بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی نفت و گاز

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت و گاز
گرایش حفاری و بهره برداری

تحلیل گسیختگی لوله جداری ناشی از رفتار خزشی سنگ نمک در مغارهای نمکی

استادان راهنما :
دکتر سعید کریمی نسب
دکتر حسین جلالی فر

مؤلف :
احسان زارعیان جهرمی

دی ماه ۱۳۸۸

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی نفت وگاز

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : احسان زارعیان جهرمی

استادراهنما (۱): دکتر سعید کریمی نسب

استادراهنما (۲): دکتر حسین جلالی فر

داور ۱: دکتر محمد رنجبر

داور ۲: دکتر حسین باقری پور

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: مهندس دادگری نژاد

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر غلامرضا پور ابراهیم

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به

وسعت قلب پدرم

که آرامش را در سینه ام می نشاند تا بال ذهنم با آرامش در آسمان علم به پرواز در آید.

تقدیم به

شکوه دیدگان مادرم

که آسمان عشق و پاکی را در دلم جای داد تا آبی آسمان ایثار در روحم رنگ گیرد.

تقدیم به خواهران مهربانم

آنان که در چشمهایشان می توان امید را جستجو کرد و به محبت خواهرانه شان تا همیشه تکیه کرد.

تقدیم به همه آنان که در وادی خاموش و تاریک زندگی ام، منزل به منزل، چراغ هدایت را در فراسوی نگاهم روشن کردند.

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران پروردگار یکتا که هستیمان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و خوشه چینی از علم و دانش را روزیمان ساخت. سپاس همه آنان را که خوشه چین خرمن معرفتشان بوده ام و آموختن را مدیون فضل و کرم آنانم. سپاس ویژه از استاتید راهنمایم جناب آقای دکتر سعید کریمی نسب و جناب آقای دکتر حسین جلالی فر، به خاطر زحمات بی دریغ و راهنمایی های ارزشمندشان. آنان که الگوی فروتنی و مهربانی توأم با دانش و آگاهی اند.

سپاس و درود بر پدر و مادر عزیزم، آنان که چون خواستم دست رد بر سینه ام نگذاشتند و چون خواندمشان اجابتم کردند. سپاس از آنان که اسطوره صبر و گذشتند.

سپاس و درود بر خواهران عزیزم که همیشه پشتیبان من بوده اند و مرا یاری کرده اند.

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر محمد رنجبر و سرکار خانم دکتر مهین شفیعی، به خاطر کمک های بی دریغ شان سپاسگزارم و از خداوند منان سلامتی و شادی را برای ایشان طلب می نمایم.

از اساتید محترم داور که نظرات ارزشمندشان موجب افزایش بار علمی این پایان نامه گردیده است، تشکر و قدردانی می نمایم.

درود بی پایان بر روان مرحوم مهندس افضلی پور، بزرگ مردی که امروز بهتری را برایمان خواست و از آن بود که پله هایی از علم و پیشرفت ایرانیان را با تاسیس این دانشگاه در سرزمین کریمان نهاد.

چکیده

گسیختگی لوله جداری در مقاطع نمکی یکی از مشکلات اساسی در صنعت ذخیره سازی در مغارهای نمکی و در صنعت حفاری های نفت است که در اثر پدیده خزش به وجود می آید. لوله جداری در مقابل مقطع نمکی سیمان کاری شده، در صورت اعمال بارگذاری غیریکنواخت و یا برش در فصل مشترک نمک با لایه های مجاور، دچار گسیختگی می شود. در این تحقیق توسط روش های عددی المان محدود در حالت دو بعدی و با استفاده از نرم افزار FLAC به بررسی گسیختگی لوله جداری ناشی از رفتار خزشی سنگ نمک پرداخته شد. دسته ای از اطلاعات مورد نیاز از داده های منتشر شده در رابطه با حوزه خلیج مکزیک استخراج شد. نتایج حاصل از شبیه سازی ها نشان داد که با شناخت رفتار خزشی سنگ نمک موجود در منطقه می توان وزن سیال حفاری را به خوبی طراحی کرد و از وقوع پدیده هایی همچون گیرکردن رشته حفاری و جداری و کاهش قطر چاه و سیمان کاری نامناسب جلوگیری کرد. همچنین نتایج نشان می دهد که سیمان کاری مناسب مقطع نمکی می تواند تا حد زیادی از مچالگی لوله جداری بکاهد. با افزایش ضخامت و تغییر جنس لوله جداری و استفاده از آستری در داخل لوله جداری قبلی می توان گسیختگی لوله را در اثر پدیده خزش تا اندازه زیادی به تعویق انداخت و آن را متوقف نمود.

