



پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

گرایش

مدل سازی ژئومکانیکی یکی از مخازن ایران به روش عددی

نگارش:

ماریه هدایتی

استاد/اساتید راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

زمستان 1402





تاسیس 1307

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان :

مدل سازی ژئومکانیکی یکی از مخازن ایران به روش عددی

توسط ماریه هدایتی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ژئومکانیک نفت در تاریخ سی ام بهمن ماه سال هزار و چهارصد و دو مورد تأیید قرار دادند.

1- استاد راهنما دکتر حسن قاسم زاده امضاء

2- استاد مشاور دکتر امضاء

3- استاد ممتحن دکتر رضا محبیان امضاء

4- استاد ممتحن دکتر محمدعلی ایرانمنش امضاء

5- نماینده تحصیلات تکمیلی دکتر امضاء



تاسیس 1307

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب ماریه هدایتی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش ژئومکانیک نفت دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

مدل‌سازی ژئومکانیکی یکی از مخازن ایران به روش عددی

با راهنمایی استاد/اساتید محترم جناب آقای دکتر حسن قاسم زاده توسط شخص اینجانب انجام شده است. صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد. در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

- 1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده و استاد/استادان راهنمای آن می باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان نامه تنها با موافقت نویسنده یا استاد/استادان راهنما یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.
- 2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
- 3- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیم:

تقدیم به همسر عزیزم...

که همدم و مشوق من در ادامه تحصیل بوده و همیشه از مساعدت‌های بی‌دریغش بهره‌مند بوده‌ام و سهم او تحمل مرارت‌ها و سختی‌ها بوده تا زمینه‌ساز محیط آرام زندگی‌مان باشد.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم...

این دو معلم بزرگوارم...

که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یابوری بی‌چشم داشت برای من بوده اند.

تشکر و قدردانی:

چه خوب که به این مرحله رسیدم و چه خوب که عزیزانی را در کنارم دارم که به من کمک کردند تا بتوانم این پژوهش را به اتمام برسانم.

اکنون که به یاری پروردگار و یاری و راهنمایی اساتید بزرگ موفق به پایان این رساله شده‌ام وظیفه خود دانسته که نهایت سپاس‌گزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند به عمل آورم: در آغاز از استاد بزرگ و دانشمند جناب آقای دکتر حسن قاسم‌زاده که راهنمایی این پایان‌نامه را به عهده داشته‌اند نهایت سپاس و قدردانی را دارم.

از داوران گرامی که زحمت داوری و تصحیح این پایان‌نامه را به عهده داشتند کمال سپاس را دارم. خالصانه از تمامی اساتید و معلمان و مدرسانی که در مقاطع مختلف تحصیلی به من علم آموخته و مرا از سرچشمه دانایی سیراب کرده‌اند متشکرم.

از کلیه هم‌دانشگاهیان و همراهان عزیز، دوستان خوبم نهایت سپاس را دارم.

چکیده

ژئومکانیک مخزن یکی از مطالعات کلیدی در برنامه ریزی حفاری و بهره برداری از یک میدان است که سبب کاهش هزینه ها شده و در سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه حاضر مدل سازی ژئومکانیک سازند مخزنی سروک در یکی از میادین جنوب غرب کشور صورت گرفته است. در این مطالعه ابتدا پارامترهای ژئومکانیکی در توالی 4 حلقه چاه محاسبه می شود و مدل یک بعدی ژئومکانیک مخزن در هر چاه ساخته شد و سپس پایداری دیواره چاه در هر چاه آنالیز می گردد.

در ابتدا تراکم نرمال و تنش عمودی در هر چاه محاسبه شده و سپس فشار منفذی با استفاده از دو روش ایتون و باورز تخمین زده می شود و با داده های فشار منفذی اندازه گیری شده با استفاده از ابزار MDT مقایسه می شوند. پس از آن پارامترهای الاستیک و مقاومت سنگی در چاه های مورد مطالعه محاسبه می شوند که به دلیل نبود نتایج موج برشی در دو حلقه از چاه های مورد مطالعه (چاه های C و D) از معادله فیزیک سنگی (معادله گرینبرگ-کاستاگنا) برای تخمین موج برشی استفاده می شود. بر اساس نتایج مدل یک بعدی ژئومکانیک در چاه های مورد مطالعه، رژیم گسلش در توالی مخزن مورد مطالعه در همه چاه ها نرمال و در برخی فواصل بصورت امتدادلغز مشاهده شد.

مدل سازی سه بعدی (3D) پارامترهای ژئومکانیکی در میدان مورد مطالعه با استفاده از نتایج مدل سازی یک بعدی به دست آمده در چاه های مورد مطالعه انجام شد. در مدل سه بعدی پارامترهای فشار تک محوره، فشار منفذی، فشار شکست، فشار گل حفاری (Kick)، فشار هرزروی (Loss)، فشار گسیختگی (Tensile) و ضریب پواسون برای میدان مورد مطالعه به صورت سه بعدی ارائه شدند و برای مدل کردن این پارامترها در فضای بین چاه های مورد مطالعه از روش زمین آماری شبیه سازی تابع تصادفی گوسی استفاده شد.

