

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۰۸۸۲۳

۸۷/۱/۱۰۶۲۲۴
۱۷-۱۳۰



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

بررسی خواص رئولوژیکی ژل های پلیمری و پلی اکریل آمیدها و ارائه مدلی مناسب جهت تخمین زمان بندش ژل در شرایط یکی از مخازن نفتی جنوب ایران

سیدمجید رفیع پور

استاد راهنما:

دکتر محسن وفایی سفتی

دکتر علی حق طلب

استاد مشاور:

دکتر مهدی رزاقی کاشانی

۱۳۸۷ / ۱۱ / ۱۰

پاییز ۱۳۸۷

کمیته دفاعات ازک علمی وزارت

۱۰۸۸۲۳

این پایان نامه با حمایت مالی مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران به انجام رسید.



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مجید رفیع پور پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان بررسی خواص رئولوژیکی ژلهای پلیمری و پلی اکریل آمید و ارائه مدلی مناسب جهت تخمین زمان بندش ژل در شرایط یکی از مخازن نفتی جنوب ایران در تاریخ ۱۳۸۷/۸/۲۲ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محسن وفایی سفتی	استاد	
استاد مشاور	دکتر مهدی رزاقی کاشانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ولی احمد سجادیان	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر عبدالصمد زرین قلم مقدم	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی حق طلب	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های 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 می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» 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 مجید رفیع پور در رشته مهندسی شیمی است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محسن وفایی سفتی و

دکتر علی حق طلب و مشاوره جناب آقای دکتر مهدی رزاقی کاشانی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

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

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد 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 مجید رفیع پور 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: مجید رفیع پور



تاریخ و امضا:

۱۵/۹/۸۷

آیین نامه 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 پایان‌نامه/ 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 پایان‌نامه 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 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 آئین نامه های 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.


۸۷/۱۰/۱۵

تقدیم به :

پیشگاہِ مقدس

حضرت صاحب الزمان

(عج)

و

روحِ مقدس

پدرِ بزرگ

و

مادرِ بزرگِ عزیزہ

سپاس فدای را که با عنایتش در پایان رسانیدن مرحله دیگری از تحصیل مرا یاری نمود. در این راستا از کلیه اساتیدی که، بضاعت علمی خویش را از خلوص نیت و لطف بی دریغ آن بزرگواران می‌دانم تشکر می‌کنم. از اساتید کرامی جناب آقای دکتر محسن وفایی سفتی و جناب آقای دکتر علی حق‌طلب که با صبر و حوصله با راهنمایی خویش اینجانب را در جهت پیشیدن به رساله یاری نمودند، کمال تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر مهدی رزاقی کاشانی به خاطر کمک‌های فراوانشان تشکر می‌نمایم. جا دارد که از زحمات بی‌دریغ پدر و مادرم که شرایط را به‌گونه‌ای رقم زدند که اینجانب بدون هیچ‌گونه دغدغه‌ای با فراغ بال به کسب علم و دانش بپردازم سپاس‌گزاری کنم. هم‌چنین از دوستان عزیزم مهندسین کرامی احمد دادوند کوهی، محمد سیم‌جو، فرهاد سلیمی، علی امجدیان و سایر بچه‌های آزمایشگاه بازیافت انرژی که در تک‌تک مراحل انجام این پایان‌نامه از مشاوره و راهنمایی ایشان بهره‌جستم تقدیر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

