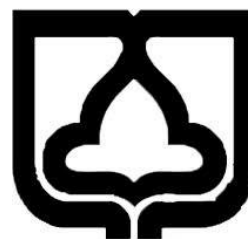


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ

الرَّحِيمِ



پردیس دانشکده‌های فنی



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی شیمی و نفت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
گرایش مخازن هیدروکربوری

عنوان

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر ناهمگونی بر منحنی های تراوایی نسبی دو فاز آشام در مقیاس حفره

نگارش

مهران انصاری‌پور

اساتید راهنما

دکتر مسعود نصیری

دکتر محمدرضا رسایی

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم:

به فرشته‌ای که از خواسته‌هایش گذشت، سختی‌ها را به جان خرید و خود را سپر بلاهای مشکلات و ناملایات کرد تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم. نه می‌توانم مویبت را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست‌های پینه‌بسته‌ات که ثمره تلاش برای افتخار من است، مره‌بی دارم. پس خدایا توفیقم ده که هر لحظه شکر گزارش باشم و ثنیه‌های عمرم را در عصای دست بودنش بگذرانم.

مادرم، هستی من ز، هستی تو ست

تا، هستم و، هستی دارم تو ست

و در آخرین رساله را به روح پاک پدرم که عالم‌اند به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم تقدیم می‌نمایم.

خداوند بزرگ را شاکرم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانم قدمی را در جهت تحقیق و پژوهش بردارم. از آنجایی که کشور ما ایران بعنوان یک کشور پر اهمیت در عرصه تولید نفت مطرح می‌باشد، لذا نیاز زیادی به تحقیق و پژوهش در این زمینه احساس می‌شود. در این میان گسترش و توسعه روز افزون علم و تکنولوژی در تمامی فرایندهای نفتی بطور محسوس قابل مشاهده است. در این پروژه سعی گشته است تا با انجام تحقیقاتی نوین، قدمی موثر در حوضه ذخایر هیدروکربوری برداشته گردد. انجام این پروژه تنها با حمایت عاطفی مادر عزیزم ممکن گردید.

تقدیر و تشکر

"من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق"

در ابتدا از استاد محترم، جناب آقای دکتر رسایی که در انجام این پایان نامه از راهنمایی های ارزنده ایشان بهره برده ام سپاسگذاری و قدردانی می کنم و حمایت ایشان از انجام فعالیت های آزمایشگاهی را ارج می نهم و در ادامه از زحمات دکتر نصیری نیز سپاسگذارم. همچنین بر خود لازم می دانم از آقای مهندس ایرج رزم آور که مراد انجام آزمایش های بسیاری نمود تشکر نمایم. برای بکلی آرزوی کامیابی دارم.

چکیده

با افزایش تقاضا برای نفت و کاهش قابل توجه اکتشاف مخازن جدید در چند دهه اخیر، توسعه مطلوب مخازن موجود نفت و گاز با بهره‌گیری از روش‌های ازدیاد برداشت در حوزه انرژی، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. علاوه بر این، شناخت بهتر و دقیق‌تر از مخازن، مسئله‌ای جداناپذیر از تحقیق و توسعه در صنعت بالادستی نفت بوده و یکی از چالش‌های پایان‌ناپذیر در مهندسی نفت است. شناخت خاصیت‌های ظرفیتی نظیر تخلخل و خاصیت‌های جریان‌ی مانند تراوایی، کمک شایانی در برنامه‌ریزی توسعه مخازن می‌نماید. یکی از خاصیت‌های جریان‌ی تراوایی نسبی بوده که چگونگی تولید را در حالات مختلف نشان می‌دهد. تراوایی نسبی یک پارامتر دینامیکی بسیار مهم در توصیف حرکت چند فاز سیال درون محیط متخلخل می‌باشد، لذا داشتن اطلاعات کافی در مورد منحنی‌های تراوایی نسبی به فهم بیشتر و بهتر از این مکانیزم‌ها کمک می‌کند. همواره توصیف محیط متخلخل برای مهندسان نفت از جذابیت خاصی برخوردار بوده‌است و برای این کار در مقیاس‌های مختلف به تحلیل و ارزیابی داده‌های آنالیز مغزه پرداخته شده‌است. اندازه‌گیری و آزمایشات ویژه نیازمند صرف زمان و هزینه بالایی می‌باشد و حتی با صرف این هزینه و زمان، نتایج حاصل از آنها تا حدودی از عدم قطعیت برخوردار می‌باشند. از این رو، استفاده از روش‌های دیگر آزمایشگاهی با سهولت بیشتر و همچنین هزینه‌های کمتر امری ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، تکرارپذیری آزمایش‌ها انجام شده، عاملی بسیار مهم در انجام تحقیقات آزمایشگاهی می‌باشد. در این میان مطالعات آزمایشگاهی مشاهده‌ای تزریق سیالات درون محیط متخلخل با استفاده از میکرومدل‌های شیشه‌ای، ابزاری قدرتمند به منظور فهم دقیق اثرات خواص مختلف محیط متخلخل و سایر رفتارهای سیال تزریقی در ابعاد حفره می‌باشد. در این مقاله با استفاده از آزمایش‌های میکرومدل، سیلاب زنی‌هایی با دبی‌های مختلف به منظور بررسی دبی تزریقی بر تراوایی نسبی انجام گرفته است.

