بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی نفت وگاز

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت
گرایش حفاری و بهره برداری

بررسی وضعیت توزیع تنش‌ها در چاه‌های تکمیل شده با لوله مغزی با استفاده از آنالیز المان محدود

مؤلف :

محمد حیدریان

استادان راهنما:

دکتر مهین شفیعی

دکتر حسین جلالی‌فر

استاد مشاور:

دکتر سعید جعفری

مشاور صنعتی:

مهندس بابک مرادی

تیرماه ۱۳۹۱

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

بخش نفت و گاز

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 : محمد حیدریان

استاد راهنما: دکتر مهین شفیعی- دکتر حسین جلالی‌فر

استاد مشاور : دکتر سعید جعفری

داور ۱ : دکتر محمد رنجبر

داور۲ : دکتر امیر صرافی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :

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

تقدیم به :

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

تشکر و قدردانی :

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه‌ام سرکار خانم **دکتر مهین شفیعی**، جناب آقای **دکتر حسین جلالی‌فر** و جناب آقای **دکتر سعید جعفری** که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند ؛ تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از جناب آقای **دکتر محمد رنجبر** و جناب آقای **دکتر امیر صرافی** که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفته‌اند کمال تشکر را دارم.

چکیده :

در این تحقیق بمنظور جلوگیری از بروز ناپایداری با استفاده از آنالیز المان محدود به بررسی و تحلیل مقدار و نحوه توزیع تنش های وارد بر چاه و همچنین عوامل موثر بر مقدار و نحوه‌ی توزیع این تنش‌ها پرداخته شده است. سپس بر اساس توزیع تنش‌های بوجود آمده در جداره‌ها (جداره فلزی و سیمانی) و سطوح تماس و کرنش‌های حاصل از آن‌ها در اجزاء داخل چاه (سیمان و لوله)، سعی شده است طراحی اجزاء طوری صورت گیرد که مشکلات ناپایداری و کرنش‌های بالا به حداقل برسد. در این بین سهم جداری سیمانی برای طراحی مهمتر از بقیه‌ی عوامل می‌باشد زیرا قابلیت کنترل و مانور بیشتری دارد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش نسبت پواسون و کاهش مدول یانگ سیمان (در محدوده رفتار الاستیک سیمان) خاصیت انعطاف-پذیری در سیمان افزایش می‌یابد. نتایج همچنین نشان میدهند که سیمانهای الاستیک (سیمان با مدول یانگ پایین و نسبت پواسون بالا) پایدارترند. و مدول الاستیسیته و نسبت پواسون سیمان نیزکمترین حساسیت را نسبت به تنشهای افقی دارند.

واژه های کلیدی: ناپایداری- تنش- کرنش - آنالیز المان محدود – سیمان

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه.....۱

فصل دوم: مبانی نظری.....۴

۲-۱ عوامل قابل کنترل ۵

۲-۲ عوامل غیر قابل کنترل ۷

۲-۳ آنالیز المان محدود (FEM) ۹

فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته.....۱۰

فصل چهارم: روش تحقیق.....۱۳

۴-۱ ابزار مدلسازی.....۱۴

۴-۲ مدلسازی و حل مسئله.....۱۵

۴-۳ معیار پایداری.....۲۱

فصل پنجم: ارائه و تحلیل نتایج.....۲۲

۵-۱ بررسی اثر مدول الاستیسیته سیمان.....۲۳

۵-۲ بررسی اثر نسبت پواسون سیمان.....۲۵

۵-۳ بررسی اثر ضخامت سیمان بر توزیع تنش و کرنش.....۲۷

۵-۴ آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر پایداری سیمان نسبت به تنش‌های افقی.....۳۵

۵-۵ بررسی تئوری استفاده از دوغاب سیمان با خاصیت الاستیک.....۳۷

۵-۶ بررسی اثر دانسیته سیال آنالوس بر لوله جداری.....۳۹

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....۴۰

منابع و مآخذ.....۴۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ تقسیم‌بندی عوامل موثر در توزیع تنش.....۵