در توسعه مدل چهار بعدی (4D) ژئومکانیکی ابتدا با استفاده از اطلاعات یک حلقه چاه (چاه E) که به تازگی در میدان مورد مطالعه حفاری شده بود مدل یک بعدی ساخته شد و سپس پارامترهای ژئومکانیک به دست آمده در این چاه با نزدیک ترین چاه به آن (چاه A) مقایسه شدند. این مقایسه نشان داد که در چاه E نسبت به چاه A تخلخل و فشار منفذی کاهش یافته اند و تراکم تک محوره، مدول بالک، مدول یانگ، مدول موج فشاری و مدول موج برشی افزایش یافته اند. همچنین ضریب پواسون دارای محدوده گسترده تری در چاه E است. این تغییرات در مدل های سه بعدی میدان نیز با جایگزین کردن چاه E با چاه A برای میدان انجام شد و مدل ها با اطلاعات چاه E به روز شدند که رفتار پارامترهای ژئومکانیک را در میدان با گذشت زمان در گستره میدان نشان داد.

کلمات کلیدی: ژئومکانیک مخزن، مدل سازی سه بعدی و چهار بعدی، پارامترهای الاستیک، لاگ های چاه

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه و کلیات تحقیق	
1-1 مقدمه.....	21
1-2 بیان مساله تحقیق.....	22
1-3 هدف انجام پروژه.....	24
1-4 ضرورت انجام مطالعه ژئومکانیک در ابعاد مختلف.....	25
1-5 مراحل انجام پروژه و داده‌های مورد نیاز.....	25
1-6 ساختار پایان نامه.....	28
فصل دوم: مروری بر ادبیات تحقیق	
2-1 مقدمه.....	30
2-2 نمودارگیری.....	31
2-3 کالیبره کردن ابزار نمودارگیری.....	32
2-4 فضای مناسب برای نمودارگیری معمولی.....	32
2-5 ویژگی‌های پتروفیزیکی سنگ‌ها.....	33
2-5-1 تخلخل.....	33
2-5-2 اشباع آب.....	34
2-5-3 درجه اشباع ماندگار.....	34
2-5-4 تراوایی.....	34
2-5-5 حجم کانی‌ها.....	34
2-6 گل حفاری.....	35
2-7 محدوده نفوذ گل حفاری.....	35
2-8 بهره‌گیری از نگاره‌های چاه پیمایی.....	36
2-9 نگاره‌های چاه پیمایی.....	37
2-9-1 نگاره‌های مقاومت ویژه.....	37
2-9-2 نگاره پرتوی گاما (GR).....	38
2-9-3 نگاره صوتی.....	38
2-9-4 نگاره نوترون.....	39
2-9-5 نگاره چگالی.....	39
2-9-6 نگاره PEF.....	40
2-9-7 لاگ تصویری.....	40
2-10 ثبت موج توسط ابزار DSI.....	41
2-11 امواج صوتی.....	42

- 44 2-11-1 امواج تراکمی (P)
 44 2-11-2 امواج برشی (S)
 45 2-12 سرعت انتشار امواج در سنگ ها
 46 2-13 روابط تجربی تخمین موج برشی
 46 2-14 روش های هوشمند تخمین موج برشی
 47 2-15 مطالعات پیشین - ادبیات پژوهش

فصل سوم: مبانی تحقیق و روش ها

- 52 3-1 مقدمه
 52 3-2 داده های ژئومکانیکی و منابع جمع آوری آن ها
 52 3-2-1 پارامترهای الاستیکی
 52 3-2-1-1 مدول یانگ
 53 3-2-1-2 نسبت پواسون
 54 3-2-1-3 مدول بالک
 54 3-2-1-4 مدول برشی
 55 3-2-2 پارامترهای مقاومت سنگی
 55 3-3 وضعیت تنش در زمین
 58 3-4 تمرکز تنش در اطراف چاه
 59 3-5 محاسبه تنش در جای قائم
 62 3-6 تعیین میزان تنش های در جای افقی
 63 3-7 مکانیزم شکستگی
 64 3-8 وزن گل و شکستگی
 65 3-9 فشار چاه و اثر آن بر سرعت حفاری
 65 3-10 نرم افزار ژئولاگ (Geolog)
 66 3-11 استفاده از روش های زمین آمار در مدل سازی
 67 3-11-1 روش کریجینگ
 68 3-11-2 روش کریجینگ با استفاده از مدل رگرسیون خطی
 69 3-11-3 شبیه سازی گوسی
 71 3-11-4 کوکریجینگ
 72 3-12 نرم افزار پترل (Petrel)

فصل چهارم: ساخت مدل ژئومکانیک یک بعدی

- 74 4-1 مقدمه
 74 4-2 مخزن مورد مطالعه
 75 4-3 مسئله تحقیق و داده های در دسترس
 76 4-4 داده های لاگ و آنالیز پتروفیزیکی
 80 4-5 روند تراکم نرمال
 82 4-6 محاسبه فشار روباره (Overburden Pressure)

83	4-7 محاسبه فشار منفذی
87	4-8 محاسبه پارامترهای الاستیک سنگ
87	4-9 تخمین موج برشی (Vs)
90	4-10 محاسبه پارامترهای الاستیک و مقاومتی سنگ
94	4-11 تعیین مقادیر تنش‌های افقی
95	4-11-1 تعیین جهت تنش‌ها
98	4-12 مدل یک بعدی ژئومکانیک و تحلیل پایداری دیواره چاه
104	4-13 آنالیز حساسیت
114	4-14 مدل یک بعدی ژئومکانیک در لایه‌بندی مخزن

فصل پنجم: مدل سازی سه بعدی ژئومکانیک مخزن سروک

117	5-1 مقدمه
117	5-2 مدل سازی سه بعدی ژئومکانیک
117	5-2-1 مدل تنش تک محوره (UCS)
119	5-2-2 مدل فشار منفذی (Pore Pressure)
121	5-2-3 Pressure Breakout مدل
124	5-2-4 Pressure Kick مدل
126	5-2-5 Loss مدل هرزروی
128	5-2-6 Tensile مدل فشار گسیختگی