کلمات کلیدی: گسیختگی لوله جداری، ذخیره سازی زیر زمینی، خزش، مغارهای نمکی، سیال حفاری.

فهرست مندرجات

مقدمه ۱

فصل اول: ذخیره سازی زیرزمینی هیدروکربن ها ۳

۱-۱ مقدمه ٤

۱-۲ مخازن زیر زمینی هیدروکربن ها ٤

۱-۳ انواع مخازن زیر زمینی ٥

۱-۳-۱ مخازن تخلیه شده ٥

۱-۳-۲ سفره های آب ٦

۱-۳-۳ مغارهای نمکی ۸

۱-۳-۴ سایر روش های ذخیره سازی ۱۲

۱-۴ ذخیره سازی گاز طبیعی ۱۳

۱-۴-۱ تقسیم بندی مخازن گازی ۱٤

۱-۵ آشنایی با معدن کاری انحلالی مغارها ۱٥

۱-۵-۱ فرآیند ساخت مغارهای نمکی ۱٥

۱-۶ مشکلات حفاری در سازندهای نمکی ۱۸

۱-۶-۱ آسیب های ایجاد شده در لوله های جداری در سنگ نمک ۲۲

فصل دوم: معرفی پدیده گسیختگی لوله جداری چاه در اثر خزش ۲٤

۲-۱ مقدمه ۲٥

۲-۲ منشا گسیختگی لوله جداری و مکانیزم های گسیختگی ۲٥

۲-۲-۱ گسیختگی لوله جداری در مقاطع نمکی ۲٦

۲-۲-۲ انتقال فشار سازند به لوله جداری در سازندهای نمکی ۲٦

۲-۲-۳ گسیختگی لوله جداری در اثر بارگذاری موضعی ۲۷

۲-۲-۴ برش لوله جداری ناشی از وجود صفحات لغزشی ۲۸

۲-۳ عوارض گسیختگی لوله جداری در اثر خزش ۳۰

۲-۴ عامل بروز مشکل در نمک ها ۳۰

۲-۵ نمونه ای از گسیختگی لوله جداری در جهان در اثر خزش ۳۱

۲-۶ بررسی آماری گسیختگی ها ۳۳

۲-۷ تقسیم بندی گسیختگی ها ۳٤

۲-۸ ممان خمشی ۳٤
۲-۹ اثر فشار داخلی بر کنترل گسیختگی ۳۵
۲-۱۰ استفاده از آستری ها برای کنترل گسیختگی ۳۵
۲-۱۱ استفاده از لوله مغزی برای کنترل گسیختگی ۳٦
۲-۱۲ زمان وقوع گسیختگی ۳٦
۲-۱۳ زمین شناسی مناطق گسیختگی ۳۷
۲-۱۴ چاره اندیشی برای کاهش گسیختگی ها ۳۷
۲-۱۵ نمونه ای از گسیختگی لوله جداری در ایران ۳۹
۲-۱۶ ارزیابی تحقیقات مرتبط در زمینه مدل سازی نمک ۳۹
۲-۱۷ قوانین حاکم بر رفتار خزشی سنگ نمک ٤۱
۲-۱۷-۱ رفتار وابسته به زمان سنگ ٤۱
۲-۱۷-۲ منحنی کرنش- زمان ٤۲
۲-۱۷-۳ قانون خزشی مرجع (مدلWIPP) ٤٤
فصل سوم: بررسی تنش ها در اطراف چاه **٤٦**
۳-۱ مقدمه ٤۷
۳-۲ تنش ها و کرنش ها در مختصات استوانه ای ٤۷
۳-۳ تنش ها در یک استوانه توخالی ٤۹
۳-۳-۱ معادلات تنش ٤۹
۳-۳-۲ توزیع تنش با فشار منفذی ثابت ۵۰
۳-۴ تنش های الاستیک در اطراف چاهها- راه حل عمومی ۵٤
۳-۴-۱ فرمول های تبدیل ۵٤
۳-۴-۲ جواب عمومی الاستیک ۵٦
۳-۴-۳ چاه در راستای جهت تنش های اصلی ۵۷
۳-۵ راه حل کرنش صفحه ای الاستیک برای چاههای تکمیل شده ٦۰
۳-۶ توزیع تنش اطراف چاه در محیط خزش دار ٦۳
فصل چهارم: مدل سازی عددی **٦۵**
۴-۱ مقدمه ٦٦
۴-۲ مدل های ژئومکانیکی عددی ٦٦

