
بسم الله الرحمن الرحيم

شرح جامع

زمین شناسی ساختمانی

«زمین شناسی»

مولفان: حسین میرزینلی – محسن پورکرمانی

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

پیشگفتار مولف

به یاری خداوند متعال بر آن شدیم تا در راستای یاری رسانی به دانش‌پژوهان و دانشجویانی که در پی کسب مدارج علمی بالاتر بوده و قصد شرکت در آزمون‌های کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی ساختمانی را دارند گامی مؤثر برداشته و مسیری شاید سهل‌تر برای دست‌یابی به هدف بر ایشان فراهم آوریم.

کتاب شرح جامع زمین‌شناسی ساختمانی مجموعه‌ای است که هرچند مختصر ولی تقریبا جامع به بررسی مسائل زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک در مقطع کارشناسی پرداخته است. در این کتاب سعی شده توجه بیشتری بر مطالب و نکاتی که در آزمون‌ها به آن بیشتر پرداخته شده است، مبذول گردد و در عین حال پیوستگی و یکپارچگی مطالب نیز حفظ شود.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که لزوم استفاده دانشجویان از کتاب‌ها و منابع اصلی و مطالعه کامل آن‌ها همچنان وجود دارد و دانشجویان بایستی برای تفهیم مطالب و تسلط بر آن‌ها از کتاب‌های منتشر شده که به عنوان منابع درسی موجود می‌باشند استفاده نمایند.

امید است خوانندگان گرامی از این کتاب بهره کافی را برده و ما را از نقطه نظرات خود در مورد این مجموعه آگاه سازند.

مؤلفین

اسفند ماه ۱۳۸۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: تنش

۱-۱- تعریف ۱۱
۱-۲- مؤلفه‌های تنش ۱۱
۱-۳- تنشهای اصلی ۱۱
۱-۴- محاسبه تنش در یک توده ۱۲
۱-۴- دایره مور درحالت‌های مختلف تنش ۱۳
۱-۵- تنش میانگین و تنش انحرافی ۱۴
۱-۶- تنش برشی و مقاومت برشی سنگها ۱۵
۱-۷- نقش فشار منفذی در شکست سنگ ۱۶
۱-۸-رسم دایره مور به کمک ماتریس تنش ۱۶
خلاصه فصل ۱۸

فصل دوم: واتنش

۲-۱- تعریف ۲۳
۲-۲- تغییر شکل همگن و ناهمگن ۲۴
۲-۳- پارامترهای واتنش ۲۵
۲-۴- محورهای اصلی استرین و بیضوی استرین ۲۶
۲-۵- تغییر شکل تدریجی و استرین نهایی ۲۶
۲-۶- نمایش ترسیمی استرین همگن ۲۷
۲-۷-میدان‌های بیضوی واتنش و مفهوم زمین شناسی آنها ۲۹
۲-۸- دایره مور در واتنش ۳۱
۲-۹-رفتار مواد در مقابل تنش ۳۲
۲-۱۰- عوامل موثر در رفتار سنگ‌ها در برابر تنش ۳۴
خلاصه فصل ۳۶

فصل سوم: چین خوردگی

۳-۱- مفهوم چین ۴۱
۳-۲- عناصر چین ۴۱
۳-۳- انواع متداول چین ۴۲
۳-۴- طبقه بندی چین ها ۴۳
۳-۵- ریز چین‌ها و کاربرد آنها ۴۸
۳- ۶- الگوهای تداخلی چین‌ها ۴۹
۳-۷- سازوکار چین خوردگی ۵۰
خلاصه فصل ۵۳

عنوان **صفحه**

فصل چهارم: گسل‌ها

۴-۱- تعریف ۵۹
۴-۲- ویژگی هندسی گسل‌ها ۵۹
۴-۴- طبقه بندی گسلها بر اساس زاویه ریک ۶۳
۴-۵- طبقه بندی پویایی آندرسن از گسلش ۶۳
۴-۶-پدیده‌های مهم ناشی از روراندگی‌ها ۶۴
۴-۷- ساختارهای مرتبط با گسل‌های راستالغز ۶۵
۴-۸- سنگ‌های گسلی ۶۷
۴-۹- مناطق برشی ۶۸
۴-۱۰- تحلیل استریوگرافیک گسلها ۷۰
خلاصه فصل ۷۲