شکل۲-۲ نمودار تنش – کرنش.....٦

شکل ۲-۳ تاثیر فشار منفذی بر پایدار.....۸

شکل ۲-۴ تاثیر دما بر روی مدول الاستیسته و مقاومت فشاری.....۸

شکل۴-۱ هندسه مدل و شبکه‌بندی صورت گرفته بر روی آن.....۱٦

شکل۴-۲ المان سالید۹۵.....۱۸

شکل ۴-۳ تاثیر تعداد شبکه‌ها بر دقت محاسبات.....۱۹

شکل۴-۴ شماتیک نحوه‌ی اعمال تنشهای برجا و بارها.....۲۰

شکل۵-۱ تاثیر مدول یانگ سیمان بر نسبت تنش در سیمان.....۲۳

شکل۵-۲ کرنش تحمل شده توسط سیمان به ازای مقادیر مختلف مدول یانگ (در محدوده‌ی رفتار الاستیک سیمان).....۲٤

شکل۵-۳ ارتباط بین مدول یانگ و کرنش الاستیک ایجاد شده در سیمان (در محدوده رفتار الاستیک سیمان).....۲٤

شکل۵-۴ تاثیر نسبت پواسون سیمان در سهم هریک از کرنشهای الاستیک و پلاستیک از کرنش مکانیکی کل توسعه یافته در سیمان (در محل تماس با جداری).....۲٦

شکل۵-۵ ارتباط بین کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان دراثر افزایش نسبت پواسون سیمان.....۲۷

شکل۵-۶ تاثیر ضخامت سیمان در کرنشهای ایجاد شده در سیمان الاستیک (در محل تماس با جداری).....۲۸

شکل۵-۷ کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان پلاستیک.....۲۹

شکل ۵-۸ ارتباط بین کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان و چسبندگی سیمان.....۳۱

شکل ۵-۹ ارتباط بین کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان و زاویه اصطکاک داخلی سیمان.....۳۳

شکل ۵-۱۰ الف: ارتباط بین کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان و مقاومت فشاری تک محوری حاصل از افزایش زاویه اصطکاک داخلی سیمان.....۳٤

شکل ۵-۱۰ ب: ارتباط بین کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان و مقاومت فشاری تک محوری حاصل از افزایش چسبندگی سیمان.....۳٤

شکل۵-۱۱ مقدار کرنش بوجود آمده در سیمانهای مختلف تحت شرایط بارگذاری یکسان.....۳۸

شکل ۵-۱۲ اثر دانسیته سیال آنالوس بر تنش و کرنش معادل وارد شده بر لوله جداری.....۳۹

فهرست جدول‌ها

جدول۴-۱ مشخصات هندسی اجزای سیستم.....۱۶

جدول۴-۲ خصوصیات اجزای سیستم و مقدار تنشها.....۱۷

جدول۴-۳ تعداد شبکه بندی صورت گرفته بر روی هریک از اجزای سیستم.....۱۸

جدول۵-۱ مقدار کرنش پلاستیک و الاستیک و همچنین کرنش مکانیکی کل ایجاد شده در نقاط مختلف سیمان.....۲۵

جدول۵-۲ مقادیر کرنشهای مکانیکی ایجاد شده در سیمان الاستیک به ازای مقادیر مختلف ضخامت سیمان ۲۸

جدول ۵-۳ کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان به ازای مقادیر مختلف چسبندگی سیمان.....۳۱

جدول ۵-٤ کرنش پلاستیک توسعه یافته در سیمان به ازای مقادیر مختلف زاویه اصطکاک داخلی سیمان.....۳۲

جدول ۵-۵ مقدار بهینه پارامترهای موثر بر پایداری سیمان تحت شرایط بارگذاری ذکر شده در جدول (۵-۲).....۳۵

جدول ۵-٦ نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر پایداری سیمان نسبت به "نسبت تنش‌های افقی".....۳۶

جدول ۵-۷ خصوصیات سیمانهای مختلف.....۳۸

فصل اول:

مقدمه

یکی از مشکلات حاد موجود در صنعت نفت، بحث ناپایداری و مچاله‌شدگی[۱] لوله‌های داخل چاه است. این پدیده سبب خارج شدن چاه از چرخه تولید شده و هزینه زیادی را به شرکت‌های نفتی در سراسر دنیا تحمیل می‌کند. لذا اطلاع از وضعیت توزیع تنش‌ها و عوامل موثر بر توزیع تنش‌های وارد بر اجزاء داخل چاه (شامل سیمان و لوله‌های داخل چاه) یک امر ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد.