امروزه به‌طور گسترده‌ای از ژل‌های پلیمری به منظور بهبود عملیات تولید و عملیات انسداد آب (water shutoff) استفاده می‌شود. استفاده از سیستم‌های سیلابزنی مغزه (coreflood) به منظور بررسی عملکرد ژل‌های پلیمری بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده و مقرون به صرفه نمی‌باشد. هم‌اکنون بررسی خواص رئولوژیکی به عنوان یکی از روش‌های کم هزینه و سریع به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پایان نامه خواص رئولوژیکی ژل پلیمر پایه پلی‌اکریل‌آمیدی با عامل شبکه‌کننده استات کروم (III) مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. تاثیر پارامترهای مختلف (دما، نمک، غلظت پلیمر، غلظت عامل شبکه‌کننده...)، زمان بندش، ویسکوزیته و خواص ویسکوالاستیک ژل از طریق تست بطری و تست رئومتری مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، ژل پلیمر محتوی ۱۵۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۲۵۰۰ ppm استات کروم (III) که به مدت ۲۴hr در دمای ۹۰°C قرار گرفته‌است به عنوان ژل پلیمر پایه انتخاب شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که زمان بندش ژل با غلظت پلیمر، غلظت عامل شبکه‌کننده، دما و افزودن نمک‌های دو ظرفیتی به سیستم نسبت معکوس دارد. مدول الاستیک در محدوده فرکانس ۰/۱ تا ۱۰ Hz و در محدوده کرنش تا ۱۰٪ تقریباً ثابت باقی می‌ماند. ژل پلیمر پایه تا کرنش ۶۴۷۰٪ دچار پارگی نمی‌شود. هم‌چنین مدول الاستیک از ۸Pa در دمای ۲۵°C تا ۴Pa در دمای ۹۰°C افت می‌کند. زمان بندش برای ژل پلیمر پایه بر اساس تعریف نقطه برخورد مدول الاستیک و مدول ویسکوز ۲۰min به دست آمده‌است. در پایان نیز بر اساس معادله Graessley، رابطه‌ای برای تشکیل شبکه ژل پلیمر نسبت به زمان در دمای ۸۵°C ارائه شده است.

کلمات کلیدی: ژل پلیمر، ویسکوزیته، مدول الاستیک، مدول ویسکوز، زمان بندش ژل، مدل سینتیکی

Graessley

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست علائم و نشانه‌ها.....	۵
فهرست جداول.....	۹
فهرست شکل‌ها.....	۱۰
۱- فصل اول.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲- فصل دوم.....	۵
معرفی سیستم‌های ژل پلیمری به عنوان عناصر انسداد آب و مروری بر کارهای محققین.....	۵
۱-۲- مقدمه.....	۶
۲-۲- مقدمه‌ای بر مشکل تولید آب اضافی.....	۶
۳-۲- مواد مورد استفاده در عملیات انسداد آب.....	۷
۱-۳-۲- پلی‌اکریل‌آمیدها (PAM) / ژل‌های PAM.....	۱۲
۲-۳-۲- عامل پیوند دهنده Cl^{3+}	۱۳
۳-۳-۲- تغییر شکل در اثر برش.....	۱۳
۴-۳-۲- نفوذ در داخل ماتریکس.....	۱۴
۵-۳-۲- ژل‌های PAM.....	۱۵
۶-۳-۲- پلیمرهای غیر ژلی / سیستم‌های ویسکوز (RPMS).....	۱۵
۷-۳-۲- بیوپلیمرها.....	۱۶
۴-۲- مروری بر کارهای محققین در گذشته.....	۱۷
۳- فصل سوم.....	۲۲
دباجه رئولوژی.....	۲۲
۱-۳- رئولوژی چیست؟.....	۲۳

