بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تاثیر شکل، جنس و توزیع دانه‌بندی

بر ویژگی‌های ژئومکانیکی مصالح دانه‌یی با در نظر گرفتن اثر سطح تنش

از :

سید محمدرضا علوی پور

استاد راهنما :

دکتر علی قربانی

اسفند ۱۳۹۱

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

گرایش مکانیک خاک و پی

تاثیر شکل، جنس و توزیع دانه‌بندی

بر ویژگی‌های ژئومکانیکی مصالح دانه‌یی با در نظر گرفتن اثر سطح تنش

از :

سید محمدرضا علوی پور

استاد راهنما :

دکتر علی قربانی

استادان مشاور :

دکتر مهدی ویس کرمی

مهندس ناصر حمیدزاده

اسفند ۱۳۹۱

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. در اینجا لازم می‌دانم از تمام افرادی که بنده را در انجام مراحل این رساله با راهنماییها و مساعدتهای بی دریغ خود یاری رسانده اند تشکر و قدردانی نمایم.

پیش از همه از زحمات بی دریغ و کمکهای فکری اساتید گروه مهندسی عمران، به خصوص آقایان **دکتر میراحمد لشته نشایی** و **دکتر رضا جمشیدی** که در طول سالیان تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد، بنده را با رهنمودهای سازنده خود یاری رسانده اند، تشکر فراوان می‌نمایم. همچنین از کمکهای شایان **جناب آقای دکتر داودی** که در امر تحصیل و ارائه راهکارهای مناسب برای پیشرفت رساله و امر پژوهش در مرکز تحقیقات و پژوهش زلزله شناسی تهران از هیچ کمکی فروگذاری ننموده‌اند کمال تشکر را دارم.

از همکاران محترم شرکت پرن بتن، آقایان **مهندس پیمان زندوکیلی** و **اشکان گرجی** که در ایجاد هماهنگی‌های لازم و تهیه مصالح بنده را یاری رسانده‌اند سپاسگزارم.

لازم می‌دانم از خدمات شرکت مکانیک خاک وزارت راه و ترابری تهران که تمامی مراحل انجام این پژوهش بدون کمک و یاری مدیران این شرکت به خصوص **سرکار خانم مهندس شاد** امکان پذیر نبوده، تشکر و قدردانی نموده و از خداوند بزرگ برایشان آرزوی سلامت و توفیق مسالت می‌نمایم.

از دوستان عزیزم آقایان **مهندس افشار نعمتی**، **مهندس میثم بهاری**، **مهندس محسن کرمی**، **مهندس محسن جمال‌باشی**، **مهندس میلاد شیرین زبان** و سایر عزیزانی که در طول سالیان مختلف در مقطع کارشناسی ارشد اینجانب را یاری رسانده‌اند تشکر می‌نمایم.

در پایان و چه بسا قبل از همه، از زحمات اساتید بسیار عزیزم، که نه تنها انجام این رساله که کلیه موفقیتهای تحصیلی خود را در طول مراحل مختلف در مقطع کارشناسی ارشد برگرفته از ایشان می‌دانم، **جناب آقایان دکتر علی قربانی** استاد راهنمای عزیزم و **دکتر مهدی ویس کرمی** استاد مشاور و حامی و معلم واقعی که نه تنها در تحصیل بلکه در اخلاق نیز مرا رهنمون بوده‌اند و همچنین **جناب آقای مهندس ناصر حمیدزاده** استاد مشاور پروژه که همواره با رهنمودهای سازنده مرا یاری رسانده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم و از درگاه حق تعالی برایشان موجبات توفیق روز افزون را خواهانم.

با تشکر فراوان از همه‌ی اساتید و عزیزان

توفیق، رفیق راهتان باد

چکیده

تاثیر شکل، جنس و توزیع دانه‌بندی بر ویژگی‌های ژئومکانیکی مصالح دانه‌یی با در نظر گرفتن اثر سطح تنش

سید محمدرضا علوی پور

در این رساله تاثیر توزیع دانه‌بندی، منشاء سنگدانه‌ها (از نظر زمین‌شناسی)، شکل دانه‌ها و جنس آنها (از نظر ترکیبات شیمیایی dominant) بر ویژگی‌های ژئومکانیکی مصالح با در نظر گرفتن اثر سطح تنش بررسی می‌شود. همچنین ارتباط بین پارامترهای ژئومکانیکی مبین رفتار مصالح، مانند پارامترهای زاویه‌ی اصطکاک داخلی و اتساع و همچنین نرخ تغییرات این پارامترها با تغییرات سطح تنش اعمالی بررسی می‌گردد. این وابستگی در نهایت بر اساس توزیع دانه‌بندی، منشاء سنگدانه‌ها، شکل و جنس آنها تعریف گردیده است. علاوه بر این، پارامترهای دیگری چون مقاومت این دسته مصالح در مقابل سختی و سایش، ارزیابی و به جنس و منشاء آنها ارتباط داده شده است. مصالح مورد استفاده در این تحقیق عمدتاً مصالح درشت‌دانه (در طبقه‌ی خرده سنگ، شن و ماسه‌ی درشت‌دانه) هستند که با انجام تست‌های مختلف سه محوری بر روی این نوع مصالح که از دو معدن قم و شهریار انتخاب گردیده‌اند و جمع آوری کامل سایر نتایج محققان پیشین به یک جمع بندی نهایی رسیده و ارتباط این پارامترها با جنس مصالح و سطح تنش اعمالی به نحوی کاربردی تبیین گردیده است تا در نهایت بر اساس کلیه این داده‌ها روابطی ارائه گردیده است. این مطالعات بر اساس یک سری تست‌های آزمایشگاهی متداول و همچنین داده‌های موجود در مراجع انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: سنگدانه، زاویه‌ی اصطکاک داخلی، زاویه‌ی اتساع، جنس مصالح، سطح تنش

