بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی شیمی

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای علی شاه محمدی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **بررسی آزمایشگاهی و مدلسازی حرکت آب و نفت در محیط متخلخل آغشته به ژل پلیمر** در تاریخ ۱۳۹۲/۱۰/۱۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محسن وفایی سفتی	استاد	
استاد ناظر	دکتر آرزو جعفری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علیرضا بهرامیان	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر آرزو جعفری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر دکتر بهزاد رستمی	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی

دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **علی شاهمحمدی** دانشجوی رشته **مهندسی شیمی** ورودی سال تحصیلی ۹۰-۹۱ مقطع **کارشناسی ارشد** دانشکده **مهندسی شیمی** متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آیین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم».

امضا

تاریخ ۹۲/۱۱/۷

آیین نامه چاپ پایان‌نامه‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه‌ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مهندسی شیمی** است که در سال **۱۳۹۲** در **دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس** به راهنمایی جناب آقای **دکتر محسن وفایی سفتی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **علی شاهمحمدی** دانشجوی رشته **مهندسی شیمی** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: علی شاهمحمدی

امضا

تاریخ ۹۲/۱۱/۰۴

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی شیمی

بررسی آزمایشگاهی و مدلسازی حرکت آب و نفت در محیط متخلخل آغشته به ژل پلیمر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی-فرآیندهای جداسازی

نگارنده:

علی شاه محمدی

اساتید راهنما:

دکتر محسن وفایی سفتی

دکتر بهزاد رستمی

پائیز ۱۳۹۲

تقدیم به پدر، مادر و برادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

چکیده

کنترل تولید آب ناخواسته موضوعی کلیدی در مخازن هیدروکربنی بوده که روش‌های بسیاری تاکنون به این منظور توسعه یافته است. یکی از روش‌هایی که امروزه در اکثر مراکز تحقیقاتی و صنعتی دنیا به عنوان راهکار مناسب و موثر در این زمینه مطرح شده، استفاده از ژل پلیمرها می‌باشد. بازدهی عملیات استفاده از ژل پلیمرها به چندین عامل از جمله الگوی جریان سیال، خواص شیمیایی و فیزیکی مغزه، ناهمگنی سازند و مشخصات ژل پلیمر بستگی دارد. عدم تطابق نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی‌ها با شرایط چاه در آزمون‌های میدانی از عوامل ضعف تحقیقات انجام شده است. در این تحقیق، مدلی برای پیش بینی تراوایی محیط متخلخل آغشته به ژل پلیمر، ارائه و نتایج مدل با نتایج حاصل از قانون دارسی مقایسه می‌گردد. جهت اعتبار سنجی مدل از آزمایش حرکت آب درون توده ژل پلیمر و همچنین محیط متخلخل آغشته به ژل پلیمر در حالت خطی استفاده شده است و نتایج آن نشان می‌دهد که مدل ارائه شده قادر به پیش بینی تراوایی محیط با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. در ادامه، کارایی ژل پلیمرها در مدل چاه دو بعدی برای اولین بار بررسی می‌گردد؛ این مدل انجام آزمون‌های آزمایشگاهی در شرایطی نزدیک‌تر به شرایط چاه واقعی را ممکن می‌سازد. بدین منظور آزمایش‌ها به داخل محیط متخلخل (سیلابزنی بستر شنی دو بعدی) متمرکز گردیده و تغییرات تراوایی آب و نفت پس از تزریق ژل، میزان تولید آب به نفت و عامل مقاومت باقیمانده در محیط متخلخل با جریان شعاعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مشخص کردن شرایطی که استفاده از ژل پلیمرها بازدهی بالایی دارند، اثر بخشی ژل پلیمر در جریان شعاعی، جریان موازی و متقاطع، لایه‌ها با تراوایی مختلف، در کوتاه مدت و بلند مدت تعیین می‌شود. همچنین مشکل اشباع شدن آب پشت ژل و اثر آن بر کارایی ژل پلیمر در طول زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: ژل پلیمر، معادله دارسی، معادله بریکمن، ترواییی، جریان خطی، اشباعیت، جریان شعاعی.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... أ