فصل ششم: مدل سازی چهار بعدی ژئومکانیک مخزن سروک

132	6-1 مقدمه
132	6-2 مدل یک بعدی چاه E
133	6-3 مقایسه پارامترهای ژئومکانیک در چاه‌های A و E
138	6-4 مدل چهار بعدی تخلخل (PHIE)
140	6-5 مدل چهار بعدی تنش تک محوره (UCS)
142	6-6 مدل چهار بعدی فشار منفذی (Pore pressure)
144	6-7 مدل چهار بعدی مدول بالک (KMOD)
146	6-8 مدل چهار بعدی مدول یانگ (YMOD)
148	6-9 مدل چهار بعدی مدول موج فشاری (MMOD)
150	6-10 مدل چهار بعدی مدول موج برشی (UMOD)
152	6-11 مدل چهار بعدی ضریب پواسون (POIS)

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

157	نتیجه گیری
159	پیشنهادهات

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: داده‌های مختلف در مطالعات ژئومکانیک.....	۲۷
جدول ۱-۲: شیوه‌های انتشار موج صوتی (TIMUR, ۱۹۶۸).....	۴۳
جدول ۱-۳: وضعیت تنش‌ها در رژیم‌های گسلش مختلف.....	۵۶
جدول ۲-۳: فشار هیدرواستاتیک با درجه شوری آب سازند (BELLOTTI AND GIACCA ۱۹۷۸).....	۶۱
جدول ۳-۳: روش‌های مختلف تخمین فشار افقی.....	۶۲
جدول ۱-۴: لیست داده‌ها در دسترس.....	۷۶
جدول ۲-۴: ثابت‌های معادله گرینبرگ-کاستاگنا (GREENBERG AND CASTAGNA ۱۹۹۲).....	۸۸
جدول ۳-۴: مقادیر عددی پارامترهای ژئومکانیک در لایه‌های مختلف در چاه A.....	۱۱۵
جدول ۴-۴: مقادیر عددی پارامترهای ژئومکانیک در لایه‌های مختلف در چاه B.....	۱۱۵
جدول ۵-۴: مقادیر عددی پارامترهای ژئومکانیک در لایه‌های مختلف در چاه C.....	۱۱۵
جدول ۶-۴: مقادیر عددی پارامترهای ژئومکانیک در لایه‌های مختلف در چاه D.....	۱۱۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مراحل انجام مدل سازی یک بعدی ژئومکانیک در مطالعه حاضر.....	۲۵
شکل ۱-۲: عملیات نمودارگیری از چاه.....	۳۲
شکل ۲-۲: برش طولی از مقطع چاه و مناطق موجود در اطراف چاه پس از نفوذ سیال حفاری (SCHLUMBERGER, ۱۹۸۹).....	۳۶
شکل ۳-۲: نمایی از ابزار نمودارگیری تصویرگر FM همراه با مشخص نمودن پدها و فلپ‌ها و سنسورهای موجود روی آن‌ها.....	۴۱
شکل ۴-۲: شماتیکی از ابزار صوتی دوقطبی برشی در درون چاه (ZAHMATKESH & ABDOLLAHI ۲۰۱۷).....	۴۲
شکل ۵-۲: نحوه انتشار موج تراکمی (SERRA, ۱۹۸۴).....	۴۴
شکل ۶-۲: نحوه انتشار موج برشی (SERRA, ۱۹۸۴).....	۴۵
شکل ۱-۳: نشان دادن شماتیک مفهوم نسبت پواسون.....	۵۳
شکل ۲-۳: وضعیت تنش‌ها در رژیم های گسلش مختلف.....	۵۸
شکل ۳-۳: خم شدن مسیر تنش هنگام حفر چاه در اطراف دیواره.....	۵۸
شکل ۴-۳: نحوه ایجاد تنش حلقوی و شعاعی به دور چاه برحسب فاصله از مرکز چاه.....	۵۹
شکل ۵-۳: جهت گیری شکستگی‌ها بر دیواره چاه نسبت به جهت اعمال تنش‌های افقی.....	۶۵
شکل ۶-۳: به وجود آمدن شکستگی‌های ریزشی BREAKOUT.....	۶۵
شکل ۷-۳: صفحه آغازین نرم افزار GEOLOG.....	۷۲
شکل ۸-۳: تصویری از آرم نرم افزار پترل.....	۷۲
شکل ۱-۴: موقعیت چینه‌شناسی سازند سروک در گروه بنگستان.....	۷۵
شکل ۲-۴: توالی سازند سروک در چاه A.....	۷۷
شکل ۳-۴: توالی سازند سروک در چاه B.....	۷۸
شکل ۴-۴: توالی سازند سروک در چاه C.....	۷۹
شکل ۵-۴: توالی سازند سروک در چاه D.....	۸۰
شکل ۶-۴: روند تراکم نرمال برآورد شده با استفاده از لاگ چگالی.....	۸۱
شکل ۷-۴: روند تراکم نرمال برآورد شده با استفاده از لاگ صوتی.....	۸۲
شکل ۸-۴: محاسبه تنش قائم یا فشار روباره (OVERBURDEN STRESS) در چاه‌های مورد مطالعه.....	۸۳
شکل ۹-۴: نمودار فشار منفذی محاسبه شده در توالی مخزن سروک در ۴ چاه مورد مطالعه در کنار نقاط فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT.....	۸۴
شکل ۱۰-۴: نمودارهای متقاطع در چاه A بین: الف) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه ایتون در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT، ب) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه باورز در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT.....	۸۵
شکل ۱۱-۴: نمودارهای متقاطع در چاه B بین: الف) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه ایتون در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT، ب) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه باورز در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT.....	۸۵