مهمترین مطالعات پیشین انجام شده در ارتباط با توزیع تنشهای اطراف چاه، مطالعات انجام شده توسط بردلی[۲](۱۹۷۹)، کویی و همکاران[۳] (۱۹۹۷)، شهری (۲۰۰۵) و هایونیل[٤] (۲۰۰۸) می‌باشند؛ در تمامی این مطالعات بدلیل اینکه تنشهای افقی بصورت ایزوتروپیک در نظر گرفته شده‌اند و از مدلسازی‌های دوبعدی استفاده شده است لذا دقت و جامعیت کاربردی کافی وجود نداشته و نتایج حاصل از آنها تنها برای مواردی قابل استفاده است که تنشهای افقی بصورت ایزوترپیک باشند. همچنین عدم کارایی این مدلها برای نشان دادن تاثیر خروج از مرکز لوله‌ها بر توزیع تنشهای وارد بر دهانه چاه از دیگر ایرادات و نواقص مطالعات پیشین می‌باشد. در این مطالعه با انجام مدلسازی سه بعدی و اعمال تنشهای افقی بصورت غیرایزوتروپیک و همچنین بررسی تاثیر خروج از مرکز لوله ها سعی شده است که ضمن رفع ایرادات و نواقص مطالعات پیشین، نتایج دقیق‌تر و جامع‌تری از تاثیر وضعیت توزیع تنشها و عوامل موثر بر آن، بر پایداری چاه ارایه گردد.

در برخی چاه‌ها به دلایلی ازجمله افزایش نرخ تولید و نیز جلوگیری از خوردگی لوله جداری، از لوله مغزی برای تکمیل چاه استفاده می‌شود. در اینگونه چاه‌ها برای جلوگیری از تماس سیال تولیدی، فضای آنالوس بین لوله جداری و لوله مغزی از بالا و پایین توسط مسدود کننده بسته می‌شود. همچنین برای جلوگیری از فروپاشی[٥] لوله مغزی و یا مچاله‌شدگی لوله جداری، فضای بین لوله جداری و لوله مغزی با استفاده از آب و برخی مواد افزودنی (ازجمله ضدزنگ برای جلوگیری از خوردگی لوله‌ها) پر می‌شود. در این مطالعه به بررسی وضعیت توزیع تنش‌ها و عوامل موثر بر توزیع آنها در اینگونه چاههای تکمیل شده با لوله مغزی پرداخته شده است.

بطور کلی عوامل موثر بر نحوه توزیع تنش‌ها را می‌توان به دو دسته عوامل قابل کنترل و عوامل غیر-قابل کنترل تقسیم‌بندی نمود. خصوصیات مکانیکی سیمان شامل مدول یانگ، نسبت پواسون و... از

---

[۱] collapse
[۲] Bradly
[۳] Cui et al.
[٤] Hyunil
[٥] Burst

جمله عوامل قابل کنترل می‌باشند؛ فشار سیال سازندی و دمای سازند نیز ازجمله عوامل غیرقابل کنترل می‌باشند. در این تحقیق مطالعات انجام شده بر روی عوامل قابل کنترل، خصوصیات مکانیکی و هندسی سیمان، متمرکز شده اند تا با بررسی تاثیر این عوامل بر نحوه ی توزیع تنش و کرنش در سیستم، بویژه در لایه سیمانی، بتوان خوصیات مکانیکی و هندسی سیمان را بگونه‌ای طراحی نمود تا مشکلات ناپایداری و کرنشهای بالا به حداقل برسند.

