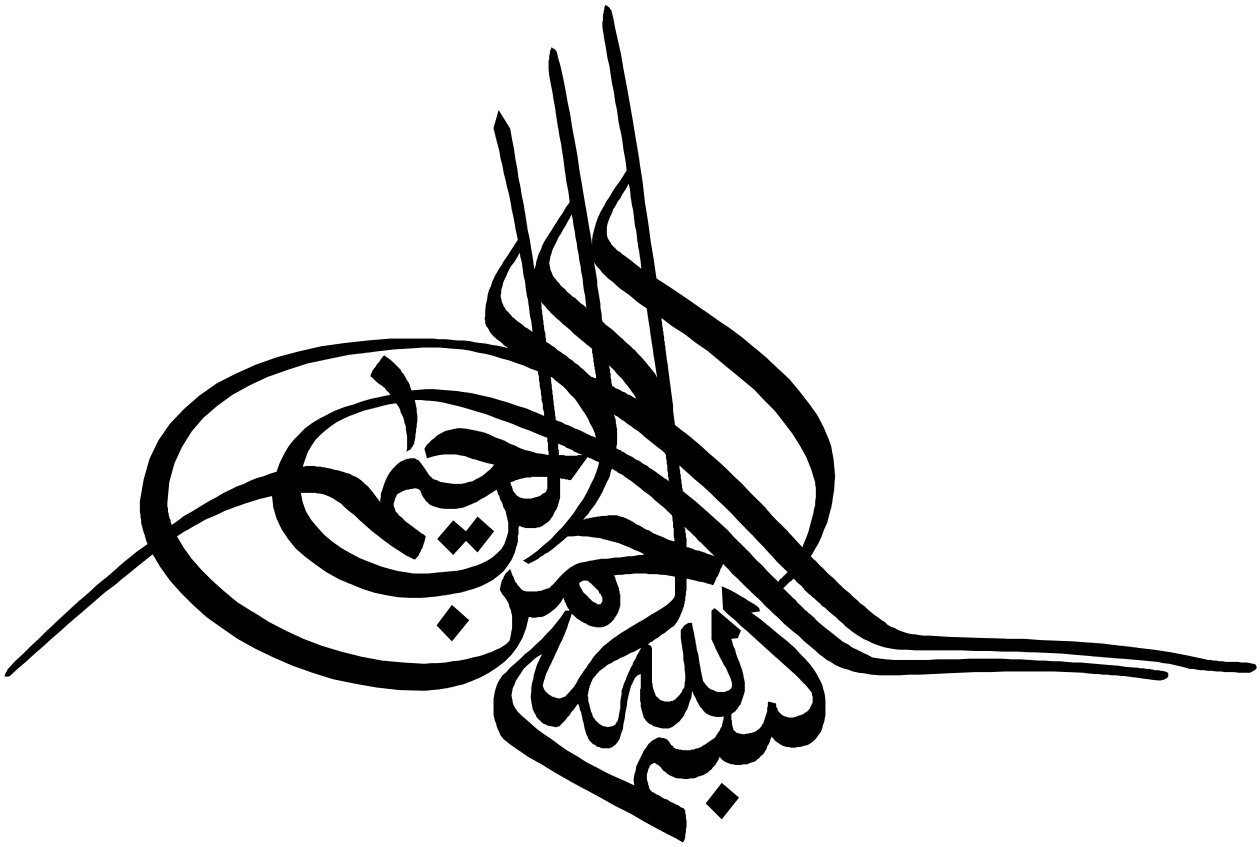

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکدهٔ مهندسی عمران

عنوان پایان‌نامه جهت دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ مهندسی عمران - گرایش مکانیک خاک و پی

بررسی خصوصیات رفتاری ، پارامترهای مقاومت برشی و اتساع مصالح سنگریزه‌ای تیزگوشه در آزمایشات سه‌محوری قطر بزرگ

استاد راهنما :

دکتر حمیدرضا رازقی

دانشجو :

میرشریف حسن‌پور

اسفندماه ۸۵

چکیده :

امروزه احداث و استفاده از سدهای سنگریزه‌ای (جهت اهدافی نظیر تولید برق ، کنترل سیلاب و ذخیرهٔ آب)، به‌دلیل انعطاف‌پذیری ذاتی آنها ، ظرفیت بالای جذب انرژی لرزه‌ای و سازگاری با شرایط مختلف پی در محلِ اجرای سد، با شتاب درحال‌گسترش است. کاربرد تجهیزات مدرن بارگیری و حمل مصالح خاکی و درشت‌دانه و امکان دسترسی به منابع محلی مناسب نیز استفاده‌از این نوع سدها را مقرون‌به‌صرفه‌تر کرده است. از طرفی مصالح درشت‌دانهٔ تیزگوشه (حاصل از انفجار در معادن سنگ) ، بخش اصلی ساختمان سدهای سنگریزه‌ای را تشکیل می‌دهند که با توجه به حجم قابل‌ملاحظهٔ عملیات خاکریزی ، بالطبع سهم عمدهٔ هزینه‌های پروژه را نیز به خود اختصاص خواهند داد. بنابراین به‌منظور بهینه‌سازی حجم عملیات خاکی ، طراحی ایمن ، پایدار و در عین حال اقتصادی پروژه ، شناخت دقیق خصوصیات و رفتار واقعی مصالح سنگریزه‌ای با جنس‌ها و در تنش‌های محدودکنندهٔ مختلف و تعیین پارامترهای مقاومتی نظیر زاویهٔ اصطکاک ، زاویهٔ اتساع و حداکثر تنش تفاضلی قابل تحمل توسط مصالح در سطوح عملی فشارهای همه‌جانبه - که در حین ساخت تا پس از بهره‌برداری از پروژه به مصالح وارد خواهدآمد - ضروری می‌نماید. دستیابی دقیق‌تر به این موارد تنها از طریق انجام آزمایشات سه‌محوری بزرگ‌مقیاس امکان‌پذیر است. در توضیح این مطلب باید گفت اگرچه درمورد اکثر ژئومتریال‌ها ، دستگاه متداول سه‌محوری یکی از کاربردی‌ترین تجهیزات آزمایشگاهی برای درک خصوصیات مقاومتی و رفتار تغییرشکل‌پذیری مصالح است که از آن بعنوان مهمترین ابزار ژئوتکنیکی جهت آزمایش روی محیط‌های دانه‌ای استفاده می‌شود ، ولی تفاوت فاحش میان اندازهٔ واقعی دانه‌ها در مصالح سنگریزه‌ای با حداکثر اندازهٔ مجاز نمونه‌های سه‌محوری قطر کوچک ، منجر به غیردقیق‌بودن رفتار تغییرشکل‌پذیری و مُدهای گسیختگی مشاهده‌شده ؛ به‌دلیل وابسته‌بودن غیرقابل‌اجتناب اتساع به اندازهٔ دانه‌ها و مکانیزم متفاوت خردشدن ذرات ، خواهدشد.

