

بسم الله الرحمن الرحيم

آنالیز طراحی در مکانیک سنگ

جلد اول

نوشته

ویلیام جی پاریسیو

ترجمه

مهدی امیر افشاری (عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب)

داود بهار بیگی

فرشید خدابنده لو



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب

تهران، ۱۳۹۰

سرشناسه

: پاریسو ، دبلیو. جی.

عنوان و نام پدید آور

Pariseau, W.G.

: آنالیز طراحی در مکانیک سنگ/نوشته ویلیام جی پاریسو : ترجمه مهدی

مشخصات نشر

مشخصات ظاهری

شابک

قیمت

وضعیت فهرست نویسی

یادداشت

موضوع

شناسه افزوده

شناسه افزوده

شناسه افزوده

شناسه افزوده

شناسه افزوده

رده بندی کنگره

رده بندی دیویی

شماره کتاب شناسی ملی

: ۱۳۹۰ پ/۲۸/۶۷۰۶۷

: ۶۲۴/۱۵۱۳۲

: ۲۷۱۱۸۶



دفترگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب

آنالیز طراحی در مکانیک سنگ

نوشته ویلیام جی پاریسو

ترجمه مهدی امیر افشاری، داود بهادر بیگی، فرشید خداینده لو

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی-واحد تهران جنوب

رئیس انتشارات: فرشته حاجی زاده

طراح جلد: سعید فولادی

ویراستار: زهره محمد طاهری

حروف چینی و صفحه آرایی: ندا بهادریبیگی

چاپ اول: ۱۳۹۰

تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: سازمان چاپ دانشگاه آزاد اسلامی

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۱۴۱۳-۳

قیمت: ۱۴۰۰۰ تومان

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
"ن و القلم و ما یسطرون"

سخن ناشر

بی تردید تعالی علمی و فرهنگی کشور، بازتاب میزان تفکری است که فرهیختگان در مقام عمل به منصه ظهور می رسانند. در این بین، مهم تر و حساس تر از همه، رسالت عالمان و علم جویان است. این رسالت، همان گونه که در جهت پرورش استعدادهای فردی، با قرائت و مطالعه انجام می گیرد، برای پیشبرد اهداف اجتماعی و تعالی فرهنگی، با کتابت و مباحثه نیز محقق می شود.

از این رو، یکی از مسئولیت های مهم مراکز فرهنگی در کنار تعلیم و تربیت، نشر آثار علمی است. معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، برای ارتقای سطح علمی دانشجویان و تنویر افکار دانش پژوهان، به چاپ کتاب آنالیز طراحی در مکانیک سنگ اقدام کرده است؛ با این امید که با استمرار فعالیت های انتشاراتی، بتواند گامی در راه رشد و بالندگی فرهنگی بردارد.

در این کتاب سعی شده است با نگارشی ساده و روان، اصول مکانیک سنگ به بهترین شیوه به مخاطبان آموخته شود. کتاب حاضر برای کلیه دانشجویان رشته معدن و مکانیک سنگ در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد و مهندسان و صنعتگران این بخشها مناسب است.

پیش از هر چیز، شایسته است از عنایات ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب، استادان ارجمند و نیز از دست اندرکاران ویرایش و عروفتی و چاپ کتاب، تقدیر و تشکر به عمل آید.

از صاحب نظران گرامی خواهشمند است با ارائه پیشنهادهای خود، در جهت اصلاح نواقص احتمالی این کتاب و تهیه مطالب مناسب متون درسی دانشگاهی، انتشارات این واحد را یاری کنند.

امید است این اثر علمی مورد استفاده استادان و دانش پژوهان قرار گیرد.

و من الله التوفیق و علیه التکلان

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

فهرست

۸	پیش‌گفتار.....
۱۰	فصل اول: مقدمه.....
۱۳	۱-۱. یک طراحی عملی.....
۱۴	۲-۱. حل مسئله.....
۱۵	۳-۱. سیستم واحدها.....
۱۷	۴-۱. اطلاعات اولیه.....
۱۷	علم مکانیک سنگ.....
۱۷	خصوصیات مکانیکی سنگ.....
۱۸	۵-۱. مسائل.....
۱۹	مروری بر تنش.....
۲۶	فصل دوم: پایداری شیب.....
۳۰	۱-۲ شکست انتقالی شیب‌های سنگی.....
۳۰	لغزش صفحه‌ای بلوکی.....
۴۶	ارتقا و بهبود فاکتور ایمنی.....
۵۶	شکست گوه‌ای.....
۸۱	۲-۲. شکست دورانی.....
۹۱	پیشگیری و تمهیدات.....
۹۳	شکست پی.....
۹۵	شکست واژگونی.....
۹۸	۳-۲. سؤال‌ها.....
۱۰۸	لغزش‌های دورانی.....
۱۱۳	دینامیک و واژگونی.....
۱۱۶	فصل سوم: شفت.....
۱۱۶	۱-۳. شفت‌های بدون پوشش تکی با نگهداری طبیعی.....
۱۱۷	تمرکز تنش دیواره شفت.....
۱۱۸	شفت‌های دایره‌ای بدون پوشش.....
۱۲۵	شفت‌های بیضی شکل بدون پوشش.....
۱۳۳	شفت‌های مستطیلی بدون پوشش.....
۱۴۸	مقاومت دیواره شفت.....
۱۴۹	ضریب ایمنی دیوار شفت بر اساس عمق.....
۱۵۸	۲-۳. پوشش و حفاظ دیواره شفت.....

۱۵۹	نصب بولت در دیواره شفت
۱۷۰	پوشش‌های شفت دایره‌ای
۱۸۲	حلقه‌های فولادی دایره‌ای
۱۸۴	۳-۳. شفت‌های چندگانه با نگهداری طبیعی
۱۹۳	ایمنی ستون شفت
۱۹۸	دو شفت دایره‌ای با قطر متفاوت
۲۰۱	شفت‌های بیضی در یک امتداد
۲۰۵	شفت‌های مستطیلی در یک امتداد
۲۱۰	۳-۴ مسائل
۲۱۰	شفت‌های تکی خود نگهدار
۲۲۴	شفت‌های چندگانه
۲۲۷	فصل چهارم: تونل‌ها
۲۲۸	۱-۴. تونل‌های خود نگهدار
۲۲۹	تونل‌های منفرد
۲۴۰	درزه‌ها در تونل‌های منفرد
۲۴۵	تونل‌های متعدد
۲۵۲	۲-۴ نگهداری تونل
۲۵۳	قابهای فولادی صلب (ثابت)
۲۷۲	آرایش پیچ سنگ (مصلح و تقویت کردن سنگ)
۲۷۶	سیستم نگهداری ترکیبی
۲۸۵	آرکهای فولادی انعطاف پذیر
۲۸۷	پوشش با قطعات سبک فولادی
۲۸۸	۳-۴ مسائل
۲۸۹	تونل‌های نگهداری شده
۲۹۴	فاصله‌داری و طول پیچ سنگ‌ها را به متد تعیین نماید
۲۹۶	جدوال طبقه‌بندی توده سنگ RQD
۲۹۷	فصل پنجم: گالری‌ها در زمین‌های لایه‌ای
۲۹۸	۱-۵. مروری بر روش تحلیل تیر
۲۹۸	فرمول‌های اصلی تحلیل تیرها
۳۰۳	حالت‌های خاص و مهم
۳۱۵	۲-۵. گالری‌ها در سنگ نرم
۳۱۶	سقف خود نگهدار
۳۲۹	سقف‌های دارای پیچ سقف
۳۳۱	نصب پیچ سقف‌های نقطه‌ای
۳۳۹	پیچ سقف‌های میل مهار بلند
۳۴۴	پیچ کابل‌های دو طرفه سقف
۳۴۷	۳-۵ مسائل
۳۴۷	سقف‌های خود نگهدار