فصل پنجم: درزها، رگه‌ها و استیلولیت‌ها

۵-۱- مقدمه ۷۷
۵-۲- انواع درزها ۷۷
۵-۳-عوامل تکتونیکی ایجاد کننده درزها ۷۷
۵-۴- فرآیندهای غیرتکتونیکی ایجاد درزها ۷۹
۵-۵- رگه ها ۷۹
۵-۶- استیلولیت‌ها ۸۰

فصل ششم: تورق

۶-۱- تعریف ۸۵
۶-۲- انواع تورق ۸۵
۶-۳- ارتباط کلیواژ اسلیتی با چین خوردگی ۸۷

فصل هفتم: خطواره‌ها

۷-۱- تعریف ۹۳
۷-۲- انواع خطواره‌ها ۹۳
۷-۳- رابطه خطواره‌ها با چین‌ها ۹۶
۷-۴- سازوکار تشکیل خطواره ها ۹۶

فصل هشتم: ناپیوستگی‌ها

۸-۱- تعریف ۱۰۱
۸-۲- انواع ناپیوستگی ۱۰۱
۸-۳- علائم شناسائی ناپیوستگیها ۱۰۲
۸-۴- اشکوب زمین ساختی ۱۰۳

فصل نهم: گنبد نمکی

۹-۱- تعریف ۱۰۹
۹-۲- مراحل تشکیل ساختمان گنبد نمکی ۱۰۹

۹-۳- ساخت‌های ایجاد شده پیرامون گنبدهای نمکی ۱۱۰
۹-۴- خصوصیات چینه شناسی سازند هرمز ۱۱۰

فصل دهم: نقشه‌ها و استریونت

۱۰-۱- تعریف ۱۱۷
۱۰-۲- خطوط امتدادی نقشه ها ۱۱۷
۱۰-۳- تصاویر استریوگرافی ۱۲۱

فصل اول

تنش

عناوین اصلی

- تعریف تنش
- مؤلفه‌های تنش
- تنش‌های اصلی
- محاسبه تنش
- دایره مور در حالت‌های مختلف تنش
- تنش میانگین، انحرافی و تنش برشی
- نقش فشار منفذی در شکست سنگ
- نحوه رسم دایره مور به کمک ماتریس تنش

فصل اول

تنش

۱-۱- تعریف

تنش یک کمیت برداری است و عبارتست از نسبت نیرو بر واحد سطح که سبب تغییر شکل سنگها می‌گردد. تنش را در حالت عمومی با حرف " σ " نشان می‌دهند و با رابطه روبرو نشان می‌دهند. $\sigma = \frac{F}{A}$

واحد اندازه گیری تنش در سیستم SI، نیوتن بر متر مربع ($\frac{N}{M^2}$) یا پاسکال (Pa) است که بدلیل کوچک بودن این واحد از مقادیر بزرگتر آن یعنی کیلو پاسکال(KPa) مگاپاسگال(MPa) و گیگاپاسکال(GPa) استفاده می‌شود. دیمانسیون تنش در فیزیک $ML^{-1}T^{-2}$ می‌باشد.

در علم فیزیک پارامتر فشار نیز با همین رابطه بیان می‌شود با این تفاوت که فشار یک پارامتر عددی یا اسکالر می‌باشد ولی تنش برداری است. کمیتهای برداری با چهار خصوصیت عمومی راستا، مقدار یا بزرگی، جهت و نقطه اثر مشخص می‌شوند.

۱-۲- مؤلفه‌های تنش

تنش یک تنسور مرتبه ۳ می‌باشد یعنی اینکه بردار تنش در هر نقطه را می‌توان به یک مولفه تنش عمودی و دو مولفه تنش مماسی تجزیه کرد. مولفه عمودی تنش را تنش نرمال یا قائم می‌نامند و با حرف " σn " نشان می‌دهند. مولفه‌های مماسی تنش را تنش برشی نیز می‌گویند و باحرف " σs " یا " τ "نشان می‌دهند.

تنش‌های نرمال می‌توانند بصورت فشارشی یا کششی عمل کنند که براساس قرارداد، تنش نرمال فشارشی را با علامت مثبت و تنش نرمال کششی را با علامت منفی نشان می‌دهند.

