۱۳۷۸ /۱۲/ ۱۶
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه تهران - دانشکدهٔ فنی

تعیین فشار بهینهٔ ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن هیدروکربنی تخلیه شده (مخزن گازی سراجه) به کمک تحلیل‌های ژئومکانیکی و هیدرومکانیکی

سید جلال موسوی

پایان نامه برای اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد در مهندسی مکانیک سنگ

5141

استاد راهنما : دکتر حسین معماریان

استاد مشاور : مهندس محسن حلاج نیشابوری

زمستان ۱۳۷۸

۲۷۵۹۷

بار الهی ...

به من زیستنی عطاکن که در لحظهٔ مرگ

بربیهودگی لحظه‌ای که برای زیستن گذشته است

حسرت‌نخورم ...

و مردنی که بر بیهودگیش سوگوار نباشم.

چگونه زیستن را تو به من بیاموز

چگونه مردن را خود خواهم آموخت.

۲۱۵۹۷

تعیین فشار بهینه ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن هیدروکربنی تخلیه شده (مخزن گازی سراجه) به کمک تحلیل‌های ژئومکانیکی وهیدرومکانیکی.

نام و نام‌خانوادگی: سید جلال موسوی

رشته و گرایش: مهندسی معدن - مهندسی مکانیک سنگ

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ دفاع از پایان‌نامه: ۱۳۷۸/۱۱/۱۸

استاد راهنما: دکتر حسین معماریان

استاد مشاور: مهندس محسن حلاج نیشابوری

اساتید ناظر: دکتر مهدی موسوی - دکتر کیوان صادقی

۷۸/۱۱/۳۰

استاد میهمان: دکتر علی بشری

این پایان نامه که با همکاری شرکت ملی نفت ایران ،طرح ذخیره‌سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی تهیه شده‌است، در تاریخ هجده بهمن ماه سال ۱۳۷۸ در دانشکده فنی دانشگاه تهران دفاع شد و درجهٔ ممتاز به آن تعلق گرفت.

تشکر و قدردانی

سپاس بی‌پایان خداوند منان را...

بی تردید آنچه که باعث تبلور اندیشهٔ آدمی در نیل به اهداف بلند انسانی می‌شود،مساعدت خردمندانی است که در هر عصری اندوختهٔ خرد خود را توشهٔ راه آیندگان می‌سازند.از این روی برخود واجب می‌دانم که از زحمات بی‌شائبهٔ اساتید محترم راهنما و مشاورم جناب آقای دکتر حسین معماریان و جناب آقای مهندس محسن حلاج نیشابوری و بذل توجه جناب آقای مهندس محمد نراقی مشاور محترم وزیر نفت و مدیر طرح ذخیره‌سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

همچنین از مساعدتهای جناب آقای دکتر نورزاد استاد محترم گروه مهندسی عمران ، جناب مهندس فرشید ضمیری ، جناب مهندس علی عدالت و خانم مهندس مژدهٔ رحمانی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

و با تشکر و سپاس فراوان از پدر و مادر عزیزم

به خاطر همه چیز...

سید جلال موسوی

تعیین فشار بهینهٔ ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن هیدروکربنی تخلیه شده (مخزن گازی سراجه قم) به کمک تحلیل‌های ژئو مکانیکی و هیدورمکانیکی

نام و نام خانوادگی : سید جلال موسوی

گرایش : مهندسی مکانیک سنگ

استاد راهنما : دکتر حسین معماریان

تاریخ دفاع : ۱۳۷۸/۱۱/۱۸

نمره : ۱۹/۵

چکیده

فرایند تعیین فشار بهینه ذخیره‌سازی گاز در مخازن هیدروکربنی تخلیه شده نیازمند فهم دقیق شرایط اولیه مخزن ، وضعیت میدان تنشهای برجای زمین و چگونگی اندرکنش سیالات درون مخزن با سنگ مخزن و تأثیر متقابل آن بر سنگ پوششی مخزن است.

ایجاد ترکهای کششی در سنگ هنگامی رخ می‌دهد که تنشهای القایی در اثر فشار منفذی در جهت عمود بر تنشهای برجای کمینه گسترش یابد. در این حالت در اثر فشار سیال سنگ تسلیم می‌شود.