۲۴	۲-۳- تنش به عنوان یک مقیاس اندازه‌گیری نیرو.....
۲۶	۳-۳- کرنش به عنوان یک مقیاس اندازه‌گیری تغییر شکل.....
۲۷	۱-۳-۳- اندازه‌گیری کرنش برای انبساط ساده.....
۲۷	۴-۳- پدیده های رئولوژیکی.....
۲۸	۱-۴-۳- الاستیسیته : قانون هوک.....
۲۹	۲-۴-۳- ویسکوزیته.....
۳۱	۳-۴-۳- وابستگی زمانی بنیادی.....
۳۳	۴-۴-۳- پلاستیسیته و تنش تسلیم.....
۳۵	۵-۳- مواد ویسکوالاستیک.....
۳۱	۶-۳- تعیین رئولوژیکی نقطهٔ زل شدن.....
۳۹	۴- فصل چهارم.....
۳۹	شرح سیستم آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش‌ها.....
۴۰	۱-۴- مقدمه.....
۴۰	۲-۴- مواد آزمایشگاهی مورد استفاده.....
۴۳	۳-۴- معرفی دستگاه‌های به کار گرفته‌شده برای انجام آزمایش‌ها.....
۴۳	۱-۳-۴- رئومتر استوانه- استوانه Rheolab Qc.....
۴۵	۲-۳-۴- رئومتر Paar Physica UDS 200 Spectrometer مدل MCR300.....
۴۷	۳-۳-۴- ابزارها و دستگاه‌های جانبی مورد استفاده.....
۴۷	۴-۴- ساخت نمونه.....
۴۸	۵-۴- روش انجام تست بطری.....
۵۰	۵- فصل پنجم.....
۵۰	نتایج و بحث.....
۵۱	۱-۵- مقدمه.....
۵۱	۲-۵- نتایج تست‌های بطری برای ساختن ژل پلیمر مناسب.....
۵۴	۳-۵- اثر یون‌های یک ظرفیتی و دو ظرفیتی بر روی استحکام و زمان بندش ژل.....
۵۵	۱-۳-۵- نتایج تست بطری برای نمونه محتوی یون Na^+
۵۶	۲-۳-۵- نتایج تست بطری برای نمونه‌های محتوی یون‌های Ca^{+2} و Mg^{+2}

۵۱.....	۴-۵- اثر آب سازند بر روی تشکیل ژل پلیمر
۶۰.....	۵-۵- اثر محیط اسیدی و بازی بر روی استحکام ژل
۶۱.....	۶-۵- آزمایش های رئولوژیکی با استفاده از رئومتر Rheolab Qc
۶۲.....	۵-۶-۱- ویسکوزیته بر حسب دما
۶۳.....	۵-۶-۲- ویسکوزیته و تنش برشی بر حسب نرخ برش
۶۴.....	۵-۶-۳- اثر غلظت پلیمر و عامل شبکه ساز بر روی ویسکوزیته ژل
۶۶.....	۵-۶-۴- ویسکوزیته ژل پلیمر بر حسب نرخ برش
۶۷.....	۵-۶-۵- زمان بندش ژل بر حسب نرخ برش
۶۸.....	۵-۶-۶- اثر تغییرات دما بر روی بسته شدن ژل
۶۹.....	۷-۵- آزمایش های رئولوژیکی با استفاده از رئومتر MCR 300
۶۹.....	۵-۷-۱- آزمایش فرکانس متغیر
۷۱.....	۵-۷-۲- آزمایش کرنش متغیر
۷۲.....	۵-۷-۳- تنش تسلیم
۷۳.....	۵-۷-۴- اثر پختگی بر روی نقطه پاره شدن ژل
۷۵.....	۵-۷-۵- اثر غلظت پلیمر و عامل شبکه ساز بر روی مدول الاستیک و مدول ویسکوز
۷۷.....	۵-۷-۶- اثر تغییرات دما بر روی استحکام ژل
۷۷.....	۵-۷-۷- تعیین نقطه ژل شدن
۸۶.....	۵-۷-۸- بررسی سینتیک ژل شدن و چگونگی بسته شدن ژل پلیمر پایه
۹۰.....	۶- فصل ششم
۹۰.....	نتیجه گیری و پیشنهادها
۹۱.....	۶-۱- نتیجه گیری
۹۳.....	۶-۲- پیشنهادها
۹۴.....	فهرست مراجع
۱۰۰.....	چکیده انگلیسی