تنش فشارشی در اثر اعمال نیروهای فشاری در جسم بوجود می‌آید و باعث فشرده شدن ذرات جسم می‌شود و تنش کششی بر اثر اعمال نیروهای کششی در جسم ایجاد می‌گردد و در آن ذرات جسم از هم دور می‌شوند.

تنش‌های برشی که باعث می‌شوند ذرات جسم نسبت بهم بلغزند بدو صورت راستگرد و چپگرد روی جسم اثر می‌گذارند. تنش برشی راستگرد که باعث چرخش در جهت عقربه‌های ساعت نیز می‌شود را با علامت قراردادی منفی نشان می‌دهند و تنش برش چپگرد که چرخش در خلاف جهت عقربه‌های ساعت را ایجاد می‌کند، با علامت قراردادی مثبت نشان داده می‌شود.

۱-۳- تنشهای اصلی

اگر یک مکعب فرضی از یک جسم را طوری در نظر بگیریم که بر سطوح آن فقط تنش‌های عمودی موثر باشد و در نتیجه مولفه‌های تنش برشی صفر گردد، به هر کدام از سطوح این مکعب، سطوح اصلی و تنش‌های عمودی مؤثر بر آنها را تنش‌های اصلی می‌نامند.

تنش‌های اصلی را بصورت $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ نشان داده و آنها را طوری در نظر می‌گیرند که بین قدر مطلقشان رابطه زیر برقرار باشد:

$$|\sigma_1| \geq |\sigma_2| \geq |\sigma_3|$$

در این رابطه σ_1 تنش اصلی حداکثر، σ_2 تنش اصلی متوسط و σ_3 را تنش اصلی حداقل می‌نامند. مکان هندسی محورهای اصلی تنش را می‌توان بوسیله بیضوی تنش نشان داد. قطرهای بیضوی مورد بحث در امتداد تنش‌های اصلی قرار می‌گیرند. در صورتی‌که اندازه محورهای تنش یکسان باشد، تنش را همگن می‌نامند.

حالات مختلف تنش را بر اساس وضعیت تنش‌های اصلی تقسیم بندی می‌نمایند، بطوری‌که اگر هر سه تنش اصلی مخالف صفر باشند بنام تنش سه محوره یا سه بعدی ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \neq 0$)، در حالتی که یکی از تنش‌های اصلی صفر باشد بنام تنش دو محوره یا تنش صفحه‌ای ($\sigma_1 > \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 = 0$) و اگر دو تنش اصلی صفر باشد بنام تنش یک محوره یا تنش خطی ($\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$) موسوم است.

۱-۴- محاسبه تنش در یک توده

تنش در هر نقطه از کره زمین بصورت سه محوره می‌باشد ولی از آنجایی که محاسبه تنش سه محوره بسیار پیچیده و خارج از سرفصل‌های دوره کارشناسی است، لذا به محاسبه تنش در حالت دو محوره و تک محوره پرداخته می‌شود.

تنش‌های عمودی و برشی مؤثر بر مقطع مایلی که عمود بر آن با امتداد تنش اصلی حداکثر (σ_1) زاویه θ را تشکیل می‌دهد، از رابطه‌های زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\cos 2\theta \ , \ \tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\sin 2\theta$$

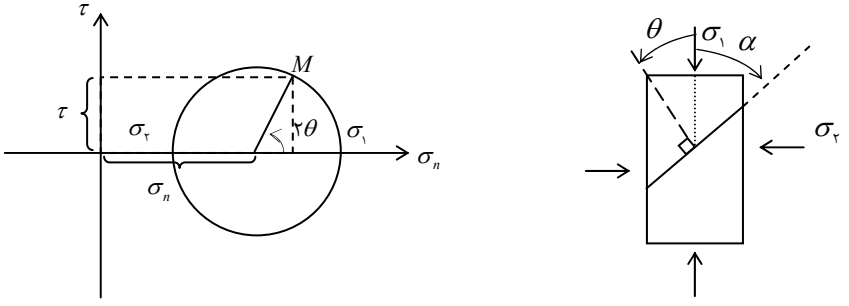
اگردر روابط بالا بجای σ_2، مقدار صفر قرار داده شود، معادلات تنش تک محوره بدست می‌آید که بصورت زیرمی باشد:

$$\sigma_n = \sigma_1\left(\frac{1+\cos 2\theta}{2}\right) = \sigma_1 \cos^2\theta, \tau = \frac{\sigma_1}{2}\sin 2\theta$$

در روابط بالا اگر $\theta = 0$ یا $\theta = \frac{\pi}{2}$ باشد، $\tau = 0$ خواهد شد یعنی در مقاطع عمود بر σ_1 و یا موازی σ_1 مقدار تنش برشی صفر است. به همیت ترتیب اگر $\theta = 45^\circ$ باشد، مقدار تنش برشی حداکثر می‌شود.