در این پایان‌نامه سعی شده است که تغییرات میدان تنش زمین در اثر نفوذ سیال ، درون فضاهای خالی یک محیط متخلخل مورد بررسی قرار گیرد. و روابط اثر متقابل سنگ - محیط متخلخل - با سیال درون آن طبق قوانین بیوت و معادلات انتشار جرم استنتاج گردد. نتایج به دست آمده از این تجزیه و تحلیل‌ها برای تعیین فشار بهینه ذخیره‌سازی گاز در مخزن گازی سراجه قم - اولویت ذخیره‌سازی گاز برای شهر تهران - از دیدگاه ژئومکانیکی مورد استفاده قرار گرفته است.

پس از محاسبات انجام شده برای بررسی رفتار مکانیکی سنگ مخزن سراجه و سنگ پوششی آن و با توجه به مدل‌سازیهای صورت گرفته به کمک نرم‌افزارهای رایانه‌ای MATLAB و SAP.90 فشار بهینه ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخزن سراجه در محدوده ۴۰MPa تا ۴۷MPa معادل ۵۸۰۰Psi تا ۶۹۰۰Psi برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی : ذخیره‌سازی - گاز طبیعی - مخازن هیدروکربنی تخلیه شده - تئوری بیوت - معادله ناویر - سراجهٔ قم

فهرست مطالب.

- مقدمه ۱

۱- ذخیره‌سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی ۳

۱-۱- نقش گاز طبیعی در اقتصاد نفت ۴

۱-۲- روشهای ذخیره‌سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی ۸

۱-۲-۱- ذخیره‌سازی در میدانهای هیدروکربنی تخلیه شده ۸

۱-۲-۱-۱- مواد جامد سازنده مخزن ۹

۱-۲-۱-۲- کیفیت ساختاری مخزن ۱۱

۱-۲-۱-۳- ترمودینامیک مخزن ۱۳

۱-۲-۲- ذخیره‌سازی در سفره‌های آب زیرزمینی ۱۴

۱-۲-۳- ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مغارهای درون نمک ۱۷

۱-۲-۳-۱- روش ساخت مغارهای درون نمک ۱۸

۱-۲-۳-۲- رفتارنگاری مخزن ۲۱

۱-۲-۴- ذخیره‌سازی گاز در سازه‌های زیرزمینی ۲۱

۲- تشریح مخزن گازی سراجه ۲۵

۲-۱- زمین شناسی مخزن ۲۷

۲-۱-۱- سازند قرمز فوقانی ۲۷

۲-۱-۲- سازند قم ۲۷

۲-۱-۳- سازند قرمز تحتانی ۲۸

۲-۲- چاه‌های حفر شده مخزن ۲۹

ادامه فهرست مطالب.