فهرست علائم و نشانه‌ها

تنش برشی	δ (Pa)
تنش کششی	δ_E (Pa)
تنش تسلیم	δ_0 (Pa)
تنش کمپلکس	τ^* (Pa)
کرنش برشی	S
کرنش هنکی	ε
نرخ کرنش هنکی	$\dot{\varepsilon}$
مدول کششی	E (Pa)
مدول برشی	G (Pa)
ویسکوزیته	η (Pa.s)
ویسکوزیته پلاستیک	η_p (Pa.s)
ویسکوزیته کمپلکس	η^* (Pa.s)
سرعت زاویه‌ای	Ω (rad)
زاویه مخروط	β (rad)
زاویه چرخش	θ (rad)
نیرو	F (N)
دامنه موج سینوسی	γ_M (m)
فرکانس	ω ($\frac{\text{rad}}{\text{s}}$)
مدول الاستیک	G' (Pa)

مدول ویسکوز	G'' (Pa)
مدول برشی کمپلکس	G^* (Pa)
مدول تعادلی	G_e (Pa)
مدول گره‌های فیزیکی	G_{en} (Pa)
جزء حقیقی	J' (Pa ⁻¹)
جزء موهومی	J'' (Pa ⁻¹)
طول	L (m)
طول اولیه	L_0 (m)
تغییرات طول	dL (m)
نرخ برش	$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)
ثابت بولتزمان	$k(\frac{W}{m^2 \cdot K^4})$
دمای مطلق	T (K)
سطح مقطع اولیه	A_0 (m ²)
دانسیته شبکه	$n(\frac{kg}{m^3})$
ضریب میرایی	δ
ثابت Graessley	$g(\frac{m^2 \cdot K^3}{Kg \cdot s})$
زمان	t (s)

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: طبقه بندی مواد شیمیایی مختلف برای جلوگیری از تولید آب اضافی ۷
- جدول ۱-۴: خواص فیزیکی پلی اکریل آمید هیدرولیز شده جزئی ۴۰
- جدول ۲-۴: مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش ها ۴۲
- جدول ۳-۴: محتویات آب سازند و ترکیب درصد آن (همه غلظت ها بر حسب mg/L ، دانسیته $= 1/145 \text{ g/cm}^3$ در دمای $^{\circ}\text{C}$ ۴۲
- (۳۰)
- جدول ۴-۴: مقدار کمی ویسکوزیته در کدگذاری Sydansk به وسیله دستگاه رئومتر Rheolab QC ۴۹
- جدول ۱-۵: نتایج تست بطری در دمای 90°C برای ژل پلیمر محتوی پلی اکریل آمید هیدرولیز شده جزئی و استات کروم ۵۱
- جدول ۲-۵: نتایج تست بطری برای ژل پلیمر محتوی 10000 ppm پلی اکریل آمید در غلظت های مختلف استات کروم در دمای 90°C ۵۲
- جدول ۳-۵: نتایج تست بطری برای ژل پلیمر محتوی 12500 ppm پلی اکریل آمید در غلظت های مختلف استات کروم در دمای 90°C ۵۳
- جدول ۴-۵: نتایج تست بطری برای ژل پلیمر محتوی 15000 ppm پلی اکریل آمید در غلظت های مختلف استات کروم در دمای 90°C ۵۳
- جدول ۵-۵: نتایج تست بطری برای ژل های پلیمری محتوی 10000 ppm پلی اکریل آمید و 10000 ppm کلرید سدیم در غلظت های مختلف استات کروم در دمای 90°C ۵۵
- جدول ۶-۵: نتایج تست بطری برای ژل های پلیمری محتوی 10000 ppm پلی اکریل آمید و 10000 ppm کلرید کلسیم یا کلرید منیزیم در غلظت های مختلف استات کروم در دمای 90°C ۵۷
- جدول ۷-۵: نتایج تست بطری برای ژل های پلیمری محتوی 10000 ppm پلی اکریل آمید در غلظت های مختلف استات کروم و ساخته شده در مقادیر متفاوت آب سازند در دمای 90°C ۵۹
- جدول ۸-۵: بررسی استحکام ژل پلیمرهای حاوی 10000 ppm پلی اکریل آمید و نسبت $1/10$ استات کروم به پلیمر، ساخته شده در آب شیر و قرار داده شده در دمای مذکور برای 1 hr و افزودن 10 CC آب سازند به آن و سپس قرار داده شده در دمای 90°C ۶۰
- جدول ۹-۵: اثر محیط اسیدی و بازی بر روی استحکام نهایی ژل پلیمر محتوی 15000 ppm پلی اکریل آمید و نسبت $1/6$ استات کروم به پلی اکریل آمید در دمای 90°C ۶۱
- جدول ۱۰-۵: بررسی معادله Graessley بر روی ژل پلیمر پایه ۸۸