فهرست مطالب

فهرست جداول.....چ

فهرست شکلها.....ح

چکیده فارسی.....ذ

چکیده انگلیسی.....ر

فصل اول- مقدمه و کلیات

۱- فصل اول- مقدمه و کلیات ۲

۱-۱. تعریف مسئله و اهداف پروژه ۲

۱-۲. جمع‌بندی و اهداف کلی رساله ۵

۱-۳. اهداف پژوهش ۶

۱-۴. روش پژوهش ۱۰

فصل دوم- مروری بر مباحث کلی رساله

۲-۱. مقدمه ۱۲

۲-۲. مدل سازی رفتاری ۱۲

۲-۲-۱. حالت الاستیک ۱۳

۲-۲-۲. حالت الاستو پلاستیک ۱۶

۲-۳. بررسی و تشریح مدل رفتاری بر اساس مدل DSC ۱۹

۲-۳-۱. نظریه DSC ۲۰

۲-۳-۲. حالت‌های FA,RI ۲۴

۲-۴. بررسی اثر سطح تنش ۲۷

۲-۴-۱. معرفی و بحث درباره سطح برش و زوایای اصطکاکی و اتساعی ۲۸

۲-۴-۲. ارتباط بین سطح تنش و زوایای اتساعی و اصطکاکی ۳۰

۲-۵. بررسی تاثیرات جنس، شکل و منشاء ۳۲

۲-۶. خلاصه فصل دوم ۳۷

فصل سوم- بررسی آزمایشات، نحوه انجام و ارائه نتایج آزمایشگاهی

۳- فصل سوم- بررسی آزمایشات، نحوه انجام و ارائه نتایج آزمایشگاهی ۳۹
۳-۱. آماده سازی و دانه‌بندی نمونه‌ها ۳۹
۳-۱-۱. تهیه و دانه‌بندی نمونه‌ها برای آزمایش سه محوری ۴۱
۳-۲. بررسی سایش ۴۳
۳-۲-۱. شرح سایش و اثر آن بر مقاومت ۴۳
۳-۲-۲. نحوه تهیه نمونه‌ها و آزمایش سایشی بر روی آن‌ها ۴۵
۳-۳. تشریح نمونه‌ها و بررسی جنس و منشاء ۴۸
۳-۳-۱. بررسی جنس و منشاء و اثر آن بر مقاومت ۴۸
۳-۳-۲. نحوه تهیه‌ی نمونه‌ها و آزمایش تشریح میکروسکوپی بر روی آن‌ها ۴۹
۳-۴. تست سه محوری ۵۰
۳-۴-۱. بررسی کلی آزمایش CD ۵۱
۳-۴-۲. بررسی دستگاه آزمایشCD ۵۱
۳-۴-۳. نحوه انجام تست CD بر روی نمونه‌ها ۵۳
۳-۴-۴. محاسبات ۵۴
۳-۵. خلاصه فصل سوم ۵۶

فصل چهارم- بررسی نتایج آزمایشگاهی و تفسیر آن

۴- فصل چهارم- بررسی نتایج آزمایشگاهی و تفسیر آن ۵۸
۴-۱. نتایج دانه‌بندی، سایش، تشریح ۵۸
۴-۲. نتایج تست‌های سه محوری CD ۶۰
۴-۳. تفسیر نتایج آزمایشگاهی ۶۹
۴-۳-۱. بررسی رابطه زاویه‌ی اصطکاک بحرانی $\phi'_{Critical}$ با تنش همه جانبه σ'_3 ..... ۷۰

۴-۳-۲. بررسی رابطه بیشینه زاویه‌ی اصطکاکی ϕ'_{Peak} با تنش همه جانبه σ'_3 ..... ۷۲

۴-۳-۳. بررسی رابطه زاویه‌ی اصطکاک بحرانی $\phi'_{Critical}$ با لس آنجلس ۷۵

۴-۳-۴. بررسی رابطه زاویه‌ی بیشینه‌ی اصطکاکی ϕ'_{Peak} با لس آنجلس ۷۸

۴-۳-۵. بررسی رابطه ماکزیمم نسبت تنش اصلی در شکست با لس آنجلس ۸۱

۴-۴. ارائه روابط ریاضی بر اساس نتایج ۸۲

۴-۵. خلاصه فصل چهارم ۸۵

فصل پنجم- نتیجه گیری

۵- فصل پنجم- نتیجه گیری ۸۷

فهرست منابع ۹۱

ضمایم ۹۴

فهرست جداول

جدول ۳-۱- توزیع دانه‌بندی سنگدانه‌های تست شده در آزمایش سه‌محوری..... ۴۴

جدول ۳-۲- دانه‌بندی نمونه‌های آزمایش لس آنجلس..... ۴۶

جدول ۴-۱- خواص و مشخصات نمونه‌های تست شده در آزمایش بزرگ مقیاس سه‌محوری، لس‌آنجلس، تشریح..... ۵۹