۲-۲-۱- چاه شماره یک ۲۹

۲-۲-۲- چاه شماره دو ۳۱

۲-۲-۳- چاه شماره سه ۳۳

۲-۲-۴- چاه شماره چهار ۳۸

۲-۲-۵- چاه شماره پنج ۳۹

۲-۲-۶- چاه شماره شش ۳۹

۲-۲-۷- چاه شماره هفت ۳۹

۲-۳- مشخصات هندسی مخزن سراجه ۴۶

۲-۴- مشخصات مکانیکی مخزن سراجه ۴۶

۲-۵- تعیین نوع گاز داخل مخزن ۵۰

۳-برآورد تنشهای القایی در اندرکنش سیالات مخزن با سنگ مخزن ۵۳

۳-۱- ماهیت محیط متخلخل ۵۳

۳-۲- جریان در محیط متخلخل ۵۴

۳-۲-۱- عدد رینولدز ۵۵

۳-۲-۲- ضریب اصطکاک ۵۶

۳-۳- تئوری بیوت ۵۷

۳-۳-۱- تنش مؤثر و نسبتهای رفتاری ۶۰

۳-۴- معادلات جریان در محیط متخلخل ۶۳

۳-۴-۱- معادلات پیوستگی ۶۴

۳-۴-۲- قانون دارسی ۶۵
۳-۴-۳- انحراف از قانون دارسی ۶۷
۳-۴-۵- معادله حالت ۶۷
۳-۵- برآورد فشار سیال در حالت جریان ناپایدار ۶۸
۳-۶- انتقال جرم ۷۴
۳-۷- انتشار جرم ۷۸
۳-۸- برآورد تنشهای القایی در اثر تزریق گاز درون مخزن ۸۲
۴- تعیین فشار بهینه ذخیره‌سازی گاز در مخزن هیدروکربنی سراجه ۸۵
۴-۱- فرایند تحلیل برای تعیین فشار بهینه ۸۶
۴-۲- ارزیابی خصوصیات مکانیکی سنگ مخزن و مواد روباره ۸۸
۴-۳- تنشهای القایی ۸۸
۴-۴- شاخصه‌های ژئومگانیکی مخزن سراجه ۸۹
۴-۴-۱-تعیین سرعت امواج برشی و فشاری ۸۹
۴-۴-۲- ضرایب کشسانی سنگ مخزن ۹۰
۴-۴-۳- محاسبه مدول حجمی ۹۱
۴-۴-۴- ضرایب لامه ۹۲
۴-۴-۵- ضریب و مدول بیوت ۹۳
۴-۴-۶- ضریب انتشار جرم ۹۶
۴-۴-۷- تنشهای برجای زمین ۹۷

۴-۴-۸- ملاک شکست تجربی ۹۹

۴-۴-۹- مقاومت فشاری تک محوری ۱۰۱

۴-۴-۱۰- دبی تزریق گاز ۱۰۲

۴-۵- تحلیل رفتار مکانیکی سنگ مخزن ۱۰۳

۴-۶- تحلیل رفتار مکانیکی سنگ پوششی مخزن ۱۱۳

۵- نتیجه گیری ۱۳۲

- منابع ۱۳۵

فهرست جداول

۱-۱- تولید گاز طبیعی در جهان ۶

۱-۲- مصرف گاز طبیعی در جهان ۷

۱-۳-کیفیت مخازن از نظر درجه روزنه‌داری و نفوذپذیری ۱۰

۲-۱- مشخصات حفاری و سنگ شناسی چاه شماره یک ۳۰

۲-۲- درصد بازیابی مغزه از هفت مرحله مغزه‌گیری انجام‌شده در چاه شماره یک ۳۱

۲-۳- میزان هرزروی گل حفاری در عمقهای مختلف چاه شماره دو ۳۲

۲-۴- فرایند مغزه‌گیری از هفت عمق مختلف در چاه شماره دو و نتایج آن ۳۲

۲-۵- مشخصات حفاری و چینه شناسی چاه شماره دو ۳۵

۲-۶- مشخصات حفاری و چینه شناسی چاه شماره سه ۳۶

۲-۷-گزارش وضعیت مغزه‌ها در فواصل مختلف چاه شماره سه ۳۷

۲-۸- مشخصات حفاری و چینه شناسی چاه شماره چهار ۴۱

۲-۹- مشخصات حفاری و چینه شناسی چاه شماره پنج ۴۲

۲-۱۰- مشخصات حفاری و چینه شناسی چاه شماره شش ۴۳

۲-۱۱- مشخصات حفاری و چینه شناسی چاه شماره هفت ۴۴

۲-۱۲- داده‌های میدان گازی سراجه ۲۹

۲-۱۳- داده‌های چاههای دو و سه مخزن سراجه ۵۰

۲-۱۴- درصد ملکولی گاز مخزن سراجه بر مبنای ۹۳ بشکه مایعات استحصالی ۵۱

۴-۱- نتایج محاسبات انجام شده برای سنگ مخزن سراجه با مرکزیت چاه شماره سه ۱۰۴

۴-۲- نتایج محاسبات انجام شده برای مرزهای سنگ مخزن سراجه با مرکزیت چاه شماره سه . ۱۰۸

۴-۳- برآورد فشار و تنشهای القایی در لحظه شکست سنگ مخزن ۱۱۳

۴-۴- خواص کشسانی سنگ انیدرید ۱۱۶

فهرست اشکال.