فهرست علامت‌ها و نشانه‌ها ..... د

فهرست جدول‌ها .....ه

فهرست شکل‌ها .....و

فهرست نمودارها.....ح

فصل ۱ ازدیاد برداشت نفت با تزریق ژل پلیمر

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ روش‌های کنترل آب ۱

۱-۲-۱ روش‌های مکانیکی ۲

۱-۲-۲ روش‌های شیمیایی ۲

۱-۳ منابع آب تولیدی ناخواسته و راهکارهای کنترل آب ۴

۱-۳-۱ نشتی از لوله‌های جداری.....۶

۱-۳-۲ جریان آب در پشت لوله (جداری) ۷

۱-۳-۳ بالا آمدن سطح تماس آب و نفت ۷

۱-۳-۴ لایه‌های پر تراوا بدون جریان متقاطع ۸

۱-۳-۵ وجود شکاف‌ها بین چاه های تولیدی و تزریقی.....۹

۱-۳-۶ مخروطی شدن دو بعدی (شکاف‌های در ارتباط با چاه تولیدی).....۹

۱-۳-۷ مخروطی شدن یا برآمده شدن آب ۱۰

۱-۳-۸ لایه جدا شده وزنی ۱۱

۱-۳-۹ جاروب کردن ضعیف سطحی ۱۲

۱-۳-۱۰ لایه‌ای با تراوایی بالا و جریان عرضی ۱۳

۱-۴ سازوکارهای کاهش نامتجانس تراوایی (DPR) ۱۳

۱-۵ تقسیم بندی مخازن و بررسی اثر بخشی ژل پلیمر در آن‌ها ۱۵

۱-۵-۱ مخازن همگن (جریان شعاعی) با چاه های عمودی ۱۵

۱-۵-۲ مخازن همگن (جریان شعاعی) با چاه های افقی.....۱۸

۱-۵-۳ چاه‌های شکافدار ۱۹

۱-۶ بررسی حرکت ژل در محیط متخلخل ۲۱

۱-۷ اهداف رساله ۲۲

فصل ۲ حرکت آب و نفت در محیط متخلخل در حضور و عدم حضور ژل پلیمر

۲-۱ مقدمه ۲۴
۲-۲ حرکت آب و نفت در سامانه خطی ۲۴
۲-۲-۱ معادله موازنه جرم (معادله پیوستگی) ۲۴
۲-۲-۲ معادلات تکانه ۲۶
۲-۳ بررسی حرکت آب و نفت در سامانه‌های شعاعی ۲۹
۲-۴ جریان آب و نفت درون ژل پلیمر ۳۲

فصل ۳ مدل‌سازی

۳-۱ مقدمه ۴۱
۳-۲ مدلسازی در جریان خطی ۴۱

فصل ٤ آماده سازی مواد و تجهیزات آزمایشگاهی

۴-۱ تهیه ژل پلیمر ۵۶
۴-۱-۱ روش ساخت ژل پلیمر (ژلانت) ۵۶
۴-۲ تعیین مشخصه‌ها و پارامترهای بستر شنی و سیال مخزن ۵۸
۴-۳ سامانه آزمایشگاهی ۶۰
۴-۳-۱ سامانه آزمایشگاهی جریان خطی ۶۰
۴-۳-۲ سامانه آزمایشگاهی جریان شعاعی ۶۶

فصل ٥ نتایج و بحث

۵-۱ مقدمه ۶۷
۵-۲ اعتبار سنجی مدلسازی و تحلیل نتایج ۶۷
۵-۲-۱ مدل قابل نمایش ۶۷
۵-۲-۲ محیط متخلخل آغشته به ژل پلیمر ۶۹
۵-۳ بررسی حرکت آب و نفت در جریان شعاعی ۷۴
۵-۳-۱ سناریو اول-تزریق جداگانه آب و نفت ۷۴
۵-۳-۲ سناریو دوم-تزریق همزمان آب و نفت ۸۴