جدول ۴-۲- پارامترهای استخراج شده از نتایج تست سه محوری..... ۶۷

جدول ۴-۳- نتایج رابطه‌های بدست آمده بر اساس پارامترهای فیزیکی و مکانیکی سنگدانه‌ها در وسعت بزرگ مقیاس با توجه به جنس، شکل، منشاء سنگدانه‌ها با توجه به در نظر گرفتن سطح تنش..... ۸۳

جدول ۴-۴- تعیین زوایای اصطکاکی بحرانی و بیشینه‌ی اصطکاکی بر اساس جنس، شکل، منشاء و لس آنجلس به صورت عددی و بازه‌ای..... ۸۴

فهرست شکلها

شکل ۱-۱- منحنی تنش-کرنش برای دو نمونه سست و متراکم در حالت بحرانی ۷

شکل ۱-۲- تغییرات کرنش حجمی با کرنش برشی در دو نمونه سست و متراکم در حالت بحرانی ۸

شکل ۱-۳- تغییرات نسبت تخلخل با کرنش برشی در دو نمونه سست و متراکم در حالت بحرانی ۸

شکل ۱-۴- منحنی تنش-کرنش برای چهار نمونه در تراکم‌های متفاوت در حالت بیشینه و بحرانی ۹

شکل ۱-۵- منحنی‌های تخلخل و کرنش حجمی بر اساس کرنش برای چهار نمونه در تراکم‌های متفاوت در حالت بیشینه و بحرانی ۹

شکل۲-۱- حالت‌های قابل بررسی مصالح تحت تنش در نمودار تنش-کرنش ۱۳

شکل ۲-۲- نقطه تسلیم در نمودار تنش- کرنش ۱۷

شکل ۲-۳- مراحل وجود ذرات در طبیعت و رفتار آنها تحت بارگذاری ۲۰

شکل ۲-۴- شکل شماتیک توصیف مدل DSC ۲۲

شکل ۲-۵- مقایسه رفتار ذرات و تغییر حجم آنها تحت بارگذاری ۲۲

شکل ۲-۶- پراکندگی ذرات در زمان بارگذاری بر اساس محدوده RI و FA ۲۳

شکل ۲-۷- شکل شماتیک نظریه DSC (الف)تغییر حالت از RI به FA (ب)رفتار ذرات تحت بارگذاری در حالات RI و FA ۲۵

شکل ۲-۸- شکل شماتیک مدل DSC و رفتار تنش کرنش با توجه به این مدل ۲۵

شکل ۲-۹- تشریح حالت RI در حالت الاستیک و الاستو پلاستیک در مقایسه با مشاهدات آزمایشگاهی ۲۶

شکل ۲-۱۰- شکل شماتیک مراحل کامل رفتار ذرات از قبل و تا انتهای بارگذاری در نمودار تنش- کرنش ۲۷

شکل ۲-۱۱- توصیف تنش ۲۸

شکل ۲-۱۲- شکل شماتیک مدل‌سازی شیب با سطح زبر الف) سطح زبر شیب‌دار با اصطکاک ب)جعبه آزمایش برش مستقیم با زوایای اصطکاکی و حرکتی ج)نتیجه آزمایش برش مستقیم ۲۹

شکل ۲-۱۳- نتایج آزمایش ماسه سیلیسی در سطحهای متفاوت تنش و رفتار زوایای ماکزیمم اصطکاکی و بحرانی با سطح تنش ۳۱

شکل ۲-۱۴- رابطه زاویه اصطکاکی بیشینه با تنش موثر در نمونه آزمایشی(1977) Bagge *et al.* و Abbas Abghari (1986) ۳۲

شکل ۲-۱۵- تغییرات کرنش محوری در شکست با تنش همه جانبه ۳۵

شکل ۲-۱۶- تغییرات کرنش حجمی در شکست با تنش همه جانبه..... ۳۶
شکل ۳-۱- محل معدن انتخابی شهریار در Google Earth..... ۴۰
شکل ۳-۲- محل معدن انتخابی قم در Google Earth..... ۴۰
شکل ۳-۳- نمونه‌هایی از سنگدانه‌های شکسته دانه‌بندی شده معدن شهریار(SA-SS-19) بر اساس فولر..... ۴۲
شکل ۳-۴- نمونه‌هایی از سنگدانه‌های رسوبی دانه‌بندی شده معدن قم(SR04-I-19) بر اساس فولر..... ۴۲
شکل ۳-۵- دستگاه لس آنجلس..... ۴۷
شکل ۳-۶- جزئیات دستگاه لس آنجلس..... ۴۷
شکل ۳-۷- نمونه‌های انتخابی برای آزمایش تشریح و شکل ۳-۸- نمونه‌های انتخابی برای آزمایش تشریح(معدن قم)..... ۵۰
شکل ۳-۹- یک تصویر شماتیک از دستگاه سه محوری برای نمونه‌های تست شده در این رساله..... ۵۳
شکل ۴-۱- تشریح میکروسکوپی نمونه شهریار و شکل ۴-۲- تشریح میکروسکوپی نمونه شهریار..... ۵۸
شکل ۴-۳- منحنی اصلی تنش- کرنش نمونه‌های سنگ‌شکن معدن شهریار(SA01-SS-19) در تنش همه جانبه متفاوت ۶۰
شکل ۴-۴- منحنی اصلی تنش- کرنش نمونه‌های رسوبی معدن شهریار(SR02-SS-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۰
شکل ۴-۵- منحنی اصلی تنش- کرنش نمونه‌های سنگ‌شکن معدن قم(SA03-I-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۱
شکل ۴-۶- منحنی اصلی تنش- کرنش نمونه‌های رسوبی معدن قم(SR04-I-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۱
شکل ۴-۷- منحنی کرنش حجمی- محوری نمونه‌های سنگ‌شکن معدن شهریار(SA01-SS-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۲
شکل ۴-۸- منحنی کرنش حجمی- محوری نمونه‌های رسوبی معدن شهریار(SR02-SS-19) در تنش همه جانبه متفاوت ۶۲
شکل ۴-۹- منحنی کرنش حجمی- محوری نمونه‌های سنگ‌شکن معدن قم(SA03-I-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۳
شکل ۴-۱۰- منحنی کرنش حجمی- محوری نمونه‌های رسوبی معدن قم(SR04-I-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۳
شکل ۴-۱۱- منحنی نرمال‌سازی شده‌ی تنش- کرنش نمونه‌های سنگ‌شکن معدن شهریار(SA01-SS-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۴
شکل ۴-۱۲- منحنی نرمال‌سازی شده‌ی تنش- کرنش نمونه‌های رسوبی معدن شهریار(SR02-SS-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۴
شکل ۴-۱۳- منحنی نرمال‌سازی شده‌ی تنش- کرنش نمونه‌های سنگ‌شکن معدن قم(SA03-I-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۵
شکل ۴-۱۴- منحنی نرمال‌سازی شده‌ی تنش- کرنش نمونه‌های رسوبی معدن قم(SR04-I-19) در تنش همه جانبه متفاوت..... ۶۵