- شکل ۴-۱۲: نمودارهای متقاطع در چاه C بین: الف) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه ایتون در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT ، ب) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه باورز در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT ۸۶
- شکل ۴-۱۳: نمودارهای متقاطع در چاه D بین: الف) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه ایتون در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT ، ب) نمودار فشار منفذی محاسبه شده با استفاده از رابطه باورز در مقابل مقادیر فشار منفذی اندازه گیری شده توسط ابزار MDT ۸۶
- شکل ۴-۱۴: نمودار موج برشی تخمین زده شده در ۴ چاه مورد مطالعه. در دو چاه A و B موج برشی واقعی ($DSI.DTSM$) و موج برشی تخمین زده شده ($PRED.DTSM$) ارائه شده است ۸۹
- شکل ۴-۱۵: نمودار متقاطع ترسیم شده در دو چاه A و B که موج برشی واقعی ($DSI.DTSM$) را در مقابل موج برشی تخمین زده شده ($PRED.DTSM$) نشان می دهد ۸۹
- شکل ۴-۱۶: پارامترهای الاستیک دینامیک و استاتیک محاسبه شده در توالی چاه A ۹۱
- شکل ۴-۱۷: پارامترهای الاستیک دینامیک و استاتیک محاسبه شده در توالی چاه B ۹۲
- شکل ۴-۱۸: پارامترهای الاستیک دینامیک و استاتیک محاسبه شده در توالی چاه C ۹۳
- شکل ۴-۱۹: پارامترهای الاستیک دینامیک و استاتیک محاسبه شده در توالی چاه D ۹۴
- شکل ۴-۲۰: نمونه ای از ریختگی های ($BREAKOUTS$) در توالی سازند سروک در دو چاه A و B ۹۶
- شکل ۴-۲۱: ویژگی های آماری ریختگی های مشاهده شده در توالی سازند سروک در دو چاه A و B ۹۶
- شکل ۴-۲۲: مقادیر تنش افقی حداقل و حداکثر محاسبه شده در چاه های مورد مطالعه ۹۸
- شکل ۴-۲۳: نمایش مرزهای پنجره وزن گل ۱۰۰
- شکل ۴-۲۴: تحلیل پایداری دیواره چاه و تعیین محدوده ایمن گل حفاری در توالی مخزن سروک در چاه A ۱۰۱
- شکل ۴-۲۵: تحلیل پایداری دیواره چاه و تعیین محدوده ایمن گل حفاری در توالی مخزن سروک در چاه B ۱۰۲
- شکل ۴-۲۶: تحلیل پایداری دیواره چاه و تعیین محدوده ایمن گل حفاری در توالی مخزن سروک در چاه C ۱۰۳
- شکل ۴-۲۷: تحلیل پایداری دیواره چاه و تعیین محدوده ایمن گل حفاری در توالی مخزن سروک در چاه D ۱۰۴
- شکل ۴-۲۸: آنالیز حساسیت در اعماق ۲۶۳۳، ۲۹۵۵/۵، ۳۰۶۱، ۳۱۲۱/۳ در چاه A ۱۰۷
- شکل ۴-۲۹: آنالیز حساسیت در اعماق ۲۷۱۰، ۲۸۵۶/۵، ۲۸۸۰/۸، ۳۰۳۵ در چاه B ۱۰۹
- شکل ۴-۳۰: آنالیز حساسیت در اعماق ۲۷۶۸/۵، ۳۲۲۰/۵، ۳۱۹۰، ۳۲۳۲ در چاه C ۱۱۱
- شکل ۴-۳۱: آنالیز حساسیت در اعماق ۲۶۶۰، ۲۷۰۰، ۲۷۰۵، ۳۲۲۵ در چاه D ۱۱۳
- شکل ۴-۳۲: مدل یک بعدی ژئومکانیک در لایه های مختلف در چاه های مورد مطالعه ۱۱۴
- شکل ۵-۱: تصویر دو بعدی مقاومت تک محوره (UCS) ۱۱۸
- شکل ۵-۲: مدل سه بعدی مقاومت تک محوره (UCS) ۱۱۸
- شکل ۵-۳: هیستوگرام داده های لاگ های اولیه، مقادیر بزرگ مقیاس شده آن ها و مقادیر مدل سازی برای پارامتر مقاومت تک محوره (UCS) ۱۱۹
- شکل ۵-۴: تصویر دو بعدی فشار منفذی ۱۲۰
- شکل ۵-۵: مدل سه بعدی فشار منفذی ۱۲۰
- شکل ۵-۶: هیستوگرام داده های لاگ های اولیه، مقادیر بزرگ مقیاس شده آن ها و مقادیر مدل سازی برای پارامتر فشار منفذی ۱۲۱
- شکل ۵-۷: تصویر دو بعدی ریزش دیواره چاه ($BREAKOUT$) ۱۲۲