فصل ٦ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱ مقدمه ۹۱

۶-۲ نتیجه گیری ۹۱
۶-۳ پیشنهادها ۹۲
واژه‌نامه فارسی با انگلیسی ۹۳
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۹٤
مراجع ۹۵
پیوست‌ها ۱۰۰

فهرست علامت‌ها و نشانه‌ها

اختلاف فشار	ΔP
تراوایی نفت	K_o
تراوایی آب	K_w
نرخ تولید نفت	Q_o
ارتفاع فاصله تولیدی	h
گرانروی نفت	μ_o
تراوایی مطلق	K
گرانروی	μ
شعاع	r
نرخ جریان سیال	q
شعاع مخزن	r_e
شعاع چاه	r_w
دانسیته	ρ
سرعت	u
المان درجهت x	Δx
سطح عرض	A
تخلخل	$\emptyset$
بعد زمان	t
ثابت بدون بعد درگ	c_f
عدد رینولدز بر مبنای قطر روزنه و ذره	Re_p
فشار خارجی	P_e
فشار جریان درون چاهی	P_w
مدول صلبیت	G
کشش سطحی	σ
طول	L
عامل مقاومت باقیمانده	RRF
اشباعیت باقیمانده نفت	S_{or}
اشباعیت باقیمانده آب	S_{wr}
سرعت در جهت x	u_x

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱ مشخصات مواد مورد استفاده جهت تهیه ژل پلیمر. ۵۶
جدول ۴-۲ مشخصات فیزیکی پلیمر پلی اکریل آمید مورد استفاده. ۵۶
جدول ۴-۳ گرانروی دینامیکی، سینماتیکی و چگالی نفت خام در دماهای مختلف. ۵۹
جدول ۴-۴ غلظت محلول پلیمری مورد استفاده با غلظت عامل شبکه ساز مختلف. ۶۲
جدول ۵-۱ پارامترهای مجهول معادله (۳-۱۷)، محاسبه شده با الگوریتم ژنتیک ۶۸
جدول ۵-۲ مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از معادله (۳-۱۷). ۶۹
جدول ۵-۳ پارامترهای b و β برای مغزه های متفاوت بعد از عملیات ژل. ۷۰
جدول ۵-۴ اطلاعات به دست آمده از بستر پرشده قبل از تزریق ژل پلیمر. ۸۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۱–۱ ساختار نمادین از تشکیل ژلانت ۳
شکل ۱–۲ نشتی از لوله های جداری ۶
شکل ۱–۳ جریان آب در پشت لوله جداری ۷
شکل ۱–۴ بالا آمدن سطح تماس آب و نفت. ۸
شکل ۱–۵ لایه های پر تراوا بدون جریان متقاطع. ۸
شکل ۱–۶ شکاف‌هایی که بین چاههای تولید و تزریق وجود دارد. ۹
شکل ۱–۷ مخروطی شدن دو بعدی ۱۰
شکل ۱–۸ مخروطی شدن یا برآمده شدن آب. ۱۱
شکل ۱–۹ لایه جدا شده وزنی ۱۲
شکل ۱–۱۰ جاروب کردن ضعیف سطحی. ۱۲
شکل ۱–۱۱ لایه‌ای با تراوایی بالا و جریان متقاطع. ۱۳
شکل ۱–۱۲ کاربرد ژل در عملیات انسداد آب در یک منطقه تولیدی. ۱۶
شکل ۱–۱۳ کاربرد ژل در عملیات انسداد آب با جریان متقاطع بین لایه ها در حالت تولید ۱۰۰٪ نفت (شکل الف) و تولید همراه با مقدار کمی آب (شکل ب) ۱۶
شکل ۱–۱۴ کاربرد ژل در عملیات انسداد آب بدون جریان متقاطع بین لایه ها. ۱۷
شکل ۱–۱۵ در نزدیکی دهانه چاه‌های افقی جداسازی در اثر نیروی جاذبه بطور کامل اتفاق می‌افتد. ۱۸
شکل ۱–۱۶ بالا آمدن آب بصورت قله ای در چاه‌های افقی و بصورت مخروطی در چاه های عمودی. ۱۹
شکل ۱–۱۷ کاربرد ژل در عملیات انسداد آب بدون جریان متقاطع بین لایه ها ۲۰
شکل ۱–۱۸ جاگیری‌های مختلف ژل در شکاف ۲۱
شکل ۱–۱۹ اختلاف فشار مورد نیاز برای منبسط شدن ژل در شکاف. ۲۱
شکل ۲–۱ سامانه یک بعدی در مختصات کارتزین. ۲۴
شکل ۲–۲ المان یک بعدی در جهت x. ۲۵
شکل ۲–۳ تغییر از جریان دارسی به جریان فورچیمر در جریان یک بعدی درون یک محیط متخلخل اشباع شده ۲۸
شکل ۲–۴ جریان شعاعی در چاه ۳۰
شکل ۲–۵ مدل جریان شعاعی ۳۰
شکل ۲–۶ حرکت آب درون توده ژل پلیمر. ۳۳
شکل ۲–۷ عدم امتزاج پذیری نفت با محیط ژلی. ۳۳
شکل ۲–۸ حرکت نفت درون توده ژل پلیمر. ۳۴
شکل ۲–۹ نمایی از حرکت آب درون کانال پر شده از ژل. ۳۶
شکل ۲–۱۰ حرکت آب درون ژل پلیمر تحت گرادیان فشار. ۳۷
شکل ۲–۱۱ تغییرات فشار شکافت با نسبت طول به قطر ۳۸
شکل ۴–۱ مدل قابل مشاهده قبل از تزریق ژل پلیمر. ۶۰