هدف اصلی از این تحقیق ، بررسی خصوصیات رفتاری ، پارامترهای مقاومت برشی و اتساع مصالح درشت‌دانهٔ معدنی (تیزگوشه) در مراحل مختلف بارگذاری به‌کمک آزمایشات سه‌محوری بزرگ‌مقیاس است. در این راستا به تأثیر جنس، شکل، مقاومت، میزان دوام و شکست دانه‌ها در مصالح سنگریزه‌ای پرداخته‌شده و ارتباط آنها با رفتار تودهٔ ذرات مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد :

۱- با افزایش فشار همه‌جانبه در مصالح تیزگوشه ، زاویهٔ مقاومت برشی زهکشی‌شده کاهش یافته که آهنگ آن با ازدیاد درجهٔ تیزگوشگی سنگدانه‌ها بیشتر می‌شود.

۲- پوش‌گسیختگی‌مشاهده‌شده برای مصالح درشت‌دانه غیرخطی بوده و شیب آن با افزایش فشار محدودکننده کاهش می‌یابد. علت انحنا نیز کاهش آهنگ اتساع با ازدیاد تنش همه‌جانبه است.

۳- با افزایش فشار همه‌جانبه در محیط‌های دانه‌ای ، رفتار منحنی‌های تنش-کرنش از حالت تُرد به شکل‌پذیر انتقال پیدا می‌کند.

۴- آهنگ افزایش کرنش محوری در لحظهٔ گسیختگی با ازدیاد تنش همه‌جانبه ، در مصالح با دانه‌های ضعیف‌تر بیشتر است.

۵- افزایش کرنش‌ها در لحظهٔ گسیختگی و کاسته‌شدن از میزان اتساع در اثر افزایش تنش همه‌جانبه ، نتیجهٔ بیشترشدن میزان شکست دانه‌ها می‌باشد؛ چراکه با ازدیاد تنش همه‌جانبه رفته‌رفته انرژی کل وارده به تودهٔ مصالح صرف شکستن و خردشدن دانه‌ها می‌شود تا غلبه بر قفل و بست آنها و افزایش حجم توده.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : کلیات و اهداف