۳۴۸	سقف‌هایی با پیچ سنگ
۳۶۲	فصل ششم: ستون‌ها در زمین لایه‌بندی شده
۳۶۲	۱-۶. ستون‌ها در یک رگه
۳۶۳	سطح مؤثر، ضریب استخراج
۳۶۷	تأثیراندازه بر مقاومت
۳۷۷	۲-۶. ستون‌ها در لایه‌های شیب‌دار
۳۷۸	فرمول‌های ضریب استخراج برای ستون‌های رگه‌های شیب‌دار
۳۸۳	یک نمایش دایره‌ای نامتعارف مور
۳۹۱	دایره مور تعمیر یافته
۳۹۴	اثرات یک فیل (پرکننده) بر ضریب ایمنی ستون
۴۰۰	۳-۶. ستون‌های دارای درزه
۴۰۱	ستون‌های درزه در رگه‌های مسطح
۴۰۶	ستون‌ها در درزه‌های عمیق به هم متصل شده
۴۱۳	۴-۶. ستون‌ها در رگه‌های متعدد
۴۱۵	ستون‌های ورودی اصلی ستون‌بندی شده
۴۲۱	ستون‌های ورودی زنجیره‌ای لایه‌بندی شده
۴۲۵	۵-۶. ستون‌های مانع
۴۳۰	۶-۶. مسایل
۴۵۲	فصل هفتم: حفاری‌های سه بعدی
۴۵۴	۱-۷. گودالها و حفره‌های خودنگهدار
۴۵۴	حفاری‌هایی بیضی شکل
۴۶۵	حفاری‌های سه بعدی و آجر مانند
۴۷۵	۲-۷. درزه‌ها در دیواره حفره‌ها و گودال‌ها
۴۷۶	۳-۷. حفاری‌های تخت
۴۷۸	۴-۷. تکیه‌گاه حفره‌ها و پایداری شیب
۴۷۹	پر کردن معدن سنگ سخت
۵۰۴	نگهداری با بولت کابلی
۵۰۹	۵-۷. مسائل
۵۰۹	حفارهای سه بعدی
۵۱۱	بک فیل
۵۱۴	بولت‌گذاری کابلی
۵۱۷	فصل هشتم: نشست
۵۱۷	۱-۸. تنوره‌ها
۵۱۸	هندسه حفره تنوره‌ای
۵۲۸	حفاری سنگ جریان یافته
۵۳۰	نیروهای حفره تنوره‌ای
۵۴۱	نیروهای آبی حفره تنوره‌ای
۵۴۶	نگهداری نزدیک زمین حفاری شده

۵۵۷	۲-۸ ناودان ها
۵۵۸	حد نشست
۵۶۱	حداکثر نشست
۵۶۱	عرض حیاتی (بحرانی)
۵۶۴	پروفیل نشست NCB
۵۶۹	سازگاری های زاویه کرنش و عامل نشست
۵۷۴	پروفیل کرنش NCB
۵۸۲	آسیب سطح
۵۸۶	نشست چند ورودی، چند رگه ای
۵۹۳	رویکردهای جایگزین به نشست
۵۹۳	۳-۸ مسئله ها
۵۹۳	ریزش تنوره ای
۵۹۷	تکیه گاه ترکیبی
۵۹۹	پیوست الف
۶۶۸	پیوست ب
۶۷۳	پیوست ج

پیش‌گفتار

در این کتاب سعی شده است قدرت تخمین خواننده بالا برود و با دیدی موشکافانه افق جدیدی برای درک مسایل مکانیک سنگ بگشاید.

کتاب‌های زیادی در زمینه مکانیک سنگ وجود دارد اما فرق این کتاب در تحلیل جزء به جزء و موشکافانه مسایل و فرضیات و قوانین مکانیک سنگ است.

نویسنده سعی نموده است با تجزیه و تحلیل در روابط مکانیک سنگ، طراحی آن را عملی‌تر بیان نماید و با هر کس عمیق‌تر، آنالیز طراحی در مکانیک سنگ را آرایه کند.

مهندسان در این کتاب مسایل مکانیک سنگ زیرزمینی را تمرین می‌نمایند و سعی می‌کنند با آنالیز روابط مکانیک سنگ به قوانین آن دست یابند. جزء به جزء مسایل بر پایه درک علل و معلول روابط مکانیک سنگ طراحی شده است تا شناخت دقیق و عمیقی حاصل آید.

البته هر فصل از این کتاب مجال بحث در کتابی مجزا را دارد. هرچند مباحثی از مکانیک سنگ در این کتاب درج نشده است، اما منطقی که در این کتاب برای استنتاج مسایل به خواننده داده می‌شود، راهکاری برای درک و حل کلید مسایل مکانیک سنگ است.

این کتاب بر اساس آنالیز عددی نگارش شده و در آن مباحث آشنای مهندسان از قبیل تنش، کرنش و تنش کرنش الاستیسیته، در راستای بارهای محوری و برش پیش‌ستونها و معیار موهر کولمب توضیح داده شده است. همچنین تنش و کرنش، فشار و کشش در دیواره‌ها، ستون‌ها و سقف تونل‌ها و شفت‌ها کلاً حفاریات زیرزمینی تحلیل می‌شود.

طراحی ۲ بعدی در مورد مسایل بالا در این کتاب بسیار مهم جلوه می‌نماید و تأکید برای تجزیه جزء به جزء از قواعد ویرایش این کتاب است.

ضریب ایمنی، عامل مهمی در مسایل آنالیز این کتاب است و تأکید وافر برای محاسبه دقیق آن شده و جز لاینفک محاسبات برای حفاریات زیرزمینی است.

در فصل دیگری نیز درباره نشست و اثرات بک‌فیل بحث شده است و مانند فصول قبل بر آنالیز طراحی و شناخت و درک مسایل و مباحث آن تأکید شده است. شاید این

کتاب تنها کتابی باشد که اینگونه بر مباحث مکانیک سنگ نگاه ریزینیانه می‌اندازد و سعی بر بالا بردن درک مباحث دارد.

امیدواریم با ترجمه این کتاب توانسته باشیم خدمتی هر چند کوچک در راستای بالابردن درک علم مکانیک سنگ انجام داده باشیم.

قطعاً ترجمه این کتاب خالی از اشکال نیست و مترجمان از کاستیهای احتمالی پیشاپیش پوزش می‌طلبند. با تشکر از همه عزیزانی که در این راه ما را یاری نمودند و به امید فرداهایی بهتر.

www.ketab.ir

فصل اول

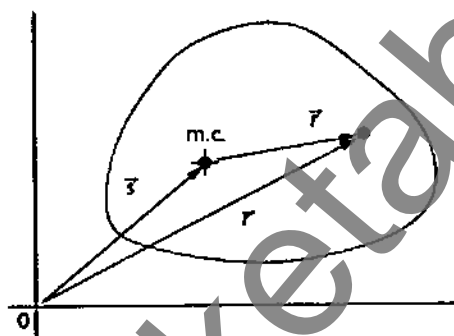
مقدمه

در معنای کلی، عملی که در مهندسی سنگ انجام می‌شود، پیش‌بینی حرکات یک ساختار پیشنهادی تحت یک مجموعه شرایط فرضی است. هدف اصلی طراحی، محاسبه جابه‌جایی است و بعنوان یک مسئله علمی، مشاهده اینکه آیا این جابه‌جایی‌ها قابل قبول هستند یا خیر. در بیشتر موارد محدودیت‌هایی در جابه‌جایی‌ها اعمال می‌شود. این مسئله همیشه در طراحی‌های کشسانی دیده می‌شود که جابه‌جایی‌های ساختار مورد نظر فقط به میزان باقی ماندن آنها در محدوده رفتار کشسانی محدود است.