شکل ۴–۲ مدل قابل نمایش بعد از تزریق ژل پلیمر. ۶۰
شکل ۴–۳ قرار گرفتن مدل درون آون با دمای ۷۰ درجه جهت بسته شدن ژل. ۶۱
شکل ۴–۴ نمایی از دستگاه آزمایشگاهی به کاربرده شده در آزمایش مدل قابل نمایش. ۶۲
شکل ۴–۵ نمایی از دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده در بخش محیط متخلخل آغشته به ژل پلیمر. ۶۵
شکل ۴–۶ نمایی از سامانه آزمایشگاهی سیلاب زنی. ۶۶
شکل ۴–۷ مسیر ورود آب و ژلانت به مخزن. ۶۷
شکل ۴–۸ سامانه آزمایشگاهی سیلابه زنی ۶۸
شکل ۴–۹ نمای درونی مدل فیزیکی مخزن. ۶۹
شکل ۵–۱ بستر متشکل از دو تخلخل مختلف. ۷۶
شکل ۵–۲ بستر اشباع شده از نفت خام. ۷۶
شکل ۵–۳ نمایی تقریبی از محدوده اشباع آب و نفت در مخزن قبل از تزریق ژل پلیمر. ۷۹
شکل ۵–۴ قرار دادن سامانه در دمای ۹۰ ^{o}C. ۸۰
شکل ۵–۵ نمای تقریبی از محدوده اشباع آب و نفت بعد از تزریق ژل پلیمر. ۸۳
شکل ۵–۶ تزریق همزمان آب و نفت به مخزن. ۸۵
شکل ۵–۷ تراوایی نفت و آب قبل از تزریق ژل پلیمر. ۸۵
شکل ۵–۸ توزیع تقریبی اشباع آب و نفت قبل از تزریق ژل پلیمر. ۸۶
شکل ۵–۹ توزیع اشباع آب و نفت در تزریق همزمان بعد از تزریق ژل. ۸۷