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲: پدیده انعقاد ژل ۱۴
- شکل ۱-۳: تنش کششی (a) و تنش برشی (b) اعمال شده بر روی جسم ۲۶
- شکل ۲-۳: مختصات دو صفحه موازی (a) و صفحه و مخروط (b) ۲۹
- شکل ۳-۳: منحنی ویسکوزیته- نرخ برش برای یک پلیمر مذاب ۳۱
- شکل ۴-۳: تنش برشی بر حسب زمان برای یک ماده با وابستگی زمانی بنیادی ۳۳
- شکل ۵-۳: تنش برشی بر حسب نرخ برش برای یک پلاستیک بینگهام، یک سیال نیوتنی و یک سیال رقیق گردان ۳۴
- شکل ۶-۳: نمودار تنش بر حسب نرخ کرنش (a) و لگاریتم ویسکوزیته بر حسب لگاریتم نرخ کرنش (b) برای مواد مختلف ۳۴
- شکل ۳-۷: خاصیت تیکسوتروپی (a) و خاصیت رئوپیکسی (b) ۳۶
- شکل ۳-۸: تنش سینوسی اعمال شده بر روی یک صفحه موازی ۳۷
- شکل ۳-۹: تفاوت نقطه ژل شدن دینامیکی و استاتیکی ۳۸
- شکل ۱-۴: خواص رئولوژیکی پلی اکریل آمید هیدرولیز شده جزئی ۴۱
- شکل ۲-۴: نمایی از رئومتر Rheolab Qc ۴۳
- شکل ۳-۴: محدوده مجاز ویسکوزیته برای هر اسپیندل در رئومتر ۴۴
- شکل ۴-۴: نمایی از اسپیندل CC27 در رئومتر Rheolab Qc ۴۴
- شکل ۵-۴: نمایی از رئومتر MCR300 ۴۷
- شکل ۱-۵: نمودار فازی ژل های ساخته شده ۵۴
- شکل ۲-۵: ویسکوزیته بر حسب زمان در دماهای مختلف در نرخ برش $20 s^{-1}$ برای ژل پلیمر محتوی $15000 ppm$ پلی اکریل آمید و $2500 ppm$ استات کروم ۶۳
- شکل ۳-۵: تغییرات تنش برشی و ویسکوزیته بر حسب نرخ برش برای ژل پلیمر حاوی $15000 ppm$ پلی اکریل آمید، $2500 ppm$ استات کروم، $24hr$ ساعت عمر کرده در دمای $90^{\circ}C$ و اندازه گیری شده در دمای $25^{\circ}C$ ۶۴
- شکل ۴-۵: تغییرات ویسکوزیته بر حسب زمان برای ژلانت محتوی $2500 ppm$ استات کروم و غلظت های مختلف پلی اکریل آمید در دمای $90^{\circ}C$ ۶۵
- شکل ۵-۵: تغییرات ویسکوزیته بر حسب زمان برای ژلانت حاوی $15000 ppm$ پلی اکریل آمید و غلظت های مختلف استات کروم در دمای $90^{\circ}C$ ۶۶
- شکل ۶-۵: تغییرات ویسکوزیته بر حسب نرخ برش برای ژل پلیمر محتوی $15000 ppm$ پلی اکریل آمید و غلظت های مختلف استات کروم، $24hr$ عمر کرده در دمای $90^{\circ}C$ و اندازه گیری شده در دمای $75^{\circ}C$ ۶۷
- شکل ۷-۵: تغییرات ویسکوزیته بر حسب زمان برای ژلانت حاوی $15000 ppm$ پلی اکریل آمید و $2500 ppm$ استات کروم در نرخ های برش مختلف در دمای $75^{\circ}C$ ۶۸
- شکل ۸-۵: نحوه تغییرات ویسکوزیته برای ژلانت حاوی $15000 ppm$ پلی اکریل آمید و $2500 ppm$ استات کروم در محدوده دمایی $20^{\circ}C$ تا $90^{\circ}C$ ، اندازه گیری شده در نرخ برش $10 s^{-1}$ ۶۹
- شکل ۹-۵: تست فرکانس متغیر برای ژل پلیمر پایه در کرنش 1% و اندازه گیری شده در دمای $25^{\circ}C$ ۷۰