در مکانیک سنگ، ساختار مورد نظر صرفاً توده سنگ مجاور حفاری است. حفاری پیشنهادی ممکن است در سطح آغاز شود یا شاید ادامه عمق یک حفاری سطح موجود و یا آغاز یک حفاری زیرزمینی یا بزرگ کردن یک حفاری زیرزمینی موجود باشد. در هر صورت طرح حفاری، در صورت اجرا موجب تغییراتی در نیروهای عمل‌کننده در اطراف محل حفاری می‌شود؛ لذا تغییر شکل توده سنگ مجاور را در بردارد. البته توده سنگ ممکن است در نیروهای دیگری هم تغییر کند؛ مثلاً زلزله، لرزش وسایل، آتشباری ساخت انبار ضایعات در آن حوالی، پر و خالی شدن منابع آب مجاور، تغییر دما و غیره.

صرف‌نظر از هویت خاص نیروهای عمل‌کننده، حرکت ناشی از آنها باید همواره با قوانین فیزیکی اساسی همانند قانون بقای ماده و قانون دوم نیوتن سازگار باشد. در این رابطه، سنگ هم تفاوتی با سایر مواد ندارد. هر حرکتی باید با جنبه‌های هندسی تبدیل، چرخش، تغییر شکل و تغییر حجم یعنی کینماتیک سازگار باشد. با این حال، قوانین فیزیکی؛ مثل قانون دوم نیوتن در مورد حرکت و کینماتیک به طور کلی برای توصیف حرکت یک توده تغییرپذیر کافی نیستند. تعداد مجهول‌ها عموماً بیشتر از تعداد معادلات است. این نامعین‌بودن ریاضیاتی را می‌توان با اضافه کردن معادلاتی به اندازه لازم در این سیستم بدون ایجاد مجهول‌های بیشتر، از سر راه برداشت. ماهیت کلی این‌گونه معادلات پس از بررسی واکنش درونی مکانیکی توده ماده در برابر نیروهای به‌کاررفته خارجی روشن می‌شود. مفاهیم فشار و تنش در این بررسی پیش می‌آیند و معادلات اضافی لازم برای تکمیل سیستم معادلاتی هستند که تنش را به کرنش مربوط می‌کنند. روابط تنش -

کرنش نشان دهنده عبارت خاصی در مورد ماهیت یا ساخت یک ماده است و به طبقه‌ای کلی از معادلات موسوم به معادلات ساختاری متعلق است. معادلات ساختاری، قوانین ماده را بیان می‌کنند. درحالی‌که قوانین فیزیکی و کینماتیک برای همه مواد مشترک هستند، معادلات ساختاری متمایزکننده نوع رفتار مواد هستند. برای مثال، قانون هوک ویژگی‌های موادی را نشان می‌دهد که در برابر بار واکنش کشسانی دارند. یک دستگاه معادلات که توصیف‌کننده حرکت یک توده تغییرپذیر باشد، لزوماً شامل هر سه نوع معادلات است: قوانین فیزیکی، کینماتیک و قوانین مادی.



شکل ۱-۱

در واقع سیستمی که توصیه‌کننده حرکت یک توده ماده است به صورت تقریبی است. پیچیدگی‌های ریاضیاتی اغلب باعث ساده‌سازی و ایده‌آل سازی‌هایی می‌شوند. معمولاً مسائلی پیش می‌آید که کدام ساده‌سازی‌ها باید انجام شود و پس از انجام آنها نمایش ایده‌آل شده تا چه حد نشان دهنده واقعیت است به هنر شخص مربوط می‌شود تا به علم مهندسی طراحی و هیچ پاسخ نهایی ندارند. البته تجربه زمانی که در کنار شناخت صحیح مفاهیم بنیادی قرار بگیرد، می‌تواند کمک بزرگی در این مورد باشد. مثال ۱-۱. مرکز توده یک جسم به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$M\vec{s} = \int_V \vec{r} dm$$

که S و R بردارهایی هستند که در شکل ۱-۱ دیده می‌شوند. مشتق دوم براساس زمان نتایج جالبی را می‌دهد:

$$M\ddot{\vec{s}} = \int_B \ddot{\vec{u}} dm = \int_V \rho \ddot{\vec{u}} dV = \dot{\vec{P}} = \vec{F}$$

که نشان می‌دهد مرکز توده طوری حرکت می‌کند که گویی ذره‌ای بوده که براساس قانون دوم نیوتن سرعت پیدا کرده است. بنابراین، گرچه نمی‌توان از سرعت گرفتن در

همه جای جسم مطمئن بود. ولی این امکان وجود دارد که پس از حرکت مرکز توده جسم اتفاق بیافتد. این شرایط حتی اگر جسم از هم پاشیده شود ثابت می ماند.

یک توده سنگ در رانش زمین به جرم M را در نظر بگیرید و فرض کنید که نیروهای خارجی به این ترتیب باشند:

۱- وزن توده رانشی (W)

۲- نیروهای تماسی مؤثر (R) بین توده رانشی

و توده سنگ اصلی که از آن توده رانشی جدا شده است. نیروی تماسی R ممکن است اصطکاک، ویسکوزیته یا وابسته به جابه جایی باشد. که برابر با $R = R_0 + R_1 ds/dt + R_2 s$ متناسب با سرعت افزایش می یابد، ولی متناسب با جابه جایی مرکز توده کاهش می یابد و در مقابل بردارهای وزن در سطح شیب دار مقاومت می کند. $D = D_0$ براساس نتایج قبلی داریم:

$$F = D - R = M\ddot{s}$$

$$M\ddot{s} + R_1\dot{s} - R_2s = D_0 - R_0$$

که توصیف کننده حرکت مرکز توده رانشی است. ضرایب موجود در این معادله ممکن است به زمان و موقعیت مکانی وابسته باشند. به جز (M) در یک دوره زمانی کوتاه، فرضیه منطقی این است که آنها ثابت هستند. در این صورت شکل راه حل شناخته شده است. شرایط منطقی اولیه آن است که توده رانشی در حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت است. خزش روشی که در مثال ۱-۲ دنبال شده به صورت خیلی فشرده نشان می دهد که چگونه می توان از قوانین فیزیکی (قانون بقای ماده و قانون دوم) با ساده کردن مسئله (فقط فرض شود که مرکز جسم حرکت می کند، بدون توجه به تغییر شکل، تخریب، المان های جداگانه حرکت) و ایده آل کردن ماده (فرضیه شامل مقاومت می شود) به یک شکل ریاضی رسید که بیانگر مسئله اصلی است (دینامیک زمین لغزش) البته ساده سازی یک مفهوم نسبی است. در اینجا ساده سازی فرایندی است که باعث می شود از یک موقعیت طوری تعبیر شود که اطلاعات مفید تولید کند. در این مثال ممکن است اطلاعات مفید به تخمین حرکت توده رانشی مربوط شود که در مقابل با قوانین زون بندی از خطرات زمین شناسی است. با این حال ممکن است موارد پیش بینی شده ای هم وجود داشته باشد. در این مثال تحریک رانش های فاجعه بار زمین، زیر نوسانات سطح که قبلاً ایمن بوده اند با عبارت های فیزیکی ساده غیر قابل فهم می شوند.