فهرست نمودارها

نمودار ۴-۱ تغییرات زمان عبور آب از درون ژل پلیمر با غلظت ژل پلیمر. ۶۳
نمودار ۴-۲ تغییرات فشار شکافت با غلظت ژل پلیمر. ۶۴
نمودار ۴-۳ محاسبه تراوایی محیط متخلخل با استفاده از قانون دارسی، قبل از تزریق ژل پلیمر. ۶۵
نمودار ۵-۱ تغییرات دبی با افت فشار در غلظت‌های مختلف از ژل پلیمر. ۶۸
نمودار ۵-۲ مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و پیش بینی مدل ۷۱
نمودار ۵-۳ تراوایی و سرعت در محیط متخلخل بعد از عملیات ژل. ۷۲
نمودار ۵-۴ تراوایی و افت فشار در محیط متخلخل بعد از عملیات ژل. ۷۲
نمودار ۵-۵ مقایسه بین داده های آزمایشگاهی و نتایج معادله (۲-۱۷) با پیش بینی قانون دارسی ۷۴
نمودار ۵-۶ تعیین تراوایی نسبی آب در آزمایش اول. ۷۵
نمودار ۵-۷ تراویی تعیین شده قبل از تزریق ژل پلیمر. ۷۷
نمودار ۵-۸ تراوایی آب نسبت به نفت در بستر اشباع شده. ۷۸
نمودار ۵-۹ تراوایی نفت نسبت به آب در بستر اشباع شده. ۷۸
نمودار ۵-۱۰ محاسبه تراوایی آب بعد از تزریق ژل پلیمر. ۸۱
نمودار ۵-۱۱ محاسبه تراوایی نفت بعد از تزریق ژل پلیمر. ۸۲
نمودار ۵-۱۲ تغییر عامل مقاومت باقیمانده آب و نفت با گذشت زمان. ۸۴
نمودار ۵-۱۳ محاسبه تراوایی آب و نفت بعد از تزریق ژل پلیمر در تزریق همزمان. ۸۷
نمودار ۵-۱۴ تغییرات برش نفتی و آبی با زمان در دبی ورودی ۳۰ cc/min ۸۸
نمودار ۵-۱۵ تغییرات برش نفتی و آبی با زمان در دبی ورودی ۲۰ cc/min. ۸۹
نمودار ۵-۱۶ تغییرات برش نفتی و آبی با زمان در دبی ورودی ۱۰ cc/min. ۸۹

فصل ۱

ازدیاد برداشت نفت با تزریق ژل پلیمر

۱-۱ مقدمه

تولید آب اضافی یکی از مهمترین مشکل‌های فنی، محیط زیستی و اقتصادی در تولید نفت و گاز است. تولید آب نه تنها سبب کاهش تولید نفت و گاز شده، بلکه مشکل‌های زیادی همچون خوردگی وسایل، انتقال خاک و شن، بارگذاری هیدرو استاتیکی[۱] و جریان پساب را در پی دارد. از دیگر مسائل تولید آب اضافی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش نیاز به فرآیندهای جداسازی آب از نفت.
- افزایش خوردگی تجهیزات سر چاهی.
- کاهش بیش از حد تولید نفت.
- و در نهایت بسته شدن زود هنگام چاه بخاطر تولید بیش از حد آب.

در بسیاری از موارد، استفاده از روش مناسب جهت کنترل تولید آب می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه در هزینه‌های افزایش بازده تولید نفت[۲] شود. هدف کلی از فرآیند کنترل تولید آب کاهش تراوایی آب بدون تغییر جدی در تراوایی نفت بوده که امروزه راهکارهای زیادی برای رفع مسئله تولید آب ناخواسته پیشنهاد شده است.

۱-۲ روش‌های کنترل آب

کنترل آب، به عملیاتی گفته می‌شود که به کاهش ورود آب به چاه تولیدی کمک کند. برای جلوگیری از تولید آب اضافی روش‌های مختلفی وجود داشته که تمام آن‌ها به منظور بهبود عمر اقتصادی مخزن به کار می‌روند؛ این روش‌ها به نام روش کنترل همزمان[۳] شناخته شده که به طور کلی به دو دسته شیمیایی و مکانیکی تقسیم بندی می‌گردند [۱].