۴-۳ معرفی نرم افزار FLAC ٦٧
۴-۴ اعتبار سنجی نرم افزار ٦٩
۴-۵ پارامترهای مورد استفاده برای مدل سازی ٧٤
۴-۵-۱ پارامترهای رفتاری سنگ نمک ٧٤
۴-۵-۲ دما ٧٥
۴-۵-۳ تنش ها ٧٥
۴-۵-۴ سیمان ٧٦
۴-۵-۵ خواص لوله جداری ٧٦
۴-۶ بررسی تنش ها و همگرایی دیواره بدون حضور سیال حفاری در چاه باز ٧٩
۴-۷ بررسی تاثیر دما در همگرایی دیواره چاه ٨٤
۴-۸ بررسی تاثیر جنس سنگ نمک در همگرایی دیواره چاه ٨٥
۴-۹ بررسی تاثیر اندازه قطر چاه در نرخ همگرایی دیواره ٨٦
۴-۱۰ بررسی تاثیر سیال حفاری در کنترل همگرایی دیواره چاه باز ٨٦
۴-۱۱ بررسی گسیختگی لوله جداری در مقاطع با سیمان کاری مناسب ٩١
۴-۱۲ بررسی تاثیر عدم وجود سیمان در اطراف لوله جداری ٩٢
۴-۱۲-۱ اثر فشار سیالات داخل چاه در کنترل گسیختگی لوله جداری ٩٦
۴-۱۲-۲ بررسی تاثیر ضخامت لوله در کنترل پدیده گسیختگی ٩٧
۴-۱۲-۳ بررسی تاثیر جنس لوله در کنترل پدیده گسیختگی ٩٨
۴-۱۲-۴ استفاده از دو لوله جداری در مقابل مقاطع نمکی ١٠٠
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات **١٠٢**
۵-۱ نتیجه گیری ١٠٣
۵-۲ پیشنهادات ١٠٥
پیوست **١٠٦**
علائم اختصاری **١٠٩**
منابع و مأخذ **١١٣**
چکیده انگلیسی **١١٦**

فهرست شکل‌ها

شکل۱- ۱ مغارهای نمکی ذخیره هیدروکربن در آمریکا و کانادا. ۹

شکل۱- ۲ نمایش ساده مغار نمکی ایجاد شده در گنبد نمکی و نمک لایه ای. ۱۱

شکل۱- ۳ انواع روش های ذخیره سازی زیرزمینی. ۱۲

شکل۱- ۴ سمت راست، مقایسه ظرفیت گاز کاری مورد نیاز برای انواع مخازن- سمت چپ، مقایسه نرخ توزیع برای انواع مخازن. ۱٤