۱-۱. یک طراحی عملی

یک فرضیه صحیح در مکانیک سنگ که اغلب در نبود رفتار غیر کشسانی مطرح می‌شود این است که جابه‌جایی‌های بزرگ که همراه با شکست هستند، کنار گذاشته می‌شوند. در چنین شرایطی طراحی اساساً یک تحلیل از ایمنی و ثبات است. بنابراین، یک طراحی عملی، یعنی، محاسبه یک عامل ایمنی متناسب با مسئله پیش رو است.

تعیین یک ضریب ایمنی مناسب، به مسئله بستگی دارد و یک شاخص تجربی برای ایمنی و ثبات است. ایمنی و ثبات معمولاً در مکانیک سنگ به جای یکدیگر استفاده می‌شوند. گرچه در نگاه دقیق آنها هم معنا نیستند. ثبات معمولاً معنای امکان شکست سریع یا آغاز جابه‌جایی‌های بزرگ زیر حد کشسانی را در برمی‌گیرد.

برای مثال، لایه‌های ضخیمی که به طور ناگهانی در نقطه شکست دچار تورق می‌شوند. ایمنی معمولاً استحکام و نزدیکی به حد کشسانی یا نقطه شکست مربوطه است. اگر نیروها در درجه اول اهمیت هستند. پس نسبت نیروهای مقاومت کننده در برابر حرکت به نیروهای محرک یک ضریب ایمنی مناسب است. اگر چرخش در درجه اول قرار دارد نسبت مدت زمان مقاومت به مدت زمان تحریک یک ضریب ایمنی مناسب خواهد بود. وقتی شکست در یک نقطه مورد نظر باشد پس نسبت مقاومت به تنش مصرف یک ضریب ایمنی مفید خواهد بود؛ اگر مقادیر مقاومت و تنش به درستی تعیین شده باشند.

مثال ۱-۲. یک توده سنگ مرتفع را بر روی یک دیواره شیب‌دار در نظر بگیرید که ممکن است برای تأسیساتی که در پایین است، تهدیدی باشد. شاخص مورد قبول پایداری، ضریب ایمنی (FS) است که به صورت نسبت نیروهای رانشی توده به طرف پایین به نیروهای مقاومت کننده در برابر رانش تعریف شود. نشان دهید که ضریب ایمنی بزرگتر از یک بیانگر ایمنی است.

حل: طبق تعریف $FS = R/D$ ، مرکز توده طبق رابطه زیر حرکت می‌کند

$$F = D - R = D(1 - FS) = M\ddot{x}$$

در نتیجه ضریب ایمنی کمتر از ۱ به معنای ناپایداری است، درحالی که ضریب ایمنی بزرگتر از ۱ به معنای پایداری است.

مثال ۱-۳. تمرکز فشار در اطراف یک شفت عمودی موجب تنش فشاری $8/650$ (psi) در دیواره شفت می‌شود که در توده سنگ دارای یک مقاومت فشاری محصور نشده $89/48$ (MPa) است. ضریب ایمنی دیواره شفت را در نقطه مورد نظر تعیین کنید.

حل: ضریب ایمنی مناسب در دیواره شفت برابر با نسبت مقاومت فشاری به تنش است. بنابراین:

$$\begin{aligned}
 FS_c &= \frac{\text{Strength}}{\text{Stress}} \\
 &= \frac{C_o}{\sigma_c} \\
 &= \frac{12,975}{8,650} = \frac{89.48}{59.66} \\
 FS_c &= 1.50
 \end{aligned}$$

۲-۱. حل مسئله

این مطلب بر این اساس است که هرگاه خصوصیت‌های فیزیکی اصلی یک موضوع به خوبی شناخته شود به همان صورت در تعیین نیازهای نگهداری تونل استفاده می‌شود. برای مثال، داشتن اطلاعاتی از مقاومت مواد برای توسعه یک تحلیل کمی کافی است. در کل تأکید بر روی یک روش مهندسی مرحله بندی شده برای حل مسئله است که مستلزم ۱- یک توضیح مختصر اما کامل از آنچه که مورد نظر است.

۲- فهرست داده‌های شناخته شده ثابت

۳- یک نقشه اولیه از سازه برای تحلیل که دقیقاً نشان‌دهنده بارهای اعمال شده و واکنش‌هایی باشد.

۴- معادلات و فرضیات به کار رفته

۵- خلاصه‌ای از مراحل محاسباتی اصلی انجام شده در بدست آوردن نتایج مطلوب که ممکن است برخی از این مراحل ترکیب شده باشند.

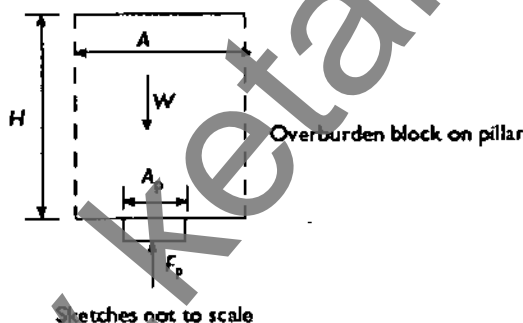
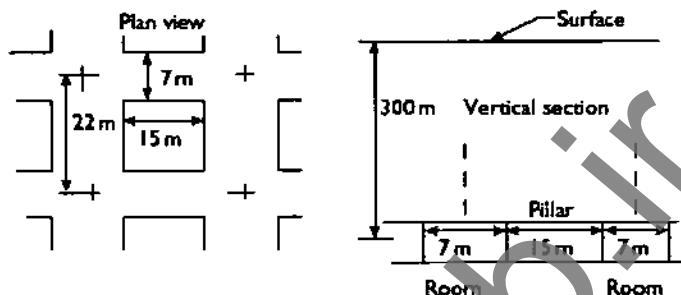
مثال ۴-۱. مجموعه بزرگی از ستون‌های نگهدارنده مربعی شکل در اثر حفاری اتاقک‌هایی در یک لایه افقی ۵ متری در عمق ۳۰۰ متری تشکیل شده است. ستون‌ها عرضی معادل ۱۵ متر دارند که با فواصل مرکز به مرکز ۲۲ متر قرار گرفته‌اند و با فاصله‌های ۲۲ متری از هم هستند. میانگین تنش عمودی را در ستون‌ها تعیین کنید.

حل: در این روش حفاری ستون‌ها مشابه یکدیگرند. بنابراین، با در نظر گرفتن تعادل در یک ستون می‌توان نیروهای تأثیرگذار در تعادل را مشخص کرد. ستون‌ها موادی هستند که پس از حفاری اتاقک‌ها باقی می‌مانند و باید وزن وارد شده را که قبل از حفاری بر روی کل مواد است، تحمل کنند.

۱- نقشه اولیه ژئومتری این مسئله را با یک پلان و مقطع عمودی رسم کنید.

۲- نیروهای متعادل کننده را در جهت عمودی به کار برید. بنابراین $w = F_p$ همان طور که در طرح اولیه دیده می‌شود که w وزن مخصوص (حجم) و F_p میانگین تنش عمودی بر ستون (سطح ستون) است. وزن مخصوص بار بالا سری تقریباً $\frac{KN}{M^3}$ یا ۲۴/۸ یا (۱۵۸ pcf) است.

