

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی استخراج معدن

طراحی الگوی چال زنی و انفجار برای تولید مصالح خرده سنگی جهت ساخت سد گتوند علیا

دانشجو:

عبدالله تیموری هزارجریبی

اساتید راهنما:

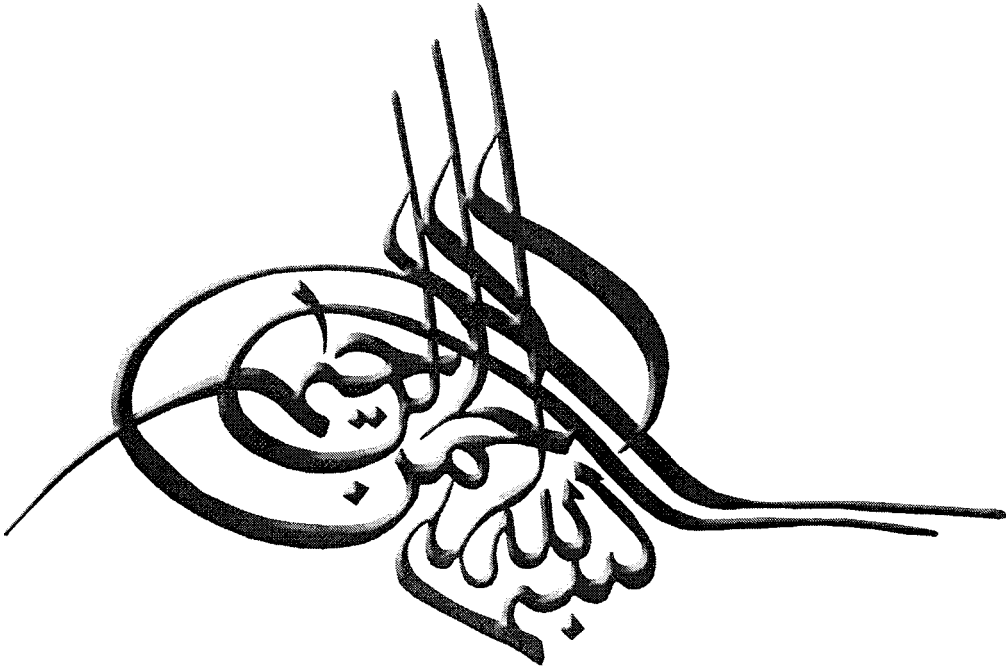
دکتر محمد عطائی

دکتر فرهنگ سرشکی

استاد مشاور:

دکتر محمد اسماعیل جلالی

تیرماه ۱۳۸۶



تقدیم به عزیزانم

به پدرم، به پاس محبت و تلاش بی وقفه اش

و

به مادرم، سرچشمه جوشان مهر و فداکاری، که زندگی ام برایش همه رنج است

و وجودش برایم همه مهر

و

همسر مهربانم به پاس صبر و شکیبایی اش

تشکر و قدردانی

امام علی (ع) فرمودند:

هر کس به من کلامی بیاموزد، مرا بنده خود کرده است.

سپاس و ستایش خدای را که همیشه مرا مورد لطف و عنایت خود قرار داده تا به کمک بزرگانی طی طریق کنم و هم اکنون این تحقیق را به پایان برسانم. از این رو ضمن تقدیر و تشکر از این عزیزان، توفیق روزافزون ایشان را از خداوند متعال خواستارم.

بدین وسیله از زحمات بی‌دریغ استاد محترم جناب آقای دکتر محمد عطائی که در تمامی مدت تحقیق با تمام وجود و در هر زمان که به کمک ایشان نیاز داشتم به من یاری رساندند و همچنین استاد محترم جناب آقای دکتر فرهنگ سرشکی و استاد مشاور جناب آقای دکتر محمد اسماعیل جلالی که با رهنمودهای ارزشمندشان مرا در انجام هر چه بهتر این پایان‌نامه یاری فرمودند تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

در پایان از کلیه دوستان و عزیزانی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند، به خصوص جناب آقای محمدرضا ربیعی و جناب آقای مهندس محسن حاجی‌حسینی صیمانه سپاسگزارم و آرزوی شادکامی و موفقیت روزافزون برایشان دارم.

چکیده

خردشدگی خوب یک مسئله کاربردی است و بستگی به نوع استفاده از سنگ دارد و علاوه بر آن، اندازه قطعات مطلوب بستگی به نوع و اندازه تجهیزاتی دارد که برای جابجایی سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با انجام صحیح عملیات انفجاری و دستیابی به خردشدگی مناسب، می‌توان قابلیت خردشدگی ماده معدنی را افزایش داد.

نظر به استفاده از مصالح خردشده در بدنه سد گتوند، باید مصالح حاصل از انفجار در یک محدوده دانه‌بندی خاص قرار گیرد. برای دستیابی به یک الگوی بهینه انفجار برای خردشدگی مورد نیاز، چند انفجار آزمایشی انجام شد که مصالح سنگ‌ریزه‌ای حاصل از این انفجارها با روش آنالیز سرنندی مورد بررسی قرار گرفت. سپس به کمک مدل‌های پیش‌بینی خردشدگی، خردایش حاصل از الگوهای انفجارهای آزمایشی پیش‌بینی شده است.

در ادامه با برقراری یک رابطه ریاضی مناسب بین بهترین مدل ریاضی پیش‌بینی خردشدگی و نتایج آنالیز سرنندی مصالح خرده‌سنگی حاصل از انفجارهای آزمایشی، چند الگوی انفجار که دانه‌بندی مناسب برای استفاده در بدنه سد را حاصل کند، پیشنهاد شده است. در نهایت تمامی الگوهای پیشنهادی مورد بررسی اقتصادی قرار گرفته و بهترین الگوی پیشنهادی انتخاب شده است. سپس مقایسه‌ای بین الگوی پیشنهادی مناسب و سایر الگوهای انفجار آزمایشی موجود انجام گرفته است. با توجه به نتایج حاصله از بررسی میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه الگوی پیشنهادی و سایر الگوهای انفجار آزمایشی و همچنین خردشدگی مورد نظر برای استفاده در بدنه سد، الگوی انفجار پیشنهاد شده به‌عنوان مناسب‌ترین الگوی انفجار ارائه شده است.

واژگان کلیدی:

الگوی چال‌زنی و انفجار، سد گتوند علیا، خردشدگی، مصالح خرده سنگی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- ضرورت مطالعه خردایش حاصل از انفجار
۲	۲-۱- اهداف پایان نامه
۲	۳-۱- ساختار پایان نامه
	فصل دوم: کلیاتی در مورد سد گتوند
۵	۱-۲- مقدمه
۵	۲-۲- مشخصات هندسی محدوده معدنی
۸	۳-۲- زمین شناسی ساخت گاه سد گتوند
۸	۱-۳-۲- ویژگی های زمین ریخت شناسی
۹	۲-۳-۲- ویژگی های سنگ شناسی
۱۱	۳-۳-۲- ویژگی های زمین ساختاری
۱۳	۴-۳-۲- داده های ژئوتکنیکی
	فصل سوم: عوامل موثر بر خردشدگی و روش های تعیین و پیش بینی دانه بندی
	قطعات خردشده پس از انفجار
۱۷	۱-۳- مقدمه
۱۷	۲-۳- مکانیزم خردشدگی حاصل از انفجار
۱۸	۱-۲-۳- انفجار
۱۸	۲-۲-۳- انتشار موج ضربه
۲۰	۳-۲-۳- انبساط گاز
۲۰	۴-۲-۳- جابجایی توده سنگ

صفحه	عنوان
۲۱	۳-۳- عوامل موثر بر خردشدگی
۲۴	۳-۴- تاثیر خردشدگی بر مراحل مختلف عملیات معدن کاری
۲۴	۳-۵- روش های تعیین دانه بندی قطعات خردشده پس از انفجار
۲۶	۳-۵-۱- آنالیز به روش سرندی
۲۸	۳-۵-۲- روش مشاهده ای
۲۹	۳-۵-۳- روش آنالیز تصویری
۳۴	۳-۶- مدل های ریاضی پیش بینی دانه بندی قطعات خردشده پس از انفجار
۳۴	۳-۶-۱- مدل دنیس و گاما
۳۵	۳-۶-۲- مدل لارسون
۳۷	۳-۶-۳- مدل سوئدیفو
۳۸	۳-۶-۴- مدل کاز-رام
۴۴	۳-۶-۵- مدل اصلاح شده کاز-رام

فصل چهارم: انفجارهای آزمایشی در محدوده سنگ برداری سرریز سد گتوند

و تعیین دانه بندی آنها

۴۷	۴-۱- مقدمه
۴۷	۴-۲- انفجارات آزمایشی
۴۷	۴-۲-۱- انفجار آزمایشی اول
۵۲	۴-۲-۲- انفجار آزمایشی دوم
۵۳	۴-۲-۳- انفجار آزمایشی سوم
۵۴	۴-۲-۴- انفجار آزمایشی چهارم
۵۵	۴-۲-۵- انفجار آزمایشی پنجم
۵۵	۴-۳- دانه بندی مصالح انفجاری
۵۶	۴-۳-۱- تجهیزات مورد نیاز دانه بندی

صفحه	عنوان
۵۶	۲-۳-۴- نیروی انسانی
۵۶	۳-۳-۴- تعیین دانه‌بندی
۵۹	۴-۳-۴- نتایج دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار
فصل پنجم: طراحی الگوی انفجار بهینه برای ایجاد خردایش مناسب	
۷۲	۱-۵- مقدمه
۷۲	۲-۵- پیش‌بینی میزان خردایش حاصل از انفجارهای آزمایشی بر اساس مدل‌های ریاضی
۷۳	۱-۲-۵- مدل سوئدیفو
۷۳	۲-۲-۵- مدل کاز-رام
۷۸	۳-۲-۵- مدل کاز-رام اصلاح شده
۸۲	۴-۲-۵- نتایج آنالیز سرنندی حاصل از انفجارهای آزمایشی
۸۳	۳-۵- مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل‌های مختلف با نتایج حاصل از روش آنالیز سرنندی
۸۳	۱-۳-۵- انفجار اول
۸۳	۲-۳-۵- انفجار دوم
۸۳	۳-۳-۵- انفجار چهارم
۸۴	۴-۳-۵- انفجار پنجم
۸۶	۴-۵- بدست آوردن الگوی جدید چال‌زنی و انفجار بر اساس نتایج پیش‌بینی حاصل از مدل کاز-رام اصلاح شده و معادله‌های ریاضی نتایج آنالیز سرنندی
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها	
۹۷	۱-۶- نتیجه‌گیری
۹۹	۲-۶- پیشنهادات
۱۰۱	منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱- نمودار مراحل انجام شده در این پایان-نامه برای رسیدن به الگوی بهینه
۶	شکل ۱-۲- تصویر ماهواره‌ای موقعیت جغرافیایی طرح سد گتوند علیا
۷	شکل ۲-۲- محدوده حفاری های سرریز و موقعیت معدن مصالح سنگریزه بدنه سد
۹	شکل ۲-۳- مقطع محدوده حفاری های معدن مصالح سنگریزه بدنه سد
۱۵	شکل ۲-۴- نمودار فراوانی ناپیوستگی‌های منطقه
۱۹	شکل ۳-۱- مراحل انفجار و شکسته شده توده سنگ‌های اطراف چال (الف - تشکیل شکاف شعاعی, ب- انبساط چال, ج- جابجایی سنگ)
۲۲	شکل ۳-۲- پارامترهای مؤثر در یک انفجار
۲۵	شکل ۳-۳- سیکل عملیات معدن کاری ماده معدنی
۲۶	شکل ۳-۴- تقسیم بندی کلی روش‌های تعیین دانه‌بندی قطعات خرد شده پس از انفجار
۳۰	شکل ۳-۵- تصویر شماتیک از مراحل بررسی میزان خردایش به روش آنالیزتصویری
۳۲	شکل ۳-۶- قرار دادن یک شی بر روی قطعات خرد شده در زمان عکس برداری
۳۲	شکل ۳-۷- قرار دادن دو یا بیشتر اشیاء بر روی قطعات خرد شده در زمان عکس برداری
۳۳	شکل ۳-۸- قطرهای بزرگ ($maxdmr$) و کوچک ($mindmr = mind1 - mind2$) هر قطعه که می‌توان از روی آنها سطح و حجم هر قطعه را بدست آورد
۳۸	شکل ۳-۹- نمودار تعیین ابعاد بلوک بر حسب بار خروجی از سرند و ضریب d_{50} در اندازه بلوک
۴۸	شکل ۴-۱- محدوده دانه‌بندی مورد نیاز برای بدنه سد
۵۱	شکل ۴-۲- الگوی اولین انفجار آزمایشی و تاخیرهای اعمال شده
۵۱	شکل ۴-۳- الگوی خرج گذاری چال‌ها در اولین انفجار آزمایشی
۵۲	شکل ۴-۴- الگوی دومین انفجار آزمایشی و تاخیر اعمال شده

- شکل ۴-۵- الگوی خرج گذاری چال در دومین انفجار آزمایشی ۵۳
- شکل ۴-۶- الگوی چهارمین انفجار آزمایشی و تاخیرهای اعمال شده ۵۴
- شکل ۴-۷- نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی اول ۶۱
- شکل ۴-۸- برآزش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرندي انفجار اول ۶۲
- شکل ۴-۹- نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی دوم ۶۴
- شکل ۴-۱۰- برآزش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرندي انفجار دوم ۶۵
- شکل ۴-۱۱- نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی چهارم ۶۷
- شکل ۴-۱۲- برآزش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرندي انفجار چهارم ۶۸
- شکل ۴-۱۳- نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی پنجم ۷۰
- شکل ۴-۱۴- برآزش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرندي انفجار پنجم ۷۱
- شکل ۵-۱- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی اول ۷۴
- شکل ۵-۲- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی دوم ۷۵
- شکل ۵-۳- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی چهارم ۷۵
- شکل ۵-۴- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی پنجم ۷۵
- شکل ۵-۵- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی اول ۷۷
- شکل ۵-۶- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی دوم ۷۷
- شکل ۵-۷- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی چهارم ۷۸
- شکل ۵-۸- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی پنجم ۷۸
- شکل ۵-۹- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی اول ۸۰

- شکل ۵-۱۰- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی دوم ۸۰
- شکل ۵-۱۱- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی چهارم ۸۱
- شکل ۵-۱۲- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی پنجم ۸۱
- شکل ۵-۱۳- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشدگی حاصل از انفجار اول با نتایج پیش‌بینی هر سه روش ۸۴
- شکل ۵-۱۴- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشدگی حاصل از انفجار دوم با نتایج پیش‌بینی هر سه روش ۸۵
- شکل ۵-۱۵- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشدگی حاصل از انفجار چهارم با نتایج پیش‌بینی هر سه روش ۸۵
- شکل ۵-۱۶- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشدگی حاصل از انفجار پنجم با نتایج پیش‌بینی هر سه روش ۸۵
- شکل ۵-۱۷- نمودار چگونگی ارتباط بین مدل کاز-رام اصلاح شده با نتایج آنالیز سرنندی با استفاده از سه روش Quadratic، Cubic و خطی برای زیر ۱۰۰ میلی‌متر ۸۹
- شکل ۵-۱۸- نمودار چگونگی ارتباط بین مدل کاز-رام اصلاح شده با نتایج آنالیز سرنندی با استفاده از سه روش Quadratic، Cubic و خطی برای بالای ۱۰۰ میلی‌متر ۹۰
- شکل ۵-۱۹- اندازه بهینه دانه‌بندی مصالح خرده‌سنگی در محدوده مورد نظر برای استفاده در بدنه سد ۹۲
- شکل ۵-۲۰- میزان خرج ویژه در هر یک از الگوهای پیشنهادی ۹۴
- شکل ۵-۲۱- میزان چال‌زنی ویژه در هر یک از الگوهای پیشنهادی ۹۵
- شکل ۵-۲۲- میزان خرج ویژه الگوی پیشنهادی و سایر الگوهای انفجارهای آزمایشی ۹۶

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۵	جدول ۱-۲- پارامترهای فیزیکی سنگ‌های مختلف منطقه معدن و سد گتوند
۱۶	جدول ۲-۲- مشخصات ژئومکانیکی ناپیوستگی‌ها
۱۶	جدول ۲-۳- مقادیر RMR برای زون بختیاری
۳۶	جدول ۱-۳- ثابت قابلیت انفجار پذیری برای سنگ های مختلف
۳۹	جدول ۲-۳- مقادیر فاکتور سنگ با توجه به ساختار توده سنگ
۴۲	جدول ۳-۳- اثر پارامترهای متفاوت طراحی بر روی n شاخص یکنواختی
۴۶	جدول ۳-۴- مقادیر پارامترهای موثر در BI
۴۹	جدول ۱-۴- پارامترهای الگوهای انفجارهای آزمایشی
۵۰	جدول ۲-۴- مقدار مواد ناریه مصرفی در اولین انفجار آزمایشی
۵۲	جدول ۳-۴- مقدار مواد منفجره مصرفی در دومین انفجار آزمایشی
۵۴	جدول ۴-۴- مقدار مواد ناریه مصرفی در چهارمین انفجار آزمایشی
۵۵	جدول ۴-۵- نحوه دانه بندی مصالح پس از انفجار
۵۷	جدول ۴-۶- تجهیزات مورد نیاز برای بررسی نحوه دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار
۵۷	جدول ۴-۷- نیروی انسانی مورد نیاز برای بررسی نحوه دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار
۶۲	جدول ۴-۸- فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کوبیک و کوادراتیک برای انفجار اول
۶۵	جدول ۴-۹- فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کوبیک و کوادراتیک برای انفجار دوم
۶۶	جدول ۴-۱۰- فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کوبیک و کوادراتیک برای انفجار چهارم
۶۹	جدول ۴-۱۱- فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کوبیک و کوادراتیک برای انفجار پنجم
۷۳	جدول ۵-۱- پارامترهای مؤثر مدل سوئدیفو بر اساس الگوهای انفجار تمامی انفجارها

صفحه	عنوان
۷۴	جدول ۵-۲- نتایج پیش‌بینی مدل سوئدیفو براساس الگوهای مربوط
۷۶	جدول ۵-۳- پارامترهای مؤثر مدل کاز-رام بر اساس الگوهای انفجار تمامی انفجارها
۷۶	جدول ۵-۴- نتایج پیش‌بینی مدل کاز-رام براساس الگوهای مربوط
۷۹	جدول ۵-۵- نتایج پیش‌بینی مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوهای مربوط
۸۲	جدول ۵-۶- نتایج آنالیزسرندي حاصل از انفجارات آزمایشی براساس الگوهای مربوط
۸۷	جدول ۵-۷- روش‌های مختلف و فرمول‌های مربوط به چگونگی محاسبه معادله مناسب با استفاده از این نرم افزار
۸۸	جدول ۵-۸- داده‌های روش‌های مختلف فرمول‌های مربوط به چگونگی محاسبه معادله زیر ۱۰۰ میلی‌متر
۸۸	جدول ۵-۹- داده‌های روش‌های مختلف فرمول‌های مربوط به چگونگی محاسبه معادله بالای ۱۰۰ میلی‌متر
۹۳	جدول ۵-۱۰- الگوهای پیشنهادی برای ایجاد خردایش مناسب سنگ برای استفاده در بدنه سد
۹۴	جدول ۵-۱۱- میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه در هر یک از الگوهای پیشنهادی
۹۵	جدول ۵-۱۲- میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه الگوی پیشنهادی و سایر الگوهای انفجار آزمایشی

فصل اوّل

مقدمه

۱-۱- ضرورت مطالعه خردایش حاصل از انفجار

خرد شدگی خوب عبارت است از تولید قطعات خرد شده‌ای که بزرگترین اندازه آن به راحتی داخل جام سیستم بارگیری جای گرفته و نیاز به انفجار ثانویه نداشته باشد و به کوچک‌ترین اندازه آن نیز نیاز باشد. تعریف دیگر اینکه ابعاد قطعات بزرگ، کم‌تر از ۵٪ ابعاد بلوک سنگ شکسته شده در انفجار اولیه باشد (Dey Lecturer, 199).