۱- ۱ مقدمه ۱

۱- ۲ اهداف تحقیق ۲

۱- ۳ برنامه مطالعات ۳

فصل دوم : ویژگیهای ژئوتکنیکی مصالح سنگریزه‌ای

۲- ۱ مقدمه ۵

۲- ۲ خصوصیات فیزیکی مصالح سنگریزه‌ای ۵

۲- ۳ خواص مکانیکی مصالح سنگریزه‌ای ۷

۲- ۴ عوامل مؤثر در مقاومت برشی مصالح سنگریزه‌ای ۱۳

۲- ۴- ۱ دانه‌بندی ۱۳

۲- ۴- ۲ مقاومت مصالح خرده‌سنگی ۱۴

۲- ۴- ۳ تراکم ۱۵

۲- ۴- ۴ شکست ذرات ۱۸

۲- ۴- ۴- ۱ تعیین میزان شکست ذرات ۱۹

۲- ۵ آزمونهای آزمایشگاهی روی مصالح سنگریزه‌ای ۲۱

۲- ۵- ۱ نمونه‌های آزمایشگاهی ۲۱

۲- ۵- ۱- ۱ حداکثر اندازهٔ دانه‌ها ۲۴

۲- ۵- ۱- ۲ دانه‌بندی نمونه ۲۶

۲- ۵- ۲ نمونه‌های آزمایشگاهی بزرگ‌مقیاس ۲۹

۲- ۵- ۳ آزمایشات فیزیکی ۳۱

۲- ۵- ۴ آزمایشات مکانیکی ۳۲

فصل سوم : پژوهش‌های آزمایشگاهی

۳- ۱ مقدمه ۳۴

۳- ۲ ویژگیهای زمین شناسی مهندسی مصالح ۳۴

۳- ۳ آزمایش سه‌محوری ۳۵

۳- ۳- ۱ دستگاه سه‌محوری سیکلی قطر بزرگ ۳۵
۳- ۳- ۱- ۱ بخشهای دستگاه سه‌محوری سیکلی قطر بزرگ ۳۸
۳- ۳- ۲ مشخصات نمونه‌ها ۴۰
۳- ۳- ۳ شرایط آزمایش ۴۴
۳- ۳- ۴ مراحل انجام آزمایش ۴۵
۳- ۳- ۵ نتایج آزمایشات سه‌محوری ۴۶
استخراج فرمول محاسبهٔ زاویهٔ اتساع مصالح درشت‌دانه در آزمایشات سه‌محوری ۴۶
۳- ۳- ۵- ۱ مصالح سنگریزه‌ای آندزیت‌بازالتی ۴۷
۳- ۳- ۵- ۲ مصالح سنگریزه‌ای آهکی ۵۰
۳- ۳- ۵- ۳ مصالح سنگریزه‌ای ماسه‌سنگی ۵۲
۳- ۳- ۵- ۴ مصالح سنگریزه‌ای داسیتی ۵۴
۳- ۴ آزمایش سایش لوس‌آنجلس ۵۶
۳- ۵ آزمایش شاخص بار نقطه‌ای ۵۸
۳- ۵- ۱ بررسی میزان همبستگی بین شاخص بار نقطه‌ای محاسبه‌شده برای مصالح و مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ مادر ۶۲

فصل چهارم : **تفسیر و تحلیل نتایج**

۴- ۱ مقدمه ۶۴
۴- ۲ رفتار مکانیکی مصالح سنگریزه‌ای در آزمایشات سه‌محوری ۶۴
دلائل انحناء پوش مقاومت برشی مصالح درشت‌دانه ۶۹
۴- ۳ ارتباط مقاومت سایشی سنگدانه‌ها با رفتار مکانیکی مصالح سنگریزه‌ای ۷۳
۴- ۴ ارتباط مقاومت سنگدانه‌ها با رفتار مکانیکی مصالح سنگریزه‌ای ۷۴

فصل پنجم : **جمع‌بندی و نتیجه‌گیری**

مطالب فصل ۷۷
پیشنهاد ادامه کار ۸۰
منابع ۸۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل دوم : **ویژگیهای ژئوتکنیکی مصالح سنگریزه‌ای**

شکل ۲-۱ : نمونه‌ای از دوایر و پوش گسیختگی موهر در آزمایشات سه‌محوری (مارشال)..... ۹

شکل ۲-۲ : آزمایش سه‌محوری فشاری؛ نمودار تنش‌اضافی برحسب کرنش محوری (مارشال) ... ۱۱

شکل ۲-۳ : مقایسه پوش موهر در آزمایشات سه‌محوری برای نمونه‌های متراکم و سست ۱۱

شکل ۲-٤ : تراکم‌پذیری مصالح سنگریزه‌ای ماسه‌سنگی با تراکم ضعیف در مدول بارگذاری ، باربرداری و بارگذاری مجدد (چارلز)..... ۱۷

شکل ۲-۵ : مراحل تعیین درصد وزنی سنگدانه‌های شکسته‌شده در اثر بارگذاری (مارشال) ۲۰

شکل ۲-۶ : تغییرات ϕ با d در آزمایش سه‌محوری..... ۲۵

شکل ۲-۷ : تبدیل دانه‌بندی نمونه‌های آزمایشگاهی.....۲۶

فصل سوم : **پژوهش‌های آزمایشگاهی**

شکل ۳-۱ : نمایی از دستگاه سه‌محوری قطر بزرگ سیکلی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن..... ۳۸

شکل ۳-۲ : منحنی دانه‌بندی ۲۵ سد سنگریزه‌ای ساخته شده در ژاپن از سال ۱۹۷٤ تا ۱۹۸۳ ..... ۴۲

شکل ۳-۳ : منحنی دانه‌بندی نمونه‌های آزمایشگاهی مصالح سنگریزه‌ای..... ۴۳

شکل ۳-٤-الف : منحنی‌های تنش اضافی بر حسب کرنش محوری برای مصالح آندزیت‌بازالتی..... ۴۸

شکل ۳-٤-ب : منحنی‌های کرنش حجمی بر حسب کرنش محوری برای مصالح آندزیت‌بازالتی.... ۴۹

شکل ۳-٤-ج : منحنی‌های زاویهٔ اتساع بر حسب کرنش محوری برای مصالح آندزیت‌بازالتی ۴۹

شکل ۳-۵-الف : منحنی‌های تنش اضافی بر حسب کرنش محوری برای مصالح آهکی ۵۰

شکل ۳-۵-ب : منحنی‌های کرنش حجمی بر حسب کرنش محوری برای مصالح آهکی..... ۵۱

شکل ۳-۵-ج : منحنی‌های زاویهٔ اتساع بر حسب کرنش محوری برای مصالح آهکی ۵۱

شکل ۳-۶-الف : منحنی‌های تنش اضافی بر حسب کرنش محوری برای مصالح ماسه‌سنگی ۵۲

شکل ۳-۶-ب : منحنی‌های کرنش حجمی بر حسب کرنش محوری برای مصالح ماسه‌سنگی..... ۵۳

شکل ۳-۶-ج : منحنی‌های زاویهٔ اتساع بر حسب کرنش محوری برای مصالح ماسه‌سنگی..... ۵۳