- شکل ۵-۸: مدل سه بعدی ریزش دیواره چاه (BREAKOUT)..... ۱۲۳
- شکل ۵-۹: هیستوگرام داده‌های لاگ‌های اولیه، مقادیر بزرگ مقیاس شده آن‌ها و مقادیر مدل‌سازی برای پارامتر ریزش دیواره چاه (BREAKOUT)..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱۰: تصویر دو بعدی Ki CK..... ۱۲۵
- شکل ۵-۱۱: مدل سه بعدی Ki CK..... ۱۲۵
- شکل ۵-۱۲: هیستوگرام داده‌های لاگ‌های اولیه، مقادیر بزرگ مقیاس شده آن‌ها و مقادیر مدل‌سازی برای پارامتر PRESSURE Ki CK..... ۱۲۶
- شکل ۵-۱۳: تصویر دو بعدی هرزروی (LOSS)..... ۱۲۷
- شکل ۵-۱۴: مدل سه بعدی هرزروی (LOSS)..... ۱۲۷
- شکل ۵-۱۵: هیستوگرام داده‌های لاگ‌های اولیه، مقادیر بزرگ مقیاس شده آن‌ها و مقادیر مدل‌سازی برای پارامتر هرزروی (LOSS)..... ۱۲۸
- شکل ۵-۱۶: تصویر دو بعدی فشار شکست سازند (TENSILE)..... ۱۲۹
- شکل ۵-۱۷: مدل سه بعدی فشار شکست سازند (TENSILE)..... ۱۲۹
- شکل ۵-۱۸: هیستوگرام داده‌های لاگ‌های اولیه، مقادیر بزرگ مقیاس شده آن‌ها و مقادیر مدل‌سازی برای پارامتر فشار شکست سازند (TENSILE)..... ۱۳۰
- شکل ۶-۱: مدل یک بعدی ژئومکانیک در توالی سروک چاه E..... ۱۳۳
- شکل ۶-۲: نمودار فراوانی تخلخل موثر (PHI E) در دو چاه A و E..... ۱۳۴
- شکل ۶-۳: نمودار فراوانی فشار منفذی (PORE PRESSURE) در دو چاه A و E..... ۱۳۴
- شکل ۶-۴: نمودار فراوانی تنش تک محوره (UCS) در دو چاه A و E..... ۱۳۵
- شکل ۶-۵: نمودار فراوانی مدول بالک (KMOD) در دو چاه A و E..... ۱۳۵
- شکل ۶-۶: نمودار فراوانی مدول موج فشاری (MMOD) در دو چاه A و E..... ۱۳۶
- شکل ۶-۷: نمودار فراوانی مدول موج برشی (UMOD) در دو چاه A و E..... ۱۳۶
- شکل ۶-۸: نمودار فراوانی مدول یانگ (YMOD) در دو چاه A و E..... ۱۳۷
- شکل ۶-۹: نمودار فراوانی ضریب پواسون (POI S) در دو چاه A و E..... ۱۳۷
- شکل ۶-۱۰: مدل ۲ بعدی تخلخل الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E)..... ۱۳۹
- شکل ۶-۱۱: الف) مدل سه بعدی تخلخل و ب) مدل چهار بعدی تخلخل..... ۱۴۰
- شکل ۶-۱۲: مدل تراکم تک محوره الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E)..... ۱۴۱
- شکل ۶-۱۳: الف) مدل سه بعدی تراکم تک محوره (چاه‌های قدیمی)، ب) مدل چهار بعدی تراکم تک محوره (چاه جدید (چاه E))..... ۱۴۲
- شکل ۶-۱۴: مدل فشار منفذی الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E)..... ۱۴۳
- شکل ۶-۱۵: الف) مدل سه بعدی فشار منفذی (چاه‌های قدیمی)، ب) مدل چهار بعدی تراکم تک محوره (چاه جدید (چاه E))..... ۱۴۴
- شکل ۶-۱۶: مدل مدول بالک الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E)..... ۱۴۵
- شکل ۶-۱۷: الف) مدل سه بعدی مدول بالک (چاه‌های قدیمی)، ب) مدل چهار بعدی مدول بالک (چاه جدید (چاه E))..... ۱۴۶

- شکل ۶-۱۸: مدل مدول یانگ الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E). ۱۴۷
- شکل ۶-۱۹: الف) مدل سه بعدی مدول بالک (چاه‌های قدیمی)، ب) مدل چهار بعدی مدول بالک (چاه جدید (چاه E)). ۱۴۸
- شکل ۶-۲۰: مدل مدول موج فشاری الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E). ۱۴۹
- شکل ۶-۲۱: الف) مدل سه بعدی مدول موج فشاری (چاه‌های قدیمی)، ب) مدل چهار بعدی مدول بالک (چاه جدید (چاه E)). ۱۵۰
- شکل ۶-۲۲: مدل مدول موج فشاری الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E). ۱۵۱
- شکل ۶-۲۳: الف) مدل سه بعدی مدول موج برشی (چاه‌های قدیمی)، ب) مدل چهار بعدی مدول موج برشی (چاه جدید (چاه E)). ۱۵۲
- شکل ۶-۲۴: مدل ضریب پواسون الف) با اطلاعات چاه‌های قدیمی (چاه A) و ب) به روز شده با اطلاعات چاه جدید (چاه E). ۱۵۳
- شکل ۶-۲۵: الف) مدل سه بعدی ضریب پواسون (چاه‌های قدیمی)، ب) مدل چهار بعدی ضریب پواسون (چاه جدید (چاه E)). ۱۵۴

فصل اول

مقدمه و کلیات تحقیق

1-1 مقدمه

مسائل مرتبط با مطالعه خصوصیات و ویژگی‌های مخازن هیدروکربوری، پیش بینی و تخمین برنامه تولید از چاه‌ها، تفسیر پتروفیزیکی، بهینه‌سازی عملیات حفاری و تکمیل چاه‌ها همواره چالش‌های مهمی برای متخصصان در صنعت نفت و گاز بوده‌اند. ایجاد مدل‌های دقیق زیرسطحی برای این صنعت از اهمیت بسیاری برخوردار است. هرچه مدل‌ها دقیق‌تر باشند، ریسک‌های مرتبط با کاوش هیدروکربن و چالش‌های مربوط به توسعه و تولید در میادین نفتی و گازی کمتر خواهند بود. اما برای ایجاد مدل‌های زیرسطحی دقیق، نیازمند به داده‌های اساسی و مجموعه اطلاعات دقیق، از جمله نگاره‌های چاه و برداشت لرزه‌ای است.