۳. محاسبات را انجام دهید (۱۵) (۱۵) $S_p = (۲۲) (۲۲) (۳۰۰) (۲۴/۸)$ ؛ بنابراین،
 $S_p = ۱۶ \frac{KN}{m^2}$ یا $(۲/۳۲۰ \text{ psi})$



۳-۱. سیستم واحدها

هیچ کدام از سیستم واحدها از دیگری برتر نیست. گرچه سیستم SI از لحاظ تحلیل ترمودینامیک امتیازهایی نسبت به استفاده از پوند جرم و نیرو به جای واحدهای دیگر دارد. این که چرا از واحدهای جرم در کلاسهای طبقه‌بندی قدیمی مهندسی در آمریکا استفاده می‌شود، همچنان یک راز است و موضوعی مبهم برای بسیاری از دانشجویان مهندسی بوده است. خوشبختانه اکنون بسیاری از متون از واحدهای متریک و واحدهای مهندسی انگلیسی استفاده می‌کنند. هر دوی آنها در این متن نیز به کار رفته‌اند. سرپاراگراف در این دو سیستم قانون دوم نیوتن به صورت $F=ma$ است. F حاصل نیروهای خارجی (پوند یا نیوتن)، m جرم (کیلوگرم، اسلاگ) و a شتاب $(\frac{\text{فوت}}{\text{ثانیه}^۲}, \frac{\text{متر}}{\text{ثانیه}^۲})$ است. نیروی یک پوند زمانی ایجاد می‌شود که جرمی به اندازه ۱ اسلاگ شتابی به اندازه ۱ فوت در مجذور ثانیه داشته باشد. $۱ \text{ lbf} = 5 \text{ mg} - \frac{f^t}{5^2}$ و یک اسلاگ برابر با $۳۲/۱۷۴$ پوند جرم و

$1 \text{ lbf} = 1 \text{ lbfm} - \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$ نیروی ۱ نیوتن زمانی به وجود آید که جرمی به اندازه ۱ کیلوگرم

شتابی به اندازه ۱ متر بر مجذور ثانیه داشته باشد. بنابراین $1 \text{ N} = \text{kg} - \text{m/s}^2$ گاهی هر دو واحد استفاده می‌شوند. همانند مثال ۴-۱ و یکی در پراترز قرار می‌گیرد. جدول داده‌ها ممکن است با هر دو سیستم داده شود. گاهی ضرایب تبدیل این واحدها به یکدیگر، وقتی یکی از داده‌ها در سیستم دیگری است، داده می‌شود اما رایج نیست. برخی ضرایب تبدیل در جدول ۱-۱ آمده است.

مثال ۱-۵. تخمین فشار عمودی قبل از حفاری ۱ psi به ازای هر فوت عمق است. این تخمین براساس بار بالا سری فرضی با وزن مخصوص ۱۴۴ پوند برفوت مکعب است. یک برآورد بهبود یافته از ۱۵۸ پوند برفوت مکعب یا ۱/۱ (psi) استفاده خواهد کرد. یعنی $S_v = 1/1 \text{ h}$ که S_v فشار عمودی با واحد psi و h ارتفاع با واحد فوت است. این معادله آخر را اصلاح کنید تا S_v به صورت کیلو نیوتن بر متر مربع و ارتفاع بر متر باشد. حل: این برآورد دقیقاً به صورت زیر است:

در نتیجه

$$S_v (\text{kN/m}^2) = 1.1 (\text{psi/ft}) \quad 6894.9 (\text{N/m}^2/\text{psi}) \quad 3.28 (\text{ft/m}) \quad 10^{-3} (\text{kN/N}) \quad h (\text{m}),$$

$$S_v (\text{kN/m}^2) = 24.9 h (\text{m}).$$

جدول ۱-۱. ضرایب تبدیل

Feet (ft) ^b	0.3048	Meters (m)
Inches (in.)	2.54	Centimeters (cm)
Meters (m)	3.2808	Feet (ft)
Centimeters (cm)	0.3937	Inches (in.)
Pound force (lbf)	4.4482	Newton (N) ^c
Newton (N)	0.2248	Pound force (lbf)
lbf/square inch (psi)	6894.8	Newton/square meter
Newton/square meter	1.4504 (10 ⁻⁴)	lbf/square inch (psi)
lbf/ft ³ (pcf)	157.09	N/m ³
N/m ³	6.366 (10 ⁻³)	lbf/ft ³ (pcf)

توجه:

a واحدهایی که در سمت چپ آمده توسط ضرایب تبدیل در ستون وسط به واحدهایی که در سمت راست آمده است، تبدیل می‌شود.

b همه واحدها به جز اینچها دارای مخفف‌هایی هستند.

با استفاده از جدول ۱-۱ و داده‌های ارائه شده ۱۵۸ (پوند برفوت مکعب) در ۱۵۷/۰۹ برابر با 10^3 (۲۴/۸ نیوتن بر متر مربع یا ۲۴/۸ کیلو پاسگال با خطای رند کردن بدست می‌آید.

مثال ۲-۶ با توجه به جرم مخصوص نمونه سنگ به اندازه ۲/۶۷، وزن مخصوص آن را در واحد lbf/ft^3 و KN/m^3 محاسبه کنید؟

حل: طبق تعریف جرم مخصوص، نسبت جرم جسم به جرم آبی است که همان حجم را در همان دما اشغال می‌کند. این تعریف نسبت چگالی جرم ماده مورد نظر به چگالی جرم آب در دمای داده شده است. بنابراین $SG = \rho/\rho_w$. همچنین طبق تعریف وزن مخصوص γ برابر با وزن ۱ واحد حجم از آن ماده به وزنی است که نیروی جاذبه بر آن جرم اثر می‌گذارد به طوری که $\Delta\gamma = pg$ است.

۱-۴. اطلاعات اولیه

اطلاعات اولیه مورد نظر قطعاً شامل متون فنی مکانیک سنگ و داده‌هایی در مورد ویژگی‌های سنگ در تحلیل طراحی است.

علم مکانیک سنگ

بنابراین $\Delta\gamma = pg = (SG)(\rho_w)g = (SG)(\gamma_w)$ که آخرین فرمول مربوط به وزن مخصوص آب می‌شود که برابر با $62/43$ پوند بر فوت مربع است. در نتیجه

$$\gamma = 2/67 (62/43) = 167 \text{ lbf/ft}^3$$

$$\gamma = (167 \text{ lbf/ft}^3) (157/0.9) (1 - 0.2) = 262 \text{ KN/m}^3$$

داریم:

دانش اولیه مکانیک سنگ شامل مطالبی است که براساس مقاومت مواد، مکانیک مواد، تئوری کشسانی و مکانیک پیوستار پیوسته را ایجاد می‌کند. همچنین مراجع کاری در مکانیک سنگ را نیز شامل می‌شود. فهرست کاملی از مراجع در پیوست A آمده است. همچنین فهرستی از مراجع ذکر شده در این متن وجود دارد.

خصوصیات مکانیکی سنگ

اطلاعات لازم در مورد خصوصیات سنگ، برای تحلیل طراحی مهندسی را می‌توان در مقالات یا کتاب‌های مرجع مختلف پیدا کرد. برخی مشاهدات در داده‌های آزمایشگاهی خصوصیات سنگ مورد بحث در این قسمت است. مهمترین خصوصیات سنگ در مهندسی طراحی مدول الاستیسیته و مقاومت‌ها در سنگ بکر و سختی و مقاومت درزه‌ها است. سایر خواص مثل هدایت حرارتی ممکن است در موارد خاص لازم شود. مباحث دیگر شامل سنگ بکر، درزه‌های سنگ، مدول الاستیسیته، مقاومت‌ها و شکست بحرانی در پیوست B آمده است.