اگر عملیات انفجار با دقت صورت پذیرد، سیکل‌های بعدی عملیات معدن‌کاری می‌تواند به خوبی طراحی و انتخاب شود. از طرفی پیش‌بینی خردشدگی و تعیین ابعاد قطعات خردشده و ارزیابی عملکرد این عملیات، یک عامل موثر و بحرانی در انتخاب تجهیزات و ارزیابی آن‌ها است (Lopez jimino, 1995). در هر پروژه معدن‌کاری، چال‌زنی و انفجار اولین مرحله اساسی از عملیات است که نتایج حاصل از آن می‌تواند بر نتایج عملیات‌های بعدی، چه در میزان تولید و چه در هزینه‌ها، تاثیر گذار باشد.

این‌که میزان خردشدگی مناسب بوده یا خیر، باید با روش‌های اندازه‌گیری خردشدگی مورد بررسی قرار گیرد. روش‌های تعیین توزیع و متوسط ابعاد قطعات، به دو گروه روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. تجزیه سرندهی قطعات خرد شده در میان سایر روش‌ها، دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش است. علاوه بر روش‌های اندازه‌گیری میزان خردشدگی سنگ، روش‌های ریاضی بسیاری نیز برای پیش‌بینی میزان خردشدگی در هر انفجار و تعیین الگوی مناسب با استفاده از آن ارائه شده است.

در گام بعدی می‌توان با انطباق روش‌های اندازه‌گیری خردشدگی سنگ و روش‌های پیش‌بینی خردشدگی و برقراری یک ارتباط مناسب بین آن‌ها، با انجام تعداد انفجارهای آزمایشی کم‌تر، به یک الگوی مناسب با توجه به میزان خردایش مورد نظر دست یافت.

۲-۱- اهداف پایان نامه

سد گتوند در استان خوزستان و در ۲۵ کیلومتری شهرستان شوشتر بالاتر از بند تنظیمی گتوند بر روی رودخانه کارون واقع شده است. این سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی و سرریز بتنی بوده و ۱۷۸ متر ارتفاع دارد. حجم بدنه سد گتوند حدود ۲۸ میلیون مترمکعب است که بخش اعظم آن را مصالح خرده سنگی تشکیل می‌دهند. تامین این حجم عظیم از مصالح سنگی، با سنگبرداری بخشی از تکیه گاه چپ سد که ساختگاه سرریز را تشکیل خواهد داد، انجام می‌شود.

از آنجا که عملیات استخراج این مصالح به روش چالزنی و انفجار انجام می‌گیرد، لازم است الگوی انفجار آن به گونه‌ای طراحی شود که دانه بندی مصالح تولیدی، در محدوده مجاز مصالح مورد نیاز بدنه سد قرار گیرد، تا بدون نیاز به عملیات ثانویه (سنگ شکنی و انفجار ثانویه)، مصالح استخراجی یکباره از معدن بارگیری و به باندهای خاکریزی بدنه سد جهت مصرف حمل شوند.

در مجموع اهداف پایان‌نامه را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- طراحی الگوی هندسی چالزنی

۲- انتخاب روشهای چالزنی و انفجار مناسب

۳- تولید مصالح با حداکثر کاربری در سد

۳-۱- ساختار پایان‌نامه

در این پایان‌نامه بر آن شدیم تا این شیوه طراحی را بررسی نمائیم. در ابتدا در فصل دوم علاوه بر کلیاتی در مورد معدن، به مسائل زمین شناسی و مکانیک سنگی مربوط به منطقه سد و به ویژه معدن سرریز واقع در این منطقه پرداخته شده است. در فصل سوم به مسائل مربوط به انفجار و خردایش و مکانیزم انجام یک انفجار خوب و تاثیرات آن بر سیکل معدن‌کاری اشاره شده است. در مباحث مربوط به مسائل انفجار به عوامل مؤثر بر خردشدگی از قبیل خصوصیات ماده منفجره، خصوصیات توده سنگ و مشخصات هندسی چال‌ها و همچنین تاثیر هر یک از این عوامل پرداخته شده است. در ادامه این فصل به روش‌های اندازه‌گیری میزان خردایش اعم از مستقیم و غیر مستقیم و چگونگی بکارگیری این روش‌ها در معادن به

طور اجمالی اشاره شده است. سپس به بعضی از روش‌های ریاضی پیش‌بینی خردشدگی که نسبت به سایر روش‌ها دارای کاربرد بیشتری می‌باشند، پرداخته شده و هر یک از این روش‌ها با نحوه کاربرد و معادله‌های حاکم بر آن‌ها بیان شده است.

در فصل چهارم در ابتدا به میزان خردایش مورد نیاز سنگ برای استفاده در بدنه سد اشاره و سپس به انفجارهای آزمایشی انجام شده در معدن پرداخته و جزئیات هر یک از این انفجارها به طور کامل آورده شده است. در ادامه همین فصل به نتایج حاصل از این انفجارها اشاره شده و آن دسته از انفجارهایی که نتایج خردشدگی سنگ حاصل از انفجار در آن بسیار نامناسب بوده‌اند از سیکل تجزیه و تحلیل و بررسی خارج و ادامه کار بر روی سایر انفجارها و نتایج حاصل از آن‌ها انجام شده است. در گام بعدی در همین فصل، معادله‌های حاکم بر هر یک از این انفجارها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS به دست آمده است. در ادامه کار در فصل پنجم، در ابتدا هر یک از انفجارها بر اساس روش‌های ریاضی موجود مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج احتمالی ممکن برای هر یک از انفجارها به طور مجزا پیش‌بینی شد. سپس نتایج پیش‌بینی حاصل از تمامی این روش‌ها به‌طور جداگانه با نتایج آنالیز سرنندی حاصل از هر یک از انفجارها مورد مطابقت قرار داده شده و بهترین مدل ریاضی در بین مدل‌های ریاضی استفاده شده انتخاب و ادامه کار طراحی بر روی آن مدل صورت گرفت.

همان‌گونه که در فصل پنجم نیز به شکل کامل‌تر توضیح داده شده است، روش کاز-رام اصلاح شده به‌عنوان بهترین مدل ریاضی برای این معدن انتخاب و ادامه عملیات‌های طراحی بر اساس این مدل انجام شده است. سپس به کمک نرم‌افزار SPSS، یک معادله ریاضی بین نتایج آنالیز سرنندی تمامی انفجارها و نتایج پیش‌بینی مدل کاز-رام اصلاح شده تمامی الگوهای انفجار برقرار شده است. برای دقیق‌تر بودن معادله به دست آمده، اندازه‌های مورد نیاز برای خردشدگی به دو گروه کوچکتر و بزرگتر از ۱۰۰ میلی‌متر تقسیم بندی و برای هر یک از این دو گروه معادله جداگانه‌ای به دست آورده شده است.

در پایان نیز با توجه به در دست بودن میزان خردایش مناسب مورد نظر برای استفاده در بدنه سد و

فصل دوّم

کلیاتی در مورد سد گتوند

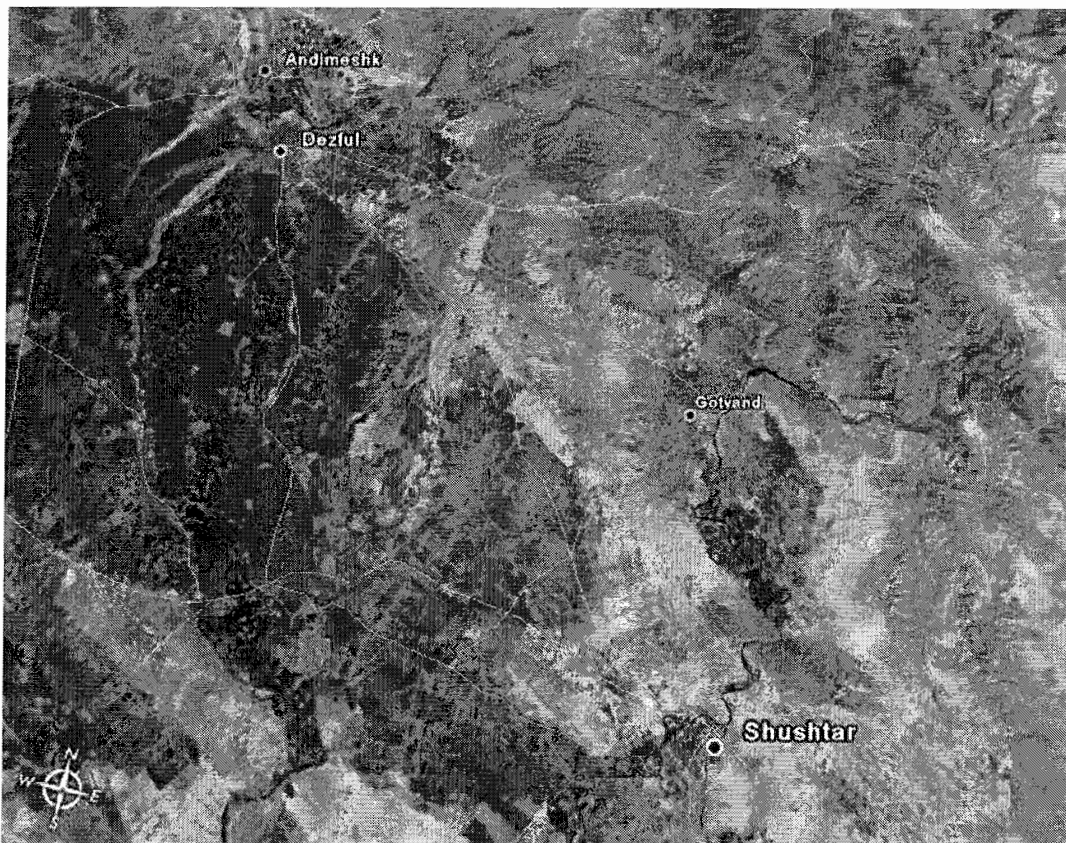
۲-۱- مقدمه

سد گتوند در استان خوزستان و در ۲۵ کیلومتری شهرستان شوشتر بالاتر از بند تنظیمی گتوند بر روی رودخانه کارون واقع شده است (شکل ۲-۱). این سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی و سرریز بتنی بوده و ۱۷۸ متر ارتفاع دارد. حجم مصالح سنگریزه‌ای مورد نیاز برای ساخت بدنه این سد نیز بالغ بر ۲۸ میلیون مترمکعب می‌باشد، لذا لازم است تا ذخیره مناسبی برای تامین این حجم مصالح مشخص شود (محمدی و همکاران، ۱۳۸۳). نیاز به حجم زیاد مصالح سنگی از یک طرف و احداث سازه بتنی سرریز سد که در جناح چپ سد قرار دارد از طرف دیگر، نیازمند آماده‌سازی یک پی سنگی مناسب، ۴۲ متر زیر تراز تاج سد (که در تراز ۲۴۴ متری سطح دریا قرار دارد) می‌باشد. با توجه به این‌که ارتفاع پرتگاه صخره‌های سنگی از پی سد (که در تراز تقریبی ۷۰ متری سطح دریا واقع شده) حدود ۳۸۰ متر و کاملاً ناپایدار است، لازم است تا عملیات لازم برای پایدارسازی آن انجام شود. از طرف دیگر با توجه به این‌که حجم حفاری‌های لازم برای پایدارسازی دیواره سرریز بالغ بر ۲۰ میلیون مترمکعب پیش‌بینی شده و بدنه سد بر اساس این نوع مصالح طراحی شده است، لذا این محدوده از حفاری‌ها به عنوان منبع تامین مصالح سنگریزه بدنه سد معرفی شده است.

۲-۲- مشخصات هندسی محدوده معدنی

مشخصات هندسی محدوده‌ای که به عنوان محدوده معدنی مصالح معرفی شده (محدوده حفاری‌های دیواره سرریز) مطابق شکل ۲-۲ به شرح ذیل می‌باشد (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ الف):

- طول محدوده حفاری‌ها حدود ۷۰۰ متر و از شرق به غرب گسترش دارد.
- عرض محدوده حفاری‌ها شمالی- جنوبی بوده و در ترازهای مختلف به‌طور متوسط از ۷۰ متر تا ۱۲۰ متر متغیر است.

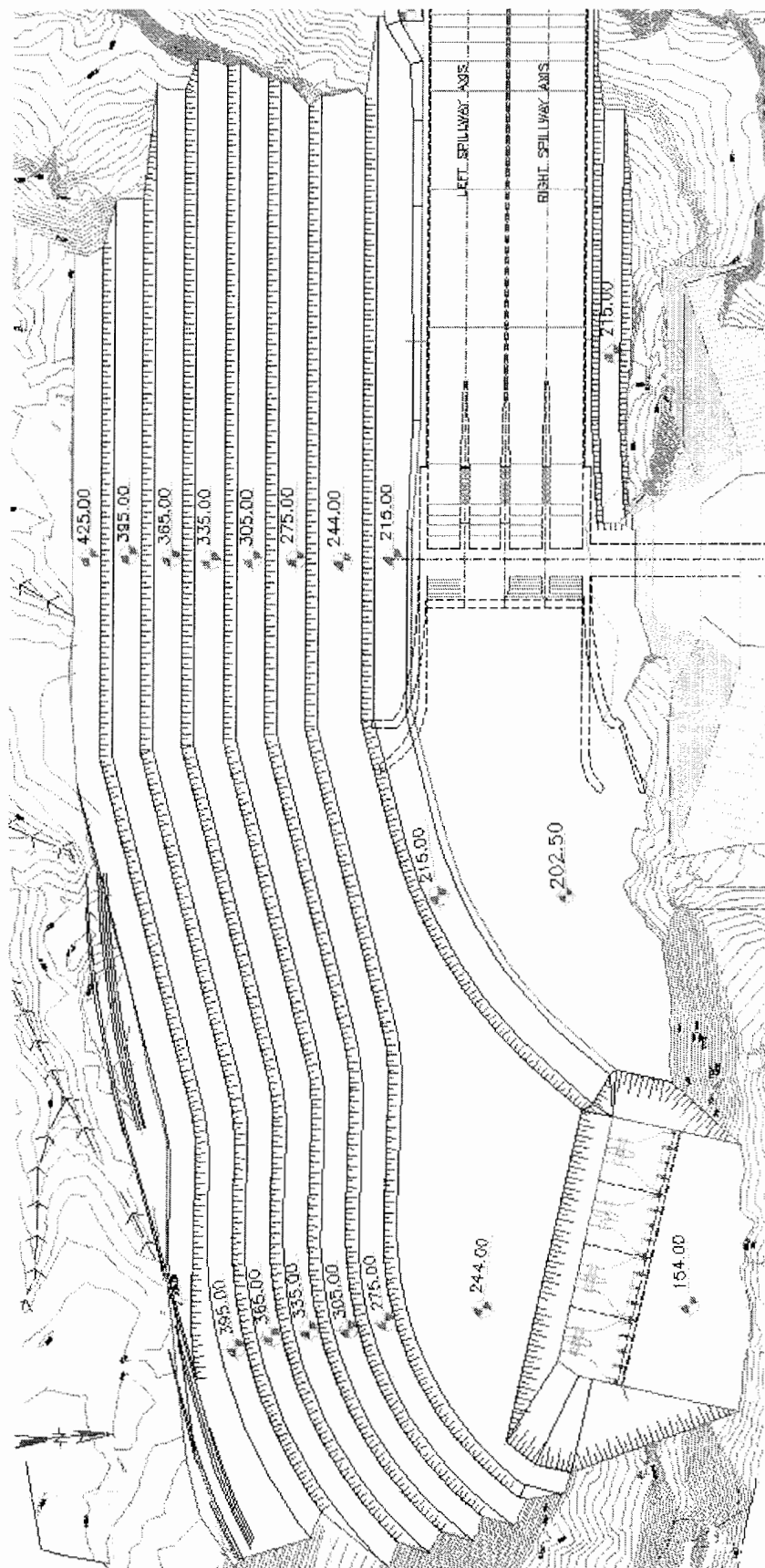


شکل ۱-۲- تصویر ماهواره‌ای موقعیت جغرافیایی طرح سد گتوند علیا (www.google earth.com)

- ارتفاع محدوده حفاری‌ها نیز با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه از تراز ۴۴۵ (از سطح دریا) تا تراز ۲۰۲ در جناح غربی، تراز ۲۴۴ (هم تراز تاج سد) در جناح میانی و تراز ۱۵۴ در دهانه آب‌گیر تونل‌های آب بر نیروگاه در جناح شرقی، تغییر می‌کند.

از طرف دیگر حفاری‌ها دارای محدودیت‌هایی به شرح زیر می‌باشد:

- در جناح شرقی و شمالی حفاری‌ها، تراز توپوگرافی منطقه ۴۴۰ متر از سطح دریا بوده و به پرتگاه‌هایی با حداقل ارتفاع ۳۵۰ متر که تا بستر رودخانه امتداد دارند محدود می‌شوند.
- در جناح غربی، حفاری‌ها به یک دره عمیق (موسوم به دره بسطامی) که حداقل ۱۵۰ متر ارتفاع دارد، محدود می‌شود.



۲-۲ - پلان محدوده حفاری‌های سرریز و موقعیت معدن مصالح سنگریزه بدنه سد (همراه: ۱۳۸۳)

- در بخش جنوبی نیز این محدوده معدنی به سر ترانشه‌های نهایی سرریز که از پله‌های ۳۰ متری و با عرض کف پله ۱۳ متری تشکیل شده و لازم است تا با رعایت دقیق مختصات و به روش پیش شکافتی (برای جلوگیری از وارد آمدن خسارت به دیواره سنگی پشت آن) حفاری شود، محدود می‌شود (شکل ۲-۳). بنابراین برای گشایش ذخیره معدنی و دستیابی به مصالح مورد نظر در ترازهای مختلف، لازم است تا یک طرح بهینه ارائه شود تا با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها بتوان حجم مصالح مورد نیاز را در زمان‌بندی مشخص تولید کرد.