شکل ۳-۷-الف : منحنی‌های تنش اضافی بر حسب کرنش محوری برای مصالح داسیتی..... ۵۴

شکل ۳-۷-ب : منحنی‌های کرنش حجمی بر حسب کرنش محوری برای مصالح داسیتی ۵۵

شکل ۳-۷-ج : منحنی‌های زاویهٔ اتساع بر حسب کرنش محوری برای مصالح داسیتی ۵۵

شکل ۳-۸ : دستگاه آزمون سایش لوس‌آنجلس (از نمای بیرونی و داخلی) ۵۸
شکل ۳-۹ : ابعاد قطعات و کلوخهای نامنظم در آزمایش شاخص بار نقطه‌ای..... ۵۹
شکل ۳-۱۰ : تصویری از دستگاه آزمون بار نقطه‌ای مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران..... ۶۰

فصل چهارم : **تفسیر و تحلیل نتایج**

شکل ٤-۱-الف : منحنی‌های تغییرات کرنش محوری در لحظهٔ گسیختگی نسبت‌به تنش همه‌جانبه ۶۵
شکل ٤-۱-ب : نمودار تغییرات تنش‌انحرافی مصالح در لحظهٔ گسیختگی نسبت‌به تنش همه‌جانبه ۶۶
شکل ٤-۱-ج : نمودار تغییرات زاویهٔ اصطکاک مصالح نسبت‌به تنش همه‌جانبه.....۶۷
شکل ٤-۱-د : نمودار تغییرات زاویهٔ اصطکاک مصالح نسبت‌به آهنگ‌تغییرحجم‌درلحظهٔ‌گسیختگی ..۶۸
شکل ٤-۱-ه : نمودار پوش گسیختگی مصالح (تغییرات تنش برشی نسبت‌به تنش نرمال).....۶۸
شکل ٤-۱-و : نمودار تغییرات فاکتور شکست مارشال نسبت‌به افزایش تنش همه‌جانبه ۷۲
شکل ٤-۲ : طبقه‌بندی کیفی سنگدانه‌ها در مصالح درشت‌دانه از لحاظ تیزگوشگی (٤حالت اصلی). ۷۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل سوم : **پژوهش‌های آزمایشگاهی**

جدول ۳-۱: مشخصات مصالح سنگریزه‌ای مورد آزمایش..... ۳۵

جدول ۳-۲: نتایج آزمایش لوس‌آنجلس بر روی مصالح سنگریزه‌ای ۵۷

جدول ۳-۳: نتایج آزمایش شاخص بار نقطه‌ای بر روی نمونه‌های سنگریزه‌ای..... ۶۱

شکل ۳-٤: مقایسهٔ همبستگی نتایج آزمون شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت فشاری تک‌محوری..... ۶۲

فصل چهارم : **تفسیر و تحلیل نتایج**

جدول ٤-۱: توصیف درجه‌بندی کیفی سنگدانه‌ها در مصالح درشت‌دانه از لحاظ تیزگوشگی..... ۷۱

جدول ٤-۲: ارتباط شاخص بار نقطه‌ای و درصد سایش مصالح سنگریزه‌ای مورد بررسی ۷۴

فصل اول

کلیات و اهداف

۱-۱ مقدمه

شناخت رفتار و خصوصیات دقیق مصالح خاکی و سنگریزه‌ای به عنوان مصالح ساختمانی اصلی در پروژه‌های عظیمی همچون سدهای خاکی و سنگریزه‌ای ، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. این مسأله از طرفی با ملاحظات فنی و ایمنی پروژه‌ها و از طرف دیگر با مسائل اقتصادی طرح مرتبط بوده و چه بسا صرف وقت و هزینهٔ کافی در شناخت رفتار مصالح ، باعث *افزایش ضریب اطمینان و صرفه‌جوئی اقتصادی طرح* می‌گردد. بنابراین قدم اول در طراحی هر سازه - پس از شناخت خصوصیات و ویژگیهای محل طرح - مسألهٔ شناخت رفتار و خصوصیات مصالح مورد استفاده است.

در این میان ، شناخت رفتار و ویژگیهای مصالح درشت‌دانه به عنوان مصالح ساختمانی سازه‌های سنگریزه‌ای بخشی است که تاکنون کمتر از موارد دیگر- بخصوص در مجامع علمی و فنی کشور- مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. بسیاری از سازه‌های سنگریزه‌ای ساخته شده در دهه‌های قبل ، با الهام از رفتار خاکهای بدون مواد چسبنده طراحی و محاسبه گردیده‌اند ، اما با گسترش علوم مهندسی و پیشرفتهای شگرف در تکنولوژی ، گامی جدید در شناخت ژرف‌تر رفتار این مصالح طبیعی برداشته شده است به نحوی که امروزه ساختمان بزرگترین سدهای دنیا با ارتفاع بیش از ۳۰۰ متر ؛ نظیر سد نورک و سد روگان در تاجیکستان ، از مصالح سنگریزه‌ای است.

به علت در دسترس نبودن دستگاههای آزمایش بزرگ‌مقیاس تا سالهای اخیر در داخل کشور و کمبود نسبی آن در سایر کشورهای دنیا و همچنین به علت مشکلاتی که در ساخت نمونه و انجام آزمایش بر روی نمونه‌های قطر بزرگ وجود دارد ، تحقیقات انجام شده روی مصالح سنگریزه‌ای و درشت دانه - مخصوصاً در

داخل کشور- نسبتاً محدود می‌باشد. پس از راه‌اندازی دستگاه سه‌محوری قطر بزرگ در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران (که به نوبهٔ خود یکی از مجهزترین و پیشرفته‌ترین دستگاههای موجود می‌باشد) و امکان انجام آزمایش بر روی نمونه‌های بزرگ مصالح درشت‌دانه و سنگریزه‌ای ، فرصت تحقیقاتی ارزشمندی با هدف مطالعهٔ رفتار و خصوصیات این نوع مصالح در داخل کشور بوجود آمد.