تنش‌های موثر بر مقاطع مایل جسم را با استفاده از دایره مورنیز می‌توان محاسبه کرد. برای این کار در دستگاه محورهای مختصات عمود بر هم، محور قائم را به عنوان تنش برشی (τ) و محور افقی را به عنوان تنش عمودی در نظر می‌گیرند. سپس دایره‌ای که مرکز آن روی محور افقی و به فاصله $\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$ از مبداء مختصات قرار دارد و به شعاع $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$ رسم می‌گردد. برای تعیین تنش‌های عمودی و برشی در مقطع موربی که عمود بر آن زاویه θ با جهت σ_1 می‌سازد، کافیست که از مرکز دایره شعاع را طوری رسم کرد که با محور افقی و از سمت σ_1، زاویه 2θ تشکیل دهد.

در شکل ۱-۱ نحوه رسم دایره مور و چگونگی تعیین مقدار σ_n و τ روی سطح شکستگی نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- تعیین مقدار تنش نرمال و برشی در سطح شکستگی M به کمک دایره مور

📖 **نکته ۱:** زاویه α، زاویه بین سطح شکستگی و راستای تنش حداکثر می‌باشد که متمم زاویه θ است یعنی: $\alpha+\theta=۹۰$

📖 **نکته ۲:** در حالتی که تنش برش حداکثر می‌باشد، تنش عمودی معادل مرکز دایره مور و تنش برشی معادل شعاع دایره مور است.

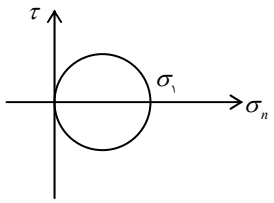
📖 **نکته ۳:** در سیستم تنش تک محوره و در حالتی که تنش برشی حداکثر است، تنش نرمال و برشی با هم برابرند و از نظر مقدار برابر $\frac{\sigma_۱}{۲}$ است.

۱-۴- دایره مور درحالت‌های مختلف تنش

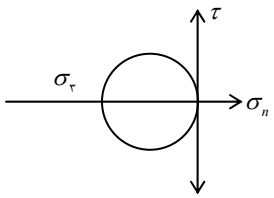
۱-۴-۱- دایره مور در حالت یک محوری

در این وضعیت دو حالت وجود دارد:

الف) اگر $\sigma_۱ \neq ۰$ و $\sigma_۲=\sigma_۳=۰$ باشد در این حالت تنش تراکمی و دایره مور در قسمت مثبت محور σ_n قرار می‌گیرد. تنش برش حداکثر برابر است با : $\tau_{max}=\frac{\sigma_۱}{۲}$



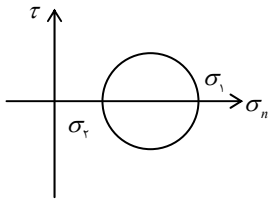
ب) حالتی که $\sigma_۳ \neq ۰$ و $\sigma_۱=\sigma_۲=۰$ است، در این حالت تنش کششی و در سمت منفی محور σ_n واقع می‌شود. σ_n برشی حداکثر عبارت است از : $\tau_{max}=\frac{\sigma_۳}{۲}$



۱-۴-۲-دایره مور در حالت دو محوره

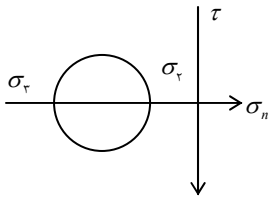
در این وضعیت سه حالت قابل تصور است:

الف) اگر $\sigma_۳=۰$ و $\sigma_۱>\sigma_۲$ باشد، در این حالت تنش تراکمی و دایره در سمت مثبت محور σ_n قرار می‌گیرد و تنش برشی حداکثر برابر است با: $\tau_{max}=\frac{\sigma_۱-\sigma_۲}{۲}$

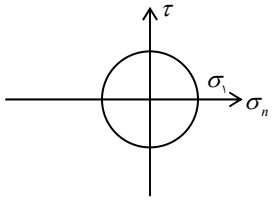


ب) حالتی که $\sigma_2 > \sigma_3$ و $\sigma_1 = 0$ باشد. در این حالت تنش کششی و دایره مور در سمت منفی محور σ_n قرار می‌گیرد.