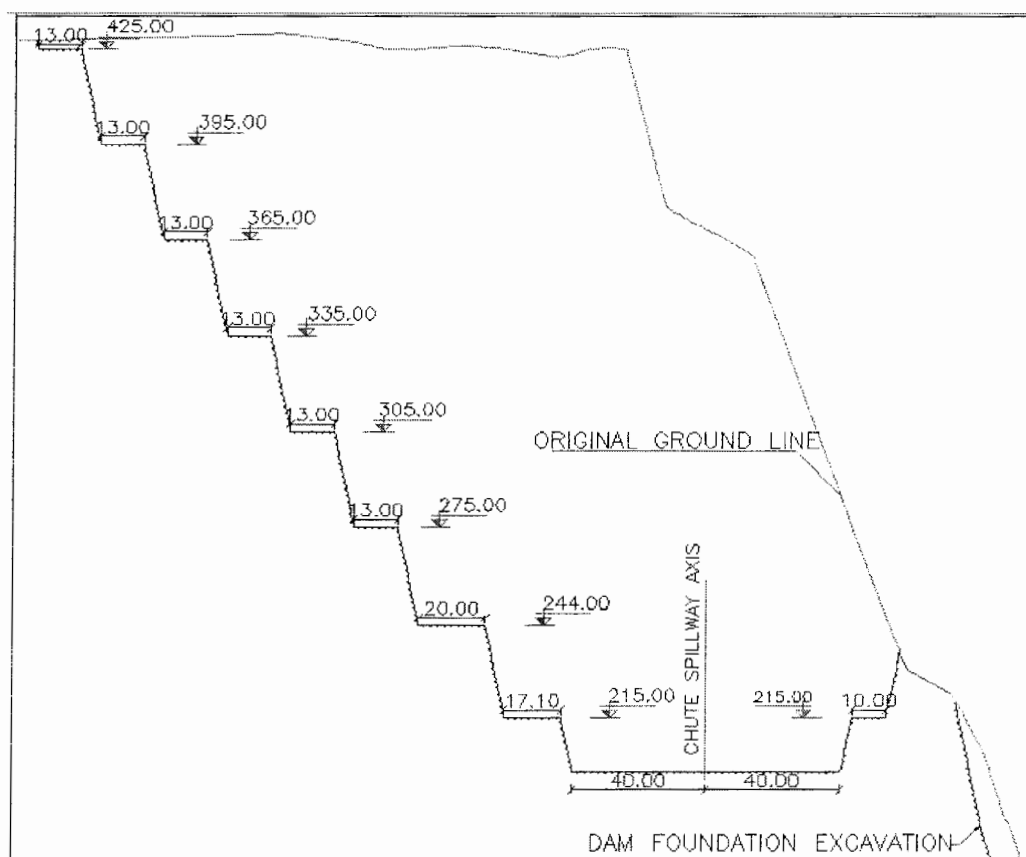
۳-۲ - زمین‌شناسی ساخت‌گاه سد گتوند

از نظر زمین‌شناسی، ساخت‌گاه سد گتوند در سازند بختیاری شامل سنگ‌های کنگلومرا با سیمان و قلوه‌های آهکی و میان لایه‌های رسی است و در بالای سازند آجاجاری که سنگ‌های رسی، سیلیتی و گل‌سنگ را شامل می‌شود، واقع شده است. مصالح سنگ‌ریزه‌ای که برای ساخت بدنه سد در نظر گرفته شده نیز از نوع سنگ‌ریزه کنگلومرا با دانه‌بندی مشخص می‌باشد (شرکت مهندسی مشاوران، ۱۳۷۹).

۳-۲-۱ - ویژگی‌های زمین ریخت‌شناسی

دره محل احداث سد و نیروگاه از اشکال زمین ریختی مرکب می‌باشد که فرایندهای دینامیکی درونی و بیرونی در شکل‌گیری آن موثر بوده است. برش عرضی دره نمایان‌گر دیواره‌های قائمی است که بر روی رسوبات سست با ضخامت کمتر قرار گرفته‌اند. تناوب سنگ‌های سخت و رسوبات سست زیرین یک نوع فرسایش پلکانی را نشان می‌دهد.

جابجائی عناصر روی دامنه در هر دو ساحل به‌صورت سقوط سنگ‌ها و لغزش بوده است. سقوط سنگ‌ها حاصل جدایش قطعات یا تکه‌های کوچک از دیواره‌های سنگی است که در پای ارتفاعات به حالت تعادل رسیده‌اند. این عناصر به‌صورت مخروط‌های واریزه‌ای و یا حرکت در دامنه‌ها و مجاری، به‌صورت آبرفت در پای دامنه بر روی هم انباشته شده‌اند.



شکل ۲-۳- مقطع محدوده حفاری‌های معدن مصالح سنگ‌ریزه بدنه سد (همزه، ۱۳۸۳)

۲-۳-۲- ویژگی‌های سنگ‌شناسی

سازندهای آغاچاری و بختیاری به عنوان سنگ بستر و نهشته‌های عهد حاضر به عنوان رویاره در محل طرح برون‌زد دارد.

۲-۳-۲-۱- سازند آغاچاری

مواد آواری حاصل از بالآمدگی تدریجی و رسوب‌گذاری مجدد آن‌ها در محیط‌های نوع دریاچه‌ای و خلیج دهانه‌ای سازند آغاچاری را ایجاد کرده است. لیتولوژی کلی این سازند تناوبی است از ماسه سنگ‌های آهک‌دار خاکستری رنگ تا قهوه‌ای با رگه‌های گچ و مارن‌های قرمز، لای سنگ و گل‌سنگ که با مرز تدریجی روی سازند میشان قرار گرفته و با سازند بختیاری دگرشیب است.

- گل سنگ‌ها^۱ :

گل سنگ به رنگ قرمز تیره تا قهوه‌ای است که به صورت نامنظم در مجاورت هوا قرار دارد و با کاهش رطوبت می‌شکند.

- لای سنگ‌ها^۲ :

لای سنگ به رنگ قرمز تا قهوه‌ای روشن بوده و در مجاورت هوا خرد و به اصطلاح شکفته می‌شود و در مجاورت رطوبت، پوششی رسی ایجاد می‌کنند.

- ماسه سنگ‌ها^۳ :

از دانه‌های آهکی و سیلیسی تشکیل شده و عموماً به رنگ خاکستری روشن تا تیره تغییر می‌کند. بافت درشت‌دانه با افزایش میزان زمینه و رسی شدن سیمان، مقاومت کمتری از نوع متراکم شده دارد. - رگ‌های ژئوپس:

به دلیل زهکشی ناقص، سرعت جریان بسیار کند و شکستگی‌های باریک، محلول سولفات کلسیم اشباع شده و به صورت ژئوپس در سطح درزه‌ها و شکستگی‌ها نهشته شده است.

۲-۲-۳-۲ سازند بختیاری

مجموعه‌ای متشکل از کنگلومرای آهکی و چرت‌دار است که تناوبی از میان لایه‌های ماسه‌سنگی و گل‌سنگی نیز دارد. فرسایش ارتفاعات و انباشتگی آن‌ها در دامنه‌ها و مناطق پست‌تر موجب تشکیل این رسوبات شده است.

- کنگلومرا:

کنگلومراها خاکستری رنگ و دارای لایه‌بندی ضخیم بوده و کانال‌شدگی به صورت توده‌های کیسه‌ای و عدسی‌دار متداول می‌باشد.

- گل سنگ‌ها و ماسه سنگ‌ها:

در بین بخش کنگلومرای میان‌لایه‌های ریزدانه به رنگ قهوه‌ای کم‌رنگ تا آجری وجود دارد. تغییرات

1 - mudstone

2 - laystone

3 - sandstone

جانبی رخساره و بسته شدن عدسی شکل آن‌ها در واقع تغییرات رخساره‌ای در هر دو جهت عمودی و افقی را نشان می‌دهد.

- روباره:

روباره عمدتاً حاصل حمل بخش‌هایی از سازند بختیاری توسط رودخانه و گسترش ذرات و قطعات سنگ بستر در اثر هوازگی می‌باشد.

- نهشته‌های رودخانه‌ای:

حمل ذرات و قطعات سنگ بستر و عمدتاً سازند بختیاری توسط رودخانه و رسوب‌گذاری بلافصل، دشت‌های آبرفتی را تشکیل داده‌اند. پادگانه‌ها از قطعات سنگی در حد قلوه‌سنگ و شن می‌باشند و در محل‌هایی که سیمان آهکی وجود دارد تفاوت محسوسی با کنگلومرای بختیاری از خود نشان نمی‌دهند.

- نهشته‌های واریزه‌ای:

جدایش قطعات سنگی در اثر هوازگی و نیروی گرانی، خاک‌های واریزه‌ای را تشکیل می‌دهند. ویژگی آن‌ها با توجه به سنگ منشاء و نوع گسیختگی بسیار متغیر می‌باشد.

۲-۳-۳- ویژگی‌های زمین‌ساختاری

در محدوده ساخت‌گاه سد و نیروگاه، کنتاکت سازندهای بختیاری و آجاجاری در تراز ۱۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد. یک تاقدیس محلی مواج که با روند چین‌خوردگی زاگرس سازگاری ندارد، در محدوده محور وجود دارد (شرکت مهندسی مشانیر ، ۱۳۷۹).

۲-۳-۳-۱- عوارض زمین‌ساختاری

- ساحل راست:

در محدوده ساخت‌گاه به دلیل پوشش سازند آجاجاری با واریزه و آبرفت و هوازگی شدید سطوح مجموعه‌های گل‌سنگی و لای‌سنگی تنها بخشی از مجموعه‌های ماسه‌سنگی رخنمون دارند. لایه‌بندی متأثر از روند تغییرات تاقدیس شرقی- غربی است و در پایین دست متأثر از تاقدیس شمال‌غرب- جنوب‌شرق است.

در بالای تراز کنتاکت آجاجاری و بختیاری تا پای دیواره پر شیب در تراز ۱۸۰ متری مجموعه از گسل‌های پر شیب با روند شرقی-غربی باعث کج‌شدگی قطعات و تغییر در لایه‌بندی شده‌اند. از تراز ۱۸۰ تا ۲۰۰ متر بخش‌هایی از سازند بختیاری با ویژگی‌های خاص خود که بخش بالایی را جدا می‌کند با دیواره‌ای پرتگاه‌گون قرار گرفته است. از بالای تراز ۲۰۰ متر تا تراز ۴۲۰ متر از سطح دریا لایه‌بندی در توده بالایی به سمت جنوب بوده و متفاوت با سازند برجا می‌باشد. شکستگی‌های بزرگ شرقی-غربی با افزایش بازشدگی و جدایش از دیواره اصلی و خمش به سمت جلو رخنمون ملایم‌تری را ایجاد کرده و به دلیل همین نوع حرکت نام واژگونی^۴ و خمش انتخاب شده است.

- ساحل چپ:

یک لغزش در ساحل چپ در محدوده محور دیده می‌شود که تا تراز ۲۵۰ متر از سطح دریا ادامه دارد. شکل‌گیری این توده ناشی از حرکت بخشی از سازند بختیاری بر روی یک صفحه شکستگی روی بخش فوقانی سازند آجاجاری است، به دلیل حفظ سمت شیب و پرشیب شدن لایه‌بندی این حرکت یک گسیختگی چرخش^۵ می‌باشد.

- تاقدیس شرقی-غربی:

پی سد و نیروگاه گتوندعلیا روی سازند آجاجاری قرار دارد. در محل محور سد یک تاقدیس محلی با روند شرقی-غربی این رسوبات را تحت تاثیر قرار داده است. مقدار شیب و سمت شیب بر اثر همین چین‌خوردگی در هر دو یال متغیر و متاثر از آن می‌باشد.

این تاقدیس نامتقارن است که در هر دو سمت نشست نشان می‌دهند. از نظر مکانیزم شکل‌گیری یک تاقدیس حقیقی است که با آثار لغزش همراه و به‌همین دلیل حقیقی لغزشی^۶ محسوب می‌شود.

شیب یال شمالی یکنواخت و پرشیب‌تر از یال جنوبی می‌باشد. یال جنوبی پرشیب بوده و در فاصله کوتاهی از محور تاقدیس ملایم می‌شود. در اثر حرکت لایه‌ها روی یکدیگر آثار لغزش هم‌جهت با شیب لایه‌بندی در سطح لایه‌ها ایجاد شده است. بر اثر چین‌خوردگی، در محدوده محور تاقدیس عمق هوا-زدگی بیشتر از قسمت‌های هم‌جوار می‌باشد.

^۴ -Block-Flexural-Toppling

^۵ -Rotational Failure

^۶ - slip-flexure folding

۲-۳-۳-۲- شکستگی‌ها

در محدوده ساخت‌گاه دو دسته شکستگی اصلی وجود دارد. یک دسته با راستای شرقی-غربی که نقش اصلی در شکل‌گیری عوارض دره در هر دو ساحل داشته و دسته دیگری شمالی-جنوبی است. شکستگی‌های شرقی-غربی اساساً از نوع کششی، پرشیب و فاصله‌دار بوده و تداوم زیادی دارند. شکستگی‌های شمالی-جنوبی از نوع برشی می‌باشد. هر دو دسته درزه در قطعه شدن واحدهای سازند بختیاری موثر بوده و سطح شکستگی هر دو دسته درزه مواج می‌باشد.

۲-۳-۴- داده‌های ژئوتکنیکی

به منظور دستیابی به ویژگی‌های زیر سطحی تعداد قابل توجهی گمانه اکتشافی، گالری و ترانشه حفر شده و در آن‌ها آزمون‌های ژئوتکنیکی اجرا شده است. هم‌چنین ۶۳۰ متر گمانه تزریق آزمایشی برای شناسایی ویژگی‌های تزریق‌پذیری سنگ حفر شده است (شرکت مهندسی مشانیر، ۱۳۷۹).

- توده‌های نابرجای تکیه‌گاه راست سد

توده نابرجا از تراز تقریبی ۲۰۰ متر از سطح دریا تا تراز حداکثر ۴۱۰ متر گسترده است. گسترش جانبی توده تا ۱۶۰۰ متر تعیین شده است. در سراسر توده مزبور، درزه‌های منظمی با سمت شیب رو به شمال با آثار لغزش دیده می‌شود. این درزه‌ها از نوع برشی می‌باشند. درزه‌های دیگری که تابع لایه-بندی بوده و به ندرت بازشدگی نشان می‌دهند از نوع کششی هستند. مرز بین توده نابرجا و برج در روی پهنه‌ای از گل‌سنگ است. در گل‌سنگ آثار شدید برش وجود دارد. مقادیر RQD در گمانه‌ها بین صفر تا ۲۵ درصد تغییر می‌کند. متوسط مقادیر جذب آب در کنگلومرا ۲۵ واحد لوژن و در بین لایه-های گل‌سنگی ۵ لوژن است. در سمت پنجه توده مزبور، متناسب با نرخ لغزش، آشفستگی‌هایی در نظم و ساختار توده ایجاد شده که با بالا بودن مقادیر لوژن و پایین افتادن شاخص کیفی توده همراه است.

- توده گسل‌خورده تکیه‌گاه راست سد

توده مزبور مجموعه‌ای کنگلومرایی با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و لای سنگ است. شاخص کیفی سنگ در مجموعه درشت‌دانه و میان لایه‌های ریزدانه پایین می‌باشد. این مقدار بین صفر تا ۲۵ درصد

تغییر می‌کند. متوسط مقادیر جذب آب نیز حدود ۲۰ واحد لوژن است. در بعضی از مقاطع که حفاری در یک بلوک منفرد و به‌دور از خردشدگی‌ها انجام شده است مقادیر R.Q.D بهتر و لوژن کمتر است.

- توده نابرجای تکیه‌گاه چپ سد

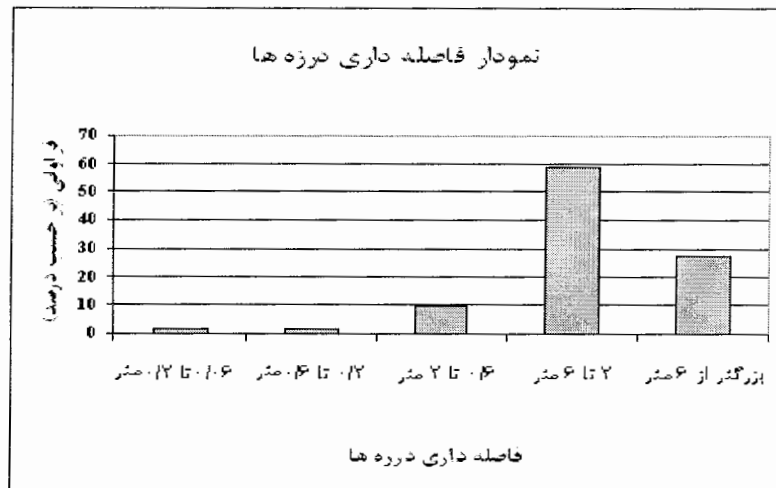
از تراز ۸۵ متری از سطح دریا آغاز شده و تا تراز ۲۵۰ متر ادامه می‌یابد. گسترش آن از شرق محور ۲۰۰ متر و از غرب ۱۰۰ متر است. این توده یک مجموعه کنگلومرایی با میان لایه‌های رس‌سنگ و لای سنگ است که به دلیل حرکت و شکستگی به شدت ضعیف شده است. مقادیر RQD بسیار پایین و مقادیر لوژن بالا (متوسط ۴۰ واحد لوژن) از شاخص‌های توده می‌باشد. شیب لایه‌بندی توده حدود ۲۵ درجه به‌سوی جنوب-جنوب‌شرق است. حد جنوبی این توده، یک گسل با پرتشگی ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر از گوژ می‌باشد. پس از شکستگی مزبور، لایه‌بندی در سازند بختیاری عادی می‌شود.

- سازند بختیاری برجا

در این سازند، مقادیر RQD توده‌سنگ بین ۷۵٪ تا ۹۰٪ متغیر بوده و مقادیر آب‌خوری کمتر از ۵ واحد لوژن می‌باشد. میان لایه‌های گل‌سنگی ناتراوا بوده و مقادیر شاخص کیفی آنها بیش از ۹۰٪ می‌باشد. لایه‌بندی به سمت تکیه‌گاه‌ها بوده و کم شیب است.

- سازند آغاچاری

پی سد در بستر جاری رودخانه و تا تراز حدود ۱۲۰ متر از سطح دریا بر روی سازند آغاچاری قرار می‌گیرد. لایه‌ها از خیلی نازک تا نسبتاً ضخیم می‌باشند. شیب لایه‌بندی در یال شمالی تاقدیس از ۶۰ درجه در نزدیکی محور تاقدیس شروع شده و تا ۳۰ درجه درون تکیه‌گاه راست کاهش می‌یابد. نمودار فراوانی ناپیوستگی سنگ‌های منطقه در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. همچنین برای آشنایی بیشتر با پارامترهای ژئومکانیکی سنگ‌های منطقه، این پارامترها در جدول ۲-۱ به‌طور خلاصه آورده شده است.



شکل ۲-۴- نمودار فراوانی ناپیوستگی های منطقه (شرکت مهندسی مشانیر ، ۱۳۷۹)

جدول ۲-۱- پارامترهای فیزیکی سنگ های مختلف منطقه معدن و سد گتوند (شرکت مهندسی مشانیر ، ۱۳۷۹)

پارامترها	نوع سنگ					
	گل سنگ		سیلت ماسه سنگی		گنگلومرا	
حالت	اشباع	خشک	اشباع	خشک	اشباع	خشک
زاویه اصطکاک (درجه)	31	48	-	-	-	-
ضریب چسبندگی (Mpa)	2.6	2.7	-	4.7	-	-
مقاومت کششی (Mpa)	-	2.4	-	1.6	-	3.13
مقاومت تراکمی تک محوره (Mpa)	-	14.5	-	17.3	-	29.2
مدول حجمی (Gpa)	2.12	18.8	2.53	14	23	20.8
مدول برشی (Gpa)	1	8.7	1.2	6.4	13.7	12.5
مدول الاستیته (Gpa)	2.6	22.5	3	16.8	34.4	31.2
ضریب پواسون	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
دانسیته (تن بر مترمکعب)	2.5	2.4	2.4	2.3	-	2.4

در جدول های ۲-۲ و ۳-۲ مشخصات ژئومکانیکی ناپیوستگی ها و مقادیر RMR برای سازند بختیاری که زون غالب معدن می باشد، ارائه شده است.