در این میان ، پروژهٔ ساخت چندین سد سنگریزه‌ای در کشور بعنوان اولین تجربه‌های مهندسین داخلی در زمینهٔ احداث سازه‌های سنگریزه‌ای و نبود سابقهٔ قبلی دقیق در زمینهٔ شناخت رفتار این مصالح ، و از طرفی ویژگیهای خاص این نوع سازه‌ها نسبت به سازه‌های خاکی ، لزوم تحقیقات بیشتر روی مصالح سنگریزه‌ای و مقایسهٔ رفتار آنها نسبت به مصالح خاکی را روشن‌تر می‌سازد.

طبق بررسیهای انجام شده ، در زمینهٔ رفتار و خصوصیات مکانیکی مصالح درشت‌دانه تاکنون تحقیقات آزمایشگاهی چندانی در داخل کشور صورت نگرفته و این مطالعات به نوبهٔ خود جزو *اولین سری مطالعات انجام شده در این زمینه* می‌باشد.

۱- ۲ اهداف تحقیق

بطور کلی هدف اصلی از این تحقیق ، بررسی رفتار و خصوصیات مصالح سنگریزه‌ای تیزگوشه (معدنی) به‌کمک آزمایشات سه‌محوری بزرگ‌مقیاس و تحلیل رفتار اتساعی مصالح درشت‌دانه می‌باشد. در این میان به تأثیر جنس، مقاومت دانه‌ها و شکست ذرات در مصالح سنگریزه‌ای توجه شده و اثر این پارامترها بر خواص مکانیکی محیط‌های دانه‌ای موردبررسی قرارمی‌گیرد. همچنین ویژگیهای رفتاری و پارامترهای مقاومت برشی مصالح سنگریزه‌ای تیزگوشه در آزمایشات سه‌محوری

آنالیز گردیده و با نتایج حاصل از آزمایشات شاخص بار نقطه‌ای (Point Load Index) و سایش لوس آنجلس بر روی سنگدانه‌ها مقایسه می‌شود.

بطورخلاصه اهمّ اهداف این تحقیق عبارتند از :

بررسی رفتار مصالح سنگریزه‌ای مختلف رسوبی و آذرین تحت بارگذاریهای استاتیکی در تنشهای همه‌جانبهٔ متفاوت

مقایسهٔ خصوصیات مقاومتی و تغییرشکل‌پذیری مصالح درشت‌دانه با استفاده از آزمایشات سه‌محوری ، شاخص بار نقطه‌ای و سایش لوس آنجلس

بررسی فیزیکی و تحلیل عددی اتساع مصالح سنگریزه‌ای تیزگوشه در طی مراحل مختلف بارگذاری

۱- ۳ برنامهٔ مطالعات

مصالح سنگریزه‌ای مورد بررسی در این تحقیق از انواع سنگهای آذرین بیرونی و رسوبی می‌باشند. مصالح سنگریزه‌ای تیزگوشه بدلیل آنکه عمدتاً از یک مبنع قرضهٔ سنگی خاص (در اثر عملیات آتشباری و انفجار) برداشت می‌شوند ، معمولاً دارای جنس یکسان و یکنواخت‌تری نسبت به سنگدانه‌های مصالح خاکی و رودخانه‌ای هستند.

در این تحقیق ، نتایج آزمایشات سه‌محوری قطر بزرگ در شرایط یکسان برای نمونه‌ها و تحت تنشهای همه‌جانبهٔ متفاوت ، مقایسه گردیده و رابطهٔ آنها با نتایج آزمایشهای سریعتر مانند سایش لوس آنجلس و شاخص بار نقطه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه ، رفتار اتساعی مصالح سنگریزه‌ای موردنظر در تنشهای همه‌جانبهٔ مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته و ارتباط آن با رفتار تنش- کرنش و خواص مقاومتی و مکانیکی مصالح بررسی می‌شود.

فصل دوم

ویژگیهای ژئوتکنیکی مصالح سنگریزه‌ای

۲-۱ مقدمه

بررسی دقیق رفتار و خصوصیات مصالح سنگریزه‌ای به‌وسیلهٔ انجام آزمایشاتی که بتواند رفتار آنها را در برابر بارهای وارده تعیین نماید ، از نظر فنی و اقتصادی امری اجتناب‌ناپذیر است ؛ چرا که اگر طراحی بر مبنای ویژگیهای خاص مصالح مورد استفاده صورت نگیرد ، اجرای اینگونه پروژه‌ها با ضرر و زیان فنی ، ایمنی و اقتصادی مواجه خواهد گردید که پذیرفته نیست. بنابراین بررسی دقیق رفتار، عملکرد و ویژگیهای مصالح مورد استفاده باعث بهینه شدن اجرای طرح می‌گردد.

بطورکلی از ویژگیهای مصالح سنگریزه‌ای می‌توان به مقاومت برشی اصطکاکی زیاد این مصالح برای ساخت شیروانیهای با شیب بیشتر از سازه‌های خاکی اشاره نمود. همچنین به دلیل خاصیت تراوایی بیشتر ، مشکلات ناشی از فشار آب منفذی در سازه‌های سنگریزه‌ای وجود ندارد. با توجه به اینکه در اکثر سازه‌های ساخته شده از خاکهای غیرچسبنده و اشباع ، تحت تأثیر زلزله‌های قوی ، عامل اولیه تخریب یا گسیختگی بوجود آمدن فشار آب منفذی در خاکریز است که موجب از بین رفتن مقاومت برشی توده می‌گردد ، می‌توان گفت که سازه‌های سنگریزه‌ای برای مناطق لرزه‌خیز مناسب‌تر از سازه‌های خاکی هستند.