برای دستیابی به اهدف مذکور، توزیع تنش (و کرنش) در سیمان و لوله جداری و همچنین در سطوح تماس (سطح تماس سیمان-سازند و سیمان جداری) به ازای مقادیر مختلف هریک از خصوصیات مکانیکی و هندسی سیمان بررسی و در هر حالت مقدار بهینه برای پارامتر مذکور تعیین شده است. سپس با انجام آنالیز حساسیت، حساسیت هر یک از این مقادیر بهینه نسبت به "نسبت تنش‌های افقی" بررسی شده است تا بتوان طراحی را مبنای پارامترهایی که کمترین حساسیت را نسبت به تنشهای افقی دارند انجام داد تا سیستم در دراز مدت دچار ناپایداری نگردد زیرا در برخی موارد مانند سازندهای نمکی تنشهای افقی به مرور زمان در اثر پدیده خزش افزایش می‌یابند.

در این مطالعه علاوه بر خصوصیات مکانیکی و هندسی سیمان، تاثیر دانسیته سیال فضای آنالوس بر توزیع تنش در لوله جداری و پایداری آن نیز بررسی شده است.

به منظور ساده سازی در حل مسئله، فرض شده است که فضای بین سازند و لوله جداری بطور کامل توسط سیمان پر شده و بندش سیمان نیز بطور کامل صورت گرفته است.همچنین فرض شده که تنشهای حرارتی و تنشهای تکتونیکی ناچیزند.

در این تحقیق تکنیک تحلیل بر اساس روش عددی انتخاب شده است زیرا با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیقات هایونیل، بدلیل آنکه در حل عددی از فرضیات و ساده سازی‌های کمتری نسبت به حل تحلیلی استفاده می شود، نتایج حاصل از حل عددی نسبت به حل تحلیلی دقیق‌ترند. همچنین با توجه به برتری روش المان محدود نسبت به سایر روشهای عددی، در این تحقیق از نرم افزار انسیس[1] که براساس روش المان محدود طراحی شده است استفاده شده است.