۵-۱. مسائل

- ۱-۱. مبانی سه دسته اصلی معادلات را مشخص کنید که پایه محاسبات حرکت سنگ را تشکیل می‌دهند. برای هر کدام مثالی به صورت معادله ارائه کنید؟
- ۲-۱. اگر p چگالی جسم باشد، توضیح دهید چرا بقای جرم به صورت زیر برای جسمی به جرم M که حجم V را اشغال می‌کند، بیان می‌شود.

$$\dot{M} = \int_V \dot{\rho} dV$$

- ۳-۱. دو نوع نیروی خارجی شناخته شده در مکانیک را نام ببرید و مثالی برای هر کدام بزنید.

- ۴-۱. قطعه سنگ بزرگی در زمان انفجار یک معدن رو باز پرتاب می‌شود. با استفاده از تعریف مرکز جرم و قانون دوم نیوتن نشان دهید که مرکز این جرم حتی اگر به 1001 تکه با اندازه‌ها و شکل‌های مختلف تبدیل شود، همان مسیر را طی خواهد کرد.

- ۵-۱. فرض کنید یک ضریب ایمنی استاتیکی به صورت نسبت نیروهای مقاوم بر نیروهای محرک تعریف شود $FS = \frac{R}{Q}$ نشان دهید که ضریب ایمنی کمتر از ۱ به معنای شرایط مناسب برای حرکت است.

- ۶-۱. فرض کنید یک نمونه آزمایشگاهی ماسه سنگ استوانه‌ای با قطر D و ارتفاع L تحت بار عمودی F (نیرو) قرار گیرد.

- الف - نیروهای نرمال N و مماسی T که بر روی سطحی شیب دار با زاویه θ نسبت به محور عمود عمل کند را پیدا کنید.

- ب - تنش‌ها که عملکرد نیروها به ازای واحد سطح است، σ و τ بردار یک سطح شیب‌دار به صورت تنش $\sigma = (F/A)$ است که A مساحت و F نیروی عمل‌کننده باشد. نقشه اولیه آن را رسم کنید. توجه کنید که سطح شیب‌دار بیضی شکل است و مساحت πab دارند و a و b محورهای بیضی‌اند.

- ۷-۱. یک مکعب مربع با طول D و ارتفاع L تحت بار عمودی F در بعد بالا و پایین و فشار افقی P بر اطراف مکعب قرار می‌گیرد.

- الف - نیروهای نرمال N و مماسی T بر روی سطحی با زاویه θ نسبت به سطح عمود عمل می‌کنند که در صفحه‌ای موازی با یک طرف مکعب را پیدا کنید.

- ب - تنش‌ها نیروهایی به ازای واحد سطح هستند، σ و τ بردار یک سطح شیب‌دار به صورت تنش $\sigma = (F/A)$ است و فشار P که A سطح و F نیروی عمل‌کننده است. نقشه

اولیه را نیز ترسیم کنید.

۸-۱ آیا معادله زیر یک قانون فیزیکی، رابطه کینماتیک یا قانون ماده است؟

$$Ms = \int_V r dm$$

که M برابر جرم جسم در حجم V ، dm برابر با یک المان جرم، r برابر با موقعیت بردار dm و S برابر با موقعیت

۹-۱ آیا معادله زیر یک قانون فیزیکی، رابطه کینماتیک یا قانون ماده است؟

$$\dot{\sigma} = \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

۱۰-۱ قانون دارسی برای جریان سیال در محیط متخلخل سرعت نشت θ و گرادیان هیدرولیکی h از طریق ثابت k مربوط می‌کند. بنابراین آیا $\theta = kh$ یک قانون فیزیکی، رابطه کینماتیک یا قانون ماده است؟

مروری بر تنش

۱۱-۱ یک وضعیت دو بعدی تنش را در صفحه $x-y$ در نظر بگیرید که مشخصات زیر را داشته باشد. تمامی واحدها psi هستند و تنش مثبت است. بزرگی و جهت تنش‌های اصلی را پیدا کنید و با نقشه آن را ترسیم کنید؟

$$\sigma_{xx} = 2,500 \quad \sigma_{yy} = 5,200 \quad \tau_{xy} = 3,700$$

۱۲-۱ با توجه به وضعیت تنش در مسئله ۱۱-۱ بزرگی و جهت حداکثر تنش برشی را پیدا و نقشه آن را ترسیم کنید؟

۱۳-۱ یک وضعیت تنش دو بعدی را در صفحه $x-y$ با مشخصات زیر در نظر بگیرید که واحدها مربوط به مگاپاسکال بوده و تنش مثبت است. بزرگی و جهت تنش‌های اصلی را پیدا کنید و نقشه آن را ترسیم کنید؟

$$\sigma_{xx} = 17.24 \quad \sigma_{yy} = 35.86 \quad \tau_{xy} = 25.52$$

۱۴-۱ با توجه به شرایط تنش در مسئله ۱۳-۱ بزرگی و جهت حداکثر تنش برشی را پیدا کنید و نقشه آن را ترسیم کنید.

۱۵-۱ فرض کنید که تنش‌های برشی در τ_{yy} و جهت Z τ_{yz} صفر باشد در حالی که تنش نرمال σ_{zz} در جهت Z برابر با 4000 psi باشد، تنش‌های اصلی بزرگ، متوسط و کوچک را پیدا کنید.

$$\sigma_{xx} = 2,500 \quad \sigma_{yy} = 5,200 \quad \tau_{xy} = 3,700$$

۱۶-۱ با مراجعه به مسئله ۱۵-۱ بزرگی حداکثر تنش برشی را پیدا کنید و با نقشه آن را ترسیم کنید. جهت‌گیری صفحه‌ای که روی آن عمل می‌کند چگونه است؟

۱۷-۱ فرض کنید که مقادیر زیر به صورت مگاپاسکال بوده و تنش‌های اصلی برشی

در جهت Z (τ_{zx}, τ_{zy}) درحالی که تنش نرمال در جهت z برابر با $27/52$ مگاپاسکال است. تنش‌های اصلی بزرگ، متوسط و کوچک را پیدا کنید.

$$\sigma_{xx} = 17.24 \quad \sigma_{yy} = 35.86 \quad \tau_{xy} = 25.52$$

۱۸-۱. با مراجعه به مسئله ۱۷-۱ بزرگی حداکثر تنش برشی را پیدا کنید و با جهت‌گیری صفحه‌ای که روی آن عمل می‌کند با نقشه مشخص کنید که چگونه است؟
۱۹-۱. یک شرایط تنش دو بعدی را در صفحه $x-y$ با مشخصات زیر در نظر بگیرید، واحدها به psi بوده و کشش مثبت است. بزرگی و جهت تنش‌های اصلی را پیدا کرده و با نقشه آن را ترسیم کنید؟

$$\sigma_{xx} = 5,200 \quad \sigma_{yy} = 2,500 \quad \tau_{xy} = -3,700$$

۲۰-۱. یک شرایط تنش دو بعدی را در صفحه $x-y$ با مشخصات زیر در نظر بگیرید و همه واحدها به مگاپاسکال بوده و کشش مثبت است. بزرگی و جهت تنش‌های اصلی را پیدا کرده و با نقشه آن را ترسیم کنید؟

$$\sigma_{xx} = 35.86 \quad \sigma_{yy} = 17.24 \quad \tau_{xy} = -25.52$$

۲۱-۱. یک شرایط تنش سه بعدی را با مشخصات زیر در نظر بگیرید و همه واحدها به psi بوده و تنش فشاری مثبت است. بزرگی و جهت تنش‌های اصلی را پیدا کرده و نقشه آن را ترسیم کنید.