در این وضعیت تنش برشی حداکثر عبارتست از: $\tau_{max} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}$



ج) حالتی که $\sigma_2 = 0$ و $\sigma_1 = -\sigma_3$ باشد. در این وضعیت مرکز دایره مور در قسمت مبداء مختصات قرار می‌گیرد و آن را تنش برشی محض می‌نامند. در این حالت تنش برشی حداکثر برابر σ_1 است.



۱-۴-۳- تنش لیتواستاتیک یا هیدرو استاتیک

در حالتی که هر سه تنش اصلی از لحاظ مقدار و علامت برابر باشند یعنی $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \neq 0$، تنش را لیتو استاتیک یا هیدرواستاتیک می‌نامند و آن را با P نشان می‌دهند.

در این وضعیت دایره مور به نقطه تبدیل شده و روی محور σ_n قرار می‌گیرد که می‌تواند در سمت مثبت یا منفی محور σ_n باشد.

نکته قابل توجه اینکه در این وضعیت‌تنش برشی وجودندارد و تغییر شکلی که در جسم بواسطه تنش لیتواستاتیک بوجود می‌آید صرفاً تغییر حجم می‌باشد؛ بطوریکه اگر تنش لیتواستاتیک فشارشی باشد، جسم کاهش حجم می‌یابد و اگر لیتواستاتیک کششی باشد، باعث افزایش حجم می‌شود.

۱-۵- تنش میانگین و تنش انحرافی

تنش میانگین یا ایزوتروپ عبارتست از میانگین حسابی تنش‌های اصلی که با $\bar{\sigma}$ نشان داده می‌شود و باعث تغییر حجم می‌شود. تنش میانگین معادل تنش لیتو استاتیک می‌باشد و از نظر مقدار برابر است با:

$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$ و در حالت دو محوره برابر است با: $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$

در دایره مور، مرکز دایره معادل تنش میانگین می‌باشد.

تنش انحرافی عبارتست از انحراف هر یک از تنشهای اصلی نسبت به تنش میانگین که با σ' نشان داده می‌شود و باعث تغییر شکل می‌گردد. به تنش انحرافی، تنش بازگشتی نیز می‌گویند. تنش انحرافی سنجشی از میزان انحراف سیستم تنش از حالت تقارن است و مقدار تغییر شکل یا چرخش توده را کنترل می‌کند.

در حالت سه بعدی، سه تنش انحرافی وجود دارد که به شرح زیر می‌باشد:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - \bar{\sigma} = \sigma_1 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \frac{2\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3}{3}$$

$$\sigma'_{۲} = \sigma_{۲} - \bar{\sigma} = \sigma_{۲} - \frac{\sigma_{۱} + \sigma_{۲} + \sigma_{۳}}{۳} = \frac{۲\sigma_{۲} - \sigma_{۱} - \sigma_{۳}}{۳}$$

$$\sigma'_{۳} = \sigma_{۳} - \bar{\sigma} = \sigma_{۳} - \frac{\sigma_{۱} + \sigma_{۲} + \sigma_{۳}}{۳} = \frac{۲\sigma_{۳} - \sigma_{۱} - \sigma_{۳}}{۳}$$

طبق روابط بیان شده، تنش اصلی انحرافی حداکثر ($\sigma'_{۱}$) همیشه مثبت است، تنش اصلی انحرافی حداقل ($\sigma'_{۳}$) همیشه منفی و تنش اصلی انحرافی متوسط ($\sigma'_{۲}$) می‌تواند مثبت، منفی و یا صفر باشد.