شکل ۴-۱۵- نمونه‌های انتخاب شده (الف) قبل آزمایش (ب) بعد از تست سه محوری..... ۶۶
شکل ۴-۱۶- تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با تغییرات تنش همه جانبه..... ۷۰
شکل ۴-۱۷- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با تغییرات تنش همه جانبه در دو حالت گردگوشه و تیز گوشه..... ۷۱
شکل ۴-۱۸- تغییرات بیشینه زاویه اصطکاکی باتغییرات تغییرات تنش همه جانبه..... ۷۲
شکل ۴-۱۹- رابطه تغییرات بیشینه زاویه اصطکاکی با تغییرات تغییرات تنش همه جانبه بر اساس تفکیک جنس و منشاء... ۷۳
شکل ۴-۲۰- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی باتغییرات تغییرات تنش همه جانبه برای تمامی سنگدانه‌ها..... ۷۴
شکل ۴-۲۱- رابطه تغییرات بیشینه زاویه اصطکاکی با تغییرات تغییرات تنش همه جانبه برای تمامی سنگدانه‌ها..... ۷۴
شکل ۴-۲۲- تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس آنجلس..... ۷۵
شکل ۴-۲۳- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس آنجلس در تقسیم بندی سنگدانه‌ها بر اساس سنگ آهک- ماسه سنگ- تیزگوشه..... ۷۶
شکل ۴-۲۴- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس آنجلس در تقسیم بندی سنگدانه‌ها بر اساس سنگ آهک- ماسه سنگ- گردگوشه..... ۷۷
شکل ۴-۲۵- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس‌آنجلس در سنگدانه‌ها با منشاء غیر از سنگ آهک و ماسه‌سنگ- تیزگوشه- گردگوشه..... ۷۸
شکل ۴-۲۶- تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس آنجلس..... ۷۹
شکل ۴-۲۷- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس آنجلس در تقسیم بندی سنگدانه‌ها بر اساس سنگ آهک- ماسه سنگ- تیزگوشه..... ۷۹
شکل ۴-۲۸- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس آنجلس در تقسیم بندی سنگدانه‌ها بر اساس سنگ آهک- ماسه سنگ- گردگوشه..... ۸۰
شکل ۴-۲۹- رابطه تغییرات زاویه اصطکاک بحرانی با لس‌آنجلس در سنگدانه‌ها با منشاء غیر از سنگ آهک و ماسه‌سنگ- تیزگوشه- گردگوشه..... ۸۰
شکل ۴-۳۰- تغییرات ماکزیمم نسبت تنش اصلی در شکست با لس آنجلس..... ۸۱

فصل اول:

مقدمه و کلیات

۱- فصل اول- مقدمه و کلیات

۱-۱. تعریف مسئله و اهداف پروژه

از دیرباز استفاده از سنگها مورد توجه بشریت بوده و عموما سنگدانه‌ها مجموعه‌ای از قطعات سنگی معدنی هستند که از این سنگها بدست آمده و در بسیاری ازپروژه‌ها ازجمله راهسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنگدانه‌ها دارای نوع، شکل و منشاءهای متفاوتی هستند که هر کدام از این موارد به طور جداگانه بر رفتار و خصوصیات ژئومکانیکی آنها از جمله سایش و مقاومت تاثیر می‌گذارند. اما عاملی که باعث ایجاد مقاومت و استحکام بیشتر در سنگ می‌شود، چسبندگی ذرات و کانی‌هایی است که به علت نیروی داخلی در کنار هم نگه داشته می‌شوند و این مسئله از آن جهت حائز اهمیت است که در بسیاری از سازه‌ها یا ساختگاه‌های خاکی افزایش توان باربری و کاهش تغییر شکل هدف اولیه بوده است.