$$\sigma_{xx} = 3,000 \quad \sigma_{yy} = 2,000 \quad \tau_{xy} = 0$$

$$\sigma_{zz} = 4,000 \quad \tau_{zx} = 0 \quad \tau_{zy} = 2,500$$

۲۲-۱. با توجه به شرایط تنش در مسئله ۲۲-۱، شرایط تنش مربوط به محورهای abc با چرخش 30° درجه خلاف عقربه ساعت در اطراف محور Z را پیدا کنید؟
۲۳-۱. یک شرایط تنش سه بعدی با مشخصات زیر را در نظر بگیرید. همه واحدها به مگاپاسکال بوده و تنش فشاری مثبت است. بزرگی و جهت تنش‌های اصلی را پیدا کرده و نقشه آن را ترسیم کنید؟

$$\sigma_{xx} = 20.69 \quad \sigma_{yy} = 13.79 \quad \tau_{xy} = 0.0$$

$$\sigma_{zz} = 27.59 \quad \tau_{zx} = 0.0 \quad \tau_{zy} = 17.24$$

۲۴-۱. با توجه به شرایط تنش در مسئله ۲۳-۱، شرایط تنش مربوط به محورهای abc با چرخش 30° درجه خلاف عقربه ساعت در اطراف محور Z را پیدا کنید؟

۲۵-۱. مشخص کنید در شرایط دو بعدی که تنش نرمال $\sigma_m = (\sigma_{xx} + \sigma_{yy})/2$ تحت چرخش محورهای مرجع بدون تغییر ماندن تنش و برابر با نصف مجموع تنش‌های اصلی بزرگ و کوچک در صفحه مورد نظر است. در این مسئله بدون تغییر ماندن تنش یعنی مستقل بودن از بزرگی زاویه چرخش است.

$$\tau_m = \left\{ \left[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})/2 \right]^2 + (\tau_{xy})^2 \right\}^{1/2}$$

۲۶-۱. مشخص کنید در شرایط دو بعدی که حداکثر تنش برشی تحت چرخش محوره‌های مرجع بدون تغییر بوده و برابر با نصف اختلاف فشارهای اصلی بزرگ و کوچک در صفحه مورد نظر است؟

۲۷-۱. یک مغزه حفاری با اندازه NX قطر ۵/۴ سانتی متر و ۲-۱/۸ اینچ با نسبت طول به قطر ۲ تحت بار محوری ۳۵۴۶۶ پوند (۱۵۸/۸۹ کیلو نیوتن) در نظر بگیرید، پیدا کنید:

۱- شرایط تنش را در نمونه گرفته شده که به سیستم استوانه مختصات $(r\theta g)$ مربوط می‌شود را پیدا کنید؟

۲- شرایط تنش متناسب با مجموع abc محورها همراه با صفحه‌ای که در جهت شمال قرار می‌گیرد و ۶۰ درجه به طرف شرق منحرف می‌شود. محور c نسبت به این صفحه نرمال است، محور b موازی با strike و محور a شیب به طرف پایین دارد. از معادلات انتقالی استفاده کنید؟

۳- با تفکیک مستقیم اجزای نیرو و محاسبه سطح نشان دهید که تنش نرمال (σ_{cc}) بر روی صفحه در بخش ۲ مشابه با تنش داده شده، توسط معادلات انتقالی است.

۴- آیا تنش برشی (τ_{ac}) بر روی صفحه بخش ۲ مشابه با نیروها و سطح به کار رفته در معادلات انتقالی است؟ چرا؟

بازنگری کرنش و الاستیسیته

۲۸-۱. ابزارهای اندازه‌گیری‌های کرنش در رنج گسترده‌ای ساخته شده‌اند، یک فلت بنچ در یک طرف معدن سنگ کوآرری با یک فولد ۹۰-۴۵- مفید است. گیج صفر در جهت N60E تنظیم شده است. وزن مخصوص سنگ (یک تراکمیت برابر ۱۶۲ پوند بر فوت مکعب $(۲۵/۶)$ کیلو نیوتن بر متر مکعب) است. مدول یانگ (گیگا پاسکال $۸۷/۵۹$ psi) $E = ۱۲/۷(۱۰^۶)$ و نسبت پوسیون $\nu = ۰/۲۷$ است. تنش کششی مثبت فرض شده است کرنش‌های محاسبه شده در میکرو یونیت‌ها به ازای هر واحد به صورت زیر است:

$$\epsilon(0) = -1480, \quad \epsilon(45) = -300, \quad \epsilon(90) = -2760$$

موارد زیر را پیدا کنید:

۱. کرنش‌های E_{xx} , E_{yy} , E_{xy} (تانسور کرنش برشی)
۲. تنش‌های σ_{xx} , τ_{yz} , τ_{zx} (به پوند اینچ مربع و مگا پاسکال)
۳. تنش‌های σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{yx} (به پوند اینچ مربع و مگا پاسکال)
۴. کرنش E_{xx} (میکرو اینچ به اینچ یا mm/mm)

۵. کرنش‌های E_{zx} و E_{yz} (تانسور کرنش‌های برشی)

۶. میزان تنش‌های اصلی $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ که $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ (کشش مثبت است) و نقشه آن را ترسیم کنید.

۷. جهت تنش‌های اصلی $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ که $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ (کشش مثبت است)

۸. میزان کرنش‌های اصلی $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$

۹. جهت‌های کرنش‌های اصلی را با ترسیم نقشه نشان دهید.

۱۰. تغییر σ در حجم بر حجم واحد اگر تنش‌ها به طور کلی کاهش پیدا کنند که این کاهش تا صفر ادامه یابد.

۱۱-۲۹. با توجه به تنش‌های زیر که به psi هستند و x که نشان‌دهنده شرق y شمال و z جهت بالا باشد. تنش فشاری مثبت است. تنش‌های اصلی ثانویه را در صفحه zx پیدا کرده و ترسیم کنید.

$$\sigma_{xx} = 1,500 \quad \sigma_{yy} = -2,000 \quad \sigma_{zz} = 3,500$$

$$\tau_{xy} = 600 \quad \tau_{yz} = -300 \quad \tau_{zx} = -500$$

۱۲-۳۰. با توجه به تنش‌های زیر که به مگا پاسکال هستند و x نشانگر جهت شرق، y جهت شمال و z جهت بالا است. تنش فشاری مثبت است. تنش‌های اصلی ثانویه را در صفحه zx پیدا کرده و نقشه آن را ترسیم کنید؟

$$\sigma_{xx} = 10.35 \quad \sigma_{yy} = -13.79 \quad \sigma_{zz} = 24.14$$

$$\tau_{xy} = 4.14 \quad \tau_{yz} = -2.07 \quad \tau_{zx} = -3.45$$

۱۳-۳۱. با توجه به کرنش‌های داده شده در زیر که x نشانگر جهت شرق، y جهت شمال و z جهت رو به بالا است، تنش فشاری مثبت است. واحدها به میکرواینچ به اینچ هستند، مدول یانگ برابر با (10^6) پوند مجذور اینچ و مدول برشی برابر (10^6) پوند بر مجذور اینچ است. تنش‌های وابسته به یک رفتار الاستیک ایزوتروپیک، همگن و خطی را پیدا کنید؟

$$\epsilon_{xx} = 2,000 \quad \epsilon_{yy} = 3,000 \quad \epsilon_{zz} = 4,500$$

$$\gamma_{xy} = -200 \quad \gamma_{yz} = 300 \quad \gamma_{zx} = 225$$

۱۴-۳۲. یک نمونه آزمایشی استوانه‌ای را تحت فشار محصورکننده 3000 psi و تنش محوری 3000 psi با در نظر گرفتن تنش فشاری مثبت به طوری که پارامترهای نمونه استوانه‌ای به صورت زیر باشد:

$$\sigma_{zz} = 3000 \quad \sigma_{rr} = 3000 \quad \sigma_{\theta\theta} = 3000$$

$$\tau_{rz} = 0.0 \quad \tau_{z\theta} = 0.0 \quad \tau_{\theta r} = 0.0$$

۱. موارد زیر را پیدا کنید؟ $\epsilon_{rr}, \epsilon_{zz}, \epsilon_{\theta\theta}, \gamma_{rz}, \gamma_{z\theta}, \gamma_{\theta r}$

۲. تنش محوری σ_{zz} لازم به منظور جلوگیری از ایجاد کرنش محوری.