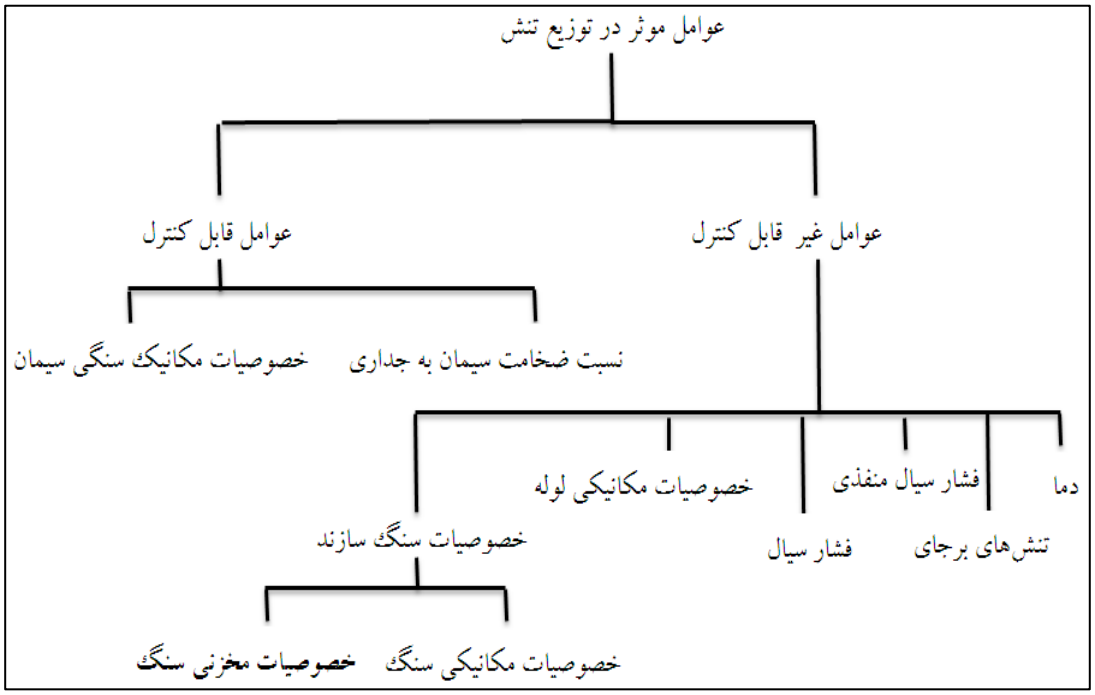
[1] Ansys

فصل دوم:

مبانی نظری تحقیق

عامل اصلی بروز ناپایداری در چاههای نفت و گاز، کرنش های برگشت ناپذیر ایجاد شده در دهانه چاه می‌باشد. این کرنش‌ها محصول تنش‌های وارد بر دیواره چاه می‌باشند لذا عامل اصلی بروز ناپایداری، تنش می‌باشد. بنابراین اطلاع از وضعیت توزیع تنش‌ها و عوامل موثر بر توزیع تنش‌ها یک امر ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد.

عوامل موثر بر نحوه توزیع تنش بر اجزاء سیستم را می‌توان به دو دسته عوامل قابل کنترل و عوامل غیرقابل کنترل تقسیم‌بندی نمود (شکل ۲-۱).



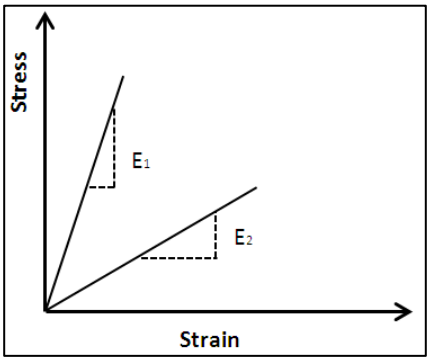
شکل ۲-۱: تقسیم‌بندی عوامل موثر در توزیع تنش

۲-۱ عوامل قابل کنترل

منظور از عوامل قابل کنترل آن دسته از عوامل و پارامترهایی است که قابلیت کنترل پذیری و تغییر در آنها،به منظور تغییر در نحوه توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها، وجود دارد. این عوامل عبارت انداز:
۱.خصوصیات مکانیک سنگی سیمان ۲.نسبت ضخامت سیمان و لوله جداری.

۲-۱-۱ خصوصیات مکانیک سنگی سیمان

مهمترین خصوصیات مکانیک سنگی سیمان عبارت‌اند از مدول الاستیسیته (E) و نسبت پواسون (ν). مدول یانگ درواقع شیب نمودار تنش-کرنش در ناحیه الاستیک است (شکل ۲-۹) و عبارت است از نسبت تنش به کرنش، بنابراین معیار و اساس خوبی برای قابلیت انعطاف‌پذیری هر محیط یا جامد است[۲و۱]. اگر مدول الاستیسیته خیلی کم باشد، محیط رفتار پلاستیسیته دارد[۳]. با افزایش مدول یانگ سفتی جسم بیشتر شده و مقدار تنشی که توسط سیستم می‌تواند تحمل شود افزایش می-یابد.



شکل۲-۲: نمودار تنش-کرنش جسم در محدوده الاستیک (E1 > E2)[۲].

نسبت پواسون عبارت است از نسبت تغییرات قطر به تغییرات طول درجهت اعمال نیرو. بنابراین نسبت پواسون می‌تواند نقش مهمی را در تغییر شکل جسم ایفا نماید[۲]. تاثیرات مدول الاستیسیته و نسبت پواسون سیمان بر توزیع تنش و کرنش، بتفصیل در فصل مربوط به تحلیل نتایج آورده شده است.

۲-۱-۲ نسبت ضخامت سیمان و لوله جداری

تاثیرات ضخامت سیمان بر توزیع تنش و کرنش، بتفصیل در فصل مربوط به تحلیل نتایج آورده شده است.