جدول ۲-۲- مشخصات ژئومکانیکی ناپیوستگی‌های زون بختیاری (شرکت مهندسی مشانیر ، ۱۳۷۹)

نوع ناپیوستگی		
پارامترها	میان لایه	درزه‌ها
سختی نرمال Mpa/mm	1310	1710
سختی برشی Mpa/mm	131	171
زاویه اصطکاک (درجه)	20 - 30	30
ضریب چسبندگی (Mpa)	0	0.02
مقاومت کششی (Mpa)	0	0

جدول ۳-۲- مقادیر RMR برای زون بختیاری (شرکت مهندسی مشانیر ، ۱۳۷۹)

نوع سنگ			
پارامترها	ماسه‌سنگ	گل‌سنگ	کنگومرا
مقاومت فشاری تک محوره	4	2	4
اندیس کیفی سنگ	13	13	17
فاصله‌داری درزه‌ها	20	15	20
شرایط ناپیوستگی	20	10	20
شرایط آب	15	15	15
RMR	72	55	76

با توجه به جدول‌های فوق موارد ذیل در مورد شرایط درزه‌ها قابل ذکر است:

- فاصله‌داری اکثر درزه‌ها بیش از دو متر است.
 - سطوح ناپیوستگی‌ها خیلی زیر بوده و فاقد جدایش و هوازدگی می‌باشد.
 - مقاومت فشاری تک‌محوره بیش از ۲۵۰ مگاپاسکال و اندیس بارنقطه‌ای بزرگ‌تر از ۱۰ مگاپاسکال است.
 - چسبندگی توده سنگ‌ها معمولاً بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلوپاسکال می‌باشد.
 - زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ بین ۳۵ الی ۴۵ درجه است.
- با توجه به موارد مذکور، می‌توان نتیجه گرفت که توده سنگ از شرایط نسبتاً مناسبی برخوردار است.

فصل سوّم

عوامل موثر بر خردشدگی و روش‌های

تعیین و پیش‌بینی دانه‌بندی قطعات

خردشده پس از انفجار

۳-۱- مقدمه

هدف از انجام انفجار در معادن، خردشدن سنگ و جدا شدن آن از توده اصلی است. (ثمره، ۱۳۸۰) خردایش مطلوب و مناسب، عاملی مهم در موفقیت یک عملیات انفجاری روباز بوده و می‌تواند هزینه کلی تولید یک معدن را به حداقل برساند. خردشدگی خوب یک مسئله کاربردی است و بستگی به نوع استفاده از سنگ دارد و علاوه بر آن، اندازه قطعات مطلوب بستگی به نوع و اندازه تجهیزاتی دارد که برای جابجایی سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Olafsson, 1995).

همان‌گونه که در فصل اول نیز بیان شد، اگر عملیات انفجاری با دقت صورت پذیرد، سیکل‌های بعدی عملیات معدن‌کاری می‌تواند به خوبی طراحی و انتخاب شود. از طرفی پیش‌بینی خردشدگی و تعیین ابعاد قطعات خردشده و ارزیابی عملکرد این عملیات، یک فاکتور موثر و بحرانی در انتخاب تجهیزات و ارزیابی آن‌ها است. برای مثال اندازه صندوقه ماشین‌آلات بارگیری، ماشین‌آلات باربری، ظرفیت نوارنقاله و مشخصات سنگ‌شکنی به‌طور مستقیم به ابعاد قطعات خرد شده حاصل از انفجار بستگی دارد و میزان خردشدگی توسط ناپیوستگی‌های طبیعی درون توده‌سنگ، خصوصیات ماتریکس سنگ، ویژگی‌ها و خصوصیات مواد منفجره و طرح انفجاری کنترل می‌شود (Lopez jimino, 1995).

۳-۲- مکانیزم خردشدگی حاصل از انفجار

به طور کلی خردشدگی ناشی از انفجار توده‌سنگ ناشی از دو عامل زیر می‌باشد:

الف - انفجار ماده منفجره و آزاد شدن انرژی

ب - عکس‌العمل سنگ در مقابل این انرژی آزاد شده

از لحظه وقوع انفجار تا شکسته شدن و جابجا شدن توده‌سنگ خردشده، اتفاقات مشخصی رخ می‌دهد که می‌توان مطابق شکل ۳-۱ به صورت زیر خلاصه کرد (اصانلو، ۱۳۷۴):

۱- انفجار

۲- انتشار امواج ضربه

۳- تولید گاز و آزاد شدن انرژی

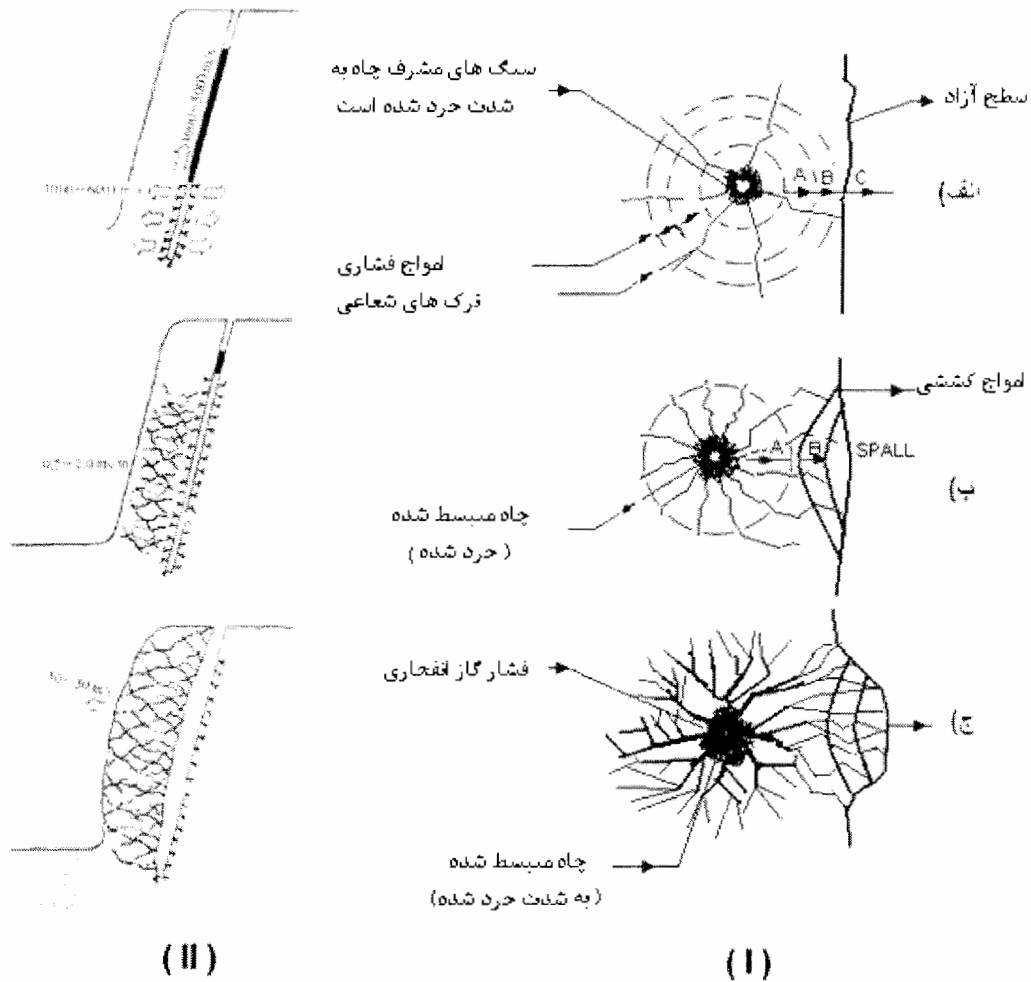
۴- جابجایی توده‌سنگ

۳-۲-۱- انفجار

ماده منفجره در اثر انفجار بلافاصله تبدیل به توده‌ای از گاز داغ می‌شود که در این لحظه فشار بسیار زیادی نیز وارد می‌کند، این فشار را فشار انفجار گویند. در واقع فشار انفجار ناشی از انتشار موج انفجار در ستون ماده منفجره است به عبارتی موج انفجار از نقطه شروع آتش شدن چاشنی یا پرایمر در ستون ماده منفجره با سرعت مافوق صوت حرکت می‌کند. گرچه سرعت انفجار زیاد است اما در هر حال برای تکمیل شدن انفجار و آزاد شدن کامل انرژی، زمان لازم دارد.

۳-۲-۲- انتشار موج ضربه

انتشار موج ضربه در سنگ از آزاد شدن ناگهانی گازهای ناشی از انفجار حاصل می‌شود. تاثیر امواج بر محیط اطراف چال، به صورت فشاری است که بر آن وارد می‌کند. فشار به دیواره چال به سرعت زیاد شده و به ماکزیمم خود می‌رسد.



شکل ۳-۱- مراحل انفجار و شکسته شده توده سنگ‌های اطراف چال (الف) - تشکیل شکاف شعاعی، ب- انبساط چال و ج- جابجایی سنگ (I) اصائلو، ۱۳۷۴ - (II) Heinio, 1999

علت کم شدن فشار دو چیز است:

الف - انبساط چال

ب - سرد شدن گازها

در مرحله فشاری، موج ضربه ناشی از انفجار بسته به نوع ماده منفجره با سرعت ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر بر ثانیه در سنگ عبور می‌کند.

در این حالت سنگ فشرده شده و شکاف‌های ریز میکروسکوپی در آن ایجاد می‌شود. موج ضربه پس از رسیدن به سطح آزاد منعکس شده و موجب به‌وجود آمدن تنش کششی در سنگ می‌شود. سرعت موج در این حالت ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر بر ثانیه است و موجب تولید شکاف‌های شعاعی کوچک اولیه در چال می‌شود.

۳-۲-۳- انبساط گاز

گاز حاصل از انفجار در چال محبوس می‌شود و همین امر باعث می‌شود که فشار مستمری به دیواره چال وارد آید. مقدار این فشار نصف فشار انفجار است. گاز منبسط شده که دارای پتانسیل فوق‌العاده است به صورت‌های زیر بر سنگ اثر می‌کند:

الف- در ترک‌های ریز حاصل از موج ضربه نفوذ کرده، موجب انبساط و گسترش آن‌ها می‌شود که در نهایت منجر به شکسته شدن سنگ می‌شود.

ب- گاز تحت فشار سعی می‌کند از راه کمترین مقاومت به بیرون از چال نفوذ کرده و در صورت وجود چنین شرطی نباید انتظار داشت که نتیجه مطلوب از انفجار چال حاصل شود زیرا انرژی گاز عملاً به‌هدر می‌رود.

ج- استمرار فشار گاز در چال علاوه بر توسعه شکاف‌های ریز قبلی، موجب به‌وجود آمدن شکاف‌های شعاعی جدید در بار سنگ می‌شود.

بنابراین مکانیزم انفجار را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

- موج ضربه اولین مرحله انفجار است و ایجاد شکاف‌های ریز می‌کند.

- شکاف‌های شعاعی به‌وسیله فشار گاز ایجاد می‌شود.

۳-۲-۴- جابجایی توده سنگ

جابجایی توده سنگ، آخرین مرحله شکسته شدن سنگ در اثر انفجار است. در اینجا نیز مقداری سنگ مجدداً شکسته می‌شود. به عنوان مثال در طرح انفجاری روباز به شکل V، سنگ‌ها از روبرو به هم می‌خورند و باز هم شکسته می‌شوند (استوار، ۱۳۷۷).

۳-۳- عوامل موثر بر خردشدگی

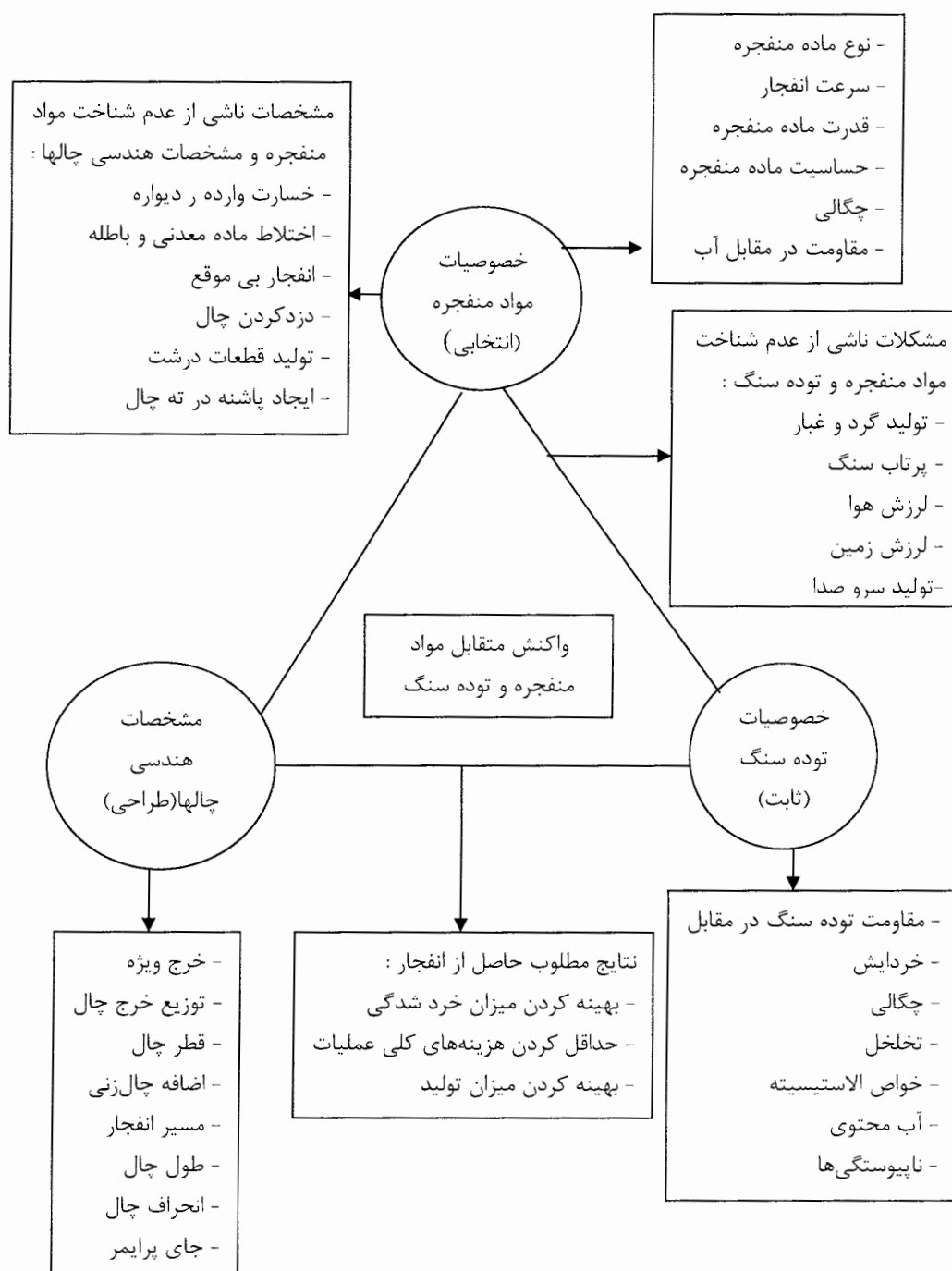
برای انجام یک انفجار مناسب با کیفیت خردشدن خوب بایستی پارامترهای مربوط به سنگ، ماده منفجره و مشخصات هندسی چال‌های انفجاری را به طور کامل و مشخص بررسی کرد. هر یک از پارامترها انفجار بر محیط اطراف خود یک‌سری تاثیرات مطلوب و یا نامطلوب دارند. از آنجایی که روابط بین پارامترها و اجزای مختلف یک عملیات انفجاری، تابع شرایط محیط، نوع و کیفیت ماده منفجره، نوع ساختمان سنگ و هدف از آن است و این شرایط نیز تغییرپذیر، قابل کنترل یا غیرقابل کنترل می‌باشند، لذا ارتباط بین پارامترها خواه ناخواه ثابت نیست. با طراحی و تغییر در پارامترهای قابل کنترل، به‌طور غیرمستقیم می‌توان پارامترها و فاکتورهای غیرقابل کنترل را تحت کنترل درآورد و پدیده‌های ناشی از انفجار را به صورت مطلوب در آورد. در شکل ۳-۲ پارامترهای اصلی موثر در یک انفجار نشان داده شده است و آن‌ها را می‌توان به‌صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف - خصوصیات ماده منفجره

با توجه به انواع متعدد مواد منفجره بایستی مشخصات آن به‌طور کامل شناخته و سپس بر اساس آگاهی‌های به‌دست آمده از خصوصیات مواد منفجره و موارد کاربرد مورد نظر، ماده منفجره مناسب انتخاب شود که این مشخصات عبارتند از:

- نوع ماده منفجره
- مقاومت در مقابل آب
- سرعت انفجار
- تولید گازهای مضر مثل منواکسیدکربن و بخار آب
- انرژی و قدرت ماده منفجره
- حساسیت
- چگالی

فشار و سرعت انفجار بهترین شاخص قابلیت ماده منفجره در شکستن سنگ است.



شکل ۳-۲- پارامترهای موثر در یک انفجار (Ash, 1968)

ب - خصوصیات توده‌سنگ

خصوصیات توده‌سنگ جزء فاکتورهای ثابت هر انفجار بوده و قابل تغییر نمی‌باشد، در نتیجه برای انجام یک عملیات انفجار بایستی خصوصیات توده‌سنگ شناخته شده باشد و سپس تصمیم‌گیری کرد. مشخصات توده‌سنگ را خواصی مانند مقاومت کششی و فشاری توده‌سنگ در برابر خردشدن، چگالی سنگ، تخلخل، خواص الاستیسیته، آب موجود در سنگ و ناپیوستگی‌های موجود تشکیل می‌دهند.

ج - مشخصات هندسی چال‌ها

در یک انفجار مناسب، در صورت آشنایی با خصوصیات توده‌سنگ و همچنین انتخاب مواد منفجره، باید الگویی مناسب جهت تولید مصالح مورد نیاز طراحی و ارائه شود. در نتیجه مهم‌ترین پارامتر در انفجار و درجه خردشدگی سنگ، مشخصات هندسی چال می‌باشد.

تغییر در هر کدام از این پارامترها، بدون در نظر گرفتن تاثیر آن، باعث انفجار و خردشدگی نامطلوب خواهد شد. از جمله این مشخصات می‌توان به توزیع خرج در داخل چال، ارتفاع پله یا چال، قطر چال، انحراف یا شیب چال، اضافه چال‌زنی، مسیر انفجار، انسداد و محل قرارگیری پرایمر و بوستر در چال و انواع آن اشاره کرد.

عدم انتخاب درست و آشنایی با هر یک از موارد فوق عامل بوجود آمدن مشکلات متعددی می‌شود که در ذیل عوامل فوق را دو به دو با هم مقایسه کرده و به عوارض ناشی از آن اشاره شده است.

الف - مشخصات ماده منفجره و خصوصیات توده‌سنگ

در صورت عدم شناخت صحیح از خصوصیات توده‌سنگ و همچنین انتخاب نادرست مواد منفجره متناسب با شرایط، انفجار پیامدهای نامناسبی از جمله تولید گرد و غبار، پرتاب سنگ، لرزش بیش از حد زمین، لرزش هوا و ایجاد سر و صدای زیاد به دنبال خواهد داشت.

ب - مشخصات هندسی چال‌ها و خصوصیات توده‌سنگ

در صورت عدم طراحی مناسب مشخصات هندسی چال‌ها و همچنین انتخاب نادرست مواد منفجره متناسب، عوارضی هم‌چون خسارات وارد بر دیواره، اختلاط ماده معدنی و باطله، انفجار بی‌موقع چال، دزد کردن چال‌ها، تولید قطعات درشت و ایجاد پاشنه در ته چال را به همراه خواهد داشت.

هرگاه پارامترهای ذکر شده فوق به طور مناسب و صحیح انتخاب شوند، نتایج حاصل از انفجار مطلوب بوده و مواردی هم‌چون میزان خردشدگی بهینه، مقدار جابجایی بهینه، میزان تولید بهینه و کم شدن میزان هزینه تولید را به همراه خواهد داشت.