شکل۱- ۵ ایجاد مغارهای نمکی در اعماق مختلف. ۱٦

شکل۱- ۶ شروع عملیات انحلال پس از حفر چاه تا عمق مورد نظر. ۱٦

شکل۱- ۷ سمت چپ انحلال مستقیم و سمت راست انحلال معکوس. ۱۷

شکل۱- ۸ تاسیسات قرار گرفته در داخل چاه برای شروع بهره برداری از مغار. ۱۸

شکل۱- ۹ مشکلات حفاری و جداره گذاری در سازندهای نمکی. ۲۱

شکل۱- ۱۰ خمیدگی لوله جداری در اثر خزش. ۲۳

شکل۲- ۱ مکانیزم های اصلی گسیختگی لوله جداری. ۲٦

شکل۲- ۲ انتقال فشار سازند به لوله جداری. ۲۷

شکل۲- ۳ الف) بارگذاری یکنواخت و ب) بارگذاری غیریکنواخت بر لوله جداری. ۲۸

شکل۲- ۴ محل گسیختگی لوله جداری در چاههای A و B و C واقع در منطقه "ZECHSTEIN". ۲۹

شکل۲- ۵ گسیختگی لوله جداری در فصل مشترک لایه نمکی با روباره و لایه زیرین. ۲۹

شکل۲- ۶ برنامه جداره گذاری و تکمیل مورد استفاده در طاقدیس "CEDAR CREEK". ۳۲

شکل۲- ۷ بارگذاری یکنواخت و غیریکنواخت بر لوله جداری. ۳٤

شکل۲- ۸ بوجود آمدن ممان خمشی در لوله جداری در اثر سیمان کاری نامناسب. ۳۵

شکل۲- ۹ مدل سازی سیال حفاری با وزن های مختلف در مقاطع نمکی. ٤۰

شکل۲- ۱۰ کاهش نرخ همگرایی با افزایش وزن سیالات حفاری. ٤۰

شکل۲- ۱۱ افزایش نرخ همگرایی دیواره چاه در عمق های زیادتر. ٤۱

شکل۲- ۱۲ منحنی کرنش- زمان در یک تنش ثابت. ٤۲

شکل۳- ۱ تنش ها و جابه جایی ها در مختصات استوانه ای. ٤۷

شکل۳- ۲ بخشی از مدل استوانه توخالی. ۵۰

شکل۳- ۳ تنش ها در اطراف یک سازند الاستیک خطی. ۵۳

شکل۳- ۴ دستگاه مختصات برای چاه انحرافی. ٥٤
شکل۳- ۵ تبدیل از مختصات (X', Y', Z') به مختصات (X, Y, Z). ٥٥
شکل۳- ۶ تغییر در تنش میانگین در اثر حفاری. ٥٩
شکل۳- ۷ تغییر در تنش مماسی در اثر حفاری یک چاه عمودی. ٦٠
شکل۳- ۸ بررسی یک چاه تکمیل شده در حالت کرنش صفحه ای. ٦٠
شکل۳- ۹ تاثیر مدول سیمان بر تنش های القایی مماسی و شعاعی. ٦٣
شکل۴- ۱ مدل هندسی نرم افزار FLAC برای تحلیل چاه استوانه ای در یک محیط الاستیک. ٧٠
شکل۴- ۲ شبکه هندسی مورد نیاز برای مدل سازی چاه. ٧١
شکل۴- ۳ مقایسه تنش های القایی اطراف چاه از روش تئوری و تحلیلی برای یک ماده با رفتار الاستیک. ٧١
شکل۴- ۴ فلوچارت مدل سازی های انجام شده. ٧٣
شکل۴- ۵ تبدیل مدل سازی سه بعدی مساله به مدل سازی دو بعدی. ٧٤
شکل۴- ۶ تغییرات مدول الاستیسیته برای انواع گرید های فولاد در دماهای متفاوت. ٧٨
شکل۴- ۷ شبکه هندسی مدل مورد بررسی. ٨٠
شکل۴- ۸ توزیع تنش های مماسی در اطراف چاه با گذشت زمان. ٨٠
شکل۴- ۹ توزیع تنش های شعاعی در اطراف چاه با گذشت زمان. ٨١
شکل۴- ۱۰ توزیع تنش های عمودی در اطراف چاه با گذشت زمان. ٨١
شکل۴- ۱۱ بررسی همگرایی دیواره چاه در نقاط مختلف. ٨٢
شکل۴- ۱۲ همگرایی نقاط مختلف در دیواره چاه نسبت به زمان. ٨٣
شکل۴- ۱۳ همگرایی نقاط (۱و۱) و(۳۱و۱) باگذشت زمان در شرایط تنش غیرهیدرواستاتیک. ٨٤
شکل۴- ۱۴ مقایسه همگرایی دیواره چاه در دو دمای مختلف. ٨٥
شکل۴- ۱۵ مقایسه همگرایی دیواره چاه در حضور سنگ نمک های مختلف. ٨٥
شکل۴- ۱۶ مقایسه همگرایی دیواره برای دو چاه با قطرهای متفاوت. ٨٦
شکل۴- ۱۷ توزیع تنش مماسی پس از گذشت ۱۰ روز از حفاری چاه. ٨٧
شکل۴- ۱۸ توزیع تنش شعاعی پس از گذشت ۱۰ روز از حفاری چاه. ٨٨
شکل۴- ۱۹ توزیع تنش خارج از صفحه پس از گذشت ۱۰ روز از حفاری چاه. ٨٨
شکل۴- ۲۰ مقایسه همگرایی دیواره چاه برحسب زمان در حضور سیالات حفاری با چگالی های مختلف. ٨٩

شکل۴- ۲۱ همگرایی لوله جداری با گذشت زمان در شرایط با سیمان کاری مناسب و شرایط تنش غیرهیدرواستاتیک. ۹۲
شکل۴- ۲۲ تغییر مکان لوله جداری در شرایط تنش غیرهیدرواستاتیک بر حسب زمان. ۹٤
شکل۴- ۲۳ روند مچالگی لوله جداری در نقاط مختلف در شرایط تنش غیر هیدرواستاتیک. ۹۵
شکل۴- ۲۴ مقایسه مچالگی لوله جداری در دو حالت سیمان کاری مناسب و عدم سیمان کاری اطراف لوله جداری در شرایط تنش اولیه غیرهیدرواستاتیک. ۹۵
شکل۴- ۲۵ اثر سیال حفاری با چگالی های مختلف در کنترل گسیختگی لوله جداری. ۹۷
شکل۴- ۲۶ همگرایی لوله جداری N-80 با ضخامت های ۰/۴۳۵ و ۰/۵۴۵ اینچ بر حسب زمان ۹۸
شکل۴- ۲۷ مقایسه همگرایی دو لوله P-110 و N-80 با ضخامت ۰/۵۴۵ اینچ. ۹۹
شکل۴- ۲۸ مقایسه مچالگی در حالت یک جداره و دو جداره بودن چاه در مقابل مقطع نمکی. ۱۰۰