۲-۲ خصوصیات فیزیکی مصالح سنگریزه‌ای

مصالح سنگریزه‌ای[۱]، پاره‌سنگهای حاصل از انفجار در معادن سنگ یا حفاری ، یا قلوه‌سنگها و خردشدگیهای طبیعی هستند و سازهٔ سنگریزه‌ای ، سازه‌ای است که بیش از ۵۰٪ حجم آن را مصالح سنگریزه‌ای تشکیل می‌دهد.

۱- Rockfill Materials

خواص مکانیکی مصالح سنگریزه‌ای را می‌توان بر اساس کیفیت سنگ مادر ، هوازدگی و درجهٔ خردشدگی آن برآورد نمود ؛ هرچند که خردشدگی سنگها به روش انفجار و آتشباری نیز بستگی دارد. میزان مناسب‌بودن توده‌ای از این مصالح ، برپایهٔ توزیع دانه‌بندی و ترکیب کانی‌شناسی آن مشخص می‌شود. تشکیلات گرانیتی ، گابروئی ، آندزیتی و یا گنایس‌ها دارای بلوکهای سنگی با کیفیت مهندسی بالا می‌باشند. شیلها و شیست‌ها مانند شیلهای رسی، شیست‌های میکایی و فیلیت‌ها دارای ساختاری با کیفیت پایین بوده و غالباً تأمین‌کنندهٔ شرایط لازم برای احداث سازه‌های سنگریزه‌ای نمی‌باشند.

سنگریزه‌های حاصل از سنگهای سخت ، تغییرشکل‌پذیری کمتری دارند و سنگهای نرم نیز در اثر خیس‌شدن مستعد فروریزش[1] هستند. تعیین هر دو نوع سنگ با استفاده از آزمایشات سادهٔ محلی و آزمایشگاهی امکانپذیر است.

خصوصیات قابل استناد برای طبقه‌بندی مصالح سنگریزه‌ای زیاد است و این طبقه‌بندی از حالت کلی و عمومی تا خیلی دقیق و جزئی قابل‌تقسیم است. برای مقاصد ژئوتکنیکی ، طبقه‌بندی برمبنای سختی و مقاومت دانه‌ها مناسب‌تر است. در طبقه‌بندی سنگها ، مادّهٔ سیمانی نقش اصلی را در تعیین خواص مکانیکی آن دارد. مادّهٔ سیمانی مشترک در سنگهای رسوبی ، سیلیس، کلسیت و رس‌ها هستند که فراوانی هر کدام ، خواص سنگها را از شروع رسوب‌گذاری و یا در طول مدت پدیدهٔ دگرگونی سنگ تعیین می‌کند. مواد چسباننده به‌علت اثر مستقیم روی مقاومت سنگ ، از عوامل مؤثر در دوام سنگها می‌باشند. برای تشریح مصالح سنگی و برای کارهای سنگریزه‌ای ،

۱- Collapse

دلگادو[1] خصوصیات طبقه‌بندی‌شدهٔ زیر را پیشنهاد کرد. این خصوصیات برمبنای توصیف مشخصات فیزیکی مصالح می‌باشد [۴] :

- خصوصیات ذاتی
- خصوصیات نشانه‌ای
- خصوصیات شکل و اندازه
- خصوصیات دوام

نام سنگ‌شناسی ، چگالی ذرات جامد (G_s) ، توزیع حفرات و نفوذپذیری جزو خصوصیات ذاتی مصالح هستند. خواصی مثل دانسیتهٔنسبی، وزن‌مخصوص ظاهری، نسبت تخلخل ، حداکثر جذب آب ، مقاومت فشاری (تک‌محوری) و مقاومت بار نقطه‌ای از خصوصیات نشانه‌ای مصالح سنگریزه‌ای می‌باشند. برای تعیین مشخصات شکل و اندازه می‌توان از آزمایشات دانه‌بندی ، تعیین شکل مصالح ، ضریب یکنواختی ، ضریب انحناء و غیره استفاده نمود. دوام به قدرت پایداری مصالح در برابر عوامل مخرب فیزیکی و شیمیایی اطلاق می‌شود. آزمایش سلامت[2] و آزمایش یخزدن و آب‌شدن راههای خوبی جهت برآورد دوام مصالح سنگی است.

۲- ۳ خواص مکانیکی مصالح سنگریزه‌ای

رفتار مکانیکی مصالح یعنی رابطهٔ بین نیروهای مؤثر بر یک توده و تغییر مکان اجزای آن. مقاومت برشی و سایر عوامل مؤثر در خواص مکانیکی و مقاومت مصالح سنگریزه‌ای از مباحث این بخش می‌باشد. از آنجا که مصالح سنگریزه‌ای یک محیط دانه‌ای است ، خواص مکانیکی آن یعنی چگونگی ارتباط تغییرشکلها با نیروهای مؤثر

۱- Delgado, ۱۹۹۱

۲- Soundness test

وارد بر آن به مشخصه‌هایی همچون تخلخل ، نفوذپذیری ، طبیعت اتصال بین دانه‌ها و تراکم‌پذیری مصالح بستگی دارد. یک توده از مصالح مانند همهٔ مواد جامد تا حد معینی در برابر نیروهای خارجی مقاومت می‌کند و در صورتی که این نیروها از آن حد معین تجاوز کند ، تودهٔ مصالح گسیخته می‌شود. این گسیختگی معمولاً از نوع گسیختگی برشی است و حداکثر مقاومت مصالح در برابر این گسیختگی ، *مقاومت برشی* نامیده می‌شود.