۳-۴ - تاثیر خردشدگی بر مراحل مختلف عملیات معدن کاری

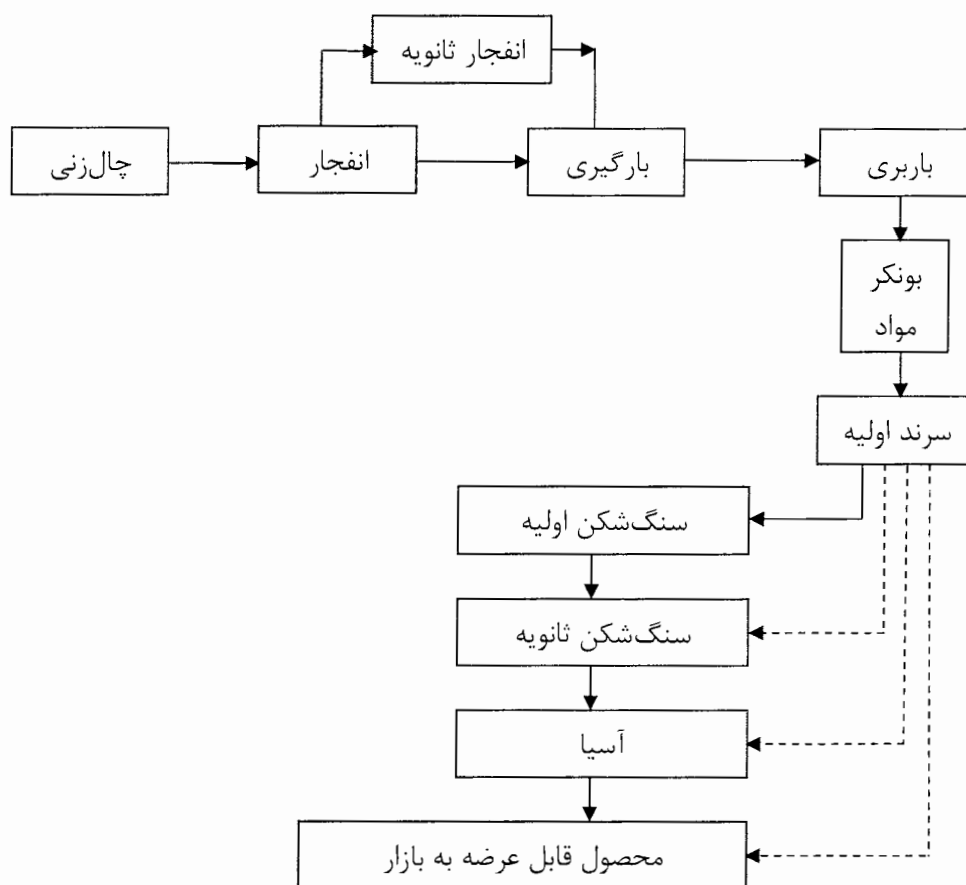
اطلاعات جمع‌آوری شده از تعدادی معدن نشان می‌دهد که هزینه چال‌زنی و انفجار حدود ۳۰ درصد از کل هزینه‌های تولید را تشکیل می‌دهند، در صورتی که در اثر انفجار قطعات بزرگی تولید شود، این رقم تا ۴۵ درصد نیز افزایش می‌یابد (Dey, 1995). همان‌طور که در شکل ۳-۳ ملاحظه می‌شود نتایج حاصل از عملیات چال‌زنی و انفجار می‌تواند بر نتایج عملیات بعدی تولید تاثیر گذارد. بنابراین نتیجه انفجار را که همان خردشدگی و تورم سنگ می‌باشد، باید به صورت کلی مورد مطالعه و بررسی قرار داد و تاثیر آن را بر سایر مراحل عملیات معدن کاری بررسی کرد (Lopez Jimino, 1995).

با توجه به نمودار سیکل معدن کاری، انفجار اولین مرحله از خردشدگی است. با انجام صحیح عملیات انفجاری و دستیابی به خردشدگی مناسب، می‌توان قابلیت خردشدگی ماده معدنی را افزایش داد که در این صورت باعث صرفه‌جویی انرژی نیز خواهد شد. با کاهش نسبت بارسنگ^۱ به فاصله‌داری چال‌ها^۲، و یا با افزایش طول خرج‌گذاری هزینه کلی تولید کاهش می‌یابد. در حالت انفجار معمولی هزینه کلی تولید معدن به عنوان واحد در نظر گرفته شده است (Furstenau, 1997).

۳-۵ - روش‌های تعیین دانه‌بندی قطعات خردشده پس از انفجار

روش‌های تعیین توزیع و متوسط ابعاد قطعات، بر طبق ارتباط بین اندازه‌گیری و آزمایش به دو گروه روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند (شکل ۳-۴). تجزیه سرنندی قطعات خردشده تنها تکنیک روش‌های مستقیم بوده و در مقایسه با روش‌های دیگر، دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش می‌باشد.

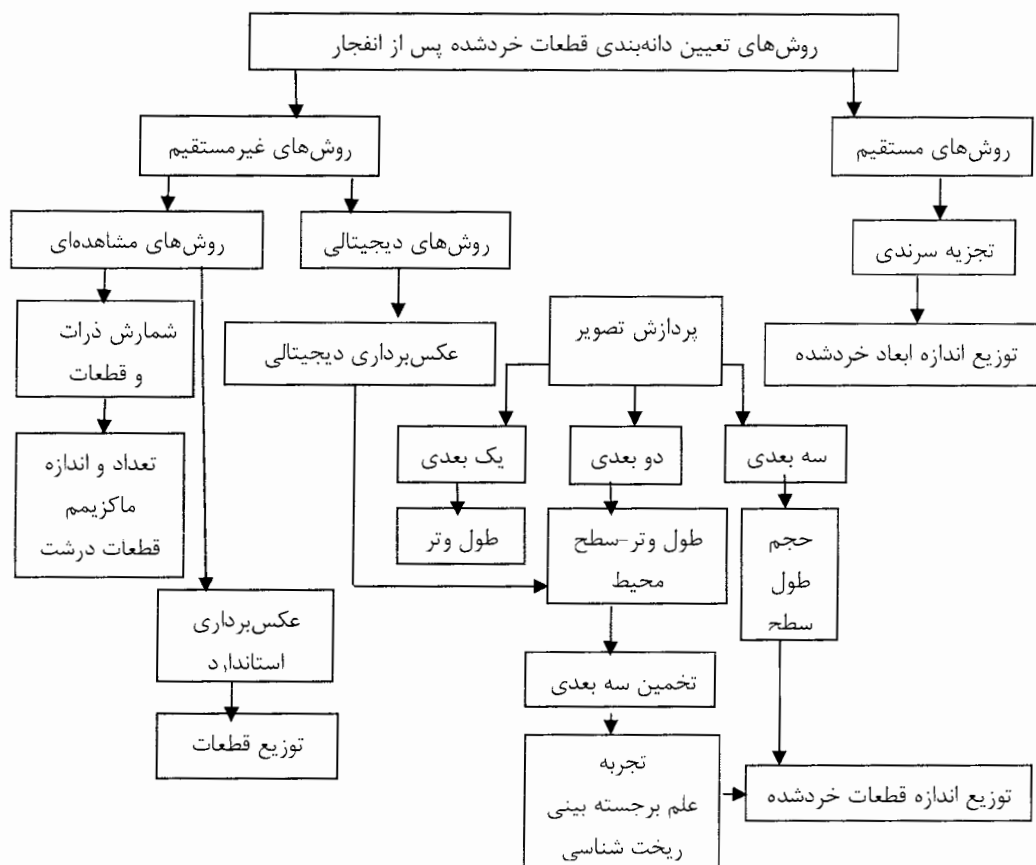
1- burden
2 - spacing



شکل ۳-۳- سیکل عملیات معدن کاری ماده معدنی

در این روش باید هزینه و زمان بسیار زیادی صرف کرد تا منحنی توزیع دانه بندی را بدست آورد. این روش به صورت جزئی و در بعضی از انفجارهای آزمایشی با حجم کم قابل کاربرد است. در عملیات معدن کاری معمولاً از روش‌های مختلفی از جمله روش مشاهده‌ای^۱، روش عکس برداری^۲، روش فتوگرامتری^۳ و یا عکاسی با سرعت بالا^۴ استفاده می‌شود (Lopez Jimino, 1995). به طور کلی ارزیابی خردشدگی حاصل از انفجار عامل مهمی جهت قضاوت در مورد کارایی انفجار و ابزاری برای بهینه سازی توزیع ابعاد سنگ در صورت لزوم است (ابراهیمی امیری و همکاران، ۱۳۸۴).

- 1 - Visual analysis
- 2 - photographic method
- 3 - photogrammetry method
- 4 - high- speed photograhny



شکل ۳-۴- تقسیم‌بندی کلی روش‌های تعیین دانه‌بندی قطعات خردشده پس از انفجار (Djordjevic, 1998)

۳-۵-۲- آنالیز به روش سرندي

رایج‌ترین، قدیمی‌ترین و آسان‌ترین روش‌های اندازه‌گیری آنالیز میزان خردایش و تعیین ابعاد دانه-بندی سنگ استفاده از سرندها می‌باشد که در آن از چند سرندها با میزان تفکیک متفاوت استفاده می‌شود. مواد جامد شامل دانه‌هایی با ابعاد مختلف، در حین حرکت بر روی این سطح به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخشی از دانه‌ها که دارای ابعاد کوچک‌تر از چشمه‌های سرندها هستند از سرندها عبور کرده و بخشی از دانه‌ها که دارای ابعادی بزرگ‌تر از چشمه‌های سرندها هستند بر روی آن باقی می‌مانند. از آنجایی که از هر توده تنها بخش کوچکی به عنوان نمونه گرفته می‌شود، باید در انتخاب محل مناسب برای گرفتن نمونه دقت زیادی کرد (نعمت‌اللهی، ۱۳۷۵).

طریقه کار نیز بدین صورت می‌باشد که چندین سرند با اندازه چشمه متفاوت به صورت طبقه‌ای و یا ردیفی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. سپس مقداری مشخص از قطعات خرد شده را بر روی سرند ابتدایی ریخته و میزان بار باقی‌مانده بر روی سرند را اندازه‌گیری کرده و مابقی به عنوان بار خروجی در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب برای هر یک از بخش‌های به‌دست آمده می‌توان ابعاد متوسطی را در نظر گرفت که میانگین دهانه سرندهائی است که آن بخش از مواد که از یکی از دهانه‌های سرندها عبور کرده است و بر روی سرند بعدی باقی‌مانده است. بعد از آن بار خروجی سرند اول به‌عنوان بار ورودی سرند بعدی محسوب شده و به همان طریقه اول میزان خروجی و درصد آن را مشخص می‌کنند. این کار را بر حسب تعداد سرند مورد نیاز انجام می‌دهند و در آخر از مجموع نتایج بدست آمده میزان خردایش انجام شده را بررسی و محاسبه می‌کنند.

سرندهایی که در انجام این‌گونه آنالیزها از آنها استفاده می‌شود با توجه به وسعت کار مورد نظر به دو بخش صنعتی و آزمایشگاهی تقسیم می‌شوند. بخش صنعتی نیز دو نوع صنعتی و نیمه‌صنعتی را در بر می‌گیرد. از آنجایی که اکثر این نوع فعالیت‌ها با بخش آزمایشگاهی و تحقیقات هر معدن و یا موسسه‌ای مرتبط است، بیشتر از سرندهای آزمایشگاهی و یا در حجم کمی بیشتر، نیمه‌صنعتی استفاده می‌شود. در بعضی موارد خاص که حجم عملیات بررسی بسیار بالا باشد، از سرندهای نوع صنعتی که دارای ابعاد بزرگ‌تر و با ظرفیت بیشتری نسبت به سرندهای نیمه‌صنعتی هستند استفاده می‌شود. باید متذکر شد که کاربرد سرندها در صنعت به طور رایج در حد بزرگتر از ۶ میلی‌متر است، هر چند که در موارد استثنائی ممکن است به حدود ۲۵۰ میکرون نیز برسد و در مقیاس آزمایشگاهی به دانه‌هایی بزرگتر از ۴۰ میکرون محدود است. (نعمت‌اللهی، ۱۳۷۵ و ویجیندرا، ۱۳۷۸)

البته در اینجا باید به این نکته نیز اشاره کرد که تمامی قطعات خرد شده با فرض دانه‌بندی منظم در نظر گرفته می‌شود و تعیین ابعاد دقیق یک دانه نامنظم مقدور نیست زیرا در مورد این‌گونه دانه‌ها واژه‌های طول، عرض، ضخامت یا قطر مفهوم چندانی ندارد زیرا در جهت‌های مختلف مقادیر مختلفی به‌دست می‌آید. در مورد دانه‌های نامنظم که تمامی قطعات خرد شده را در بر می‌گیرد، روش مناسب، بیان ابعاد آنها با کمیتی واحد است. برای این منظور اصطلاحی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، قطر معادل

است. قطر معادل بیانگر قطر دانه‌ای کروی شکل است که در عملیات مشخصی مشابه دانه مورد نظر رفتار می‌کند.

لازم به ذکر است که ابعاد چشمه‌های سرند را بر اساس میزان خردایشی که مورد نظر بوده انتخاب می‌کنند تا با توجه به اندازه خردایش موجود و میزان خردایش مورد نظر به اصلاح نحوه انفجار پرداخته شود.

۳-۵-۲- روش مشاهده ای^۱

این روش یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش‌های برآورد خردشدگی سنگ پس از انفجار می‌باشد. در مواقعی که به علت مشکلات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، امکان استفاده از روش‌های عکاسی، فتوگرامتری و سایر روش‌های دیگر در یک معدن وجود نداشته باشد؛ از روش مشاهده‌ای استفاده می‌شود که در این روش شخص ارزیاب، سطح پس از انفجار را به صورت چشمی مورد برداشت قرار داده و برای هر محدوده از ابعاد قطعات یک عدد به صورت درصد بیان می‌کند. این عمل به صورت پی در پی در طول عملیات بارگیری و با ظاهر شدن سطح جدید در راستای طول جبهه کار به فاصله معین انجام می‌شود و در نهایت پس از اتمام عملیات بارگیری با توجه به طولی که به هر ارزیابی اختصاص داده شده، خردشدگی کلی بدست می‌آید (Lopez jimino, 1995).

این روش نسبت به سایر روش‌ها دارای مزایای زیر است (عطایی و همکاران، ۱۳۸۴):

۱- با توجه به اینکه شخص متصدی نمای سه بعدی قطعات را می‌بیند خطای همپوشانی قطعات که در روش عکاسی وجود دارد، حذف می‌شود.

۲- این روش در تمام شرایط آب و هوایی و وجود گرد و غبار قابل استفاده است.

۳- در این روش کل سطح به صورت یک جا ارزیابی می‌شود در حالی که در روش‌های عکاسی فقط سطح کوچکی (حدود یک متر مربع) را باید به عنوان نمونه انتخاب کرد.

با توجه به همه موارد ذکر شده در مورد این روش، کاربرد آن چندان با ارزش نیست چرا که پراکندگی دقیقی از اندازه‌ها ارائه نمی‌دهد و همچنین برای استفاده از این روش نیاز به افراد با تجربه می‌باشد. علاوه

بر موارد ذکر شده، از آن جایی که هر فرد باید برداشت شخصی خود را از میزان خردشدگی در نظر بگیرد، لذا سلیقه افراد در ارائه نتایج موثر بوده و این امر نیز یکی دیگر از مشکلات این روش است. در مجموع این تکنیک تنها برای بررسی اولیه نتایج حاصل از انفجار پس از انفجار مفید است چرا که متخصصین می‌توانند در مراحل و زمان‌های بعدی مطالعات کامل‌تری بر روی نتایج حاصل از انفجار داشته باشند.

۳-۵-۳- روش آنالیز تصویری

۳-۵-۳-۱- آشنایی مختصری با روش آنالیز تصویری

در روش‌های آنالیز تصویری برای تعیین دانه‌بندی، باید سه مرحله زیر انجام شود:

- انتخاب محل نمونه‌گیری

- تصویربرداری

- انجام آنالیز تصویر با دقت زیاد

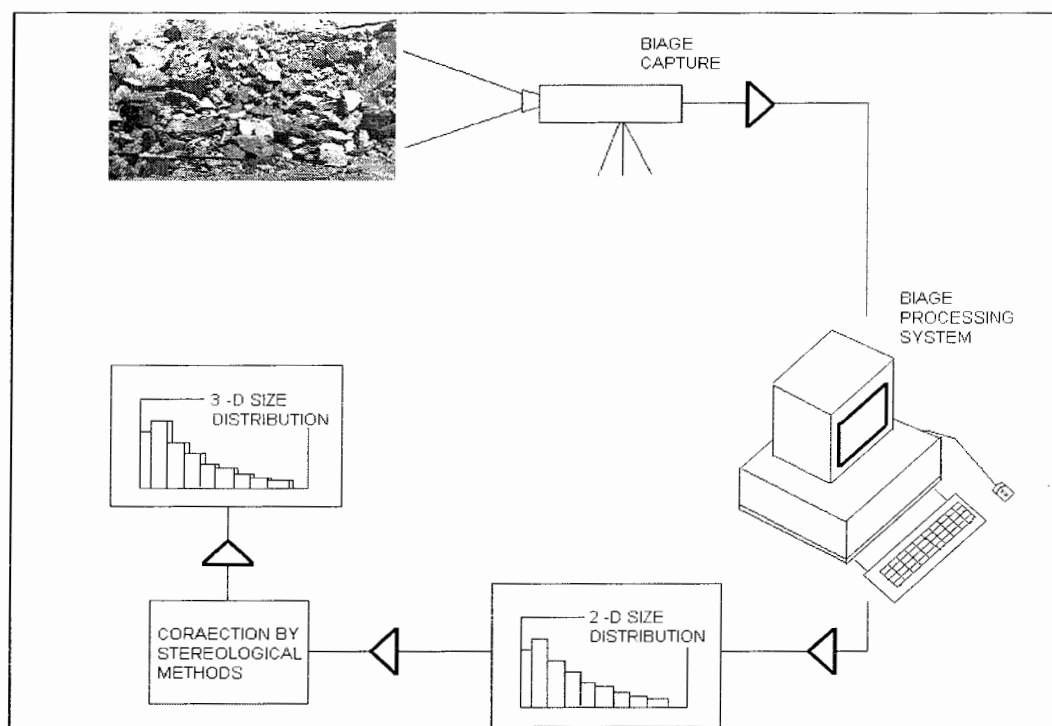
در شکل ۳-۵ یک تصویر شماتیک از کل مراحل ذکر شده آورده شده است.

هر یک از این سه مرحله باید با دقت کافی و بنا بر شرایط خاص منطقه و نتایج مورد نیاز از این آنالیز انجام گیرد.

- مرحله نمونه‌گیری شامل انتخاب محل‌هایی مناسب می‌باشد که در این محل‌ها، نمونه توده خردشده را معرفی می‌کند.

- در مرحله تصویربرداری، باید توجه کرد که عکس‌های گرفته شده از کیفیت خوبی برخوردار باشند.

- در مرحله آنالیز که اصلی‌ترین و مهم‌ترین بخش کار را نیز در بر دارد، در رسم محیط قطعه‌ها در تصویر با شیوه‌های مخصوص آن باید دقت کرد، سپس توزیع ابعادی قطعات مشخص شده در تصویر اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۳-۵- تصویر شماتیک از مراحل بررسی میزان خردایش به روش آنالیز تصویری (Lopez Jimino, 1995)

البته دو مرحله آخر یعنی تصویربرداری و انجام آنالیز تصویری را نیز می‌توان تفکیک کرده و به چند مرحله جداگانه تقسیم کرد که شامل مراحل زیر می‌باشد (Lopez Jimino, 1995):

الف - تهیه عکس‌ها.

ب- دیجیتایز کردن عکس‌ها و ساختن فایل‌های گرافیکی.

ج - پیدا کردن مرزهای قطعات.

د- بر طرف کردن خطای عکس‌ها.

هـ - تعیین پارامتر یا پارامترهای هندسی که بتواند بیانگر حجم هر قطعه باشد.