۱-۱- بازار تولید نفت خام و گاز طبیعی در جهان ۴

۱-۲- وضعیت ذخایر نفت و گاز کشف شده در جهان ۴

۱-۳- نمونه‌ای از یک نقشهٔ ساختمانی زیرزمینی با یک مقطع..... ۱۲

۱-۴- مقطع فرضی یک سفرهٔ آب زیرزمینی تحت فشار برای ذخیره‌سازی گاز..... ۱۵

۱-۵- طرح‌وارهٔ یک مغار درون نمک برای ذخیره‌سازی گاز طبیعی ۱۸

۱-۶- وضعیت لوله‌های مختلف در چاه انتقال آب برای انحلال نمک..... ۱۹

۱-۷- تزریق آب از لولهٔ مرکزی برای ایجاد شکل استوانه‌ای و دوکی..... ۲۰

۱-۸- نمودار سادهٔ طراحی فضاهای زیرزمینی ۲۳

۲-۱- موقعیت جغرافیایی تاقدیس سراجه..... ۲۶

۲-۲- نقشهٔ هم‌بستگی چاههای سراجه ۴۵

۲-۳- نقشهٔ هم‌ضخامت مخزن سراجه..... ۴۸

۳-۱- انتشار کمی و کیفی آب،نفت و گاز در یک مخزن ۵۸

۳-۲- تنش کلی و فشار سیال در یک جزء مربوط به محیط متخلخل..... ۵۹

۳-۳- یک جزء مستطیلی از محیط متخلخل ۶۴

۳-۴- یک جزء دیسک مانند در اطراف چاه تزریق به ضخامت h..... ۷۰

۳-۵- مقادیر تابع انتگرال نمایی بر حسب x..... ۷۳

۳-۶- حجم کنترل استوانه‌ای با مرز متحرک در اطراف یک چاه تزریق در محیط متخلخل ۷۶

۴-۱- الگوریتم فرایند تحلیل رفتار مکانیکی سنگ مخزن و سنگ پوشانندهٔ آن ۸۷

۴-۲- تغییرات نسبت Vp/Vs برای سنگهای مختلف ۹۰

۴-۳- ضریب غیر مطلوب بودن گاز برای گاز متان ۹۵

۴-۴- گرنروی گاز متان به عنوان تابعی از فشار و دما ۹۷

۴-۵- پوش تجربی موهر برای سنگ مخزن سراجه با روزنه‌داری ۶/۳ درصد..... ۱۰۰

۴-۶- پوش تجربی شکست موهر برای مرزهای سنگ مخزن سراجه ۱۰۷

۴-۷- تغییرات اتساع مخزن سراجه نسبت به زمان و فاصله ۱۱۰
۴-۸- تغییرات فشار مخزن سراجه نسبت به زمان و فاصله..... ۱۱۰
۴-۹- تغییرات تنش شعاعی مخزن سراجه نسبت به زمان و فاصله ۱۱۱
۴-۱۰- تغییرات تنش مماسی مخزن سراجه نسبت به زمان و فاصله ۱۱۱
۴-۱۱- تغییرات تنش قایم مخزن سراجه نسبت به زمان و فاصله..... ۱۱۲
۴-۱۲- هندسهٔ سنگ پوشش مخزن سراجه با توجه به اطلاعات چاههای هفت گانهٔ مخزن ۱۱۵
۴-۱۳- میزان جابه‌جایی سنگ پوشش مخزن سراجه در فشار ۱۰۵۴۷Psi..... ۱۱۷
۴-۱۴- وضعیت تنشهای کششی و فشاری القأشده در سنگ پوششی مخزن سراجه..... ۱۱۷
۴-۱۵- وضعیت تنشهای برشی القأ شده در سنگ پوشش مخزن سراجه ۱۱۸

مقدمه

روند رو به رشد استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت فسیلی تا سال ۲۰۵۰ میلادی آن را به نخستین منبع انرژی جهان تبدیل خواهد نمود[۳۰]. از این رو دست یازیدن به راهکارهای مناسب جهت تأثیر بر بازارهای انرژی در زمینهٔ عرضه و تقاضای گاز طبیعی در مدیریت انرژی امری اجتناب ناپذیر است. در این راستا ذخیره سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی یک راهبرد تعیین کننده در اقتصاد انرژی است.

فرایند ذخیره سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی در طی چند دههٔ اخیر باعث بروز مشکلات عدیده‌ای از نظر فنی و اقتصادی شده است که سعی می‌شود با استفاده از روشهای مناسب فنی هر طرح را از نظر اقتصادی توجیه نمود. یکی از مسایل مطرح در این باره تعیین بهترین محدودهٔ فشار برای ذخیره‌سازی گاز در فضاهای زیرزمینی است،تادر طی آن به توان ضمن رسیدن به حد مطلوب فشار، از تخریب فضای زیرزمینی و نشت گاز از آن نیز جلوگیری شود.