در این پایان‌نامه، اثر دبی و ناهمگونی بر منحنی تراوایی نسبی توسط دستگاه میکرومدل بررسی می‌شود به طوری که استفاده از مدل‌های مختلفی از محیط متخلخل، به منظور بررسی اثر ناهمگونی و استفاده از دبی‌های مختلف تزریق برای رسیدن به اثر دبی در تراوایی نسبی استفاده شده‌اند.

برای بررسی اثر دبی و تراوایی نسبی آب و نفت در مقیاس حفره، از آنالیز تصاویر با کیفیت بالا در اشباع‌های مختلف آب و نفت و همچنین از روابط ارائه شده توسط آقای گودیر^۱ استفاده شده است.

در مقایسه اثر دبی بر تراوایی نسبی مشخص گردید هرچه دبی تزریقی بالاتر برود تراوایی نسبی آب نیز بالاتر می‌رود، علاوه بر آن میزان اشباع نهایی آب نیز بیشتر می‌گردد. همچنین در مقایسه اثر ناهمگونی بر تراوایی نسبی مشاهده گردید مدلی که دارای حفرات بزرگی است دارای بیشترین تراوایی نسبی و مدل حفره ریز دارای کمترین تراوایی نسبی می‌باشد علاوه بر این راستا و طرز چینش حفرات (سری یا موازی) بر تراوایی نسبی اثر گذار هستند...

کلید واژه‌ها: تراوایی نسبی دوفازی، مقیاس حفره، فرآیند آشام، ناهمگونی، دبی تزریقی

فهرست

۱	فصل اول: مقدمه	۱
۳	فصل دوم: پیشینه تحقیق	۵
2.1	سیلابزنی با آب	۶
۲,۲	نفوذپذیری	۶
۲,۳	ریزش ثقلی	۱۰
۲,۴	میکرومدل	۱۰
۴	فصل سوم: کلیات و مفاهیم	۱۱
۳,۱	نفوذپذیری مطلق	۱۲
۳,۲	نفوذپذیری نسبی	۱۲
۳,۲,۱	نفوذپذیری نسبی دوفازی	۱۲
۳,۳	اشباع باقی مانده	۱۳
۳,۴	اشباع بحرانی	۱۳
۳,۵	فرایند آشام	۱۳
۳,۶	روابط نفوذپذیری نسبی دوفازی	۱۴
3.6.1	روابط نفوذپذیری نسبی دوفازی با درجات اشباع اولیه و باقی مانده	۱۴
۳,۶,۲	روابط نفوذپذیری نسبی دوفازی با داده‌های فشار موئینگی	۱۵
۳,۶,۳	روابط نفوذپذیری نسبی دوفازی با داده‌های اشباع و مسافت طی شده در مدل به همراه زمان	۱۵
	پیمایش	
۳,۷	شبه نفوذپذیری‌های نسبی دینامیکی	۱۶
۳,۷,۱	میانگین تخلخل	۱۶
۳,۷,۲	میانگین نفوذپذیری مطلق	۱۶
۳,۷,۳	میانگین نفوذپذیری‌های نسبی فاز تر	۱۶