۳. انرژی کرنش و چگالی انرژی کرنش. اگر نمونه آزمایش یک مغز NX با نسبت ارتفاع به قطر ۲ باشد. توجه: $E = 2.4 \times 10^6$ psi و $\theta = 0.1$ و نمونه ایزوتروپیک است.

۳.۱- با توجه به کرنش‌هایی که در زیرآمده و x نشانگر جهت شرق، y جهت شمال و z جهت رو به بالا است (تنش فشاری مثبت است) واحدها میکرو اینچ به اینچ هستند، مدول یانگ ۳۴/۴۸ گیگا پاسکال و مدول برشی ۱۳/۷۹ گیگا پاسکال، تنش‌های مربوط به واکنش کشسانی خطی، همگن و ایزوتروپیک را پیدا کنید؟

$$\epsilon_{xx} = \dots \quad \epsilon_{xy} = 3000 \quad \epsilon_{zz} = 4500$$

$$\gamma_{xy} = -200 \quad \gamma_{yz} = 300 \quad \gamma_{zx} = 225$$

۳.۴-۱. یک نمونه آزمایش استوانه‌ای را تحت فشار محصورکننده ۲۰/۶۹ مگاپاسکال و تنش محوری ۲۰/۶۹ مگاپاسکال (تنش فشاری مثبت است) را در نظر بگیرید. به طوری که پارامترها نمونه استوانه‌ای به صورت زیر وجود داشته باشد.

$$\sigma_{zz} = 20.69 \quad \sigma_{rr} = 20.69 \quad \sigma_{\theta\theta} = 20.69$$

$$\tau_{rz} = 0.0 \quad \tau_{z\theta} = 0.0 \quad \tau_{\theta r} = 0.0$$

۱- پیدا کنید؟ $\epsilon_{rr}, \epsilon_{zz}, \epsilon_{\theta\theta}, \gamma_{rz}, \gamma_{z\theta}, \gamma_{\theta r}$

۲- تنش محوری σ_{zz} لازم به منظور جلوگیری از کرنش محوری.

۳- انرژی کرنش و چگالی انرژی کرنش. اگر نمونه آزمایش یک مغزه NX با نسبت ارتفاع به قطر ۲ باشد. توجه: $E = 16/55$ گیگا پاسکال و $\theta = 0.1$ و نمونه ایزوتروپیک است.

۳.۵-۱. ثابت کنید: فقط تحت کرنش جنبی و بار رزنی، تنش نرمال عمودی در یک ناحیه همگن، ایزوتروپیک الاستیک خطی در عمق Z از سطح زمین با تنش فشاری مثبت برابر $\gamma_{z\theta}$ است و تنش نرمال افقی برابر با حاصل ضرب $(\theta/1 - \theta)$ در تنش عمودی است که θ نسبت پواسون است.

۳.۶-۱. یک استوانه آزمایش به اندازه NX را با نسبت L/D به اندازه ۱ و مدول یانگ ۱۰ میلیون پوند بر مجذور اینچ نسبت پواسون ۰/۳۵ که مقاومت فشاری تک محوری برابر ۰/۱٪ کرنش است و در این تعداد کرنش نمونه می‌شکند، پیدا کنید.

۱. بار محوری (KN) و تنش محوری در هنگام شکست (مقاومت فشاری نامحصور کننده به psi)

۲. جابه‌جایی نسبی دو سر استوانه در هنگام شکست (به اینچ)

۳.۷-۱. یک استوانه آزمایش به اندازه NX را با نسبت $\frac{L}{D} = 2$ مدول یانگ ۶۸/۹۷ گیگا

پاسکال، نسبت پواسون 0.35 مقاومت فشاری تک محوری برابر 0.1% کرنش است و در این مقدار کرنش نمونه می شکند. پیدا کنید:

۱. بار محوری و تنش محوری در هنگام شکست (مقاومت فشاری نامحصورکننده به psi)

۲. جابه‌جایی نسبی دو سر استوانه در هنگام شکست (به اینچ)

۳۸-۱. بار وزنی تحت کرنش دوباره جانبی در زمین‌های لایه‌لایه‌ای مسطح را در نظر بگیرید که هر لایه دارای خصوصیات همگن، ایزوتروپیک و الاستیک خطی است. (فرض کنید تنش فشاری مثبت و θ نسبت پواسون، z عمق، γ متوسط وزن مخصوص لایه‌ها است) یک ماسه سنگ آبدار به ضخامت 250 فوت در عمق 1300 فوت قرار دارد. فشار آب در بالای ماسه سنگ 80 psi است. تنش‌های کل و مؤثر را در مرکز ماسه سنگ پیدا کنید.

۳۹-۱. بار وزنی تحت کرنش دوباره جانبی در زمین‌های لایه‌لایه‌ای مسطح را در نظر بگیرید که هر لایه همگن، ایزوتروپیک و الاستیک خطی است: (فرض کنید تنش فشاری مثبت، θ نسبت پواسون، γ متوسط وزن مخصوص لایه‌هاست) یک ماسه سنگ آبدار به ضخامت $76/2$ متر در عمق 396 متر قرار دارد. فشار آب در بالای ماسه سنگ 552 کیلو پاسکال است. تنش‌های کل و مؤثر را در مرکز ماسه سنگ پیدا کنید؟

۴۰-۱. بار وزنی تحت کرنش دوباره جانبی کامل در زمین‌های لایه‌لایه‌ای مسطح با خصوصیات جدول ۲-۱ را در نظر بگیرید. تنش عمودی در بالای ستون زمین‌شناسی داده شده در جدول ۲-۱ برابر با 1000 psi است. (تنش فشاری مثبت، γ وزن مخصوص، h ضخامت E مدول یانگ و G مدول برشی) تنش افقی در کف ماسه سنگ و بالای سنگ آهکی را پیدا کنید.

۴۱-۱. بار وزنی تحت کرنش دوباره جانبی در زمین‌های لایه‌لایه‌ای مسطح با خصوصیات جدول ۳-۱ را در نظر بگیرید. تنش عمودی در بالای ستون زمین‌شناسی داده شده در جدول ۳-۱ برابر با $6/9$ مگاپاسکال است. (تنش فشاری مثبت، SG چگالی، h ضخامت، E مدول یانگ و G مدول برشی). تنش افقی در کف ماسه سنگ و بالای سنگ آهکی را پیدا کنید؟

۴۲-۱. با اندازه‌گیری تنش در گمانه‌ای اکتشافی در عمق 500 متری ($1/640$ فوت) نشان می‌دهد که تنش افقی سه برابر تنش عمودی است و این که تنش عمودی متناسب با برآوردی براساس وزن بار اضافی که به تنهایی برابر با 25 کیلو پاسکال به ازای هر متر عمق است (101 پوند بر مجذور اینچ به ازای هر فوت عمق). مقدار تنش افقی مربوط به وزن و سایر نیروها را برآورد کنید؟