در این پایان نامه دیدگاه فوق از نظر ژئو مکانیکی و هیدرومکانیکی مورد بررسی قرارگرفته است. و سعی شده است به کمک قوانین حاکم بر محیط های متخلخل و معادلات انتقال و انتشار جرم در یک محیط روزنه‌دار،رفتار مکانیکی محیط تحلیل گردد. در این تحلیل با توجّه به غیر قابل دسترس بودن محیط،استفاده گسترده از روابط تجربی به دست آمده از دیگر مطالعات و به کار بردن مدل‌های ریاضی امری ضروری بوده است. در نهایت،با توجه به نتایج به دست آمده مخزن سراجه واقع در ۱۴۰ کیلومتری

شهر تهران که به عنوان نخستین طرح ذخیره سازی گاز طبیعی برای شهر تهران در دست اقدام می‌باشد، مورد مطالعه قرارگرفته و شبیه سازی شده‌است.

در فصل اول این پایان نامه، ابتدا انواع روش‌های ذخیره سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی و نقش گاز طبیعی در اقتصاد نفت مورد بررسی قرارگرفته است. در فصل دوم ویژگیهای عمومی مخزن گازی سراجه تشریح شده و نقشه هم ضخامت مخزن و اطلاعات چاههای هفت گانه سراجه ملاحظه می‌شود. همچنین مخزن از دیدگاه مکانیک مخزن و زمین شناسی نیز تشریح شده است.

در فصلهای دوم و سوم معادلات حاکم بر جریان سیال در محیط متخلخل و اندرکنش سنگ با سیالات درون آن تشریح شده است. در این فصلها ابتدا رفتار سیال در محیط متخلخل بررسی شده و سپس واکنش سنگ مخزن به عنوان بخش جامد سیستم درکنش با سیال(گاز) به صورت مجزا تحلیل شده است و با ترکیب این دو سیستم رفتار محیط مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل چهارم به کمک معادلات به دست آمده در فصل سوم و داده‌های حاصل از فصل دوم ، مخزن سراجه مدل سازی شده و رفتار آن تحت فشارهای مختلف گاز بررسی شده است و در نهایت محدودهٔ فشار امکان پذیر برای ذخیره سازی گاز در آن از دیدگاه ژئومکانیکی تعیین شده است.

۱

ذخیره‌سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی

امروزه ذخیره‌سازی گاز طبیعی در فضاهای زیرزمینی به عنوان یک روش اساسی جهت تأمین بازار مصرف به ویژه در ماههای سرد سال مورد توجه بسیار قرارگرفته است و رشد فزاینده استفاده ازگاز طبیعی به عنوان سوخت به این امر شدت بیشتری بخشیده است.به گونه‌ای که تا سال ۱۹۹۵ میلادی $۲۴۳\times۱۰^{۹}m^{۳}$ گاز طبیعی در بیش از ۵۵۴ مخزن زیرزمینی ذخیره‌سازی شده است.

درکشورهای کانادا و آمریکا بیش از ۴۰۰ مخزن ذخیره‌سازی گاز وجود دارد. به گونه‌ای که بین ۵۰ تا ۷۰ درصد گاز مورد نیاز این کشورها در ماههای سرد سال از مخازن زیرزمینی تامین می‌گردد. تمامی کشورهای عضو پیمان آتلانتیک شمالی (NATO) از انبارهای ذخیره‌سازی گاز در فضاهای زیرزمینی برخوردارند. درکشورهای یوگسلاوی، ژاپن، استرالیا و عراق نیز این امر تحقیق یافته است. درایران ارایه این اندیشه اولین بار توسط یک زمین‌شناسی سویسی به نام آقای اشتوکلین ارایه گردید. وی در سال ۱۳۳۸ خورشیدی پیشنهاد داد که برای کارخانهٔ پتروشیمی فارس در خلل و فرج آهک ایلام، کوه خانه خبیز واقع در ۲۲ کیلومتری شیراز فرایند ذخیره‌سازی گاز طبیعی صورت گیرد، اما تاکنون این امر صورت عمل نپذیرفته است.