به عنوان یک عنصر بسیار مهم در صنعت نفت و گاز، نگاره‌ها مرتبط با چاه‌ها منبع مهمی از اطلاعات مرتبط با لایه‌های زیرزمینی هستند. این اطلاعات از چاه‌های حفر شده به دست می‌آیند و قادرند نمایی دقیق و یک‌بعدی از ساختار لایه‌های زیرین را ارائه دهند. تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها، امری حیاتی جهت برنامه ریزی عملیات حفاری است. در حین عملیات حفاری با توجه به هزینه‌های سنگین آن، در هنگام برخورد با سازندهای بسیار سخت، در صورت عدم اطلاعات کافی درباره خصوصیات این لایه‌ها، مشکلاتی برای دستگاه حفاری، مته و... ایجاد می‌شود. در نتیجه پیشروی در این سازندها کند شده و یا با پیشروی کمتری در روز مواجه خواهیم شد. در این حالت سرعت حفاری پایین می‌آید و متقابلاً "هزینه‌ها هم افزایش پیدا می‌کند. بطور عمده متغیرها در عملیات حفاری به خصوصیات سازند وابسته اند. متغیرهای حفاری پارامترهایی از قبیل وزن روی مته، سرعت دوران مته، وزن گل حفاری و... است که به شرایط زمین شناسی، ساختار پتروگرافی سنگ، سختی، سایش، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ مرتبط است که در مدل ژئومکانیکی مخزن به آنها پرداخته می‌شود. در ایران علی رغم وجود مسائلی نظیر ریزش دیواره‌ی چاه، وجود مخازن شکافدار، تولید ماسه و... مطالعات ژئومکانیکی اندکی انجام شده است. عوامل زمین شناسی و تکنیکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در روابط و پارامترهای ژئومکانیکی هستند. کاربرد مکانیک سنگ از دهه‌های پیش در بخش‌های مختلف صنعت نفت دنیا مطرح شده و پروژه‌های زیادی در ارتباط با آن تعریف گردیده است. ولی متأسفانه در ایران اطلاعات ناچیزی در مورد خواص ژئومکانیکی میادین هیدروکربوری ایران موجود است. بی توجهی به مطالعات و ابزارهای ژئومکانیکی در کشور موجب میلیون‌ها دلار هزینه اضافی در حفاری، بهینه سازی مشبک کاری، بهینه سازی برداشت، مچالگی لوله جداری، بهره‌برداری مخزن و... شده است درحالی که با اندک مطالعه ای می‌توان هزینه‌ها را مدیریت نمود. از طرفی هزینه‌هایی وجود دارند که شاید در کوتاه مدت دیده نشوند اما قطعاً در طول عمر میدان خود را نشان می‌دهند. ضرر این هزینه‌ها بسیار کلان خواهد بود و صرفاً با یک نگاه بلند مدت به مدیریت مخزن می‌توان آنها را کنترل

کرد. فشردگی مخزن، شکستگی پوش سنگ، ذخیره سازی گاز و... از جمله مواردی هستند که اگر در کوتاه مدت به آنها توجه نشود در بلند مدت خسارات بسیار زیاد و غیر قابل جبرانی را به مخزن وارد می کنند. "مدل ژئومکانیکی" پایه و اساس سایر مطالعات ژئومکانیکی به ویژه موضوع پایداری چاه است. با داشتن مدل ژئومکانیکی در چاه های ایران، می توان پنجره ایمن وزن گل برای حفاری را تخمین زد و از صرف زمان و هزینه های زیاد برای حفاری و بهره برداری صرفه جویی کرد. در مراحل بعدی نیز می توان با استفاده از چنین مدل هایی، مطالعات پایداری چاه، شکست هیدرولیکی، مدیریت تولید ماسه و... را برای مخازن متعدد نفتی و گازی موجود در ایران، گسترش داد. یک مدل جامع ژئومکانیکی مخزن شامل وضعیت تنش و فشار منفذی به صورت تابعی از عمق، خصوصیات سنگ از جمله پارامترهای مرتبط با تغییر شکل سنگ شامل مدول های الاستیسیته و پارامترهای مقاومتی سنگ مانند مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی و زاویه اصطکاک داخلی سنگ است. با استفاده از مدل های مختلف یک بعدی، سه بعدی و چهار بعدی می توان تحلیل دقیق تری را از وضعیت تغییرات پارامترهای ژئومکانیکی در توالی چاه، گستره میدان و همچنین در طول زمان پس از سال ها تخلیه از مخزن را بدست آورد.

1-2 بیان مساله تحقیق

تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ ها، امری حیاتی جهت برنامه ریزی برداشت از میدان است. در دهه های اخیر، توجه به کاربردهای ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز به طور چشمگیری افزایش یافته است. ژئومکانیک به عنوان یک حوزه اساسی و حیاتی در علم و صنعت نفت شناخته می شود. این اهمیت به انجام آزمایشات ساده برای تعیین ویژگی های مکانیکی سنگ، ایجاد مدل های ژئومکانیکی یک بعدی و شبیه سازی سه بعدی مخزن از منظر ژئومکانیکی برمی گردد. ژئومکانیک از اکتشاف تا توسعه، تولید و در نهایت ازدیاد برداشت از مخازن هیدروکربوری تأثیر گذاری فراوان دارد.