۱۶	..... میانگین نفوذپذیری نسبی فاز نادر	۳,۷,۴
۱۶	..... میانگین اشباع سیالات	۳,۷,۵
۱۷	..... خاصیت ترشوندگی	۳,۸
۱۷	..... انواع ترشوندگی	۳,۸,۱
۱۸	..... نظریه ترشوندگی	۳,۸,۲
۱۹	..... فشار مومینه	۳,۹
۲۲	..... عدد مومینگی	۳,۱۰
۲۲	..... عوامل موثر بر تراوایی نسبی دوفازی	۳,۱۱
۲۳	..... اثرات وضعیت اشباع	۳,۱۱,۱
۲۴	..... تاثیر خصوصیات سنگ	۳,۱۱,۲
۲۴	..... اثرات ترشوندگی	۳,۱۱,۳
۲۵	..... اثرات تاریخچه اشباع	۳,۱۱,۴
۲۵	..... اثرات فشار بالاسری	۳,۱۱,۵
۲۵	..... اثرات دما	۳,۱۱,۶
۲۵	..... اثرات اشباع اولیه فاز ترکننده	۳,۱۱,۷
۲۶	..... اثر سایر عوامل	۳,۱۱,۸
۱۲	..... ۵. فصل چهارم: تجهیزات آزمایشگاهی و خواص میکرومدل‌های ساخته‌شده	
۲۸	..... وسایل به کاررفته	۴,۱
۲۸	..... سیستم مکش و تمیزکننده	۴,۱,۱
۲۹	..... سیستم تزریق	۴,۱,۲
۳۰	..... سیستم عکس‌برداری	۴,۱,۳
۳۰	..... سیستم تهیه نور	۴,۱,۴
۳۰	..... سیستم نگهدارنده میکرومدل	۴,۱,۵
۳۱	..... پیکنومتر	۴,۱,۶
۳۱	..... نرم‌افزارهای استفاده‌شده	۴,۲
۳۲	..... نرم‌افزار کورل‌دراو	۴,۲,۱
۳۲	..... نرم‌افزار ایمیج‌جی	۴,۲,۲
۳۲	..... نرم‌افزار فتوشاپ	۴,۲,۳
۳۲	..... مواد استفاده‌شده	۴,۳
۳۲	..... استون	۴,۳,۱
۳۳	..... آب مقطر	۴,۳,۲
۳۳	..... نفت	4.3.3
۳۳	..... ساخت میکرومدل	۴,۴
۳۳	..... مراحل ساخت میکرومدل	۴,۴,۱
۳۵	..... وسیله ایجادکننده خطوط	۴,۴,۲
۳۶	..... خواص میکرومدل	۴,۴,۳

..... ۴۲	آزمایش‌های مربوط به ترشوندگی	۴,۵
..... ۴۲	دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس	۴,۵,۱
..... ۴۴	اندازه‌گیری کشش سطحی	۴,۶
..... ۴۶	سیستم تشکیل قطره	۴,۶,۱
..... ۴۷	مراحل انجام آزمایشات	۴,۷
..... ۴۸	۶. فصل پنجم: نتایج و بحث	
..... ۴۹	نتایج آزمایش‌های ترشوندگی	۵,۱
..... ۴۹	نتایج آزمایش کشش سطحی	۵,۲
..... ۵۰	نتایج آزمایشات پیکنومتر	5.3
..... ۵۱	مشخصات میکرومدل‌های مورد استفاده	۵,۴
..... ۵۴	نتایج آزمایش سیلاب‌زنی	۵,۵
..... ۵۵	بازیافت	۵,۶
..... ۵۵	بررسی اثر دبی بر بازیافت نفت	۵,۶,۱
..... ۵۸	بررسی اثر ناهمگونی بر بازیافت نفت	۵,۶,۲
..... ۶۱	تراوایی نسبی	۵,۷
..... ۶۱	روش گودیر	۵,۷,۱
..... ۶۲	جایگذاری در گودیر	۵,۷,۲
..... ۶۵	بررسی اثر دبی بر نمودار تراوایی نسبی	۵,۷,۳
..... ۶۷	بررسی اثر ناهمگونی بر تراوایی نسبی	۵,۷,۴
..... ۶۹	عکس‌های مربوط به آزمایشات	۵,۸
..... ۶۹	تأثیر دبی	۵,۸,۱
..... ۴۹	۶. فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
..... ۷۶	نتیجه‌گیری	۳,۱
..... ۷۷	پیشنهادات	۳,۲
..... ۷۸	۷. منابع و مآخذ	