فهرست جدول ها

جدول۱- ۱ استفاده از مغارهای نمکی برای ذخیره انواع هیدروکربن ها در مناطق مختلف. ۱۰
جدول۲- ۱ مشخصات سه چاه با مشکل گسیختگی لوله جداری در اثر لغزش در فصل مشترک صفحات تبخیری و لایه های مجاور. ۲۸
جدول۴- ۱ ویژگی های رفتاری سنگ نمک های مختلف. ۷۵
جدول۴- ۲ دما و تنش های برجای موجود در عمق های مختلف از نمک های حوزه خلیج مکزیک. ۷۶
جدول۴- ۳ خصوصیات رفتاری سیمان. ۷۶
جدول۴- ۴ مشخصات ابعادی و مقاومتی لوله جداری استفاده شده در مدل سازی. ۷۷
جدول۴- ۵ مقدار همگرایی شعاعی نقطه P با گذشت زمان از حفاری چاه. ۸۲
جدول۴- ۶ تغییر مکان نقطه (۱و۱) با گذشت زمان از حفاری چاه در حضور سیالاتی با چگالی های مختلف. ۹۰
جدول۴- ۷ تغییر مکان نقطه (۳۱و۱) با گذشت زمان از حفاری چاه در حضور سیالاتی با چگالی های مختلف. ۹۱

مقدمه

همگام با پیشرفت صنعت و رشد جمعیت نیاز بشر به ذخیره سازی هیدروکربن ها و بهره برداری از منابع انرژی همچون نفت و گاز رو به افزایش است. به منظور ذخیره سازی زیرزمینی هیدروکربن ها گزینه های زیادی وجود دارد که یکی از این گزینه ها ذخیره سازی در مغارهای نمکی است. برای ایجاد و بهره برداری از این مغارها، حفر، سیمان کاری و جداره گذاری چاه الزامی است. از طرفی سنگ نمک به دلیل نفوذپذیری و تخلخل بسیار کم یکی از عوامل انباشت هیدروکربن ها و تشکیل مخزن در مناطق مختلف جهان است. برای دستیابی به این مخازن نیز حفر چاه در سنگ نمک الزامی است. حفاری در سنگ نمک همواره با مشکلات زیادی همراه است که از این مشکلات می توان کاهش قطر چاه در اثر خزش و در نتیجه گیرکردن رشته حفاری و جداری در چاه، عدم امکان سیمان کاری مناسب و به وجود آمدن شرایط بارگذاری غیریکنواخت بر لوله جداری و گسیختگی لوله جداری را نام برد. وقوع این پدیده باعث تحمیل خسارات فراوانی بر متولیان این بخش در داخل و خارج از کشور گشته است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، میدان نفتی مارون یکی از میادینی است که به علت مچالگی لوله جداری زیان های زیادی را متحمل گشته است. این میدان در جنوب شرقی شهرستان اهواز قرار دارد. در این میدان ۴۸ چاه از مجموع ۲۶۷ چاه حفاری شده گسیخته شدند. این بدین مفهوم است که ٪۱۷/۵ از چاههای این میدان دچار آسیب شده اند. شرایط ویژه و پیچیدگی های خاص سازند پر فشار گچساران در میدان مارون و مشکلات منحصر به فرد آن در زمان حفاری و بهره برداری باعث شده که مشکلات این سازند مورد توجه قرار گیرد. سازند گچساران به طور عمده از رسوبات تبخیری انیدریت و نمک با تخلخل نزدیک به صفر تشکیل شده که به خوبی قادر به نگهداری نفت و گاز فرار است. مطالعات آماری صورت گرفته علت احتمالی گسیختگی لوله جداری در این منطقه را حرکت لایه های شکل پذیر نمک ذکر کرده اند. مطالعات صورت گرفته در زمینه گسیختگی لوله جداری در مقاطع نمکی تاکنون به صورت آماری بوده و مقالات کمی در زمینه مدل سازی عددی این مشکل و طراحی لوله جداری در این شرایط به ثبت رسیده است. با توجه به اهمیت موضوع، تحلیل گسیختگی لوله جداری در مقاطع نمکی یک گام مهم و ضروری در برطرف کردن آن به شمار می رود. در این پایان نامه با استفاده از روش های عددی و نرم افزار FLAC به مدل سازی اثر سیال حفاری در کنترل همگرایی دیواره چاه در مقاطع نمکی پرداخته شده است. در ادامه مقاطع جداره شده، مورد بررسی و مدل سازی قرار گرفت. در صنعت از راهکارهای مختلفی برای کنترل گسیختگی لوله جداری و به تعویق انداختن آن استفاده می شود. در مدل