- شکل ۵-۱۰: تغییرات مدول الاستیک و مدول ویسکوز بر حسب کرنش برای سیستم ژل پلیمر پایه در فرکانس 1 s^{-1} و اندازه‌گیری شده در دمای $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۷۲
- شکل ۵-۱۱: تنش برشی بر حسب کرنش برای سیستم ژل پلیمر پایه در فرکانس 1 s^{-1} و اندازه‌گیری شده در دمای $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۷۳
- شکل ۵-۱۲: تغییرات مدول الاستیک و مدول ویسکوز بر حسب کرنش برای سیستم ژل پلیمر پایه با پختگی ۴ روز، در فرکانس 1 s^{-1} و اندازه‌گیری شده در دمای $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۷۴
- شکل ۵-۱۳: تغییرات مدول الاستیک و ویسکوز بر حسب کرنش برای سیستم ژل پلیمر پایه با پختگی ۱۰ روز، در فرکانس 1 s^{-1} و اندازه‌گیری شده در دمای $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۷۴
- شکل ۵-۱۴: تغییرات مدول الاستیک بر حسب زمان پختگی برای سیستم ژل پلیمر پایه، در فرکانس 1 Hz و کرنش ۱٪ و اندازه‌گیری شده در دمای $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۷۵
- شکل ۵-۱۵: اثر غلظت پلیمر بر روی مدول الاستیک و مدول ویسکوز در کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz و اندازه‌گیری شده در دمای $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۷۶
- شکل ۵-۱۶: اثر غلظت عامل شبکه‌ساز بر روی مدول الاستیک و مدول ویسکوز در کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz و اندازه‌گیری شده در دمای $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ۷۶
- شکل ۵-۱۷: اثر تغییرات دما بر روی مدول الاستیک و ویسکوز برای سیستم ژل پلیمر پایه در کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۷۷
- شکل ۵-۱۸: مدول الاستیک و مدول ویسکوز بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 15000 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 250 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۷۸
- شکل ۵-۱۹: مدول الاستیک و مدول ویسکوز بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 15000 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 3750 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۷۸
- شکل ۵-۲۰: مدول الاستیک و مدول ویسکوز بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 15000 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 1875 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۷۹
- شکل ۵-۲۱: مدول الاستیک و مدول ویسکوز بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 12500 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 2080 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۷۹
- شکل ۵-۲۲: مدول الاستیک و مدول ویسکوز بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 17500 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 2910 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۸۰
- شکل ۵-۲۳: تانژانت ضریب میرایی بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 15000 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 250 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۸۰
- شکل ۵-۲۴: تانژانت ضریب میرایی بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 15000 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 3750 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۸۱
- شکل ۵-۲۵: تانژانت ضریب میرایی بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 15000 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 1875 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۸۱
- شکل ۵-۲۶: تانژانت ضریب میرایی بر حسب زمان برای ژلانت محتوی 12500 ppm پلی‌اکریل‌آمید و 2080 ppm استات کروم در دمای $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، کرنش ۱٪ و فرکانس 1 Hz ۸۲