فهرست اشکال

- شکل ۳-۴: نمودار جریان دوفازی در یک سیستم نفت-آب ۱۳
- شکل ۳-۵: نیروهای تعادلی در سطح تماس نفت-آب-سنگ ۱۹
- شکل ۳-۶: فشار موئینه در لوله موئینه ۲۰
- شکل ۳-۷: جیوه و آب در لوله موئینه ۲۲
- شکل ۴-۱: شماتیکی از رابطه بین وسایل استفاده شده در آزمایش ۲۸
- شکل ۴-۲: شمایی از پمپ خلاء (Palma FY-1c) ۲۹
- شکل ۴-۳: پمپ تزریقی SP-500 ۲۹
- شکل ۴-۴: شیر سه راهی ۳۰
- شکل ۴-۵: نگهدارنده میکرومدل ۳۱
- شکل ۴-۶: شمایی از پیکنومتر ۳۱
- شکل ۴-۷: کوره مورد استفاده ۳۵
- شکل ۴-۸: دستگاه ایجاد کننده خطوط ۳۵
- شکل ۴-۹: شمایی از میکرومدل مدل بزرگ مورد استفاده ۳۶
- شکل ۴-۱۰: شمایی از میکرومدل مدل ریز مورد استفاده ۳۷
- شکل ۴-۱۱: شمایی از میکرومدل مدل سری مورد استفاده ۳۷
- شکل ۴-۱۲: شمایی از میکرومدل مدل سری مورد استفاده ۳۷
- شکل ۴-۱۳: رابطه سیستم‌های مورد استفاده در دستگاه اندازه‌گیری ترشوندگی ۴۲
- شکل ۴-۱۴: دستگاه اندازه‌گیری ترشوندگی ۴۳
- شکل ۴-۱۵: پارامترهای مربوط به زاویه تماس از روی شکل قطره ۴۴
- شکل ۴-۱۶: مشخصات قطره در روش قطره آویزان ۴۵
- شکل ۴-۱۷: سیستم تشکیل قطره در دستگاه اندازه‌گیری کشش سطحی ۴۷
- شکل ۵-۱: آزمایش ترشوندگی ۴۹
- شکل ۵-۲: آزمایش کشش سطحی و اعداد آن ۵۰
- شکل ۵-۱۰: تاثیر دبی بر تراوایی نسبی مدل بزرگ ۶۵
- شکل ۵-۱۱: تاثیر دبی بر تراوایی نسبی مدل کوچک ۶۶
- شکل ۵-۱۲: تاثیر دبی بر تراوایی نسبی مدل موازی ۶۶
- شکل ۵-۱۳: تاثیر دبی بر تراوایی نسبی مدل سری ۶۷
- شکل ۵-۱۴: تاثیر ناهمگونی بر تراوایی نسبی در دبی ۰,۱ میلی لیتر بر ساعت ۶۸
- شکل ۵-۱۵: تاثیر ناهمگونی بر تراوایی نسبی در دبی ۱ میلی لیتر بر ساعت ۶۸
- شکل ۵-۱۶: تاثیر ناهمگونی بر تراوایی نسبی در دبی ۱۰ میلی لیتر بر ساعت ۶۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: روش های اندازه گیری تراوایی نسبی در مغزه ۳
- جدول ۱-۳: رابطه ترشوندگی و زاویه در سیستم سنگ-نفت-آب ۱۹
- جدول ۲-۳: مشخصات رابطه فشار موئینگی ۲۰
- جدول ۲-۴: تخلخل میکرومدل های ساخته شده ۳۸
- جدول ۳-۴: عکس های گرفته شده برای دستیابی به ضخامت میکرومدل ها ۳۹
- جدول ۴-۴: جدول محاسبات ضخامت میکرومدل ها ۴۱
- جدول ۴-۵: حجم منافذ میکرومدل ها ۴۱
- جدول ۴-۶: داده های $1/H$ نسبت به S برای روش قطره معلق ۴۵
- جدول ۱-۵: نتایج آزمایش کشش سطحی ۵۰
- جدول ۲-۵: نتایج آزمایش چگالی سنجی ۵۱
- جدول ۳-۵: مشخصات مدل بزرگ ۵۱
- جدول ۴-۵: مشخصات مدل کوچک ۵۲
- جدول ۵-۵: مشخصات مدل موازی ۵۲
- جدول ۶-۵: مشخصات مدل موازی ۵۴
- جدول ۷-۵: نتایج حاصل از سیلاب زنی ۵۴
- جدول ۸-۵: ترتیب داده ها در اکسل ۶۲
- جدول ۹-۵: فرمول های نرمالیزاسیون مربوط به هر تراوایی نسبی ۶۳