سنگدانه‌ها از نظر نوع به دو نوع طبیعی و شکسته تقسیم می شوند. سنگدانه شکسته از طریق شکستن قطعات سنگی بزرگ در اندازه‌های لاشه سنگ، قلوه سنگ و شن درشت و ریز تهیه می‌شود و اغلب تیزگوشه‌اند که عموما از طریق انفجار یا سنگ شکن بدست می‌آیند. اما سنگدانه‌های طبیعی از نوع مصالح رسوبی اند که به صورت لایه یا عدسی در نتیجه‌ی فرآیند رسوبگذاری در آبرفت‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها شکل می‌گیرند و این مصالح به دلیل حمل به وسیله جریان آب و سائیده شدن به یکدیگر عموما گردگوشه‌اند. معمولا این‌طور بیان می‌شود که دانه‌های گردگوشه به علت آن‌که سطح آن‌ها صیقلی است، دارای اصطکاک داخلی کمتری بوده و بهتر روی هم میلغزند، در صورتی که معمولا سنگدانه شکسته به علت تیزگوشه بودن دارای اصطکاک داخلی بالاتری می‌باشند، البته نمی‌توان به طور قاطع این مسئله را بیان کرد، زیرا این مسئله ممکن است متاثر از عوامل دیگری مانند جنس و منشاء سنگدانه‌ها باشند و موارد مطرح شده درباره زاویه اصطکاک داخلی برعکس موارد بیان شده عمل نماید.

از لحاظ منشاء نیز می‌توان سنگدانه‌ها را به انواع مختلف طبقه‌بندی کرد که عموما می‌توان مصالح سنگی با منشاء سنگ آهک،دولومیت و بازالت را به دلیل مقاومت بیشتر، مطلوب‌تر دانست. منشاءهای دیگری از جمله آذرین و دگرگون نیز وجود دارند که مقاومت آنها نسبت به دسته اول کمتر می‌باشد و برخی از آنها به دلیل نرمی و خردشوندگی نامرغوب‌تر تلقی می‌شوند.

اگرچه تقریبا جنس این سنگدانه‌ها در اختیار ما نیست و ممکن است هر سنگی در آن وجود داشته باشد. اما با مطالعه معادن تهیه سنگ می‌توان نوع سنگ را تعیین کرد.

مسئله دیگری که می‌تواند بر ظرفیت باربری و مقاومت و پارامترهای تغییر شکل پذیر مصالح تاثیرگذار باشد، توزیع دانه‌بندی است. درحقیقت نوع و توزیع دانه‌بندی مصالح، خود به تنهایی دارای تاثیر بسیار زیادی بر ویژگیهای رفتاری مصالح می‌باشد[مهدی ویس کرمی، ۱۳۸۳]. دانه بندی سنگدانه‌ها به‌خصوص درشت دانه‌ها بسیار متفاوت می‌باشد ولی اصولا هدف از به کار بردن دانه با ابعاد مختلف آن است که در نهایت دانه‌بندی ما به صورتی باشد که دانه‌های ریزتر فضای دانه‌های درشت‌تر را پر کرده و نمونه تهیه شده متراکم‌تر بوده و دارای وزن مخصوص بیشتری باشد.

در بین سنگدانه‌ها، درشت دانه‌ها نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند، به طوری‌که از این مواد برای رسیدن به مقاومت‌های بالا برای حمایت از سازه‌ها استفاده خواهد شد. این قضیه زمانی قوت می یابد که سازه‌ها با بارهای چرخه‌ای یا بارهایی که باعث از بین بردن معیارهای کنترلی در هنگام طراحی می‌شوند، مواجه باشند. برخلاف مواد ریزدانه که توسط شاخص پلاستیسیته یا کانی‌هایشان مشخص می‌گردند، مواد درشت دانه به احتمال زیاد به جنس، شکل، توزیع دانه‌بندی و نوع و منشاء دانه‌ها بستگی دارند.

بسیاری از تحقیقات تاثیرات عوامل فوق را بر روی خواص فیزیکی و ژئومکانیکی(خواص مکانیکی مواد) مورد بررسی قرار داده‌اند. رفتار مکانیکی مواد درشت دانه اغلب توسط مدل های رفتاری الاستیک خطی یا الاستیک غیر خطی بیان شده‌اند.[برای مثال: Kulhawy and Duncan, 1972 and Saboya and Bryne, 1993]. اگرچه اخیرا مدل‌های پیچیده‌تر الاستوپلاستیک برای مواد درشت دانه مطرح شده‌اند که این مدل‌ها بر اساس نوع و شکل و اندازه مواد بدست آمده‌اند. [برای مثال: Varadarajan *et al.*, 2006] .

علاوه بر آنکه پارامترهایی که در مدل رفتاری وجود دارند بر اساس نوع، شکل و اندازه ذرات بدست می آیند، پارامترهای مقاومت برشی مواد نیز تابعی از سطح تنش می باشند. به طوری‌که مطالعات زیادی توسط Bolton(1986) بر روی رفتار نوع‌های مختلفی از ماسه تحت تنش‌های متفاوت انجام شده که نقش نوع و شکل ذرات به خوبی در آن مشهود است. از سوی دیگر خواص فیزیکی مانند قدرت سایش و ضریب شکست از آنجایی که به طور مستقیم(به عنوان معیار طراحی) یا غیر مستقیم(به عنوان پارامترهای مستقل در مدل رفتاری) مورد استفاده قرار می گیرند، نیز حائز اهمیت می باشند. بنابراین توصیف رفتار مواد درشت دانه بر اساس نوع، شکل و اندازه دانه ها شایسته توجه بیشتری می باشد.