مدل های ژئومکانیکی یکی از عناصر اساسی در زمینه های مخزن شناسی، حفاری و بهره برداری هستند، و بنابراین به عنوان یک ابزار ضروری مورد توجه ویژه قرار می گیرد. به همین دلیل شرکت های نفتی بزرگ در سراسر جهان تخصص ژئومکانیک و مهندسی مکانیک سنگ را به عنوان جزء ضروری تیم های خود تصور می کنند و متخصصان معتبر را در اختیار دارند. مدل مکانیکی زمین، محور تحقیقات ژئومکانیکی است و به عنوان Mechanical Earth Model یا Geomechanical Earth Model هم شناخته می شود. این مدل ها یک پروژه یکپارچه را برای تعیین ویژگی های مکانیکی مخزن ارائه می دهند و همانند هر تحقیق دیگر، نیازمند به داده و اطلاعات حداقلی هستند تا به موفقیت برسند. بر اساس تجربیات عملی، در گذشته اطلاعات مکانیکی سنگ در جمع آوری داده های مخزن به ندرت در دسترس بوده و در بسیاری از موارد، اطلاعات کافی برای ارزیابی ژئومکانیک مخزن فراهم نیست. این مشکل به خصوص در

برخی از مخازن ایران همچنان وجود دارد. در مواردی از روابط تجربی برای تخمین پارامترهای ژئومکانیکی استفاده می شود که نتایج آن نسبتاً رضایت بخش است.

استفاده از مکانیک سنگ در صنعت نفت و گاز تاکنون امری جدید نبوده است. اما مفهوم مدل مکانیکی یا به اختصار GEM از سال 1990 توسط شرکت شلمبرژه مطرح شد. مدل سازی مکانیکی شامل جمع آوری اطلاعات از منابع مختلف می شود و به همین دلیل یک پروژه چند رشته ای و چند تخصصی محسوب می شود. نتیجه این مدل، شامل پارامترهای مکانیک سنگ برای یک میدان نفتی، مخزن یا چاه خواهد بود. پارامترهای خروجی استاندارد مدل ژئومکانیکی شامل:

- خواص الاستیسیته که شامل مدول های E, ν, λ, G, K است.
- پارامترهای مقاومت سنگ که شامل ϕ و UCS است.
- اندازه و راستای تنش های درجا

این اطلاعات برای تحلیل های متعددی که در زمینه شکست سازند در شرایط متنوعی مانند حفاری، لایه شکافی، و تولید صورت می گیرد، مورد نیاز است که از داده های حفاری، اطلاعات لرزه ای، نتایج آزمایشات شرایط آزمایشگاهی، داده های چاه آزمایی، و دیگر منابع مشابه بدست می آیند. دستیابی به نوع و جنس دقیق اطلاعات و چگونگی بهره برداری از آنها، یک مسئله مهم و بی وقفه است. این موضوع برای مطالعات مکانیک سنگی به دلیل فقدان داده ها و محدودیت های اندازه گیری مکانیکی سنگ چالش های خاصی را ایجاد کرده است. به عنوان مثال، در بسیاری از موارد و در چاه های موجود در یک میدان، داده های سرعت موج برشی به دلیل مشکلات متنوع نظیر کمبود تجهیزات در چاه های قدیمی تر، عدم انجام اندازه گیری در عمق های غیرمخزنی، تفسیرات زمان بر و هزینه بر، و همچنین به دلیل شرایط نامناسب مخزنی در دسترس نیست. بنابراین، در پروژه هایی که به صورت گروهی و یکپارچه عمل می کنند، داده ها و منابع ورودی بیشتر و قابل دسترس بوده و با دقت و ارزش بیشتری مدل های ژئومکانیکی مربوطه خواهد داشت.

مدل ژئومکانیکی منبع اصلی تحلیل های ژئومکانیکی مرتبط با مخازن هیدروکربوری می باشد. در این مدل ها، پارامترهای الاستیکی کلیدی شامل مدول یانگ (E)، مدول برشی (G)، ضریب پواسون (ν)، و مدول حجمی (K) به کار می روند.

مقاومت سنگ به معنای توانایی سنگ در مقاومت در برابر فشار تعریف می شود. مقاومت فشاری تک محوره (UCS) یا (Uniaxial Compressive Strength) معمولاً از داده های لاگ و نتایج آزمایشات آزمایشگاهی روی نمونه های مغزه به صورت تجربی محاسبه می گردد.

تنش های درجا (In-situ Stress) شامل: $\delta_H, \delta_h, \delta_z$

- Overburden stress (δ_z)

- Minimum horizontal stress (δ_h)
- Maximum horizontal stress (δ_H)

توصیف تنش‌ها، به عنوان مثال جهت و توزیع آن‌ها، اطلاعات دقیقی در اختیار ما قرار می‌دهد. تنش اصلی عمده‌تاً از اندازه‌گیری‌های نگاره چگالی به دست می‌آید و ما می‌توانیم از مدل‌های ریاضی مختلفی برای محاسبه تنش‌های افقی کمترین و بیشترین استفاده کنیم. در این زمینه، مدل پوروالاستیک به عنوان مدل رایج‌تری مطرح است. حال اینکه توصیف پارامترهای ژئومکانیکی را در ابعاد مختلف در یک میدان بتوان تحلیل نمود، علاوه بر رفتار پارامترها ژئومکانیک در توالی چاه‌ها، می‌توان تحلیل دقیق رفتاری را از این پارامترها در کل یک میدان نیز به دست آورد.