۱-۶- تنش برشی و مقاومت برشی سنگها

آنچه باعث شکستگی در سنگها می‌شود، اختلاف ($\sigma_{۱} - \sigma_{۳}$) یا تنش تفریقی است. اختلاف تنش بستگی به فشارهای محصورکننده، تنش قائم موثر بر توده سنگ و مقاومت برشی سنگ دارد. در این حالت مقاومت برشی در امتداد مورد نظر، به عنوان تنش برشی که قادر به جدا کردن و لغزش سنگ در آن امتداد باشد، تعریف می‌شود و اختلاف تنشی که باعث ایجاد شکستگی در سنگ می‌گردد را مقاومت نهایی آن سنگ گویند.

اگر یک نمونه از سنگ را تحت فشار قرار دهیم در اثر افزایش اختلاف تنش، تنش برشی سنگ در جهت مایل نسبت به جهت اعمال نیرو نیز افزایش می‌یابد. هنگامیکه تنش برشی بوجود آمده از مقاومت برشی سنگ تجاوز کند، سنگ در آن جهت خواهد شکست.

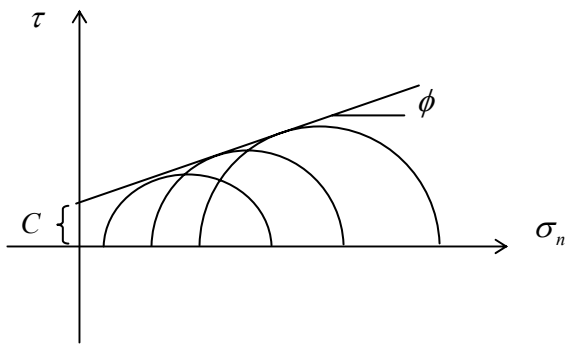
اگر تعدادی آزمایش سه محوره‌روی یک نمونه سنگ با مقادیر متفاوت $\sigma_{۱}$ و $\sigma_{۳}$ انجام شود، دوایر موری بدست می‌آید که هر کدام از آنها مؤید شکست نمونه تحت یک تنش تفریقی خاص می‌باشند. حال اگر خطی روی دوایر مور بدست آمده مماس گردد، به این خط پوش مور گفته می‌شود، معادله این خط که به معادله مور – کلمب معروف است بصورت رابطه زیر می‌باشد:

$$\tau = c + \sigma_{n} . \tan\phi$$

که در آن C عرض از مبداء پوش مور است که به آن مقاومت چسبندگی نیز می‌گویند و ϕ زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ است. زاویه اصطکاک داخلی، زاویه‌ای است که طی آن زاویه ذرات داخلی سنگ بر اثر نیروی اصطکاک کنار یکدیگر باقی می‌مانند و سر نمی‌خورند. $\tan\phi$ را ضریب اصطکاک داخلی می‌نامند و آنرا با μ نشان می‌دهند.

ارتباط بین زاویه θ و ϕ بصورت $\theta = ۴۵ + \frac{\phi}{۲}$ می‌باشد.

شکل ۱-۲ نحوه رسم پوش مور را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- نحوه رسم پوش مور در یک آزمایش مقاومت سه محوره

از خصوصیات مهم خط پوش مور این است که تمام دوایری که زیر این خط قرار می‌گیرند، در محدوده پایدار قرار دارند یعنی سنگ طی آن تنش تفریقی نمی‌شکند. محدوده بالای پوش مور میدان ناپایداری سنگ است یعنی اگر دایره مور یک نمونه سنگ از خط پوش مور عبور کند، نمونه قطعاً می‌شکند و تمام نقاطی که روی خط قراردارند، در آستانه شکسته شدن هستند.

📖 **نکته:** اختلاف بین تنش حداقل و حداکثر را تنش تفریقی می‌گویند که معادل قطر دایره مور می‌باشد.

۱-۷- نقش فشار منفذی در شکست سنگ

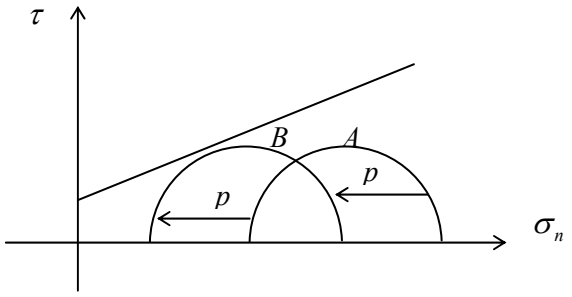
فشار منفذی، فشاری است که از طرف مایعات داخل خلل و فرج سنگ در اثر اعمال تنش همه جانبه به سنگ ایجاد می‌شود. از آنجایی که مایعات فشرده نمی‌شوند، فشار مایع منفذی در خلاف جهت تنش اعمال شده ایجاد می‌شود و باعث خنثی شدن تنش همه جانبه به سنگ می‌شود. رابطه زیر ارتباط بین فشار منفذی، تنش کل و تنش مؤثر را نشان می‌دهد:

