

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# جهان مهندسی نفت

جلد اول: خواص سنگ و سیال مخزن

---

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 هم‌چنین نکات کلیدی مورد نیاز در حل مسائل و تست‌های مرتبط به صورت دقیق ارائه شده‌اند. از طرفی چون این مجموعه کتاب‌ها تخلیص و تجمیع 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 آفلاین 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

مقدمه مولفین.....	۴
بخش اول: خواص سنگ	
فصل اول: تخلخل سنگ مخزن.....	۱۹
۱- تخلخل سنگ.....	۱۹
۲- ویژگی‌های گرین‌های سازنده سنگ.....	۲۱
۳- عوامل مؤثر بر تخلخل سنگ.....	۲۱
۴- سطح ویژه (Specific Surface Area).....	۲۲
۵- شعاع هیدرولیک حفرات و محاسبه میانگین اندازه حفرات.....	۲۲
۶- روش‌های میانگین‌گیری از تخلخل سنگ.....	۱۸
۷- محاسبه تخلخل به روش ارشمیدس.....	۲۴
۸- اندازه‌گیری حجم حفرات با تزریق گاز.....	۲۵
۹- تقسیم بندی تخلخل سنگ.....	۲۶
۱۰- عوامل مؤثر ناشی از ویژگی‌های Grain بر روی $\phi$ .....	۲۷
۱۱- حجم نماینده (REV).....	۲۹
۱۲- رابطه تخلخل و عمق.....	۳۰
۱۳- روش‌های اندازه‌گیری تخلخل.....	۳۰
۱۴- چیدمان مختلف از Grain و تاثیر آن در تخلخل سنگ.....	۳۳
۱۵- تعریف‌های اساسی.....	۳۶
فصل دوم: تراکم‌پذیری سنگ.....	۳۷
۱- تعریف فشار مؤثر Overburden.....	۳۷
۲- تراکم‌پذیری سازند.....	۳۷
۳- تراکم‌پذیری هم‌دما (Isothermal).....	۳۸
۴- ته نشست و تراکم‌پذیری Bulk.....	۳۹

- ۴۰ ..... ۵- تراکم پذیری محیط متخلخل
- ۴۰ ..... ۶- تراکم پذیری کل مخزن ( $Ct$ )
- ۴۱ ..... ۷- انواع تراکم پذیری
- ۴۳ ..... ۸- اندازه گیری تراکم پذیری
- ۴۵ ..... فصل سوم: اشباع سیالات
- ۴۵ ..... ۱- اشباع: Saturation
- ۴۵ ..... ۲- روش های تعیین اشباع مایعات
- ۴۹ ..... ۳- عوامل موثر بر اشباع سیالات
- ۵۰ ..... ۴- نکات تکمیلی
- ۵۱ ..... ۵- میانگین اشباع
- ۵۱ ..... ۶- ترکیب اثرات نفوذ گل حفاری و انبساط سیال بر اشباع سیال
- ۵۲ ..... ۷- کاربرد مغزه های سنگی بریده شده با گل پایه آبی یا با گل پایه نفتی
- ۵۳ ..... فصل چهارم: خواص الکتریکی
- ۵۳ ..... ۱- تعریف مقاومت
- ۵۴ ..... ۲- عوامل موثر در مقاومت آب
- ۵۴ ..... ۳- روش های تعیین مقاومت ویژه آب
- ۵۵ ..... ۴- فرمول های محاسبه مقاومت
- ۵۷ ..... ۵- شاخص مقاومت ویژه ( $I$ ) و توان اشباع ( $n$ )
- ۵۹ ..... ۶- اثر Clay بر خواص الکتریکی
- ۶۴ ..... ۷- تحلیل رابطه آرچی
- ۶۹ ..... فصل پنجم: تراوایی سنگ
- ۶۹ ..... ۱- تعریف نفوذپذیری و انواع آن
- ۶۹ ..... ۲- جریان در فشار مویینگی
- ۷۰ ..... ۳- قانون دارسی
- ۷۱ ..... ۴- روابط نفوذپذیری مطلق
- ۷۲ ..... ۵- شکل دیفرانسیلی قانون دارسی
- ۷۶ ..... ۶- جریان خطی سیالات تراکم ناپذیر