فهرست علائم و اختصارات

مفهوم	نشانه
سطح مقطع	A
اختلاف فشار دوسر میکرومدل	dP
شتاب گرانش زمین	g
تراوایی مطلق	K
تراوایی نسبی	Kr
حجم فضای خالی میکرومدل	PV
دبی تزریقی	q
اشباع کاهش ناپذیر آب	Swi
اشباع نرمالیزه شده آب	Sw*
اشباع نرمالیزه شده نفت	So*
اشباع نرمالیزه شده گاز	Sg*
اشباع نفت باقی مانده	Sor
فاصله سیال ورودی از ابتدا میکرومدل	z
ضخامت میکرومدل	t
گرانروی نفت	μ_o
گرانروی آب	μ_w
چگالی	ρ
کشش سطحی	δ
تخلخل	ϕ
نفوذپذیری موثر نفت	Ko
نفوذپذیری موثر آب	Kw
نفوذپذیری موثر گاز	Kg
کل طولی که جریان در آن صورت کی گیرد.	L
درجه اشباع موثر آب	Sw
درجه اشباع موثر نفت	So
درجه اشباع موثر گاز	Sg
درجه اشباع آب محتوایی	Swc
درجه اشباع فاز غیرتر	Snw
کشش سطحی بین نفت و آب	δ_{wo}
کشش سطحی بین سیال سبک تر و سطح جامد	δ_{so}
نیروی چسبندگی سطحی	At
فشار نفت	Po
فشار آب	Pw

فشار موئینگی	P_c
قطر افقی قطره	d_e
قطر عمودی	d_s
زمان	t
تعداد پیکسل عکس‌های گرفته‌شده	N

۱. فصل اول: مقدمه

با افزایش تقاضا برای نفت و کاهش قابل توجه اکتشاف مخازن جدید در چند دهه اخیر، توسعه مطلوب مخازن موجود نفت و گاز با بهره‌گیری از روش‌های ازدیاد برداشت در حوزه انرژی، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در راستای برداشت از مخازن هیدروکربنی، عموماً چندین مرحله شناخته شده، مطرح می‌شود که این مراحل عبارت‌اند از:

۱. مرحله برداشت اولیه^۲
۲. مرحله برداشت ثانویه^۳
۳. مرحله ازدیاد برداشت
۴. مرحله برداشت نهایی^۴

در مرحله اولیه، از انرژی طبیعی مخزن برای برداشت، استفاده می‌گردد. تولید نفت به وسیله مکانیزم‌های تولید طبیعی، بهره‌برداری اولیه نامیده می‌شود. در این حالت جریان نفت به طرف چاه‌های بهره‌برداری بدون استفاده از فرآیندهای تأمین کننده انرژی مخزن انجام شده و بهره‌برداری اولیه تنها روش موجود طی سال‌های نخستین صنعت نفت بوده که همچنان به عنوان تنها روش تولید از برخی میدان‌های نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سال ۱۸۸۶، هنری داری^۵ نشان داد که شدت جریان آب از میان یک فیلتر شنی را می‌توان توسط معادله زیر بیان کرد:

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

که در این رابطه 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 هیدروستاتیکی 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.

علاوه بر موارد فوق ریزش ثقیلی نیز یکی از مهمترین مکانیزم‌های تولید نفت است. ریزش ثقیلی فرایندی است که در آن نیروهای جاذبه به عنوان نیروی اصلی رانش عمل می‌کنند. به عبارت دیگر فرایند فوق، جابه‌جایی یک فاز توسط فاز دیگر است که در آن نیروهای جاذبه، نقش عمده و اصلی را ایفا می‌کنند. این مکانیزم می‌تواند در مراحل اولیه تولید فعال باشد. متأسفانه مکانیزم ریزش ثقیلی به اندازه مکانیزم‌های دیگر روشن نیست. تراوایی نسبی یکی از عوامل عمده‌ای هستند که چگونگی تولید را در این حالت نشان می‌دهند. لذا داشتن اطلاعات کافی در مورد منحنی‌های تراوایی نسبی به فهم بیشتر و بهتر از این مکانیزم کمک می‌کند.

علاوه بر این، شناخت بهتر و دقیق‌تر از مخازن، مسئله‌ای جداناپذیر از تحقیق و توسعه در صنعت بالادستی نفت بوده و یکی از چالش‌های پایان‌ناپذیر در مهندسی نفت است. شناخت خاصیت‌های ظرفیتی نظیر تخلخل و خاصیت‌های جریان‌مانند تراوایی، کمک شایانی در برنامه‌ریزی توسعه مخازن می‌نماید.

شناخت خواص چندفازی نظیر تراوایی نسبی یکی از چالش‌های موجود در مهندسی مخازن هیدروکربوری است. همواره توصیف محیط متخلخل برای مهندسان نفت از جذابیت خاصی برخوردار بوده‌است و برای این کار در مقیاس‌های مختلف به تحلیل و ارزیابی داده‌های آنالیز مغزه پرداخته شده‌است. اندازه‌گیری و آزمایشات ویژه نیازمند صرف زمان و هزینه بالایی می‌باشد و حتی با صرف این هزینه و زمان، نتایج حاصل از آنها تا حدودی از عدم قطعیت برخوردار می‌باشند.