خواص مکانیکی مصالح سنگی به مشخصات ویژهٔ کانیهای تشکیل‌دهندهٔ آن بستگی دارد. همچنین تفاوت در بافت و ساختمان آن اثر زیادی روی رفتار مکانیکی و خواص مصالح دارد. به غیر از موارد مذکور ، میزان فضاهای خالی و نحوه توزیع آن از مهمترین عوامل مؤثر در خواص مکانیکی سنگها هستند.

مصالح سنگریزه‌ای تیزگوشه نسبت به مصالح گردگوشه دارای زاویهٔ اصطکاک داخلی بیشتری می‌باشند. مصالح سنگریزه‌ای ؛ مخصوصاً زمانی که با تراکم سنگین متراکم شده باشند ، عموماً دارای مقاومت برشی بالایی هستند. اگرچه مقاومت برشی می‌تواند در رابطه با فشار خاک و مشخصات باربری آن اهمیت داشته باشد ، ولی رابطهٔ موجود بین مقاومت برشی و پایداری شیب‌ها از اهمیت زیادی در سازه‌های سنگریزه‌ای برخوردار است.

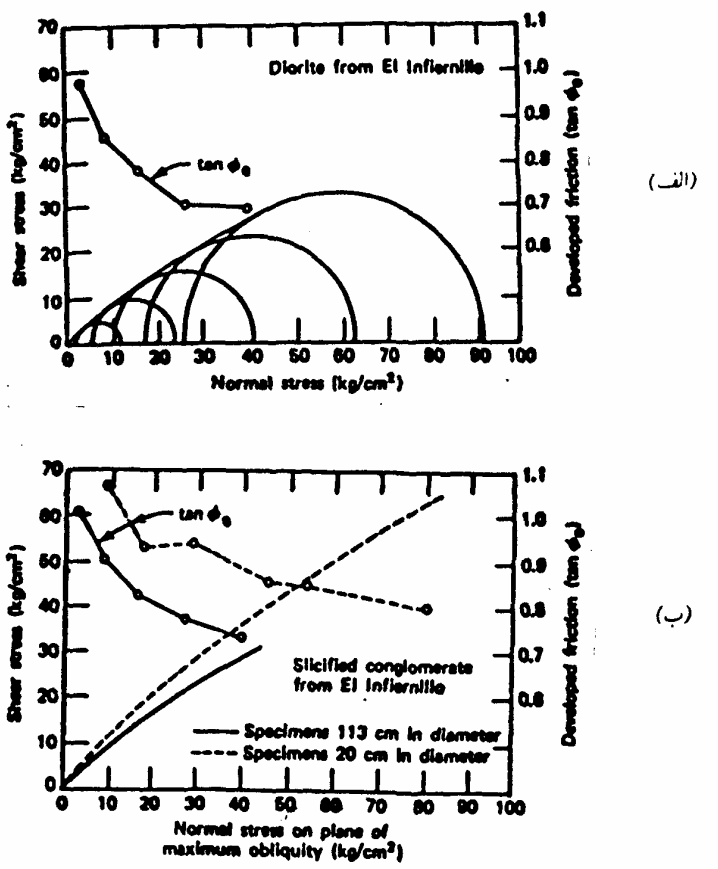
تعیین مقاومت برشی برجا کار مشکلی است ، بنابراین تأکید روی اندازه‌گیری مقاومت آزمایشگاهی نمونه‌هایی است که مجدداً بازسازی و متراکم شده‌اند. زاویهٔ مقاومت برشی زهکشی شده که زاویهٔ اصطکاک داخلی هم نامیده می‌شود ، از نتایج یک آزمایش سه‌محوری بصورت زیر بیان می‌گردد :

$$\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_1' + \sigma_3'}\right)$$

که در آن σ_1' و σ_3' به‌ترتیب تنشهای محوری و همه‌جانبه در لحظهٔ شکست است.

در مصالح سنگریزه‌ای فرض می‌شود که هیچ چسبندگی وجود ندارد $(C'=0)$. مقاومت برشی زهکشی‌شده تا حد زیادی به انبساط‌پذیری[۱] بستگی دارد و از اینرو تابعی از دانسیتهٔ نسبی ، تراز تنشها و تاریخچه و شرایط کرنش در آزمایش است.

برای شناسایی مقاومت برشی مصالح سنگریزه‌ای ، مارشال[۲] آزمایشات سه‌محوری فشاری ، کرنش مسطح و سه‌محوری کششی را روی مصالح درشت‌دانه با دانه‌بندیهای مختلف انجام داده است. قطر نمونه‌های مربوط به دستگاه سه‌محوری، ۲۰ و ۱۱۳ سانتیمتر انتخاب شده بود [۹].