۷۷	۷- جریان شعاعی برای مایع تراکم ناپذیر .....
۷۹	۸- نفوذپذیری گاز ایده آل .....
۷۹	۹- اثر Klinkenberg .....
۸۱	۱۰- جریان غیرداریسی (نرخ جریان زیاد) .....
۸۲	۱۰-۱- معادله جریان غیر داریسی Forchimer .....
۸۳	۱۰-۲- معادله Hagen Poiseuille .....
۸۴	۱۱- میانگین گیری در تراوایی مربوط به لایه ها .....
۸۹	فصل ششم: ترشوندگی .....
۸۹	۱- ترشوندگی: Wettability .....
۸۹	۲- فشار مویینگی: Capillary Pressure .....
۸۹	۳- تراوایی نسبی .....
۹۱	۴- معادله یانگ .....
۹۳	۵- تنش چسبندگی ( $AT$ ) .....
۹۵	۶- سیال ترشونده .....
۹۶	۷- سیال غیر ترشونده .....
۹۶	۸- ترشوندگی کسری: Fractional Wettability .....
۹۶	۹- ترشوندگی مختلط: Mixed-Wet .....
۹۹	۱۰- جریان آب درون سنگ ترجیحاً آب-دوست .....
۱۰۰	۱۱- آشام: Imbibition .....
۱۰۰	۱۲- نکات کلیدی برای مخازن آب-دوست .....
۱۰۰	۱۳- تخلیه: Drainage .....
۱۰۰	۱۴- اندازه گیری ترشوندگی .....
۱۰۲	۱۴-۱- روش اندازه گیری زاویه تماس .....
۱۰۴	۱۴-۲- آزمون آموت Amott Test .....
۱۰۶	۱۴-۳- روش Amott-Harvey .....
۱۰۶	۱۴-۴- روش USBM .....
۱۰۹	۱۵- عوامل مؤثر بر ترشوندگی .....

فصل هفتم: فشار مویبگی	۱۱۱
۱-فشار مویبگی	۱۱۱
۲-عوامل موثر در فشار مویبگی	۱۱۳
۳- روش های آزمایشگاهی برای اندازه گیری $P_c$	۱۱۴
۱-۳ روش صفحه متخلخل: Porous Diaphragm Method	۱۱۴
۲-۳ روش تزریق جیوه (Purcell method):	۱۱۷
۳-۳ روش سانتیفریوژ	۱۱۸
۴-۳ روش دینامیکی	۱۱۹
۴-فشار سیال، فشار مویبگی و توزیع اشباع در یک مخزن آب-دوست	۱۲۶
۵-تاثیر اندازه و توزیع حفرات	۱۲۷
۶-تاثیر ترشوندگی سنگ بر فشار مویبگی	۱۲۸
۷-تاثیر کشش سطحی	۱۲۹
۸-تاثیر تاریخچه اشباع	۱۲۹
۹-تاثیر اختلاف چگالی سیالات	۱۳۰
۱۰-تاثیر Sorting دانه‌های سنگ مخزن	۱۳۱
۱۱-تاثیر تراوایی سنگ	۱۳۱
۱۲-آشام اجباری (Forced Imbibition)	۱۳۲
۱۳-تاثیر هندسه منافذ (Pore Geometry)	۱۳۵
۱۴-تاثیر Hysteresis	۱۳۶
۱۵-پردازش داده‌های آزمایشگاهی	۱۳۸
۱۶-توزیع اشباع اولیه در مخازن	۱۴۱
تست‌های فصل اول خواص سنگ-تخلخل	۱۴۴
فصل دوم-تراکم پذیری	۱۵۲
فصل سوم-اشباع سنگ	۱۵۶
فصل چهارم-مقاومت الکتریکی	۱۵۸
فصل پنجم-تراوایی	۱۶۵
فصل ششم-ترشوندگی	۱۷۹