^۲Primary Oil Recovery

^۳Secondary Oil Recovery

^۴Ultimated Oil Recovery

^۵Henry P.Darcy

در این حال، فهم دقیق و بنیادی از چگونگی و مکانیزم فرآیند بر میزان بازدهی بازیافت نفت از مخازن، حین فرآیند سیلاب زنی کماکان موضوع مورد توجه متخصصین می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از آزمایش‌های میکرومدل، سیلاب زنی‌هایی با دبی‌های مختلف و مدل‌های مختلف به منظور بررسی منحنی‌های تراوایی نسبی صورت گرفته است.

ممکن است داده‌های نفوذپذیری نسبی نمونه‌های واقعی مخزن نیز موجود نباشند و باید به شیوه‌ی دیگری به دست آیند. معمولاً می‌توان نفوذپذیری نسبی میدان را محاسبه کرد. در هر صورت داده‌های میدانی برای تولید در آینده وجود ندارند و بعضی داده‌های جانشین باید فراهم شوند از این رو، استفاده از روش‌های دیگر آزمایشگاهی با سهولت بیشتر و همچنین هزینه‌های کمتر امری ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، تکرارپذیری آزمایش‌ها انجام شده، عاملی بسیار مهم در انجام تحقیقات آزمایشگاهی می‌باشد. در این میان مطالعات آزمایشگاهی مشاهده‌ای تزریق سیالات درون محیط متخلخل با استفاده از میکرومدل‌های شیشه‌ای، ابزاری قدرتمند به منظور فهم دقیق اثرات خواص مختلف محیط متخلخل و سایر رفتارهای سیال تزریقی در ابعاد حفرات می‌باشد. میکرومدل‌های شیشه‌ای با هدف مشاهده‌ی مستقیم حرکت سیال درون محیط متخلخل ساخته و استفاده می‌شوند. میکرومدل‌ها در حقیقت حاوی الگوهای حک‌شده بر روی شیشه، با قابلیت مشاهده توسط دوربین و میکروسکوپ هستند.

به منظور دستیابی به داده‌های نفوذپذیری نسبی برای محاسبات سیلاب زنی یا مکانیزم آبران در مغزه که یکی از روش‌های برداشت اولیه از مخازن است روش‌های متفاوتی وجود دارد.

تراوایی نسبی یک محیط نسبت به هر سیال را می‌توان در یک نمونه مغزه از آن توسط روش‌های (پایا) و (غیر پایا) اندازه‌گیری نمود. به طوریکه در روش پایا نسبت ثابتی از سیالات به درون مغزه تزریق می‌شود و این عمل تا زمان رسیدن به تعادل فشاری و اشباع ادامه می‌یابد. تکنیک‌های موفقیت‌آمیز متعددی جهت دستیابی به اشباع یکنواخت در این روش مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

به طوری که روش‌های مختلف دستیابی به تراوایی نسبی در جدول زیر به خوبی آمده است. (تراوایی نسبی در مخازن هیدروکربوری، ۱۳۸۶)

جدول ۱-۱: روش‌های اندازه‌گیری تراوایی نسبی در مغزه

انواع	روش اندازه‌گیری
پن-استیت ^۶	پایا
سینگل-سمپل داینامیک ^۷	
استیشنری فلوید ^۸	
هاسلر ^۹	
هافورد ^{۱۰}	
دیسپرس فید ^{۱۱}	

^۶Penn-State

^۷Single-Sample Dynamic

^۸Stationary Fluid

^۹Hassler

^{۱۰}Hafford

^{۱۱}Dispersed Feed

ناپایا
فشار موئینگی
سانتریفیوژ
محاسبه از اطلاعات میدان

اما در مقیاس میکرومدل به منظور دستیابی به تراوایی نسبی بهتر است از روش‌های دیگری استفاده گردد که در ادامه به آنها اشاره شده است.