$$\sigma_e = \sigma_n - p$$

در این رابطه σ_e؛ تنش مؤثر بر نمونه سنگ، σ_n؛ تنش کل و P؛ فشار مایع منفذی است.

تأثیر فشار منفذی در دایره مور به این ترتیب است که با افزایش فشار منفذی، دایره مور بدون تغییر قطر (تنش تفریقی ثابت است) به سمت چپ محور حرکت می‌کند (فشار مایع منفذی باعث کاهش تنش مؤثر می‌شود)، تا زمانی که با پوش مور برخورد نماید یا از آن عبور کند (شکل ۱-۳). در این حالت سنگ وضعیت ناپایدار به خود می‌گیرد. پس می‌توان در یک تنش عمودی ثابت با افزایش مقدار فشار منفذی (P)، سنگ را به حالت ناپایدار در آورد. در این وضعیت رابطه معروف مور-کلمب بصورت $\tau = C + (\sigma_n - p)\tan\phi$ تغییر می‌کند.

بطور خلاصه می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش فشارمایع منفذی در یک تنش همه جانبه ثابت، باعث تغییر شکل سریعتر سنگ می‌شود.

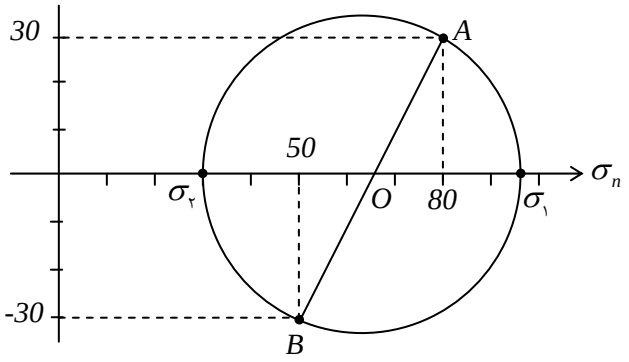


شکل ۱-۳- با افزایش فشار منفذی به اندازه P دایره مور از وضعیت A به B منتقل می‌شود.

۱-۸-رسم دایره مور به کمک ماتریس تنش

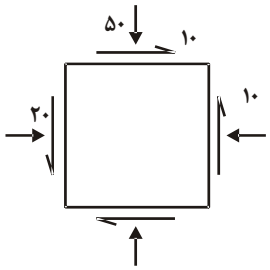
در سیستم تنش دو محوره ماتریس تنش بصورت $\begin{vmatrix}\sigma_{xx} & \tau_{xy}\\ \tau_{yx} & \sigma_{yy}\end{vmatrix}$ می‌باشد که در واقع هر کدام از ردیف‌های این ماتریس یک صفحه روی دایره مور است. لذا با داشتن مقدار عددی هر یک از مولفه‌های تنش می‌توان دایره مور را رسم کرد. بطور مثال فرض کنید ماتریس تنشی بصورت $\begin{vmatrix}۸۰ & ۳۰\\ -۳۰ & ۵۰\end{vmatrix}$ مفروض است. برای رسم دایره مور مربوط به آن و بدست آوردن محورهای اصلی تنش ($\sigma_۲, \sigma_۱$) به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

ابتدا محورهای مختصات را رسم می‌کنیم، بطوریکه محور افقی آن σ_n و محور قائم آن τ باشد. سپس دو نقطه (۳۰ و ۸۰) A و (۳۰- و ۵۰) B را روی محورهای مختصات پیدا می‌کنیم. در مرحله بعد دو نقطه A و B را با خط مستقیمی به هم وصل می‌کنیم تا محور σ_n را در نقطه o قطع کند. آنگاه دایره به مرکز o و شعاع OA یا OB رسم می‌کنیم. محل برخورد این دایره با محور σ_n، محل تنشهای اصلی $\sigma_۱, \sigma_۲$ می‌باشد. شکل ۱-۴ دایره مور این مثال را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴- نحوه رسم دایره مور با استفاده از اطلاعات ماتریس تنش