فصل هفتم-موئینگی ..... ۱۸۵

### بخش دوم: خواص سیال

خواص سیالات مخزن ..... ۱۹۵

۱-رفتار فازی - سیستم‌های تک جزء ..... ۱۹۵

۱-۱ سیستم بسته ..... ۱۹۵

۱-۲ تعریف فاز ..... ۱۹۵

۲-ویژگی‌های Extensive و Intensive ..... ۱۹۶

۳-نمودار فازی ..... ۱۹۶

۱-۳ سیستم تک جزء یا خالص ..... ۱۹۶

۲-۳ رفتار فازی سیستم چند جزئی ..... ۲۰۱

۳-۳ سیستم‌های سه جزئی ..... ۲۰۹

۴-تقسیم بندی مخازن هیدروکربنی بر اساس نوع سیال مخزن ..... ۲۱۱

۵-تقسیم بندی نفت خام ..... ۲۱۲

۱-۵ نفت سیاه معمولی (ordinary black oil) ..... ۲۱۳

۲-۵ نفت خام فرار (با انقباض زیاد): ..... ۲۱۴

۳-۵ نفت کم انقباض ..... ۲۱۶

۴-۵ نفت خام نزدیک به بحرانی ..... ۲۱۸

۵-۵ مقایسه چهار نوع نفت با یکدیگر ..... ۲۱۹

۶- مخزن گاز ..... ۲۲۰

۷-کاربردهای نمودار Phase Envelope ..... ۲۲۱

۸-خواص جزء خالص (Pure component properties) ..... ۲۲۷

۹-منحنی چگالی-دما ..... ۲۲۷

۱۰-قانون قطر مستطیلی ..... ۲۲۸

۱۱-چگالی مایع اشباع (Saturated liquid density): ..... ۲۲۹

۱۲-خواص گاز طبیعی ..... ۲۳۰

۱-۱۲ حجم استاندارد (VSC): ..... ۲۳۱

۲-۱۲ حجم مخصوص ..... ۲۳۱



- ۱۲-۳ وزن مخصوص ( $\gamma_g$ ): ..... ۲۳۱
- ۱۳-رفتار گازهای واقعی: (در فشار زیاد) ..... ۲۳۲
- ۱۳-۱ فاکتور تراکم پذیری گاز ( $Z$ ): ..... ۲۳۳
- ۱۴-تاثیر اجزای غیر هیدروکربنی روی  $Z$  ..... ۲۳۳
- ۱۵-تاثیر  $H_2S$  و  $CO_2$  روی  $N_2$  و  $Phase\ Envelope$  گاز طبیعی ..... ۲۲۷
- ۱۶-روش مستقیم محاسبه  $Z$ -factor بدون استفاده از نمودار ..... ۲۳۷
- ۱۷-تراکم پذیری (Compressibility) گاز طبیعی ..... ۲۳۸
- ۱۸-ضریب حجمی سازند برای گاز ..... ۲۴۰
- ۱۹-ضریب انبساط گاز ..... ۲۴۱
- ۲۰-گرانروی گاز ..... ۲۴۲
- ۲۱-جداسازی سطحی (Surface separation) ..... ۲۴۴
- ۲۱-۱ وزن مخصوص برای گازهای تر: Specific gravity wet gases ..... ۲۴۴
- ۲۱-۲ ضریب حجمی سازند برای گاز تر ..... ۲۴۵
- ۲۱-۳ کسر گاز جدا شده تولیدی ..... ۲۴۸
- ۲۱-۴ حجم گاز معادل ..... ۲۴۹
- ۲۲-خواص نفت خام ..... ۲۵۰
- ۲۳-حلالیت گاز ( $RS$ ) ..... ۲۵۴
- ۲۴-فشار نقطه حباب ..... ۲۵۶
- ۲۵-ضریب حجم سازند برای نفت ..... ۲۵۷
- ۲۶-ضریب تراکم پذیری همدمای نفت خام ..... ۲۶۰
- ۲۷-ضریب حجم سازند کل ..... ۲۶۲
- ۲۸-گرانروی نفت خام ..... ۲۶۳
- ۲۹-کشش سطحی و بینسطحی ..... ۲۶۵
- ۳۰-تعادل فاز مایع بخار ..... ۲۶۸
- ۳۱-محاسبه تعادل فاز ..... ۲۷۰
- ۳۲-نسبت تعادل برای محلول های واقعی ..... ۲۷۱
- ۳۳-روش های محاسبه  $K$  در مخلوط های هیدروکربنی ..... ۲۷۱

- ۲۷۸ ..... نکات تکمیلی خواص سیالات مخزن ۳۴
- ۲۹۱ ..... ارزش گرمایی: (Heating value) ۳۵
- ۲۹۴ ..... Wet برای گاز ۳۶
- ۲۹۴ ..... (GE): (Gas equivalent) ۳۷
- ۳۲۱ ..... تست های بخش دوم: خواص سیال