سازی های صورت گرفته سعی شده است که با اعمال راهکارهـای عملـی در مـدل هـا، بـا پدیـده گسیختگی لوله جداری در سنگ نمک مقابله شود. دسته ای از این راهکارها پدیده گسیختگی را برای حالت مورد بررسی به تعویق انداختند.

فصل اول

ذخیره سازی زیرزمینی هیدروکربن ها

۱-۱ مقدمه

در حال حاضر یکی از نیازهای ضروری کشور ایجاد سازه هایی جهت ذخیره سازی گـاز و دیگـر انواع هیدروکربن ها می باشد. هیدروکربنی که به محل مصرف می رسد، همیشـه در همـان لحظـه مورد نیاز نیست. امروزه انباره های ذخیره هیدروکربن در ساختارهای مختلف زیر زمینی به عنـوان سیاستی برای کنترل نوسانات در مصرف بازار و به خصوص در فصل سرد و در مناطق پرجمعیـت شناخته می شوند.

گاز طبیعی یک سوخت فصلی است. این بدان مفهوم است که تقاضـا بـرای گـاز در طـول فصـول سرد افزایش می یابد. بخشی از این افزایش تقاضا به علت نیازهای مراکز مسکونی و تجاری به گاز برای گرم کردن می باشد. از این رو ذخیره سازی گاز در فصول با تقاضای کم و استفاده از آن در فصول سرد نیازی اساسی است.

از دیگر مزایای ذخیره کردن هیدروکربن به شرح زیرمی باشد:

- نوسان را در بازار به علت توزیع های فصلی کنترل می کند.
- تقاضای زیاد در مدت زمان کوتاه، از چند ساعت تا چند روز را برطرف می کند.
- هزینه زیاد نصب خطوط تولید و خطوط انتقال با ظرفیت مناسب را کاهش می دهـد و بـه تقاضای زیاد پاسخ می دهد.
- بیمه شدن در مقابل اختلالات احتمالی پیش بینی نشده در عرضه گاز.

۱-۲ مخازن زیر زمینی هیدروکربن ها

هیدروکربن ها را می توان بـرای مـدت زمـان نامحـدودی ذخیـره کـرد. اکتشـاف، تولیـد و انتقـال هیدروکربن ها زمان بر است و هیدروکربنی که به مقصد می رسد، همیشه در همان لحظه مورد نیاز نیست. بنابراین هیدروکربن ها را در سازه های زیرزمینی ذخیره می کنند. این سازه ها را مـی تـوان در نزدیکی مراکز تجاری مصرف کننده قرار داد، [۱].

همان طور که گفته شد، هیدروکربن ها سوختی فصلی هستند. تقاضا برای آنها در طول پاییز بیشـتر است. بخشی از افزایش تقاضا به این علت است که از هیدروکربن ها برای گرم کردن مکان هـای مسکونی و تجاری استفاده می شود و هیدروکربن ذخیره شده نقـش حیـاتی را در تـامین آن بـازی می کند به طوری که مازاد هیدروکربن تولید شده در طول ماه های تابستان بـرای بـرآورده کـردن رشد تقاضا در طول ماه های پاییز در دسترس است (در مخازن ذخیره می شود)، هر چند با افزایش تمایل به سمت نیروگاه های گازی تولید برق، تقاضا برای گاز طبیعی در طول ماه های تابستان نیـز

در حال افزایش است (به علت نیاز به الکتریسته برای به کار انداختن کولرها و سایر وسایل خنک کننده). ذخیره سازی هیدروکربن ها همچنین به عنوان یک بیمه در مقابل حوادث پیش بینی نشده، حوادث طبیعی و یا سایر اتفاقاتی که ممکن است تولید و یا توزیع آن را تحت تاثیر قرار دهد، عمل می کند، [۲].