البته مطالعه این موارد دارای پیچیدگی های بسیاری است، به این علت که پیوستگی و ناپیوستگی، نظم و بی نظمی، مثبت و منفی، همه با هم و در کنار هم در طبیعت وجود دارند و مواد دارای پیچیدگی ها و رازهای بسیاری می‌باشند، که ما با آنها سر و کار داریم. شناخت این پیچیدگی‌ها و ارائه راهکارهای مناسب برای استفاده از این مصالح تاثیر چشمگیری درکاهش هزینه‌های اجرایی و قابلیت بهره برداری سازه‌های در ارتباط با آنها خواهند داشت[Desai, 2001].

درک و فهم فیزیکی و ژئومکانیکی مواد مستلزم بررسی و توصیف خواص اتم‌های ذرات می‌باشد که رفتار این ذرات در طول زمان و تحت بارهای خارجی بوده و می‌تواند به حالت‌های متفاوت خود را نمایان سازد. این حالت ها بسته به اندازه، جنس و شکل ذرات متفاوت است و البته می‌تواند از منشاء آنها نیز اقتباس یابد، این امکان وجود دارد که رفتار مواد در سطح‌های متفاوت اتمی، میکروسکوپی و ماکروسکوپی شبیه باشند، یا به عبارت دیگر یک مجموعه از اتم‌ها ممکن است رفتاری شبیه به هم در یک مجموعه از ذرات با اندازه‌های محدود داشته باشند. همواره تغییر رفتار ذرات از جنبش آن‌ها در هر سیستم فیزیکی نشات می‌گیرد و این ذرات از حالتی به حالت دیگر تبدیل می‌شوند. تمامی این موارد حالت‌هایی هستند که می‌توانند بر رفتار ذرات تحت بارهای خارجی و مقاومت آنها تاثیرگذار باشند[Desai, 2001].

علم مهندسی مواد به سختی می‌تواند این حالت‌ها را از هم متمایز کند و حالت‌های مصنوعی و طبیعی ذرات را تحت بارهای خارجی تعیین نماید، به همین خاطر از مدل‌های عددی یا ریاضی جهت بدست آوردن این رفتار استفاده می‌شود. بررسی‌های لحظه‌ای واکنش ذرات نشان می‌دهد که ذرات در اتصال به یکدیگر از تمامی آیتم‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌کنند که این مسئله بیانگر آن است که نیروها و موارد ناشناخته بسیاری وجود دارند که نمی‌توان آنها را اندازه‌گیری کرد و این مسئله ما را به مدل‌های عددی نزدیک‌تر می‌نماید.

بنابراین، شناخت این ذرات نیازمند آن است که مدل تعریف شده بر اساس ترکیبی از مدل‌های عددی و مکانیکی و هم‌چنین داده‌های تجربی ذرات، و با بررسی اثر جنس و شکل و اندازه ذرات مطرح گردد، و مقادیر تغییرشکل‌ها و تنش‌ها نیز بر اساس این موارد بدست آیند تا مدل مطرح شده واقعی‌تر بوده و منجر به پاسخی منطقی گردد. پاسخی که عمدتا به رفتار مواد و ساختمان آنها بستگی داشته و می‌توان این پاسخ‌ها را درقالب مدل رفتاری بیان نمود.

عموما مدل رفتاری به پارامترهای زیادی بستگی دارد که در نهایت با بررسی شکل،جنس و اندازه ذرات درشت دانه می‌توان با آزمایش‌های مقاومت برشی به یک مدل رفتاری وابسته به سطح تنش برای این مصالح دست یافت، که بیانگر رفتار مصالح درشت دانه بر اساس سطح تنش و پارامترهای دیگر است. از آنجا که امروزه مصالح دانه‌ای درشت کاربرد وسیعی در پروژه‌های عمرانی دارند، به طوری که اهمیت آن را می‌توان در سدها، پایه‌های پل‌ها و سازه‌های حساس و بزرگ مشاهده کرد، تعریف این مدل نیز بسیار حائز اهمیت می باشد.

در نهایت با داشتن این مدل رفتاری که بر پایه بررسی اثر جنس، شکل و اندازه بدست آمده و شامل اثر تنش بر روی این مصالح درشت دانه می‌باشد، نه تنها می‌توان در بسیاری از طراحی‌های ژئوتکنیکی از آن استفاده نمود(مواردی از جمله ظرفیت باربری فونداسیون)، بلکه از آن برای تعیین پارامترهای تاثیرگذار فیزیکی و مکانیکی خاک از جمله c (چسبندگی ظاهری خاک) و ϕ (زاویه اصطکاک ذرات خاک) نیز می‌توان استفاده کرد. این پارامترها و بسیاری پارامترهای دیگر در اغلب مسائل و بررسی‌ها ثابت در نظرگرفته می‌شوند، اما در واقع عوامل متعددی از جمله دانسیته‌نسبی و تنش همه جانبه بر آنها تاثیر گذارند،

و خود این عوامل نیز ناشی از پارامترهای جنس، شکل و اندازه ذرات می‌باشند.