هدف از انجام این پروژه، مطالعه و بررسی منحنی‌های تراوایی نسبی دوفازی در مقیاس میکرومدل و بررسی عامل ناهمگونی بر روی آن است تا بتوان بر اساس آن به ارزیابی و شناخت دقیق‌تری از این تکنولوژی و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر دست یافت. در پروژه حاضر به بررسی رابطه بین تراوایی نسبی و ناهمگونی در مقیاس میکرومدل در فرآیند آشام پرداخته شده است. به طوری که در فصل دوم ابتدا به مروری بر مقالات و کارهای صورت گرفته در گذشته پرداخته می‌شود. در فصل سوم به توصیف کلیاتی پیرامون پروژه از جمله تراوایی مطلق، تراوایی نسبی، روابط نفوذپذیری نسبی دوفازی و ... پرداخته می‌شود. در فصل چهارم تجهیزات آزمایشگاهی و خواص سیالات و میکرومدل‌های مورد استفاده بیان می‌گردد، در ادامه در فصل پنجم پس از بررسی نتایج حاصل از آزمایشات نتایج و بحث ارائه گشته و در نهایت در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات بیان می‌گردند.

۲. فصل دوم: پیشینه تحقیق

با توجه به نقش کلیدی منحنی‌های تراوایی نسبی در توسعه کاربرد رابطه داریسی از حالت تک‌فازی به چندفازی، بررسی و اندازه‌گیری این منحنی‌ها از شروع فعالیت‌های صنعت نفت در جهان آغاز شده و بیش از صد سال است که مورد توجه محققان این صنعت می‌باشد و هنوز هم یافتن راه‌های ساده، سریع، ارزان و مطمئن جهت دستیابی به این منحنی‌ها از ضروری‌ترین خواست‌های این صنعت می‌باشد.

۲,۱ سیلاب‌زنی با آب

از اوایل سال ۱۹۰۰ تزریق آب برای تأمین و نگهداری فشار مخزن و هدایت نفت به سمت چاه‌های تولیدی مورد استفاده قرار می‌گرفت [1].

سیلاب زنی با آب به عنوان یک روش ساده و ارزان در برداشت ثانویه نفت به طور عمده مورد استفاده قرار گرفته است. علت این امر فراوانی آب، آسانی تزریق آب، توانایی آب در پخش شدن در ناحیه‌ی تولیدی مخزن و بازدهی آب برای جابه‌جایی نفت درون ناحیه تولیدی مخزن می‌باشد [2]. آقای محمد دکلا در سال ۱۹۸۱ بیان می‌کند که هر چه زاویه تماس بین آب و نفت و سطح سنگ به ۹۰ درجه نزدیک‌تر باشد بازیافت نفت بیشتر خواهد بود. همچنین بیان می‌کند هر چه در مخازن ناهمگن نیروی سطحی کمتر باشد بازیافت نفت بیشتر خواهد بود [3].

اما از مشکلات عمده‌ی سیلاب زنی با آب میزان بازده جارویی ضعیف آن به علت نسبت حرکت نامطلوب آب به نفت در مخازن نفت سنگین و همچنین ناهمگنی مخازن است.

۲,۲ نفوذپذیری

محاسبه‌ی آزمایشگاهی نمودارهای نفوذپذیری نسبی با استفاده از آنالیز نتایج حاصل از آزمایش‌های جابجایی چند فازی سیال درون مغزه صورت می‌گیرد که به دو صورت پایا و غیر پایا اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های غیر پایا نسبت به روش‌های پایا سریع‌تر صورت می‌گیرند ولی تحلیل ریاضی پیچیده‌تری دارند. [4][5].

تئوری باکلی و لورت^{۱۲} و بسط آن توسط ولگ^{۱۳} پایه محاسبه نفوذپذیری نسبی تحت شرایط غیر پایا هستند. کار ولگ توسط جانسن و همکارانش^{۱۴} توسعه داده شد [6]. در این روش نفوذپذیری نسبی مختص هر فاز از داده‌های تست ناپایا محاسبه می‌شود. ساراف^{۱۵} و ام‌سی کافری^{۱۶} روش جدیدی برای محاسبه نفوذپذیری نسبی ارائه کردند که در آن دو پارامتر با تطبیق داده‌های فشار و بازیافت نفت تولیدی در هر مرحله، با استفاده از روش کمترین مجذور فاصله تعیین می‌شود [7].

جونز^{۱۷} و روسل^{۱۸} روش گرافیکی برای محاسبه نفوذپذیری نسبی مختص هر فاز ارائه دادند که در آن از داده‌های آزمایش جابجایی که مقیاس خطی داشتند، استفاده می‌شد [8].