حال به توضیح بیشتر در مورد هر یک از این مراحل می‌پردازیم:

الف - تهیه عکس‌ها

از محل مناسبی که قبلاً برای عکس‌برداری انتخاب شده است فیلم‌برداری و یا چند عکس گرفته می‌شود. علت گرفتن چند عکس از هر نمونه عدم همگن بودن توزیع ابعاد در مقاطع مختلف نمونه می‌باشد. برای برطرف کردن خطای عکس‌ها و اندازه ابعاد واقعی از یک و یا چند شی با ابعاد مشخص بر روی قطعه‌های خردشده استفاده می‌شود (شکل های ۳-۶ و ۳-۷).

ب- دیجیتایز کردن عکس‌ها و ساختن فایل‌های گرافیکی

در صورت استفاده از عکس، برای انجام تصمیم‌های لازم و تعیین ابعاد سنگ‌های خرد شده باید عکس‌های تهیه شده به فایل‌های گرافیکی تبدیل شوند. البته باید توجه شود که تصویر گرافیکی تهیه شده از کیفیت خوب و مناسبی برخوردار بوده و در ضمن از پسوندی استفاده شود که قابل فهم برای نرم-افزار مورد استفاده نیز باشد.

ج- پیدا کردن مرزهای قطعه‌ها

برای تعیین مرزهای قطعات ابتدا سعی شود تا از نرم‌افزارهای پردازش تصویر نظیر Photostyler و امثال آن استفاده شود. اما مشکل عمده این نرم‌افزارها عملیات فیلترکردن بر حسب شدت رنگ می‌باشد که بدین ترتیب مرزهای قطعه‌هایی که بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند و دارای شدت رنگ تقریباً یکسانی می-باشند کاملاً مشخص نبوده و قطعات مزبور به صورت یک قطعه منفرد به حساب خواهند آمد. برای کاهش خطای ناشی از این امر می‌توان از درجه تحذب قطعات استفاده کرد که از عهده نرم‌افزارهای موجود خارج است. برای کاهش خطا در این مرحله می‌توان مرزبندی را توسط دست انجام داد. هرچند که این کار مستلزم صرف زمان زیادی می‌باشد، ولی برای بالا بردن ضریب اطمینان کار لازم می‌باشد.

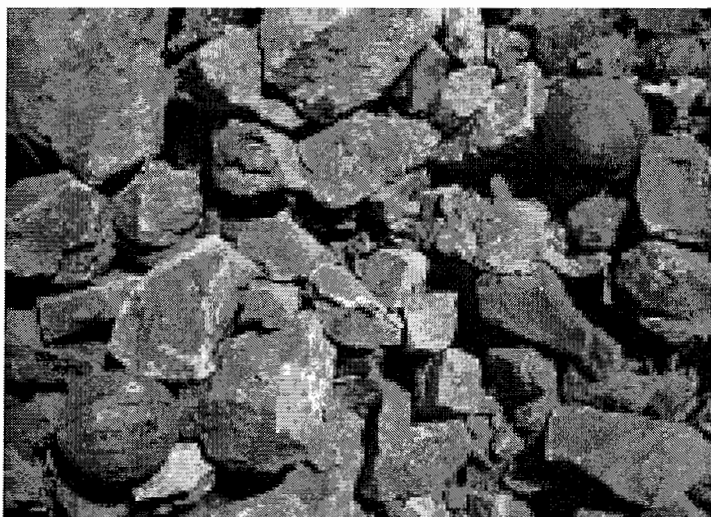
د- برطرف کردن خطای عکس‌ها

معمولاً هنگام تهیه عکس‌ها و پس از آن خطاهایی ایجاد می‌شود که منجر به عدم دقت محاسبات می‌شود. مهم‌ترین این خطاها عبارتند از:

- استفاده از فرضیات ساده کننده برای تبدیل سطوح بدست آمده از عکس‌های دو بعدی به حجم که به علت نامشخص بودن بعد سوم قطعه، خطا ایجاد می‌شود.



شکل ۳-۶- قرار دادن یک شی بر روی قطعات خرد شده در زمان عکس‌برداری (Palangio, 1999)



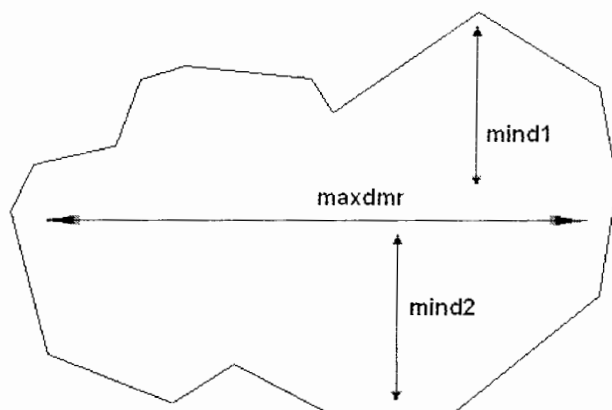
شکل ۳-۷- قرار دادن دو یا بیشتر اشیاء بر روی قطعات خرد شده در زمان عکس‌برداری (حکمت، ۱۳۸۲)

- خطای ناشی از قدرت تفکیک عکس‌ها: با توجه به ابعاد قطعات، قدرت تفکیک کم سبب عدم تشخیص قطعات کوچک‌تر از بعد خاصی خواهد شد. برای رفع این مشکل باید از عکس‌های با مقیاس بزرگ‌تر که سطح کمتری را پوشش می‌دهند، استفاده کرد.

- خطای پرسپکتیو: در این مورد قطعات با اندازه یکسان در فاصله نزدیک‌تر بزرگ‌تر به نظر می‌رسند. برای برطرف کردن این مشکل می‌توان از بعضی نرم افزارها مانند نرم‌افزار Coreldraw استفاده کرد.
- ه - تعیین پارامتر یا پارامترهای هندسی که بتواند بیانگر حجم هر قطعه باشد.

برای تخمین درصد‌های حجمی یا وزنی قطعات با استفاده از روش عکس‌برداری از فرضیات زیر استفاده می‌شود:

۱. سطح هر قطعه از حاصل ضرب بعد حداقل و حداکثر آن بدست می‌آید. برای پیدا کردن قطرها ابتدا قطر بزرگ سنگ تعیین شده و سپس با توجه به معادله خط این قطر، مجموع بیشترین فاصله از هر دو طرف آن به عنوان قطر کوچک در نظر گرفته می‌شود.
۲. ضخامت هر قطعه با قطر کوچک بدست آمده از عکس‌ها برابر می‌باشد و حجم هر قطعه از ضرب ضخامت در سطح آن قطعه بدست می‌آید (شکل ۳-۸).
۳. تمام قطعات دارای وزن مخصوص یکسان می‌باشند که در این صورت درصد حجمی قطعات به درصد وزنی آنها برابر خواهد بود.



شکل ۳-۸ - قطرهای بزرگ (maxdmr) و کوچک ($\text{mindmr} = \text{mind1} - \text{mind2}$) هر قطعه که می‌توان از روی آنها سطح و حجم هر قطعه را بدست آورد (دهقان بنادکی، ۱۳۸۰)

۳-۶- مدل‌های ریاضی پیش‌بینی دانه‌بندی قطعات خردشده پس از انفجار

طی دو دهه اخیر تمایل زیادی برای مدل‌سازی خردشدن سنگ با استفاده از روش‌های تجربی وجود داشته است. کازنتسوف^۱ رابطه‌ای تجربی و ساده را برای پیش‌بینی بعد متوسط سنگ خردشده ارائه کرد که طیف وسیعی از سنگ‌ها و مواد منفجره را در بر می‌گرفت. علی‌رغم آن‌که در رابطه وی صرفاً انرژی ورودی برای حجم معینی از سنگ و عاملی برای بیان سختی و تراکم آن وارد شده بود، اما دقت قابل توجهی برای سنگ‌های توده‌ای از خود نشان می‌داد. کوینگهام^۲ متوسط بعد در رابطه کازنتسوف را به توزیع مدل ریاضی رزین - رامبر مرتبط کرد. در این رابطه توزیع خردشدگی سنگ به صورت تابعی از پارامترهای طراحی انفجار، سختی سنگ و فراوانی درزه‌ها و جهت آنها بیان شده است. هم‌چنین مطالعاتی در مقیاس کوچک برای برای مرتبط ساختن میزان خردشدن سنگ با خواص آن و مواد منفجره صورت گرفت که از آن جمله می‌توان مطالعات انجام شده توسط اوترنس^۳، برگامان^۴ و دیگران را نام برد. در این مطالعات تاثیر پارامترهایی نظیر چگالی ماده منفجره، سرعت انفجار، سرعت امواج در سنگ، ضریب جفت-شدگی ماده منفجره در چال و چگالی سنگ بر میزان خردشدگی آن بیان شده است (دهقان بنادکی، ۱۳۸۰).

۳-۶-۱- مدل دنیس و گاما^۵

این مدل در سال ۱۹۷۰ توسط دنیس و گاما به صورت زیر ارائه شده است
(Dey, 1995-Lopez Jimino, 1995- Dinis and Gama, 1995):

$$R(X) = a.W^b \left[\frac{X}{B} \right]^c \quad (1-3)$$

که در آن:

$R(X)$: درصد تجمعی قطعات کوچک‌تر از دهانه سرند X

X : اندازه دهانه سرند به سانتی‌متر

1 - Kuznetsov
2 - Cuningham
3 - Ottemess
4 - Bergamann
5 - Dinis and Gama

W : انرژی لازم برای خردشدگی بر حسب کیلووات ساعت بر تن

B : ضخامت بارسنگ به متر

c, b, a : ثابت‌هایی هستند که به خصوصیات سنگ و مواد منفجره بستگی دارند.

مقدار W از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = 10 \frac{W_i}{\sqrt{d_{80}}} \quad (2-3)$$

که در این رابطه:

W_i : اندیس باند سنگ

d_{80} : دهانه سرندی است که ۸۰ درصد قطعات از آن عبور می‌کنند.

معایب این روش عبارتند از:

- ۱- به منظور به دست آوردن ضرایب پارامترهای موثر در فرمول به آزمایش عملی در صحرا احتیاج دارد.
 - ۲- از میان پارامترهای موثر و متعدد طراحی تنها از ضخامت بارسنگ در فرمول برای پیش‌بینی خردشدگی استفاده شده است.
 - ۳- وابسته به اندیس باند ماده معدنی مورد نظر است.
 - ۴- تخمین و پیش‌بینی توزیع ابعاد مواد خردشده چندان دقیق نیست.
- مزایای این روش عبارتند از:
- ۱- جزء اولین مدل‌های ارائه شده در این زمینه است.
 - ۲- یک تخمین اولیه از وضعیت خردشدگی ارائه می‌کند.

۳-۶-۲- مدل لارسون^۱

این مدل در سال ۱۹۷۳ میلادی توسط لارسون برای تعیین d_{50} یا دهانه سرندی که ۵۰ درصد قطعات از آن عبور می‌کنند ارائه شد و به صورت ذیل می‌باشد (Hustrulid, 1999- Lopez Jimino, 1995):

$$d_{50} = C_b \cdot e^{\left(0.58 \ln B - 0.145 \ln \left(\frac{S}{B}\right) - 1.18 \ln \left(\frac{q}{C}\right) - 0.82\right)} \quad (3-3)$$

که در آن:

C : ثابت سنگ که معادل خرج ویژه دینامیت ژلاتینی لازم برای خردکردن سنگ بوده و معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۵ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می‌شود.

q : خرج ویژه به کیلوگرم بر متر مکعب

(S/B) : نسبت فاصله‌داری چال‌ها در ردیف به ضخامت بارسنگ

B : ضخامت بارسنگ به متر

S : فاصله چال‌ها در یک ردیف به متر

C_b : ثابت قابلیت انفجارپذیری^۱ که این فاکتور به درزه و شکاف موجود در توده‌سنگ و یا به ساختار توده-سنگ بستگی دارد و مقدار آن از جدول (۱-۳) بدست می‌آید.

معایب این روش عبارتند از (بخشنده، ۱۳۷۷):

۱- تاثیر پارامترهای انفجار از جمله ارتفاع پله و طول انسداد در مدل مورد توجه قرار نگرفته است.

۲- عدم پیش‌بینی وضعیت انفجار مثل یکنواختی و عدم یکنواختی قطعات خردشده

مزیت این روش عبارت است از:

۱- نسبت به فرمول دنیس و گاما، پارامترهای انفجاری بیشتری را مورد توجه قرار داده است.

جدول ۱-۳ - ثابت قابلیت انفجار پذیری برای سنگ‌های مختلف (Lopez Jimino, 1995)

قابلیت انفجار پذیری	وضعیت توده سنگ
۰/۶	دارای درزه و شکاف خیلی زیاد
۰/۵۵	دارای درزه و شکاف نسبتاً زیاد
۰/۵	توده معمولی و دارای ترکهای ریز
۰/۴۵	نسبتاً همگن
۰/۴	همگن

۳-۶-۳- مدل سوئدیفو^۱

فرمولی که توسط آقای لارسون در سال ۱۹۷۳ بیان شد، تاثیر ارتفاع پله و طول انسداد را در نظر نگرفت اما کو^۲ و روستن^۳ از موسسه تحقیقات آتشکاری سوئد در سال ۱۹۹۳ با اضافه کردن آن‌ها معادله نهایی را به صورت زیر ارائه کردند (Kou,1993- Lopez Jimino,1995):

$$d_{50} = C_d \left(1 + 4.67 \left(\frac{T}{L} \right)^{2.5} \right) \times e^{0.29 \ln B} \sqrt[2]{\frac{S}{1.25}} - 1.18 LN \left(\frac{q}{c} \right) - 0.82 \quad (4-3)$$

که در آن:

c : ثابت سنگ که معادل خرج ویژه دینامیت ژلاتینی لازم برای خرد کردن سنگ

q : خرج ویژه به کیلوگرم بر مترمکعب

B : ضخامت بارسنگ به متر

S : فاصله چال‌ها در یک ردیف به متر

C_d : ثابت قابلیت انفجار که مقادیر این فاکتور همان گونه که گفته شد از جدول ۳-۱ بدست می‌آید.

T : طول گل‌گذاری به متر

L : عمق چال انفجاری به متر

در این مدل $R(X)$ یا درصد وزنی تجمعی قطعات خرد شده با ابعاد مورد نظر X از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R(X) = 1 - e^{-\left(0.76 \frac{X}{d_{50}} \right)^{1.35}} \quad (5-3)$$

منحنی را که در آن با داشتن میزان d_{50} می‌توان اندازه و ابعاد بلوک‌های استخراجی را برآورد کرد، در شکل ۳-۹ نشان داده شده است.

معایب این روش عبارتند از (بخشده، ۱۳۷۷):

1 - SWEDEFO (Swedish Detonic Research Foundation)

2 - Kou

3 - Rustan

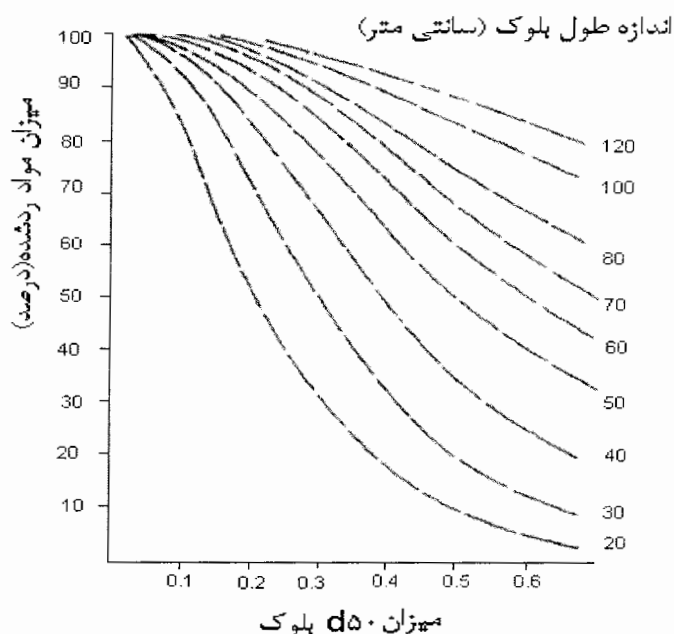
۱- پارامترهای سنگ به صورت تقریبی در فرمول دخالت داده می‌شود.

۲- در بیشتر موارد، متوسط ابعاد قطعات خردشده پیش‌بینی شده کمتر از مقدار واقعی است.

مزایای این روش عبارتند از :

۱- بر خلاف معادله لارسون، طول گل‌گذاری و ارتفاع پله به طور مستقیم در مدل دخالت داده شده است.

۲- این مدل تعمیم یافته مدل لارسون است و دقت پیش‌بینی خردشدگی نیز بالاتر از آن می‌باشد.



شکل ۳-۹- نمودار تعیین ابعاد بلوک بر حسب بار خروجی از سرنده و ضریب d_{50} در اندازه بلوک (Lopez Jimino, 1995)

۳-۶-۴- مدل کاز-رام^۱

این مدل در سال ۱۹۸۳ میلادی توسط کونینگهام^۲ ارائه شده است که پایه و اساس آن معادلات

تجربی کازنتسوف^۳ برای پیش‌بینی ابعاد سنگ‌های خردشده پس از انفجار و منحنی توزیع رزین-راملر^۴ می-

باشد (Djordjevic, 1999- Cunningham, 1983).

1 - Kuz - Ram

2 -Cunningham

3 -Kuznetsov

4 -Rosion and Rammler

۳-۶-۴-۱- معادله کازنتسوف

کازنتسوف برای پیش‌بینی ابعاد متوسط سنگ‌های خردشده پس از انفجار رابطه زیر را ارائه کرده است (Lopez Jimino, 1995- Hustrulid, 1999):

$$\bar{X} = A \cdot \left(\frac{V}{Q_{TNT}} \right)^{0.8} \cdot Q_{TNT}^{0.167} \quad (۶-۳)$$

که در این رابطه:

\bar{X} : متوسط ابعاد قطعات خردشده به سانتی‌متر

A : شاخص قابلیت انفجار که به ساختار توده سنگ بستگی دارد و از جدول ۳-۲ به دست می‌آید

V : حجم سنگ خردشده در اثر انفجار هر چال به مترمکعب

Q_{TNT} : مقدار TNT به کیلوگرم که از نظر انرژی معادل انرژی ماده منفجره داخل هر چال است.

از طرف دیگر داریم:

$$Q \times E = Q_{TNT} \times 115 \quad (۷-۳)$$

که در آن:

Q : وزن ماده منفجره داخل چال به کیلوگرم

E : قدرت وزنی ماده منفجره نسبت به آنفو (قدرت وزنی آنفو و TNT به ترتیب ۱۰۰ و ۱۱۵ است)

جدول ۳-۲- مقادیر فاکتور سنگ با توجه به ساختار توده سنگ (Lopez Jimino, 1995)

فاکتور سنگ	ضریب پرتو دیاکونف	وضعیت توده سنگ
۳	۳-۵	سنگ خیلی نرم
۵	۵-۸	سنگ نرم
۷	۸-۱۰	سنگ متوسط
۱۰	۱۰-۱۴	سنگ سخت و درزه دار
۱۳	۱۲-۱۶	سنگ سخت و همگن

با محاسبه مقدار Q از معادله ۳-۷ و جایگزینی آن در معادله ۳-۶، متوسط ابعاد قطعه‌های خردشده از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\bar{X} = A \cdot \left(\frac{V}{Q}\right)^{0.8} \cdot Q^{0.167} \cdot \left(\frac{115}{E}\right)^{0.633} \quad (۸-۳)$$

خرج ویژه (وزن ماده منفجره برای خردکردن یک مترمکعب سنگ) بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب که برای محاسبه آن از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$q = \frac{Q}{V} \quad (۹-۳)$$

از تلفیق رابطه ۳-۸ و ۳-۹، متوسط ابعاد قطعات خردشده برابر است با:

$$\bar{X} = A \cdot q^{-0.8} \cdot Q^{0.167} \cdot \left(\frac{115}{E}\right)^{0.633} \quad (۱۰-۳)$$

معایب این روش عبارتند از (بخشده، ۱۳۷۷):

- ۱- عدم وارد کردن قدرت مواد منفجره مختلف در محاسبه میزان خردشدگی.
 - ۲- عدم پیش بینی وضعیت انفجار.
 - ۳- با توجه به تفاوت قدرت مواد منفجره مختلف تنها قدرت TNT را مد نظر قرار داده و قدرت بقیه مواد نسبت به آن به طور نسبی سنجیده می‌شود.
- مزایای این روش عبارتند از:

- ۱- پیش بینی تقریبی متوسط ابعاد قطعات خردشده.
- ۲- دخالت دادن قدرت مواد منفجره (فقط TNT) در تعیین d_{50} .