۱-۲. جمع‌بندی و اهداف کلی رساله

از آن‌جا که اهمیت مصالح دانه‌ای درشت مطرح شد، در این دسته مصالح، تاثیر سطح تنش بر رفتار تنش-کرنش از اهمیت به سزایی برخوردار است. این اثر به عوامل متعددی از جمله جنس، شکل، دانه‌بندی و منشاء آن‌ها بستگی دارد. در نهایت با بررسی این عوامل می توان با آزمایش‌های مقاومت برشی به یک مدل رفتاری وابسته به سطح تنش برای این مصالح دست یافت که بیانگر رفتار مصالح درشت دانه بر اساس سطح تنش و پارامترهای دیگر است. آزمایش‌های متعدد بر روی گروه وسیعی از مصالح درشت‌دانه‌ی سنگ‌ریزه‌یی انجام پذیرفت تا یک چنین مدل رفتاری به دست آید. این مدل بر اساس نظریه حالت آشفته (DSC) تعریف می‌گردد که دارای دو حالت حدی نسبتا دست نخورده(RI) و کاملا تطبیق شده (FA) است. رفتار واقعی مصالح بین این دو محدوده (و گاهی خارج از آن) است و این رفتار بینابینی بر اساس پارامتری موسوم به پارامتر آشفتگی (D) بیان می‌شود که خود نیز تابع پارامترهای بسیاری است. این مدل می‌تواند بر اساس حالت الاستیک و الاستوپلاستیک توصیف شود. تعریف این مدل نیاز به دانستن و محاسبه موارد بسیاری دارد و البته محاسبه این پارامترها دارای پیچیدگی‌های خاصی می‌باشد..

این پژوهش، در راستای تحقیقات انجام شده‌ی پیشینیان است، به طوریکه آزمایش‌هایی از قبیل سه محوری و لس آنجلس بر دسته‌ی نسبتاً وسیعی از انواع مصالح درشت دانه انجام پذیرفت. این تنوع و وسعت بیشتر یعنی انتخاب مصالح درشت دانه، حداقل از دو نوع طبیعی و شکسته و با دو شکل گردگوشه و تیز گوشه و با منشاء های مختلف مانند آهکی، دگرگونی و غیره (تا حد امکان در راستای اهداف این پژوهش). در واقع این منشاءها بسته به معادن و کوههای در دسترس متفاوت بود تا بتوانیم تفاوت موارد بیان شده جنس، شکل و اندازه این سنگدانه‌ها را در منشاءهای مختلف مورد بررسی قرار دهیم.

نمونه‌هایی بر اساس توزیع دانه‌بندی فولر[1] و با دانه بندی و دانسیته نسبی یکسان تهیه شد و بر اساس حداکثر تراکم ممکن تهیه گردیدند، تا بتوان در این حالت با ثابت نگه داشتن چند پارامتر، به بررسی تعداد محدودی از پارامترها در شرایط یکسان پرداخت. این نمونه‌ها تحت آزمایش‌های پیشتر بیان‌شده، قرار داده شدند تا بتوان پارامترهای مکانیکی رفتاری این سنگدانه‌ها و خصوصیات ژئومکانیکی آن‌ها را بررسی نمود و به ارزیابی تفاوت‌های آنها از نظر نوع ساختگاه و جنس و شکل مصالح پرداخت. منظور از پارامترهای مکانیکی رفتاری، پارامترهایی است که به لحاظ ژئومکانیکی می‌توانند مبین رفتار این مصالح باشند، به

[1] Fuller

عنوان مصالح پارامترهایی چون زاویه‌ی اصطکاک داخلی در دو حالت بیشینه[1] و بحرانی[2] (در صورتی که از یکدیگر متفاوت باشند)، زاویه‌ی اتساع مصالح و در نهایت مقاومت مصالح در مقابل ضربه، سختی و سایش. تا حد امکان سعی می‌شود تا تغییرات این پارامترها در شرایط مختلف آزمایشگاهی به جنس، شکل و منشاء ژئولوژیک مصالح ارتباط داده شود. به عنوان مثال سعی بر این است تا ارتباط بین کاهش (یا افزایش) زاویه‌ی اصطکاک داخلی مصالح با تنش همه‌جانبه و نرخ تغییرات آن، به کمک روابطی مشابه با روابط موجود در مراجع، به جنس مصالح و منشاء آنها ارتباط داده شود و روابط متحدی برای کلیه‌ی مصالح سنگی از این دست به دست آید.

در نهایت، مطالعات حاضر با انجام آزمایشهای سه محوری مصالح درشت‌دانه‌ی سنگی، سختی- سایش لس آنجلس و سایر تست‌های مرتبط و همچنین آزمایش‌هایی جهت تعیین جنس مصالح انجام پذیرفت. و از طریق انتخاب مصالح بر اساس آنچه بیان شد، تفاوت بین منشاء، شکل و جنس مصالح به خوبی قابل تفکیک بوده و نتایج این آزمایش‌ها قابل استفاده در صنایع ساختمانی، راهسازی و تونل‌سازی خواهد بود.

به طور خلاصه، در این پژوهش نتایج آزمایش‌ها و در نهایت پارامترهای مرتبط با مدل رفتاری مورد نظر برای مصالح درشت دانه مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهایی که همگی ورودی‌های مدل رفتاری می‌باشند. در نهایت سعی بر آن بود تا با بررسی این پارامترها و روابطشان به روابط‌هایی دست یابیم تا این روابط بتواند برای هر یک از این مصالح انتخاب و پیشنهاد گردد. انتظار از این پژوهش این است که هر یک از موارد بیان شده یعنی نوع، شکل، منشاء و توزیع دانه بندی چه تاثیری در پارامترهای ژئومکانیکی مصالح و نرخ تغییرات آن با تنش‌های همه‌جانبه خواهد داشت.