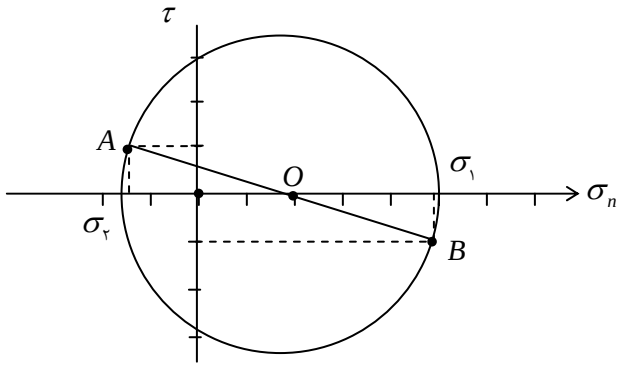
گاهی ممکن است بجای ماتریس تنش، مولفه‌های تنش روی شکل نشان داده شود(شکل ۱-۵- الف). در این موارد کافیست هر یک از مولفه‌های تنش روی شکل را با توجه به جهت فلش‌های حرکتی، تبدیل به ماتریس تنش کنیم و آنگاه طبق روش قبل، دایره مور مربوط به آنرا رسم کنیم. برای درک بهتر موضوع دایره مور شکل زیر را رسم می‌کنیم.



شکل ۱-۵- الف :مولفه‌های موثر تنش روی جسم

ماتریس تنش شکل۱-۵- الف به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_{yy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -۲۰ & +۱۰ \\ -۱۰ & +۵۰ \end{vmatrix} = A(-۲۰,۱۰), B(۵۰,-۱۰)$$



شکل ۱-۵-ب- دایره مور مربوط به شکل ۱-۵-الف

خلاصه فصل

تنش یک کمیت برداری است که برابر است با $\sigma = \frac{F}{A}$ و واحد اندازه‌گیری آن نیوتن بر متر مربع یا پاسکال می‌باشد. بردار تنش در هر نقطه را می‌توان به یک مولفه عمودی (σ_n) و دو مولفه مماسی (σ_s) تجزیه نمود. تنشهای فشارشی را با علامت مثبت و تنش‌های کششی را با علامت منفی بصورت قراردادی نشان می‌دهند.

تنشهای عمودی موثر بر سطوح اصلی جسم را تنش‌های اصلی می‌نامند و رابطه موجود میان قدر مطلق تنشهای اصلی به صورت $|\sigma_1| \geq |\sigma_2| \geq |\sigma_3|$ می‌باشد.

روابط محاسبه تنش‌های عمودی و برشی موثر بر مقطع مایلی که عمود بر آن با امتداد تنش اصلی حداکثر زاویه θ را تشکیل می‌دهد به صورت زیر می‌باشند:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\cos 2\theta$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\sin 2\theta$$

تنش میانگین یا ایزوتوپ عبارتست از میانگین حسابی تنش‌های اصلی و برابر است با:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

تنش انحرافی عبارتست از انحراف هر یک از تنش‌های اصلی نسبت به تنش میانگین و برابر است با :

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - \bar{\sigma}$$

$$\sigma'_2 = \sigma_2 - \bar{\sigma}$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - \bar{\sigma}$$

آنچه باعث شکستگی در سنگ‌ها می‌شود اختلاف تنش یا تنش‌تفریقی است $(\sigma_1 - \sigma_2)$. رابطه مور – کولمب با تعیین اختلاف تنش میان چند نمونه در آزمایش سه محوری بدست آمده است که برابر است با $\tau = c + \sigma_n . \tan\phi$ فشار منفذی فشاری است که از طرف مایعات داخل خلل و فرج سنگ در اثر اعمال تنش همه جانبه به سنگ ایجاد می‌شود. و از اختلاف تنش موثر (σ_e) و تنش کل (σ_n) بدست می‌آید.

$$\sigma_e = \sigma_n - p$$

در صورت وجود فشار منفذی رابطه مور – کولمب به صورت زیر در می‌آید:

$$\tau = c + (\sigma_n - p)\tan\phi$$