۳-۶-۴-۲ - منحنی رزین-راملر

رزین-راملر تابع نمایی زیر را برای تخمین توزیع ابعاد قطعات خردشده ارائه داده‌اند

(Kuznetsov,1973- Lopez Jimino,1995- Singh,2003):

$$R(X) = 1 - e^{-\left(\frac{X}{\bar{X}_c}\right)^n} \quad (۱۱-۳)$$

که در این رابطه:

$R(X)$: نسبت قطعات عبور کرده از سرند به ابعاد X

X : ابعاد سرند مورد نظر به سانتی‌متر

X_c : اندازه مشخصه^۱ سرند

n : شاخص یکنواختی^۲ است. شاخص یکنواختی نشان‌دهنده یکنواختی توزیع ابعاد قطعات خردشده می‌باشد و مقدار آن معمولاً بین ۰/۸ تا ۲/۲ است.

از آن‌جا که معادله کازنتسوف مقدار متوسط \bar{X} را محاسبه می‌کند، بنابراین $R(X)$ مساوی ۰/۵ خواهد بود.

از آن‌جایی که معادله کازنتسوف مقدار متوسط \bar{X} محاسبه می‌شود در نتیجه $R(X) = ۰/۵$ در نظر گرفته می‌شود و داریم (Kuznetsov, 1973 Lopez Jimino, 1995):

$$0.5 = 1 - e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \quad (۱۲-۳)$$

$$X_c = \frac{\bar{X}}{(0.693)^{\frac{1}{n}}} \quad (۱۳-۳)$$

۳-۶-۴-۳ - تاثیر طرح انفجار بر شاخص یکنواختی (n)

این شاخص به پارامترهای مختلف طرح انفجار هم‌چون قطر چال، بار سنگ، فاصله چال‌ها در یک ردیف، طول خرج، دقت چال‌زنی و ارتفاع پله بستگی دارد. کونینگهام برای محاسبه n در توزیع رزین و راملر در سال ۱۹۸۷ رابطه زیر را ارائه داده است (Cunningham, 1983 - Maerz, 2000 Lopez Jimino, 1995):

1 - Characteristic size
2 - Index of uniformity

$$n = \left(2.2 - 14 \frac{B}{D}\right) \cdot \left(\sqrt{\frac{1+S/B}{2}}\right) \cdot \left(1 - \frac{W}{B}\right) \cdot \left(0.1 + \frac{|L_b - L_c|}{L}\right)^{0.1} \cdot \frac{L}{H} \cdot P \quad (3-14)$$

که در آن:

D : قطر چال به میلی‌متر

L : طول کل خرج به متر

L_b : طول خرج تحتانی به متر

L_c : طول خرج میان چال به متر

H : ارتفاع پله به متر

W : انحراف چال به متر

S : فاصله چال‌ها در یک ردیف به متر

B : ضخامت بار سنگ به متر

P : فاکتور آرایش چال می‌باشد که در صورت آرایش لوزی $P = 1/1$ و برای آرایش مربعی $P = 1$ در نظر گرفته می‌شود.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود این رابطه توزیع خردشدگی سنگ را به صورت تابعی از پارامترهای طرح انفجار، سختی سنگ، فراوانی درزه‌ها و جهت آن‌ها ارائه داده است. اثر پارامترهای متفاوت طراحی بر روی n در جدول ۳-۳ آورده شده است.

جدول ۳-۳- اثر پارامترهای متفاوت طراحی بر روی n شاخص یکنواختی (Lopez Jimino, 1995)

پارامتر	افزایش پارامتر n
B/D	کاهش
L/H	افزایش
S/B	افزایش
الگوی حفاری نامنظم	افزایش
دقت چال‌زنی	افزایش

۳-۶-۴ - محدودیت مدل کاز-رام

نکات مهمی در مورد این مدل باید مورد توجه قرار گیرد که از آن موارد عبارتند از (Djordjevic,1998- Lopez Jimino,1995):

۱- از نسبت S/B در مورد الگوی چال‌زنی استفاده می‌شود نه برای زمان‌بندی انفجار و آن هم نباید از ۲ بیشتر باشد.

۲- ترتیب زمانی انفجار باید طوری تعیین شود که خردکردن به صورت مناسب انجام گیرد.

۳- انرژی ایجاد شده از ماده منفجره در انفجار باید با انرژی مورد انتظار در محاسبات یکی باشد.

۴- درزه‌داری و همگن یا ناهمگن بودن سنگ به خصوص در مواقعی که فاصله بین درزه‌ها از فاصله بین چال‌ها کمتر باشد، باید مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرد.

در تابع رزین-راملر توزیع ابعادی قطعات خیلی شبیه به معادلاتی است که بیان‌گر طول بلوک‌های یک‌پارچه در توده سنگ می‌باشد.

طول احتمالی سنگ یک‌پارچه کمتر از یک اندازه خاص توسط معادله زیر بدست می‌آید (Djordjevic,1998):

$$F(X) = 1 - e^{-ax} \quad (۱۵-۳)$$

a : چگالی متوسط سنگ شکسته

X : فاصله بین ترک‌ها (متر)

این معادله دلالت بر آن دارد که شکل منحنی توزیع خردشدگی کاز-رام توسط توزیع شکستگی‌ها و ناپیوستگی‌ها قبلی درون توده سنگ کنترل می‌شود. از این رو مکانیزم اساسی خردشدگی فرض شده در این مدل در واقع از گسترش و بهم پیوستن شکستگی‌های قبلی درون سنگ به علت میدان تنش کششی بوجود آمده دورتر از چال انفجاری است.

این مدل مکانیزم خردشدگی را به علت شکست فشاری برشی سنگ در مجاورت چال انفجاری در نظر نگرفته که این خود دلیل اولیه‌ای مبنی بر تخمین کم قطعات خردشده ریز (کمتر از ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر) تولید شده در اثر انفجار می‌باشد. البته برای سنگ‌های نسبتاً سخت این شکل کمتر وجود دارد. زیرا زون

واقعی سنگ تحت فشار در حین عملیات انفجار نسبتاً کم بوده (برابر یا کمتر از قطر چال انفجاری)، بنابراین برای سنگ‌های سخت، این مدل مناسب می‌باشد، برای سنگ‌های نرم که مقدار زون فشاری اطراف چال انفجاری بزرگ‌تر است، هنگام تفسیر تخمین‌های خردشدگی، لازم است محتاطانه عمل کرده و مدل‌های جداگانه‌ای برای پیش‌بینی قطعات ریز ارائه شود. اساساً مواد خرد و پودر شده نزدیک چال‌های انفجاری به دلیل تأثیرات امواج تنشی منتشر شده درون توده‌سنگ، تولید می‌شود. این بدین معنی است که شکل منحنی توزیع دانه‌ریز، الزاماً به صورت ریاضی به‌وسیله یک تابع نمایی توصیف و بیان نمی‌شود (Djordjevic, 1998).

به‌طور کلی معایب این روش عبارتند از:

۱- برای بدست آوردن ابعاد قطعات مورد نظر (هدف) بایستی از یک روش صحیح و خطای نسبتاً طولانی استفاده کرد.

۲- بستگی مستقیم به نحوه اجرای عملیات انفجاری دارد.

۳- در بیشتر موارد، مقدار پیش‌بینی شده متوسط ابعاد قطعات (d_{50}) کوچک‌تر از مقدار واقعی است.

۴- با توجه به نقش بالای خصوصیات توده‌سنگ در خردشدگی، به‌طور کامل تأثیر آن در مدل بررسی نشده است.

مزایای این روش عبارتند از:

۱- ارائه معیاری به نام شاخص خردشدگی برای تعیین خردشدگی وضعیت توده‌سنگ منفجر شده.

۲- ارائه رابطه‌ای برای محاسبه و پیش‌بینی میزان درصد عبوری از سرنده با ابعاد مورد نظر.

۳- ترکیبی از دو فرمول کازنتسوف و رزین-راملر برای بالابردن دقت پیش‌بینی.

۴- وارد کردن قدرت وزنی نسبی مواد منفجره مختلف در محاسبه میزان خردشدگی.

۳-۶-۵ - مدل اصلاح شده کاز-رام

به دلیل تأثیر فراوان پارامترهای توده‌سنگ در خردشدگی، کونینگهام در سال ۱۹۸۷ مدل قبلی خود را تکمیل و به صورت زیر ارائه کرد (Cunningham, 1987):

$$\bar{X} = 0.06BI \cdot \left(\frac{V}{Q}\right)^{0.8} \cdot Q^{0.167} \cdot \left(\frac{115}{E}\right)^{0.633} \quad (۱۶-۳)$$

که در این رابطه BI شاخص قابلیت انفجار پذیری است که در سال ۱۹۹۲ میلادی توسط لایلی^۱ انفجار به صورت رابطه زیر ارائه شده است (Lilly, 1986):

$$BI = RMD + JPS + JPO + RDI + HF \quad (۱۷-۳)$$

که در این رابطه:

RMD: شاخص توصیف توده سنگ^۲

JPS: فاکتور فاصله‌داری درزه‌ها^۳

JPO: فاکتور جهت‌یافتگی درزه‌ها^۴

RDI: شاخص چگالی سنگ^۵

HF: فاکتور سختی^۶

در جدول ۳-۴ مقادیر پارامترهای موثر در *BI* آورده شده است.

-
- 1 - Lilly
 - 2 - Rock mass description
 - 3 - Joint plane spacing
 - 4 - Joint plane orientation
 - 5 - Rock density index
 - 6 - Hardness factor

جدول ۳-۴ - مقادیر پارامترهای موثر در BI (Lilly, 1986)

امتیاز	پارامترهای ژئومکانیکی
RMD	شاخص توصیف توده سنگ
۱۰	ترد و خیلی خرد شده
۲۰	سنگ بلوکی
۵۰	سنگ توده ای
JPS	فاصله داری ناپیوستگی
۱۰	کمتر از ۰/۱ متر
۲۰	بین ۰/۱ - ۱ متر
۵۰	بزرگتر از ۱ متر
JPO	جهت یافتگی ناپیوستگی
۱۰	به صورت افقی
۲۰	شیب ناپیوستگی به طرف بیرون
۳۰	امتداد ناپیوستگی عمود بر سطح آزاد
۴۰	شیب ناپیوستگی به طرف داخل دامنه
RDI	شاخص تاثیر چگالی سنگ
۲۵۷ - ۵۰	۷؛ وزن مخصوص (تن بر متر مکعب)
HF	فاکتور سختی
یک سوم مدول یانگ (GPa)	مدول یانگ کمتر از ۵۰ گیگا پاسکال
یک پنجم مقاومت فشاری تک محوری سنگ (Mpa)	مدول یانگ بیش از ۵۰ گیگا پاسکال

فصل چهارم

انفجارهای آزمایشی در محدوده

سنگ‌برداری سرریز سد گتوند

و تعیین دانه‌بندی آنها

۴-۱- مقدمه

برای ارزیابی کیفیت مصالح در محدوده ساخت‌گاه سد، ناحیه‌ای برای انفجار آزمایشی و آزمایش تراکم صحرایی مصالح پوسته سد پیش‌بینی شده است. منطقه‌ای که برای انجام انفجارهای آزمایشی در نظر گرفته شد، در محدوده سنگ‌برداری سرریز می‌باشد. این محدوده که برای پایدارسازی دیواره منتهی به سرریز حفاری خواهد شد، منبع خوبی برای تهیه مصالح سنگی مورد نیاز در پوسته سد است. نظر به این‌که مصالح باید در یک محدوده دانه‌بندی خاص قرار گیرد، لازم است که با توجه به نوع سنگ، فواصل چال‌ها و الگوی خرج‌گذاری برای انفجارهای آتی در این محدوده مشخص شود. محدوده دانه‌بندی مورد نیاز برای بدنه سد در شکل ۴-۱ آورده شده است.

بدین منظور چند انفجار آزمایشی با آرایش مندرج در جدول ۴-۱ برای دستیابی به الگوی مناسب در نظر گرفته شده است تا بتوان به دانه‌بندی مورد نظر رسید. پس از هر مرحله انفجار نمونه‌ای را که از نظر کیفی و کمی بتواند معرف کل مصالح باشد، انتخاب شده و به محل سرند و آزمایشگاه برای دانه‌بندی منتقل شده است.

۴-۲- انفجارهای آزمایشی

۴-۲-۲- انفجار آزمایشی اول

برای انجام اولین انفجار آزمایشی، الگویی شامل حفر چال‌هایی با طول ۱۶/۶ متر، قطر ۷۶ میلی‌متر و با شیب ۷۲ درجه در نظر گرفته شده است. ارتفاع پله‌ای که مورد انفجار قرار می‌گرفت، ۱۵ متر می‌باشد.

جدول ۴-۱- پارامترهای الگوهای انفجارهای آزمایشی (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

پارامترهای انفجار (برای هر چال)	الگوی اول	الگوی دوم	الگوی سوم	الگوی چهارم	الگوی پنجم
قطر چال (میلی متر)	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶
ارتفاع یله K (متر)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
اضافه چال زنی U (متر)	۰/۷۵	۰/۸	۰/۹	۰/۸	۰/۸
طول چال H (متر)	۱۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۷	۱۶/۶	۱۶/۶
بار سنگ B (متر)	۲/۴	۲/۶	۳	۲/۸	۲/۷
فاصله چال ها در یک ردیف S (متر)	۳	۳/۲۵	۳/۷۵	۳/۵	۳
پرایمر- دینامیت (کیلو گرم)	۱/۷	۲/۲	۱/۵	۲/۲	۲/۲
خرج میان چال- آنفو (کیلو گرم)	۵۳/۵	۵۵/۵	۵۱/۵	۶۱	۶۱
طول خرج میان چال (متر)	۱۳/۶	۱۴	۱۳/۴	۱۵/۱	۱۵/۱
کل خرج موجود در چال (کیلو گرم)	۵۵/۲	۵۷/۷	۵۳	۶۳/۲	۶۳/۲
طول گل‌گذاری (متر)	۳	۲/۶	۳/۲	۱/۵	۱/۵
مقدار فنیله انفجاری (متر)	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵
حجم سنگ برای هر چال (متر مکعب)	۱۰۸	۱۲۶/۷	۱۶۸/۷	۱۴۷	۱۲۱
خرج ویژه (کیلو گرم بر متر مکعب)	۰/۵۱	۰/۴۵۵	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۵۲
مصالح ازای هر متر چال زنی (متر مکعب)	۶/۵	۷/۶	۱۰/۱۶	۸/۸	۷/۳
چال زنی ویژه (متر بر متر مکعب)	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۱۳	۰/۱۳۷

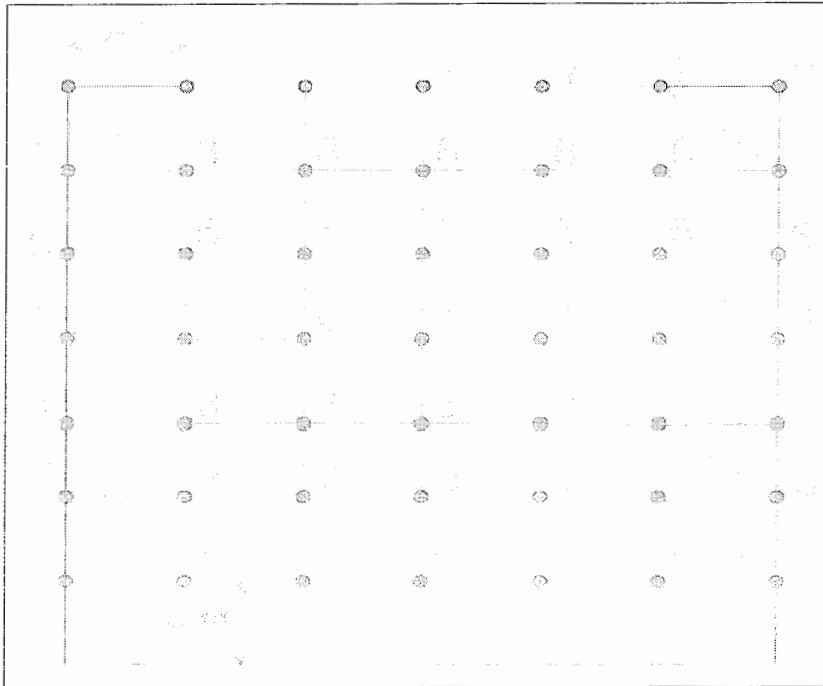
تعداد چال‌هایی که در اولین انفجار حفاری شدند ۴۹ عدد بود، که در یک شبکه ۷×۷ حفاری شده بودند. این منطقه سطحی به وسعت ۳۰۲/۴ متر مربع را پوشش می‌داد. برای حفر این چال‌ها ۸۰۸/۵ متر حفاری انجام شد. نحوه بسته شدن مدار و تأخیری‌های اعمال شده برای انفجار متوالی چال‌ها در شکل ۴-۲ دیده می‌شود (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

خرج اصلی مورد استفاده در انفجار آنفو^۱ می‌باشد. از دینامیت نیز به‌عنوان ماده تقویت‌کننده استفاده شده است. ترتیب قرارگیری مواد و مراحل خرج‌گذاری مطابق شکل ۳-۴ می‌باشد. کل مواد ناریه‌ای که در این انفجار برای خرج‌گذاری ۴۹ چال مورد استفاده قرار گرفته است مطابق جدول ۲-۴ می‌باشد و سایر پارامترهای انفجار در جدول ۲-۴ آورده شده است (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

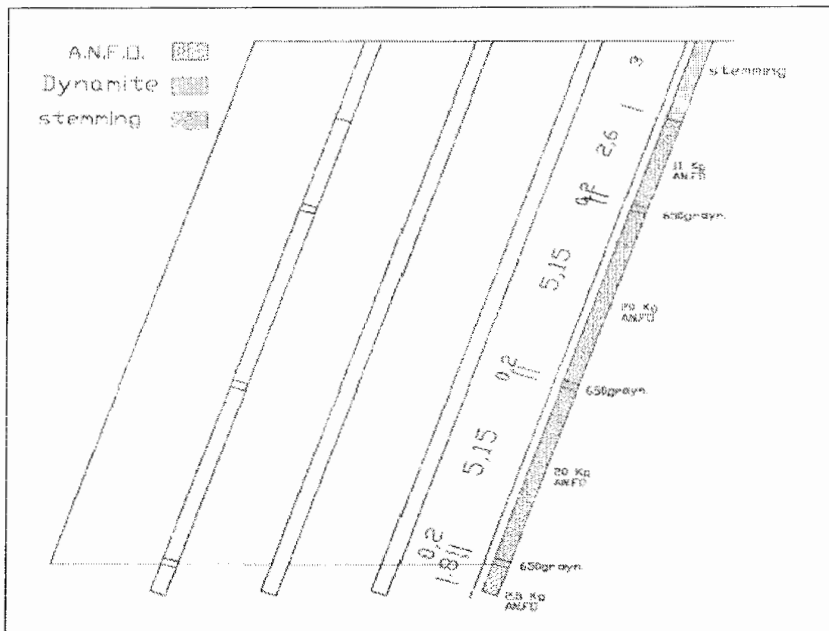
جدول ۲-۴- مقدار مواد ناریه مصرفی در اولین انفجار آزمایشی (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

ردیف	نوع مواد ناریه	مقدار مصرفی در هر چال	مقدار کل مصرفی
۱	دینامیت (کیلوگرم)	۱/۷۲	۸۴
۲	آنفو (کیلوگرم)	۵۳/۵	۲۶۲۱
۳	فتیله انفجاری (متر)	۲۰/۴	۱۰۰۰
۴	چاشنی (عدد)	—	۱۶
۵	گل‌گذاری (کیلوگرم)	۱۶/۵	۸۰۰

همان‌طور که در جدول ۲-۴ آمده است برای انفجار چال‌ها در این معدن نیز ترکیبی از فتیله انفجاری و چاشنی استفاده شده است. بدین ترتیب که انتقال انفجار به درون چال‌ها توسط فتیله انفجاری انجام می‌شود ولی شروع آتش فتیله انفجاری توسط چاشنی انجام می‌شود البته اولین الگوی آزمایشی بر اساس فرمول میزان بارسنگ ۳۰ الی ۴۵ برابر قطر چال و میزان فاصله چال‌ها در یک ردیف ۱ الی ۲ برابر بارسنگ، طراحی شده است.