۱-۳ انواع مخازن زیر زمینی

ذخیره سازی زیرزمینی هیدروکربن ها بعد از جنگ جهانی دوم محبوبیت زیادی پیدا کرد. در آن زمان صنعت گاز طبیعی اعلام کرد که برآورده کردن رشد تقاضای فصلی به تنهایی توسط خطوط لوله توزیع امکان پذیر نمی باشد. به منظور برآورده کردن رشد تقاضاهای فصلی، ظرفیت خطوط لوله توزیع (و ابعاد آن) می بایست افزایش می یافت. در صورتی که تکنولوژی مورد نیاز برای ساخت این چنین خط لوله ای به مراکز مصرف در آن زمان دست نیافتنی و غیر ممکن بود. به منظور برآورده کردن رشد توزیع فصلی، حوزه های ذخیره سازی زیرزمینی تنها گزینه بودند، [۲].
گزینه های اصلی ذخیره سازی زیرزمینی مواد به صورت زیر می باشند:

- مخازن تخلیه شده[1]
- سفره های آب[2]
- مغارهای نمکی[3]
- سایر روش ها

در ادامه به خصوصیات ذخایر تخلیه شده، سفره های آب و مغارهای نمکی اشاره می شود.

۱-۳-۱ مخازن تخلیه شده

از برجسته ترین و معمول ترین شکل سازه های ذخیره زیرزمینی، مخازن تهی شده است. مخازن تهی شده سازندهایی هستند که از قبل تمام گاز طبیعی قابل برداشت آنها بهره برداری شده است. سازند زیرزمینی را که از لحاظ زمین شناسی قادر به نگه داشتن گاز است، انتخاب می کنند. مخازن تهی شده استفاده از تجهیزات استخراج و توزیع به جای مانده از حوزه تولید را برای ایجاد مخازن ذخیره زیرزمینی ممکن می سازند. وجود چنین شبکه استخراجی در محل، هزینه تغییر کاربری مخزن تخلیه شده را کاهش می دهند. مخازن تخلیه شده بسیار مورد توجه هستند، چون خصوصیات زمین شناسی آنها از قبل شناخته شده است. از بین انواع گزینه های ذخیره سازی

[1] Depleted Reservoirs
[2] Aquifers
[3] Salt caverns

زیرزمینی، مخازن تهی شده به طور میانگین ارزان ترین و ساده ترین گزینه برای راه اندازی، کار و نگهداری هستند، [۲].

فاکتورهای تعیین کننده ای که ذخایر تهی شده را مناسب تشخیص می دهند در حوزه جغرافیایی و زمین شناسی می باشند. از لحاظ جغرافیایی مخازن تهی شده مـی بایسـت نسـبتاً بـه منـاطق مصـرف نزدیک باشند. آنها باید به ساختارهای حمل و نقل نزدیک باشند. مراکـز حمـل و نقلـی کـه دارای خطوط لوله اصلی و سیستم توزیع می باشند. مخازن تهی شـده در ایالـت متحـده فـراوان هسـتند و بیشتر این مراکز در نزدیک مراکز تولید قرار دارند. در مناطقی که مخازن تهی شـده وجـود نـدارد (مثلاً در اروپای مرکزی)، ذخیره سازی در مغارهای نمکی و سـفره هـا مـورد توجـه مـی باشـد. از لحاظ زمین شناسی، سازندهای تهی شده مـی بایسـت دارای نفوذپـذیری و تخلخـل بـالایی باشـند. تخلخل سازند، مقدار گاز طبیعی را که سازند در خود نگه می دارد و نفوذپذیری آن، نرخ جریـان گاز در داخل سازند را تعیین می کند. به این معنی که نفوذپذیری نرخ تزریق و تخلیه گاز کاری را تعیین می کند. در موارد معینی سازند برای افزایش نفوذپذیری تحریک[1] می شود.

به منظور حفظ فشار درون مخازن تهی شده، حدود ٪۵۰ از گاز طبیعی درون سازند می بایسـت بـه عنوان گاز پایه رها شود، [۲].

تا به حال از مخازن تخلیه شده برای ذخیره سازی دی اکسید کربن و هیدروژن استفاده شده اسـت. مخازن گازی تخلیه شده بهترین مکان برای ذخیره دی اکسید کربن می باشند.