[1] Hydrostatic Loading
[2] Enhanced Oil Recovery
[3] Conformance Control Technology

۱-۲-۱ روش‌های مکانیکی

در مشکل‌های سر چاهی مانند نشتی لوله جداری، جریان در پشت لوله جداری، بالا آمدن سطح آب زیرین و خروج لایه آبی بدون جریان عرضی و مخروطی شدن آب به طوری که بر تولید نفت غلبه کرده و مانع عبور نفت شود، از این روش‌ها استفاده می‌گردد. روش‌های مکانیکی عموماً شامل حفاری افقی، حفر چاه‌های انحرافی[۱]، قرار دادن یک لوله مغزی در مسیر تولید آب و استفاده از وسایل جداسازی سرچاهی مانند هیدروسیکلون‌ها هستند. با توجه به هزینه‌های بالای روش‌های مکانیکی، استفاده از مواد شیمیایی در موارد کنترل تراوایی عملیات سیلاب زنی آب و بستن مسیرهایی با تراوایی بالا بیشتر مورد توجه است [۲].

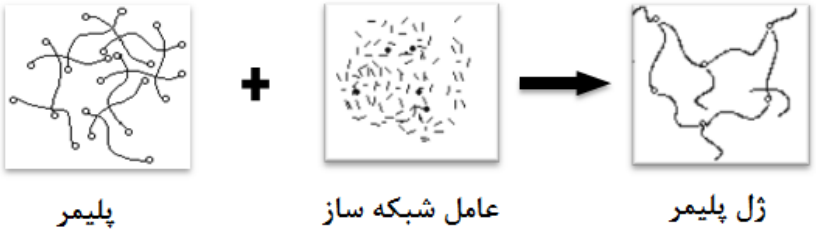
۱-۲-۲ روش‌های شیمیایی

بر اساس مطالعه و بررسی‌های انجام شده، روش‌های شیمیایی عبارت است از : ژل های معدنی[۲]، رزین ها و الاستومرها[۳]، سیستم های مونومر، ژل‌های پلیمری، پلیمرهای ژل نشده و سیستم‌های ژلی با پیوند عرضی ضعیف، استفاده همزمان از عامل امولسیون کننده و ژل پلیمر، استفاده از عوامل فعال سطحی [۳-۹].

۱-۲-۲-۱ ژل پلیمرها

سامانه‌های ژل پلیمر معمولاً شامل یک محلول پلیمری و یک عامل شبکه ساز محلول در آب هستند. عامل شبکه ساز زنجیرهای پلیمری را به یکدیگر متصل کرده که به محلول به دست آمده از آب، پلیمر و عامل شبکه ساز در اصطلاح ژلانت[۴] اطلاق می‌گردد و با گذشت زمان معینی به نام زمان انعقاد ژل، ساختار سه بعدی ژل به صورت شیمیایی تشکیل می شود (شکل ۱–۱). ژل های پلیمری به طور معمول برای چاه‌های تولیدی و تزریقی کاربرد دارند [۱۰].

[1] Deviated Wells
[2] Inorganic Gels
[3] Elastomers and Resins
[4] Gelant



شکل ۱–۱ ساختار نمادین از تشکیل ژلانت [۱۰].

پر کاربردترین پلیمر در صنعت نفت، به منظور افزایش بازیافت نفت و انسداد آب، از خانواده پلی اکریل آمید (با درجه آبکافت و وزن مولکولی مختلف) است. این پلیمرها معمولاً ارزان بوده و قابلیت تبدیل به ژل، توسط عوامل شبکه ساز آلی و فلزی را دارند. سرعت تبدیل این پلیمرها به ژل، بسیار به چگالی عامل شبکه ساز، وابسته است. عواملی دیگری مانند دما، یون‌های تک، دو و سه ظرفیتی، PH، غلظت پلیمر و عامل شبکه ساز نیز می‌توانند بر سرعت و زمان ژل شدن[۱] تأثیر بگذارند [۱۱].