در این تحقیق مدل ژئومکانیکی سازند سروک در یکی از میادین جنوب غرب کشور ساخته می‌شود. این سازند یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی کشور در بسیاری از میادین کشور است که دارای سنگ شناسی کربناته (غالباً آهک) است. به دلیل اهمیت ویژه‌ای که این سازند به لحاظ حفاری و بهره برداری دارد، اطلاعات هرچه دقیق تر از پارامترهای ژئومکانیکی آن در گستره میدان می‌تواند یکی از مسائل حیاتی در مطالعات سازندهای مخزنی باشد.

3-1 هدف انجام پروژه

هدف اصلی این تحقیق، ایجاد مدل‌های ژئومکانیکی یک بعدی، سه بعدی، چهاربعدی سازند مخزنی سروک است که نتایج زیر را حاصل خواهد کرد:

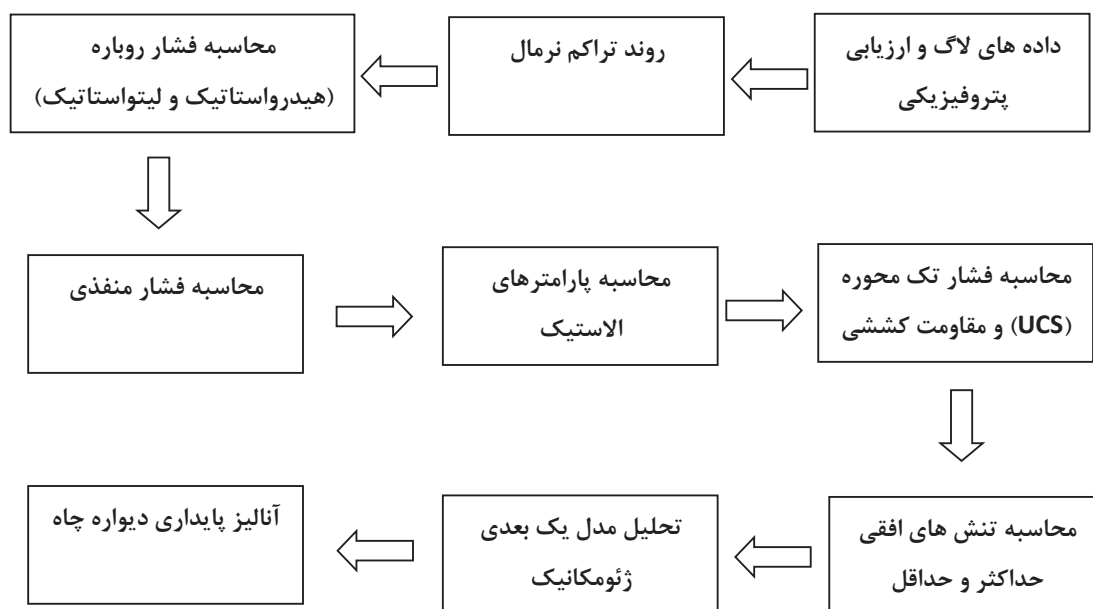
- محاسبه تنش‌های قائم و افقی در چاه‌های مختلف
- تخمین فشار منفذی به روش‌های مختلف
- محاسبه مدول‌های الاستیک و مقاومت سنگی
- تحلیل پایداری چاه، وزن گل ایمن و آنالیز حساسیت
- تعیین رژیم گسلش منطقه
- ایجاد مدل‌های سه بعدی از پارامترهای ژئومکانیکی و تحلیل رفتار این پارامترها در گستره میدان
- ایجاد مدل‌های چهار بعدی و تحلیل رفتار پارامترهای الاستیک در گذر زمان و تحلیل رفتار آن‌ها در کل میدان

1-4 ضرورت انجام مطالعه ژئومکانیک در ابعاد مختلف

تحلیل و بررسی پایداری چاه از دیدگاه ژئومکانیکی جنبه جدیدی از مطالعات مربوط به مهندس حفاری است که در سال‌های اخیر در حال توسعه می‌باشد به دلیل تفاوت در شرایط سازندها، فشارهای بحرانی حاصله از هر مدل و معیار شکست متفاوت است؛ لذا انتخاب مدل و معیار شکست مناسب جهت آنالیز پایداری دیواره چاه در هر چاه و همچنین آگاهی از رفتار پارامترهای ژئومکانیکی در کل یک میدان جهت برنامه ریزی‌های حفاری اهمیت بسیاری دارد. مدل‌سازی یک بعدی در توالی یک چاه اطلاعات مناسبی را در مقیاس یک چاه خواهد داد که تا حدودی می‌توان از این اطلاعات در حفاری چاه‌های آینده نیز کمک گرفت اما مدل‌سازی سه بعدی و چهار بعدی پارامترهای ژئومکانیکی این امکان را خواهد داد که علاوه بر برنامه‌ریزی و مکان‌یابی حفاری چاه‌های آتی در میدان، تغییرات رفتار این پارامترها را در بخش‌های مختلف یک میدان را در اثر تولید و بهره برداری تحلیل و پیش بینی نمود.

1-5 مراحل انجام پروژه و داده‌های مورد نیاز

به طور خلاصه، مراحل انجام این پژوهش تا ساخت مدل یک بعدی و تحلیل پایداری دیواره چاه در تصویر ارائه شده در شکل 1-1 ارائه شده است.



شکل 1-1: مراحل انجام مدل‌سازی یک بعدی ژئومکانیک در مطالعه حاضر