ای
۴۰۱	..... ۳-۴ الگوهای جریان در خطوط لوله قائم
۴۰۱	..... ۱- جریان حبابی
۴۰۲	..... ۲- جریان لخته‌های

۴۰۲	۳- جریان کف آلود یا انتقالی .....
۴۰۲	۴- جریان قطره‌های .....
۴۰۳	۴-۴ الگوهای جریان در خطوط لوله شیبدار .....
۴۰۵	۵-۴ روش‌های پیش‌بینی انواع الگوهای جریان .....
۴۰۶	۴-۵-۱ پیش‌بینی الگوهای جریان دو فاز به وسیله امکانات تجربی و آزمایشگاهی .....
۴۰۷	۴-۵-۱-۱ پیش‌بینی الگوهای جریان در خطوط لوله افقی .....
۴۱۴	۴-۵-۱-۲ پیش‌بینی الگوهای جریان در خطوط لوله قائم .....
۴۱۸	۴-۵-۱-۳ پیش‌بینی الگوهای جریان دو فاز در خطوط لوله شیبدار .....
۴۱۹	فصل پنجم: جریان‌های دو فاز پایدار در خطوط لوله افقی .....
۴۱۹	۱-۵ مقدمه .....
۴۲۰	۲-۵ روابط تجربی پیش‌بینی مقادیر افت فشار و مایع تجمع یافته در خطوط لوله افقی .....
۴۲۰	۵-۲-۱ روش "Lockhart - Martinelli" .....
۴۲۲	۵-۲-۲ روش Dukler (II) .....
۴۲۴	۵-۲-۳ روش Eaton و همکاران .....
۴۲۷	فصل دوم: سوالات درس دو فازي .....