۲-۲ عوامل غیر قابل کنترل

منظور از عوامل غیرقابل کنترل آن دسته از عوامل و پارامترهایی است که قابلیت کنترل پذیری و تغییر در آنها، به منظور تغییر در نحوه توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها، وجود ندارد. این عوامل عبارت‌اند از: تنش‌های زمین، فشار سیال منفذی، دما، خصوصیات سنگ سازند شامل خصوصیات مخزنی و مکانیکی، فشار سیال تولیدی و خصوصیات مکانیک سنگی لوله جداری.

۲-۲-۱ تنش‌های برجای زمین

تنش‌های برجای زمین عبارت‌اند از تنش قایم (S_V) که ناشی از وزن طبقات روباره است و با افزایش عمق مقدار آن افزایش می‌یابد و نیز تنش‌های افقی حداقل ($S_{h,min}$) و حداکثر ($S_{H,max}$). این تنش‌ها بیشترین سهم و مهترین نقش را در تنش‌های وارد بر چاه دارند.

۲-۲-۲ فشار سیال منفذی

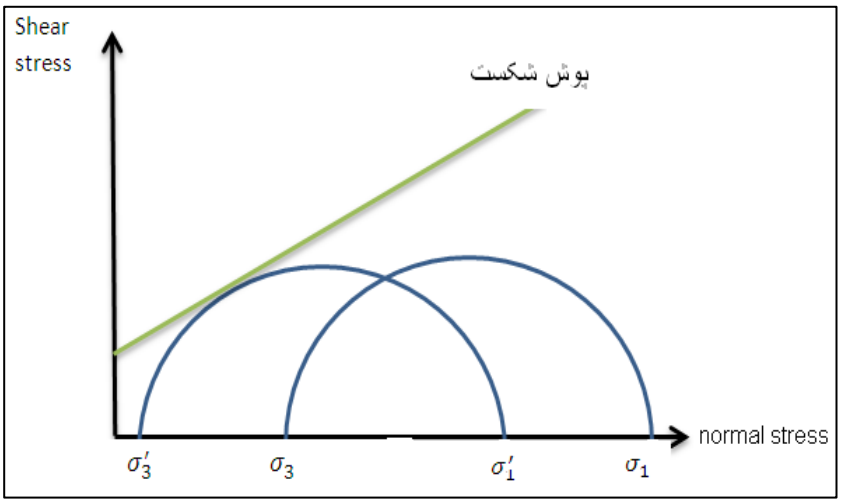
تحقیقات نشان می‌دهند آنچه که باعث تغییرشکل یا گسیختگی سنگ می‌شود، تنش موثر است[۵].

$$\sigma' = \sigma - p.p \qquad ۱-۲$$

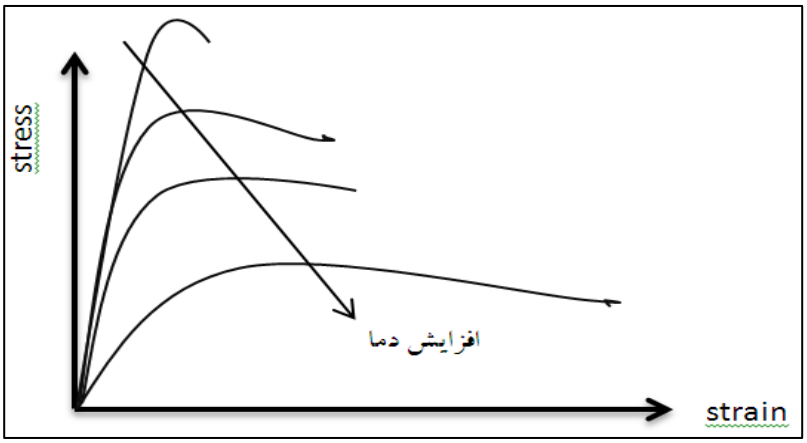
که در رابطه فوق p.p بیانگر فشار منفذی، σ بیانگر تنش و σ' بیانگر تنش موثر می‌باشد. از دیدگاه مکانیک سنگ افزایش فشار منفذی سبب انتقال دایره موهر به سمت پوش شکست شده و منجر به ناپایداری می‌شود.تاثیر فشار منفذی در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است.