توس^{۱۹} و همکارانش در سال ۲۰۰۲ یک متد کاربردی برای تحلیل داده‌های ناشی از آزمایش‌های غیر پایا ارائه کردند که در آن به جای استفاده از روش‌های عددی از روش‌های تحلیلی برای محاسبه‌ی نفوذپذیری نسبی استفاده می‌شود [9]. عواملی که بر تراوایی

^{۱۲}Buckley &Levertt

^{۱۳}Welge

^{۱۴}Johnson etal

^{۱۵} Saraf

^{۱۶}McCaffery

^{۱۷}Jones

^{۱۸}Roszelle

^{۱۹}Toth

نسبی سیالات و نحوه توزیع و حرکت آنها در محیط متخلخل تأثیر می گذارند، بسیار زیاد بوده و علاوه بر این اثر هر یک از آنها به تنهایی ممکن است با رفتار متقابلشان در هنگام حضور همزمان عوامل دیگر متفاوت باشد. از این جمله می توان به اثر هتروژنیته در محیط متخلخل اشاره کرد.

کوزنی-کارمن^{۲۰} بیان می کند معادله تراوایی ماده متخلخل به صورت تابعی از حاصل ضرب طول موثر مسیر جریان و شعاع هیدرولیکی متوسط کانال های عبور سیال است [10].

پورسل^{۲۱} نیز معادله ای برای تراوایی سیستمی متخلخل بر حسب تخلخل و منحنی فشار موئینگی آن ارائه داد که جهت ساده سازی محیط متخلخل را با لوله های موئینه با اندازه های متفاوت جایگزین کرد [11].

لیز و راپوپات^{۲۲} برای نفوذپذیری نسبی فاز ترکنده دو معادله ارائه دادند، این معادلات که بر اساس رابطه های انرژی سطحی و معادله کوزنی-کارمن استوار بوه است به عنوان حدود تعریف شده برای نفوذپذیری نسبی فاز ترکنده ارائه شده اند [12].

لیتز و گیتز^{۲۳} برای تراوایی نسبی فاز ترکنده رابطه ای ارائه دادند [13]. فولچر^{۲۴} و همکارانش به بررسی اثر عدد موئینگی (نسبت نیروهای ویسکوز به موئینه) بر منحنی های تراوایی نسبی دو فازی آب-نفت پرداخته اند [14]. لند^{۲۵} گزارش کرد که برای جلوگیری از اختلاف و ناهمگونی بین تراوایی های نسبی دوفازی محاسبه شده و آزمایشگاهی، تعیین پارامترهای آزمایشگاهی قابل قبولی مورد نیاز می باشد [15].

روس^{۲۶} روش مفیدی برای محاسبه رابطه تراوایی نسبی بر مبنای مقایسه و بررسی ارتباط های فیزیکی مابین پدیده جریان سیال در محیط های متخلخل و مقادیر اشباع باقی مانده و استاتیک بیان کردند [16].

کروگر و نوک^{۲۷} بر اساس آزمایشاتی که بر روی دومغزه انجام دادند مشاهده کردند که نفوذپذیری نسبی فاز نفت در حضور آب اولیه به طور قابل ملاحظه ای از نفوذپذیری مطلق محیط نسبت به آب بزرگ تر می باشد [17]. یک دلیل احتمالی برای این مسئله آن است که توزیع رس در سنگ متفاوت بوده و تغییرات اشباع آب موجب تغییر در سطح مشترک میان آب و مواد معدنی رسی می شود. از آنجا که هر چه اشباع آب بالاتر رود حجم بی شتری از مواد رسی در تماس با آب قرار می گیرند، بنابراین افزایش میزان تورم رس با مقدار اشباع آب نسبت مستقیم دارد.

دین و دونالدسون^{۲۸} اشاره کردند که تحت شرایط جریان دوفازی اگر از سیال نفت جای گاز به عنوان فاز غیر آبی استفاده گردد، تراوایی نسبی آب افزایش پیدا می کند که این پدیده نشان دهنده تاثیر دیگر عوامل علاوه بر اشباع آب بر نفوذپذیری نسبی این فاز می باشد [18].

اسوینی و جانسون^{۲۹} نیز به مطالعه اثر ناهمگونی سنگ بر نسبت تراوایی گاز به نفت پرداختند [19]. گوردن و مورگان^{۳۰} دریافتند که ساختار فضایی منافذ و مساحت سطح در واحد حجم بر منحنی های تراوایی نسبی آب-نفت تاثیرگذار هستند [20].

^{۲۰} Kozeny-Carmen

^{۲۱} Purcell

^{۲۲} Leitz-Rapoport

^{۲۳} Leitz-Gates

^{۲۴} Fulcher

^{۲۵} Land

^{۲۶} Rose

^{۲۷} Krock-Nowak

^{۲۸} Donaldson

^{۲۹} Sweeney-Johnson

^{۳۰} Gordon-Morgan