عامل شبکه ساز مورد استفاده در تهیه ژل‌های پلیمری، مواد معدنی، مانند: Al^{+3}، Cr^{+6}، Cr^{+3}، Zr^{+4} [۱۲] و یا مولکول‌های آلی با پیوندهای کووالانسی مانند فنول، فرمالدهید، پلی اتیلن ایمین، هگزا متیلن تترا آمین هستند [۱۳]. از بین یون‌های فلزی کروم (III) تا دمای $۱۰۰\,^{o}C$ عملکرد قابل قبولی را ارائه داده است [۱۰]. سرعت ژل شدن ژل‌های متشکل از پلیمرهای پلی اکریل آمید و عامل شبکه ساز فلزی در دماهای بالاتر از $۹۰\,^{o}C$ به سرعت افزایش می‌یابد. همچنین حضور یون‌های دو ظرفیتی (مخصوصاً در دماهای بالا) تأثیر منفی بر روی تشکیل این ژل‌ها داراست، زیرا در دماهای بالا گروه‌های آمیدی به گروه‌های کربوکسیلات تبدیل (اصطلاحاً پلیمر دوباره آبکافت می شود) شده و سطح‌های بیشتری جهت ایجاد شبکه به وجود می‌آید و در نتیجه یون‌های دو ظرفیتی که در محیط وجود دارند با این محلول‌ها واکنش داده و پدیده شبکه‌ای شدن بیش از حد[۲] رخ می‌دهد. این موضوع می‌تواند باعث خروج آب از شبکه ژلی و در نتیجه منقبض شدن ژل شود؛ به این پدیده سینرزیس[۳] نیز گفته می‌شود و معیاری از پایداری ژل تشکیل شده

[1] Gelation Time
[2] Over Crosslinking
[3] Syneresis

است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پدیده سینرزیس در شبکه‌ها مشکل چندانی ایجاد نمی‌کند ولی در شکاف‌ها وجود این پدیده باعث کاهش کارایی ژل می‌گردد [۱۴]. برای افزایش مقاومت دمایی و مقاومت استحکامی آن‌ها نسبت به یون‌های دوظرفیتی موجود در سازند (مخزن) از گروه‌های عاملی مختلفی مانند سولفونات، وینیل استامید[۱] ، وینیل پیرولیدین[۲] و ... استفاده می‌شود [۱۵]. هنگام تزریق ژل پلیمر سازند، تراوایی سنگ نسبت به آب بیشتر از تراوایی سنگ نسبت به نفت کاهش می‌یابد که اصطلاحاً به این پدیده کاهش نامتجانس تراوایی[۳] گفته می شود.

۱-۳ منابع آب تولیدی ناخواسته و راهکارهای کنترل آب

مطالعات و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که عوامل مختلفی سبب تولید آب می‌گردند. دلیل پیدایش اکثر مخازن نفتی و گازی، جابجایی بین آب و هیدروکربن‌ها بوده که سبب وجود مقادیر زیادی آب در میادین نفتی شده است. در مخازن نفتی و گازی، هیدروکربن‌ها، آب سازند را در طول فرآیند آب‌گیری[۴] جابه‌جا می‌کنند. در بعضی از سطوح مخزن، تمام نفت و گاز با آب سازند در تماس است. اگر آب آبران به سمت سطح تماس آب و نفت حرکت کند، هیدروکربن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد از جمله موارد تولید آب درون چاه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۶, ۱۷]:

- نشتی از لوله های جداری[۵].
- جریان آب در پشت لوله (جداری)[۶].
- بالا آمدن سطح تماس آب و نفت[۷].
- لایه های پرتراوا بدون جریان متقاطع[۸].

[1] N-Vinylacetamide
[2] N-Vinyl Pyrrolidene
[3] Dispropotional Permeability Reduction
[4] Pooling Process
[5] Tubing, Casing or Packer Leak
[6] Flow Behind Casing
[7] Oil/Water Contact (OWC) Moving Up
[8] High-Permeability Layer Without Cross- Flow