۱-۳-۲ سفره های آب

سفره ها، سازندهای متخلخل و نفوذپذیری هستند که به عنوان مخازن طبیعی آب عمل مـی کننـد. این سازندهای حاوی آب در بعضی شرایط خاص می توانند بازسازی شوند و به عنوان انباره هـای گاز طبیعی استفاده شوند. از آنجایی که هزینه تبدیل این سفره ها به مخزن بسـیار بیشـتر از مخـازن تهی شده است، این نوع انباره ها تنها در مناطقی که مخـزن تهـی شـده ای وجـود نـدارد، اسـتفاده می شود. به طور مرسوم، این نوع از سازه ها در یک دوره تخلیه در پاییز کار می کننـد، هرچنـد از آنها می توان برای برآورده کردن نیازهای با نرخ توزیع بالا نیز استفاده کرد.

سفره ها به دلایلی، نـامطلوب تـرین و پرهزینـه تـرین نـوع از سـازه هـای ذخیـره سـازی زیرزمینـی می باشند. از آنجایی که خصوصیات زمین شناسی سـفره هـا بـه طـور کامـل شـناخته شـده نیسـت، صرف زمان و هزینه های زیاد برای کشف خصوصـیات زمـین شناسـی و تعیـین کیفیـت آن بـرای تبدیل به انباره لازم است. آزمایش های لرزه نگاری، همان طور که برای کشف سازندهای حاوی

[1] Stimulation

گاز طبیعی انجام می شود، برای این نوع انباره ها هم باید انجام شود. مساحت سازند، ترکیب سازند و تخلخل و وجود فشار در سازند قبل از توسعه سازند باید بررسی شود، [۲].

به منظور تبدیل سفره طبیعی به یک محل مناسب برای ذخیره سازی گاز طبیعی، می بایست تمامی زیرساخت های لازم را ایجاد کرد. این زیرساخت ها شامل حفر چاهها، تجهیزات استخراج، خطوط لوله، رطوبت زدایی و فشرده کننده می باشد. از آنجایی که سفره ها ذاتاً پر از آب هستند، تجهیزات قوی تزریق می بایست استفاده شود تا فشار تزریق مناسبی را ممکن سازد و آب های باقی مانده را از محل دور کند و آن را با گاز طبیعی جایگزین کند. پس از استخراج گاز از سفره های حاوی آب، می بایست رطوبت زدایی را از گاز قبل از انتقال آن به عمل آورد که این کار نیازمند تجهیزات ویژه ای در سر چاه می باشد. سازندهای حاوی آب نمی توانند گاز را مانند مخازن تهی شده نگه دارند. این بدان معناست که مقداری از گازی که تزریق شده است از سازند فرار می کند و می بایست توسط چاههای جمع کننده[1]، جمع آوری و استخراج شوند. این چاهها، چاههایی هستند که طوری طراحی شده اند که گازی را که ممکن است از سفره های اولیه فرار کند، جمع کنند، [۱].

علاوه بر این تمهیدات، سازندهای حاوی آب در مقایسه با مخازن تهی شده به مقدار بیشتری گاز پایه[2] نیاز دارند، چون به طور طبیعی هیچ گازی در سازند وجود ندارد تا بتوان با آن مقدار، تزریق را شروع کرد. بنابراین مقداری از گاز تزریقی در نهایت غیرقابل بازیافت است.گاز پایه حجمی از گاز است که می بایست در تاسیسات مخازن باقی بماند تا فشار مورد نیاز برای بیرون کشیدن گاز باقی مانده را تامین کند. در سفره ها گاز پایه مورد نیاز به بزرگی ٪۸۰ از کل حجم گاز است. در حالی که استخراج گاز پایه از مخازن تهی شده امکان پذیر است، انجام چنین عملی برای سفره ها اثرات منفی از جمله خسارت به سازند را به دنبال دارد. بنابراین، بیشتر گاز پایه که در هر سفره آبی تزریق شده، ممکن است حتی بعد از متروکه شدن انباره نیز غیر قابل بازیافت باشد. بیشتر انباره های از نوع سفره های آب هنگامی توسعه داده شدند که قیمت گاز طبیعی کم بود، به طوری که هزینه گاز پایه بسیار ارزان تمام می شد. بنابراین با افزایش قیمت گاز طبیعی ایجاد انباره های از نوع سفره های آب بسیار گران است.

تمامی این فاکتورها به این معنی است که توسعه سازندهای حاوی آب به عنوان مخزن زیر زمینی، هزینه بر و زمان بر است. در بعضی موارد توسعه سفره ۴ سال به طول می انجامد در صورتی که این زمان دو برابر مدت زمانی است که برای ایجاد یک محل ذخیره زیرزمینی از جنس مخازن تخلیه

[1] Collector
[2] Base gas or Cushion gas