- شکل ۵-۲۷: تانژانت ضریب میرایی بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۷۵۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۲۹۱۰ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۲
- شکل ۵-۲۸: ویسکوزیته کمپلکس بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۵۰۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۲۵۰۰ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۳
- شکل ۵-۲۹: ویسکوزیته کمپلکس بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۵۰۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۳۷۵۰ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۳
- شکل ۵-۳۰: ویسکوزیته کمپلکس بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۵۰۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۱۸۷۵ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۴
- شکل ۵-۳۱: ویسکوزیته کمپلکس بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۲۵۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۲۰۸۰ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۴
- شکل ۵-۳۲: ویسکوزیته کمپلکس بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۷۵۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۲۹۱۰ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۵
- شکل ۵-۳۳: مدول الاستیک بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۵۰۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۲۵۰۰ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۷
- شکل ۵-۳۴: دانسیته شبکه بر حسب زمان برای ژلانت محتوی ۱۵۰۰۰ ppm پلی‌اکریل‌آمید و ۲۵۰۰ ppm استات کروم در دمای ۸۵ °C، کرنش ۱٪ و فرکانس ۱ Hz ۸۹

فصل اول

مقدمه

امروزه در مخازن بالغ نفتی و گازی تولید آب رو به افزایش است. هزینه‌های بالا بردن، جداسازی، تصفیه و دفع آب تولید شده خیلی بالاست؛ به طوری که با کاهش ظرفیت تاسیسات بهره برداری، راندمان تولید هم کاهش می‌یابد. در سرتاسر جهان تخمین زده شده است که به ازای هر بشکه نفت تولیدی ۳ بشکه آب به طور متوسط تولید می‌شود و از بین بردن این آب سالانه ۴۰ بیلیون دلار هزینه دربردارد [۱]. به علاوه مشکلاتی هم‌چون خوردگی، تشکیل امولسیون نفت و آب و تولید ماسه به عنوان اثرات ناشی از تولید آب اضافی مطرح هستند؛ از طرفی دفع این آب‌ها به صورت غیر اصولی مشکلاتی عدیده را از نقطه نظر مسائل زیست محیطی می‌تواند به همراه داشته باشد. در کشور ما هم متأسفانه این مشکل در حال شکل‌گیری است و برخی از مخازن نفتی در جنوب کشور از جمله مخزن اهواز- آسماری و مخزن منصوری اهواز که در گذشته دارای برش آبی کمی بودند اکنون با این مشکل مواجه هستند. هم‌اکنون حفظ سقف تولید از جمله چالش‌های اساسی کشور می‌باشد. از جمله ماموریت‌های اصلی وزارت نفت نیز جلوگیری از کاهش میزان سهمیه نفت در اوپک برای کشور می‌باشد. ممانعت از تولید آب سبب جلوگیری از بسته شدن چاه‌های تولیدی در اثر برش زیاد آب و در نتیجه حفظ سهمیه تولید می‌شود. به همین خاطر می‌طلبند که به دنبال روش‌های مناسبی برای حل این معزل در چاه‌های نفت بود. چندین روش برای جلوگیری از تولید آب اضافی وجود دارد که شامل تکنیک‌های فیزیکی و شیمیایی می‌شود. انتخاب روش مطلوب برای کاهش تولید آب به شرایط چاه مورد نظر بستگی دارد. برخی از این روش‌ها عبارتند از: حفر چاه‌های افقی، تولید هم‌زمان آب و نفت، استفاده از دوغاب سیمان و کاهش دبی تولید. در کشور ما عمدتاً از روش تزریق سیمان برای جلوگیری از تولید آب اضافی از سازند مربوطه استفاده می‌شود. این روش منجر به بسته شدن کامل محیط متخلخل در ناحیه سیمانکاری شده می‌شود و در نتیجه مانع از تولید نفت آن منطقه گردیده و در ادامه نفت موجود دیگر قابل بهره برداری نخواهد بود. یکی از روش‌های شیمیایی جلوگیری از تولید آب در چاه‌های تولیدی، استفاده از سیستم ژل‌های پلیمری است که امروزه به طور گسترده‌ای در سطح جهان و منطقه خاور میانه (در مخازن عربستان و عمان) به کار