۲-۲-۳ دما

دما اثر خیلی بزرگی روی سیستم دارد زیرا خصوصیات مکانیکی جامدات بشدت به دما بستگی دارد. افزایش دما باعث کاهش مدول الاستیک و مقاومت فشاری می‌شود که این امر می‌تواند منجر به ناپایداری شود. شکل (۲-۴) اثر دما بر روی مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳: تاثیر فشار منفذی بر پایداری [۱].



شکل ۲-٤: تاثیر دما بر روی مدول الاستیسته و مقاومت فشاری[۱].

۲-۲-۴ خصوصیات سنگ سازند

مهمترین خصوصیات مکانیک سنگی سازند عبارت اند از مدول یانگ و نسبت پواسون. مقادیر کم تر نسبت پواسون مربوط به سازندهاي سخت و مقادیر رابط بیش تر مربوط به سازندهاي نرم تر است. افزایش وزن سرباره، به ویژه در سازندهاي پلاستیک و نرم در اعماق زیاد، باعث انبساط جانبي زیاد و در نتیجه هجوم سازند به داخل حفره چاه در حین عملیات حفاري مي گردد[۴].

۲-۲-۵ خصوصیات مکانیکی لوله جداری

مهمترین خصوصیات مکانیکی لوله های جداری مدول الاستیسیته و نسبت پواسون می‌باشد. هرچه مدول الاستیسیته بیشتر باشد سفتی جسم بیشتر شده و مقدار تنشی که توسط جسم می‌تواند تحمل شود افزایش می‌یابد.

۲-۳ آنالیز المان محدود[۱] (FEM)

آنالیز المان محدود ابزاری برای درک بهتر اینکه یک طراحی تحت زیر مجموعه‌های مختلف از تاثیرات و یا تنش‌ها در یک وضعیت معین چگونه عمل می‌کند، می‌باشد. آنالیز المان محدود روشی برای حل مسایل عددی است. این روش چونکه یک حل عددی است بنابراین جواب بدست آمده دقیق نخواهد بود. این روش براساس خواص مواد، نوع مدل و شرایط مرزی[۲] عمل می کند. المان محدود، پرکاربردترین روش آنالیز مهندسی بر پایه کامپیوتر است.این روش می تواند برای تجزیه و تحلیل گستره وسیعی از مسایل مهندسی بکار برود. در روش المان محدود، مدل مورد بررسی به المان‌های ریزی تقسیم شده و معادلات برای این المان‌ها بر اساس توابع شکلی که برای آن ها تعریف می شود، حل می‌شوند.

هر شبیه‌ساز المان محدود دارای سه قسمت است؛ در بخش اول مدل را تولید کرده و سعی می‌شود با برخی ورودی‌ها تعریف شود. این ورودی‌ها شامل نوع مواد استفاده شده در مدل، شرایط مرزی قابل اجرا و.... می باشد. در بخش دوم سیستم داده‌های ورودی را برای مطابقت بهترین تناسب بعنوان نتایج نهایی اجرا می‌کند. در بخش سوم میتوان رفتار مدل را تحت شرایط معین که در بخش اول تعریف شده‌اند را مشاهده کرد.

چونکه المان محدود یک حل کننده معادلات دیفرانسیل چندجزئی بطور همزمان است، سبب صرفه جویی در وقت می‌شود. المان محدود قادر به راه‌اندازی شرایط مرزی پیچیده است؛ بنابراین برای بررسی واقع بینانه‌تر مسائل بجای روش تفاضلات محدود از این روش برنامه نویسی استفاده می-شود.کاربرد روش آنالیز المان محدود غالبا برای مکانیک جامدات است اما روش آنالیز تفاضلات محدود در زمینه مکانیک سیالات و هیدرولیک بهتر جواب می‌دهد.

---

[۱] Finite Element Method

[۲] Boundary condition

فصل سوم:

مروری بر تحقیقات گذشته