۱-۳. اهداف پژوهش

در این پژوهش بر اساس آنچه بیان شد برای آنکه بتوان مدل رفتاری مرتبطی برای سنگدانه‌های درشت بیان کرد، باید پارامترهای زیادی را مورد ارزیابی قرار داد. از این رو باید بتوان محدوده‌ای را برای نمونه‌ها تعریف کرد تا بتوان رفتار مواد را براساس این محدوده‌ها مورد ارزیابی قرار داد، اگر نظریه حالت آشفته[3] را نیز در نظر بگیریم، این نظریه همان طور که بیان شد دارای دو حالت حدی نسبتا دست نخورده(RI) و کاملا تطبیق شده (FA) است، که رفتار ذرات درون یا خارج این محدوده

[1] Peak

[2] Critical State

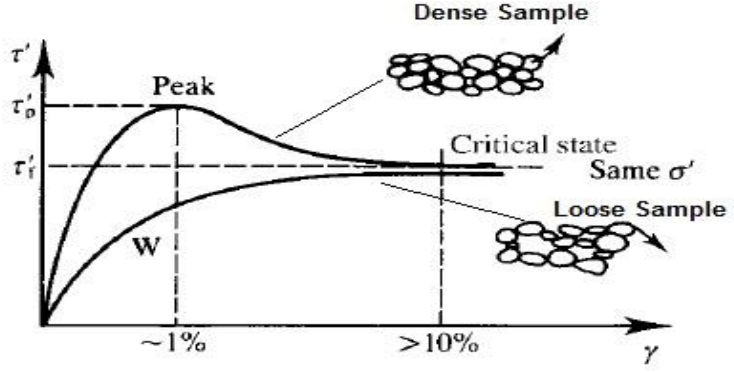
[3] Disturbed State Concept

بررسی می‌شود، ولی در حالت کلی این مدل براساس این دو حالت و توسط پارامتر آشفتگی (D) بیان می‌شود که این پارامتر خود به عوامل متعددی که آنها نیز به نوع، جنس، شکل و دانه‌بندی ذرات و سنگدانه‌ها بستگی دارند، وابسته است.

البته برای داشتن حالت‌های حدی مطرح شده نیز عوامل متعددی مطرح است، و از طریق بررسی رفتار نمونه‌ها و ذرات تحت بارهای متفاوت بدست می‌آید. به طور مثال اگر حالت (RI) را در نظر بگیریم، حالتی را بررسی می‌کنیم که رفتار ذرات تحت بارها دستخوش تغییرات، به صورت واضح نشوند یا ترک‌های ریز در نمونه‌ها در حال گسترش نباشند و این نوع رفتار در سنگدانه‌های متفاوت بر اساس جنس و شکل و نوع متفاوت نیز، ممکن است متفاوت بوده وهمین‌طور تابع دانه‌بندی و تراکم و بسیاری عوامل دیگر از جمله شل وسست بودن دانه‌بندی(Loose) و یا حالت بسیار متراکم و سفت(Dense) باشد.

البته عوامل و پارامترهای بیان شده تنها بخشی از این موارد تاثیر گذار می باشند و پارامترهای دیگری چون زاویه‌ی اصطکاک داخلی در دو حالت بیشینه و بحرانی (در صورتی که از یکدیگر متفاوت باشند)، زاویه‌ی اتساع مصالح و مقاومت مصالح در مقابل ضربه، سختی و سایش نیز پارامترهای مهم دیگری هستند که همگی در تعیین و معرفی مدل رفتاری نقش دارند و می‌توانند با جنس، شکل و منشاء ژئولوژیک مصالح ارتباط داده شوند. برای آن‌که بتوان به دو حالت حدی بیان شده رسید باید ابتدا این پارامترها را بدست آورد و برای بدست آوردن این پارامترها باید سنگدانه‌ها با جنس‌ها و اشکال و نوع‌های متفاوت در آزمایشگاه تحت آزمایشات و تنش‌های متفاوت قرار گیرند. در نهایت بعد از بدست آوردن این اطلاعات باید بتوان پارامترها را تعیین کرد.

تعریف پارامترها مستلزم دانستن و تعریف آن‌ها در حالت‌های متفاوت از جمله دو حالت بیشینه و بحرانی می باشند. اگر بخواهیم در ابتدا اهمیت یافتن حالت بحرانی برای رسیدن به این مدل و رابطه آن با جنس، شکل، نوع و دانه بندی سنگدانه‌ها را بررسی کنیم، می‌توانیم این مسئله را حائز اهمیت بدانیم که تمامی نمونه‌ها در نهایت در طی نیروی برشی به حالت بحرانی خواهند رسید. در واقع این حالت، حالتی است که دیگر خاک مقاومتی از خود نشان نمی دهد و خاک دیگر دچار تغییر حجمی نخواهد شد. به طور مثال اگر آزمایش برش مستقیم را بر روی دو نمونه سست و متراکم انجام دهیم می‌توانیم بر اساس شکل (۱-۱) این مسئله را بررسی کنیم.



شکل ۱-۱- منحنی تنش-کرنش برای دو نمونه سست و متراکم در حالت بحرانی