شکل (۲- ۱)- نمونه‌ای از دوایر و پوش گسیختگی موهر در آزمایشات سه‌محوری (مارشال)
الف- پوش و دوایر موهر برای نمونه‌های با قطر ۱۱۳cm
ب- مقایسه پوش موهر برای نمونه‌های با قطر ۱۱۳cm و ۲۰cm

۱- Dilatancy

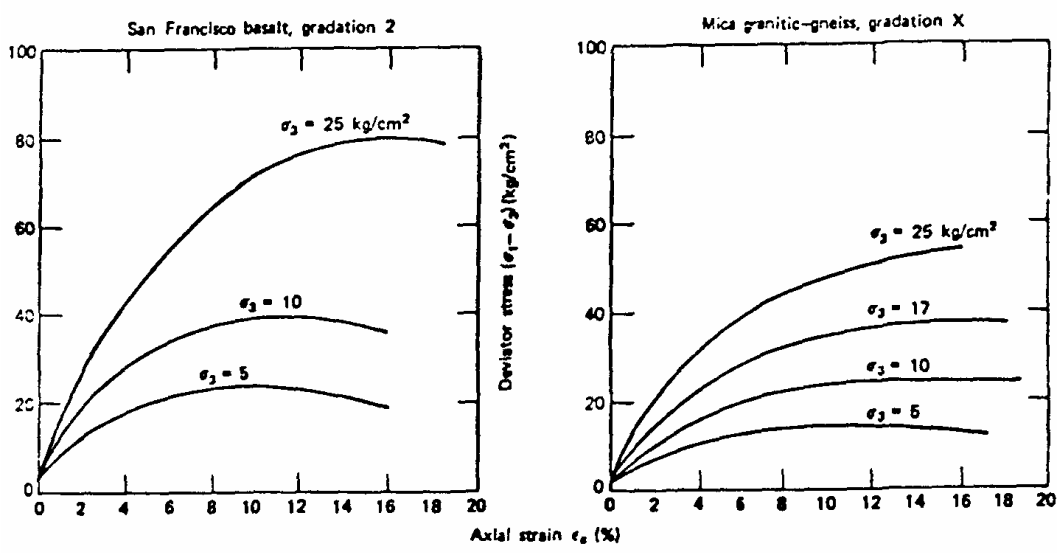
۲- Marsal

پوش موهر برای همهٔ آزمایشات فشاری یک منحنی بوده و ظاهراً از مبدأ عبور می‌کند. زاویهٔ اصطکاک بسیج‌شده[1] در فشار همه‌جانبهٔ کمتر از $5Kg/cm^2$ ، در محدودهٔ 45° تا 55° تغییر می‌کند که با افزایش فشار بطورمحسوس کاهش می‌یابد. در تنش همه‌جانبهٔ $25Kg/cm^2$ ، φ برای اغلب مصالح قوی در حدود ۴۰ درجه و برای مصالح ضعیفتر در حدود ۳۰ درجه می‌باشد.

به‌منظور بررسی اثر اندازهٔ نمونه‌ها، مارشال بعضی از آزمایشات را با استفاده از نمونه‌های با قطر ۲۰cm انجام داد. برای $\sigma'_n=40Kg/cm^2$ ، مقاومت برشی نمونهٔ با قطر ۲۰cm در حدود ۲۰ درصد بیشتر از نمونهٔ با قطر ۱۱۳cm بدست آمد [شکل (۲-۱)- ب]. هر دو نمونهٔ با قطر کوچک و بزرگ نیز دارای دانه‌بندی یکسان بودند.

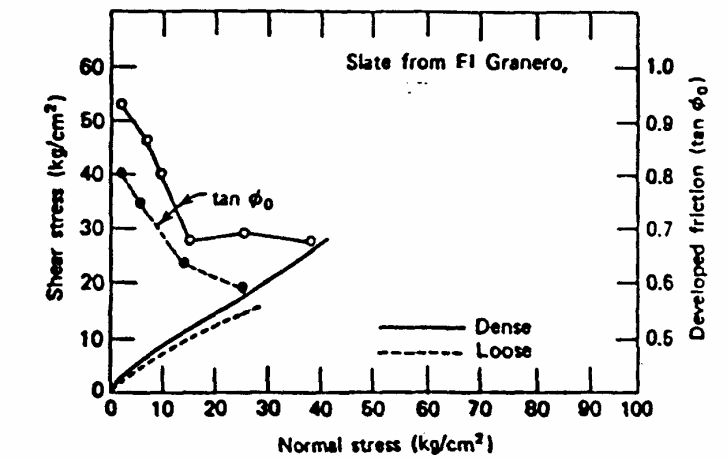
تغییرشکلهای محوری در هنگام شکست در آزمایشات سه‌محوری فشاری از حدود ۲ درصد برای تنش همه‌جانبه $1Kg/cm^2$ تا حدود ۱۰ درصد و بیشتر برای تنش همه‌جانبه $25Kg/cm^2$ تغییر می‌کند. در بعضی از نمونه‌های مصالح سنگریزه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت، شکست در کرنشهای کمتر از ۱۵ تا ۲۰ درصد اتفاق نمی‌افتد. مارشال نتیجه گرفت که تغییرشکلهای بزرگ به علت خردشدگی دانه‌ها و در نتیجه تغییر آرایش ذرات اتفاق می‌افتد [۹].

۱- Mobilized



شکل (۲- ۲)- آزمایش سه‌محوری فشاری، نمودار تنش اضافی بر حسب کرنش محوری (مارشال)

بررسی تحقیقات انجام گرفته بر روی مصالح سنگریزه‌ای در حالت سست و متراکم نشان می‌دهد که در فشار همه‌جانبه کم، تخلخل یا پوکی نمونه عامل اصلی مؤثر بر روی مقاومت برشی مصالح است و تراز تنش‌ها و بافت ذرات مصالح، بیشتر کنترل کننده است [۹]. همچنین نتایج آزمایشات سه‌محوری قطر بزرگ نشان می‌دهد که در فشار همه‌جانبه ۲ Kg/cm^2 افزایش یک درصد مقدار پوکی، میزان زاویه اصطکاک داخلی را در حدود ۰/۵ درجه کاهش می‌دهد.



شکل (۲- ۳)- مقایسه پوش موهر در آزمایشات سه‌محوری برای نمونه‌های متراکم و سست [۹]