شکل ۴-۲- الگوی اولین انفجار آزمایشی و تاخیرهای اعمال شده (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)



شکل ۴-۳ - الگوی خرج‌گذاری چال‌ها در اولین انفجار آزمایشی (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

۴-۲-۳- انفجار آزمایشی دوم

دومین انفجار آزمایشی با هدف دستیابی به دانه‌بندی درشت‌تر انجام شد. بدین منظور فواصل چال‌ها از $B=2/4$ و $S=3$ متر در اولین انفجار آزمایشی به $B=2/6$ و $S=3/25$ متر افزایش پیدا کرد. تعداد چال‌هایی که بدین منظور حفاری شد، ۴۰ عدد (پنج ردیف هشت تایی) بود. الگوی قرار گرفتن چال‌ها و زمان تاخیر آن‌ها در شکل ۴-۴ آورده شده است (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

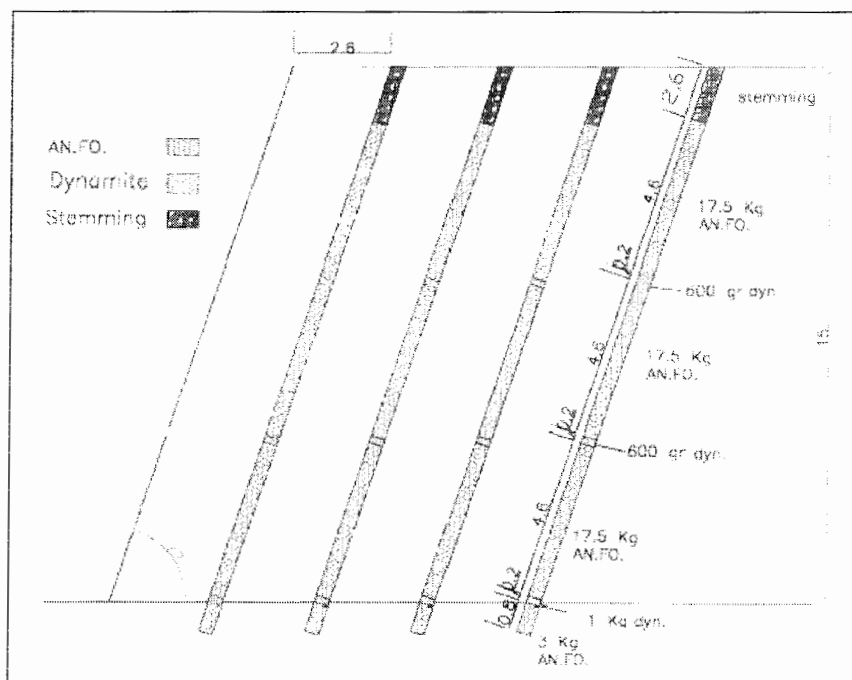
مقدار مواد ناربه‌ای که در این انفجار مورد استفاده قرار گرفت مطابق جدول ۴-۳ و شکل ۴-۵ می‌باشد.



شکل ۴-۴ - الگوی دومین انفجار آزمایشی و تاخیر اعمال شده (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

جدول ۴-۳- مقدار مواد منفجره مصرفی در دومین انفجار آزمایشی (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

ردیف	نوع مواد ناریه	مقدار مصرفی در هر چال	مقدار کل مصرفی
۱	دینامیت (کیلوگرم)	۲/۲	۸۴
۲	آنفو (کیلوگرم)	۵۵/۵	۲۲۲۰
۳	فتیله انفجاری (متر)	۲۰/۵	۸۲۰
۴	چاشنی (عدد)	—	۱۲



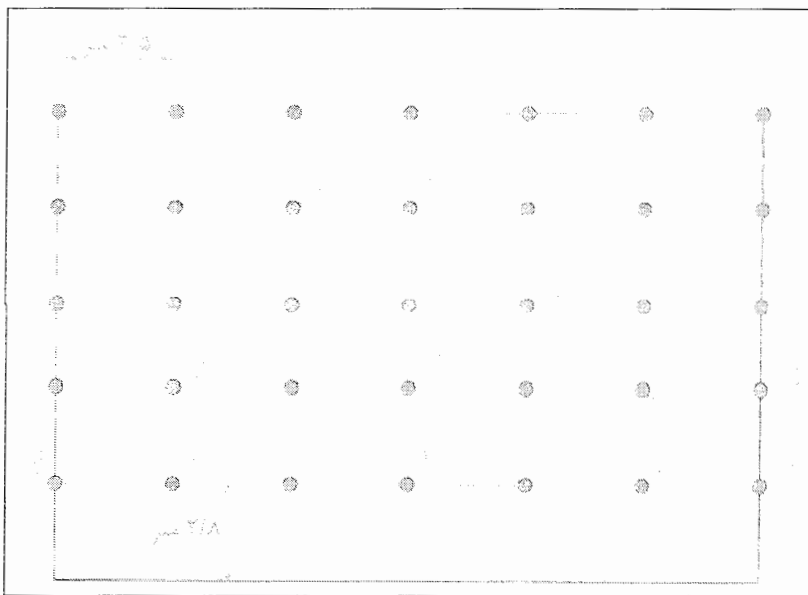
شکل ۴-۵ - الگوی خرج گذاری چال در دومین انفجار آزمایشی (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

۴-۲-۴- انفجار آزمایشی سوم

با وجود اینکه نتایج حاصل از دانه‌بندی انفجارهای گذشته تا حد قابل توجهی در محدوده مورد نظر بود، اما چند انفجار دیگر نیز برای تکمیل تحقیقات و رسیدن به یک الگوی کاملاً مناسب انجام پذیرفت (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

۴-۲-۵- انفجار آزمایشی چهارم

پس از نامناسب بودن نتیجه سومین انفجار آزمایشی، تصمیم بر انجام چهارمین انفجار آزمایشی با الگوی قرار گرفتن چال‌ها و زمان تاخیری مطابق با شکل ۴-۶ گرفته شد. بر این اساس فواصل چال‌ها $B=2/8$ و $S=3/5$ متر اعمال شد. تعداد چال‌هایی که بدین منظور حفاری شد، ۳۵ عدد (۵ ردیف ۷ تایی) بود. به دنبال تجربه اولین و دومین انفجارهای آزمایشی که در آن طول گل‌گذاری چال‌ها زیاد بود، بآپیشنهاد استفاده از ۶۱ کیلو گرم آنفو در هر چال موافقت شد (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب). مقدار مواد ناریه ای که در این انفجار مورد استفاده قرار گرفت به شرح جدول ۴-۴ می‌باشد.



شکل ۴-۶ - الگوی چهارمین انفجار آزمایشی و تاخیرهای اعمال شده (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

جدول ۴-۴ - مقدار مواد ناریه مصرفی در چهارمین انفجار آزمایشی (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

ردیف	نوع مواد ناریه	مقدار مصرفی در هر چال	مقدار کل مصرفی
۱	دینامیت (کیلوگرم)	۲/۲	۷۷
۲	آنفو (کیلوگرم)	۶۱	۲۱۳۵
۳	فتیله انفجاری (متر)	۲۰/۵	۷۱۷/۵
۴	چاشنی (عدد)	—	۱۲

۴-۲-۶- انفجار آزمایشی پنجم

پنجمین انفجار آزمایشی با الگوی چال (متر ۳ × متر ۲/۷) که بقیه پارامترهای آن نظیر عمق چال و الگوی خرج‌گذاری مشابه الگوی انفجار چهارم باشد. این انفجار با تعداد ۴۰ عدد چال (ردیف ۵ در ۸ تایی) در سطحی به ابعاد ۱۲×۱۳/۵ مترمربع انجام شد. مقدار خرج ویژه در این انفجار نسبت به سایر انفجارهای انجام شده بیشترین مقدار است (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ب).

۴-۳- دانه‌بندی مصالح انفجاری

بر اساس شرایط موجود، کار دانه‌بندی مصالح انفجاری در معدن سرریز سد گتوند در دو بخش صحرایی (در محل تراکم آزمایش صحرایی مصالح سد) و آزمایشگاهی، جهت رسیدن به منحنی دانه‌بندی دقیق، دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار به روش جدول ۴-۵ انجام پذیرفت (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ب).

بعد از هر انفجار آزمایشی حدود ۵٪ کل مصالح حاصل از انفجار که بالغ بر ۳۰ کمپرسی می‌باشد، برای دانه‌بندی، نمونه‌برداری می‌شود. این مصالح توسط لودر و کمپرسی بارگیری شده و به روی صفحه بتنی که در کنار دستگاه سرنده ایجاد شده است ریخته می‌شوند.

جدول ۴-۵- نحوه دانه بندی مصالح پس از انفجار (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ب)

غیرصحرایی	صحرایی	
	دستگاه سرنده	روش دستی
آزمایشگاهی		
زیر ۱۰۰ میلی‌متر	۴۰۰ میلی‌متر - ۵۰۰ میلی‌متر	بالای ۱۰۰۰ میلی‌متر
	۲۰۰ میلی‌متر - ۴۰۰ میلی‌متر	۷۵۰ میلی‌متر - ۱۰۰۰ میلی‌متر
	۱۰۰ میلی‌متر - ۲۰۰ میلی‌متر	۵۰۰ میلی‌متر - ۷۵۰ میلی‌متر

برای نمونه‌برداری دو روش مطرح شد که در روش اول نمونه‌ها به صورت تصادفی از کمپرسی‌هایی که کار حمل را به عهده دارند انتخاب می‌شوند. در روش دوم با انتخاب یک مسیر به عرض ۴ متر در مصالح انفجاری و در سه مرحله (از ابتدا و میان و انتهای مسیر) و با استفاده از لودر (استفاده از بلدوزر توجیه فنی ندارد زیرا باعث خرد شدن دانه می‌شود) نمونه‌برداری انجام می‌گیرد که روش دوم به عنوان روش مناسب‌تر انتخاب شد (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

۴-۳-۱- تجهیزات مورد نیاز دانه‌بندی

تجهیزات مورد نیاز برای بررسی نحوه دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار در جدول ۴-۶ آورده شده است.

۴-۳-۲- نیروی انسانی

نیروی انسانی مورد نیاز برای بررسی نحوه دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار در جدول ۴-۷ آورده شده است.

۴-۳-۳- تعیین دانه‌بندی

۴-۳-۳-۱- تعیین دانه‌بندی به روش دستی

پس از اینکه مصالح نمونه‌برداری شده به روی صفحه بتنی ریخته شد، دانه‌هایی که اندازه آن‌ها بالای ۱۰۰۰ میلی‌متر، ۱۰۰۰ میلی‌متر تا ۷۵۰ میلی‌متر، ۷۵۰ میلی‌متر تا ۵۰۰ میلی‌متر است، به‌ویسله الک‌های دستی چهارگوش اندازه‌گیری شده و با رنگ اسپری اندازه دانه‌ها روی آن‌ها نوشته می‌شود و سپس توسط بیل مکانیکی چنگکی جدا می‌شود و شکل دانه‌های اندازه‌گیری شده بزرگتر از ۲۰۰ میلی‌متر جهت تعیین وضعیت شکلی مصالح درشت‌دانه حاصل از انفجار ثبت می‌شود. بعد از آن هر یک از اندازه‌ها را به‌طور مجزا بارگیری کرده و برای توزین به روی باسکول فرستاده می‌شود (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

جدول ۴-۶ - تجهیزات مورد نیاز برای بررسی نحوه دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

نوع تجهیزات	تعداد تجهیزات
سرند استاتیکی - دینامیکی	یک دستگاه
باسکول ۶۰ تنی	یک دستگاه
لودر	یک دستگاه
بیل مکانیکی جامدار	یک دستگاه
بیل مکانیکی چنگکی (فکی)	یک دستگاه
کمپرسی	یک دستگاه
خودرو سبک	یک دستگاه
بی سیم	یک دستگاه

جدول ۴-۷ - نیروی انسانی مورد نیاز برای بررسی نحوه دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

نوع فعالیت	تعداد نفرها
کارشناس	۲ نفر
تکنسین تجربی	۲ نفر
کارگر فنی	۴ نفر
راننده	۷ نفر
اپراتور سرند	۳ نفر
اپراتور باسکول	۱ نفر

۴-۳-۳-۲- تعیین دانه‌بندی با استفاده از سرند

بخش استاتیکی

در این مرحله از دانه‌بندی از یک دستگاه سرند استاتیکی- دینامیکی استفاده می‌شود. این سرند که از دو بخش استاتیکی و دینامیکی با هدف جداسازی مصالح ۴۰۰ میلی‌متر طراحی شده است، قادر است دانه‌هایی با اندازه‌های ۴۰۰ میلی‌متر، ۲۰۰ میلی‌متر، ۱۰۰ میلی‌متر را جداسازی کند. در بخش استاتیک سرند از یک قیف با دهانه شیب‌دار که ۴ شاخص نبشی ۸ به فواصل ۴۰ سانتی‌متر در آن بکار رفته، استفاده شده است. با ریختن مصالح توسط بیل مکانیکی به روی آن، دانه‌هایی که اندازه بالای ۴۰۰ میلی-

متر دارند جدا می‌شوند. در دهانه خروجی آن از یک غلطک استفاده شده است. این غلطک توسط یک موتور ۱۱ کیلووات به دلیل قرار گرفتن تدریجی مصالح رد شده از سرند ۴۰۰ میلی‌متر به روی نوار نقاله مادر که عرض ۸۰ سانتی‌متر دارد و جلوگیری از انسداد دهانه قیف به چرخش در می‌آید. سپس مصالح رد شده به سرند دینامیکی انتقال می‌یابند (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

بخش دینامیکی

بخش دینامیکی سرند که از دو دهانه خروجی و دو طبقه شیب‌دار تشکیل شده است، توسط یک موتور ۱۱ کیلوواتی به لرزش در می‌آید. این بخش از سرند عامل جدایش دانه‌های ۲۰۰ میلی‌متر و ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. روی هر یک از طبقات تعدادی نبشی ۶ سانتی‌متری در یک جهت و به فواصل ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متری بکار رفته است. مصالحی که توسط نوار نقاله اصلی از بخش استاتیک به بخش دینامیکی منتقل می‌شوند در طبقه فوقانی سرند، دانه‌های بالای ۲۰۰ میلی‌متر آنها جدا شده و از خروجی در نظر گرفته شده به بیرون ریخته می‌شوند. مصالح رد شده از سرند ۲۰۰ میلی‌متر به روی طبقه تحتانی ریخته شده و دانه‌های بالای ۱۰۰ میلی‌متر آن نیز در اثر لرزش حاصله جدا و توسط یک نوار نقاله به بیرون هدایت می‌شوند. در این مرحله وزن مصالح مانده روی هر یک از الک‌های ۴۰۰ میلی‌متر، ۲۰۰ میلی‌متر، ۱۰۰ میلی‌متر را خواهیم داشت (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

۴-۳-۳-۳- تعیین دانه‌بندی در آزمایشگاه

دانه‌های رد شده از سرند ۱۰۰ میلی‌متر با قرار گرفتن کمپرسی به زیر نوار نقاله جمع‌آوری می‌شوند. این مصالح پس از توزین توسط باسکول، به یک محل مناسب با بستر آماده شده منتقل می‌شوند. بعد از پایان دانه‌بندی از کل مصالح زیر ۱۰۰ میلی‌متر مقداری توسط بیل مکانیکی برداشته و سپس به روش کوارتر وزنی معادل ۳۰۰ کیلوگرم به‌عنوان نمونه برای آزمایش دانه‌بندی به آزمایشگاه فرستاده می‌شود. تا این مرحله از دانه بندی در محل آزمایش تراکم صحرائی انجام می‌شود.

مرحله بعدی دانه‌بندی در آزمایشگاه و در دو بخش انجام می‌شود. دانه‌بندی بخش اول در محدوده سرندهای ۳ اینچ تا سرند نمره ۴ اینچ و با وزنی برابر ۳۰۰ کیلوگرم انجام می‌شود. دانه‌بندی بخش دوم در محدوده سرندهای نمره ۸ اینچ تا سرند نمره ۲۰۰ اینچ با وزنی معادل ۵۰۰ گرم که از مصالح رد شده سرند ۴ اینچ انتخاب شده، انجام می‌پذیرد. وزن مانده روی هر یک از الک‌ها توزین شده و در فرم دانه-بندی وارد می‌شود. درصد مانده روی هریک از سرندها را محاسبه و به وزن کل مصالح دانه‌بندی تعمیم می‌دهیم. با توجه به این محاسبات، منحنی دانه‌بندی رسم می‌شود (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

۴-۳-۳-۴ روش توزین با باسکول

این دستگاه که ظرفیت توزین حداکثر ۶۰ تن را دارد، کاملاً دیجیتالی و از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است و توسط شرکت تهران باسکول نصب و راه اندازی شده است. در این دستگاه از ۸ صفحه ضخیم آهنی و ۶ عدد لودسل هیدرولیکی استفاده شده است که چهارتای آنها در چهار گوش و دو عدد آنها در وسط در طرفین باسکول نصب شده‌اند، دقت اندازه‌گیری این باسکول تا ۱۰ کیلوگرم می‌باشد. سیستم اتوماسیون آن یک دستگاه دیجیتالی برای ورود اطلاعات و نمایش وزن و یک دستگاه پرینتر برای چاپ وزن اندازه‌گیری شده و یک دستگاه جهت ذخیره برق و یک باطری ۲۴ ولت که در مواقع قطع برق از آن استفاده می‌شود، تشکیل شده است.

روش اندازه‌گیری وزن مصالح به این ترتیب است که ابتدا وزن خالی کمپرسی اندازه‌گیری می‌شود و سپس بعد از بارگیری به روی باسکول رفته و وزن پر کمپرسی توزین می‌شود و نهایتاً قبضی صادر خواهد شد که وزن کمپرسی در حالت خالی و پر و همچنین وزن خالص در آن درج شده است. به همین ترتیب کلیه مصالحی که در اندازه‌های مختلف جداسازی شده‌اند توزین می‌شوند (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

۴-۳-۴-۴ نتایج دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار

در این قسمت، آنالیز دانه‌بندی حاصل از هر یک از انفجارها به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و برای هر یک از آنها رابطه ریاضی مربوط به آن انفجار ارائه شده است. قسمت اعظم مصالح خردشده پس از

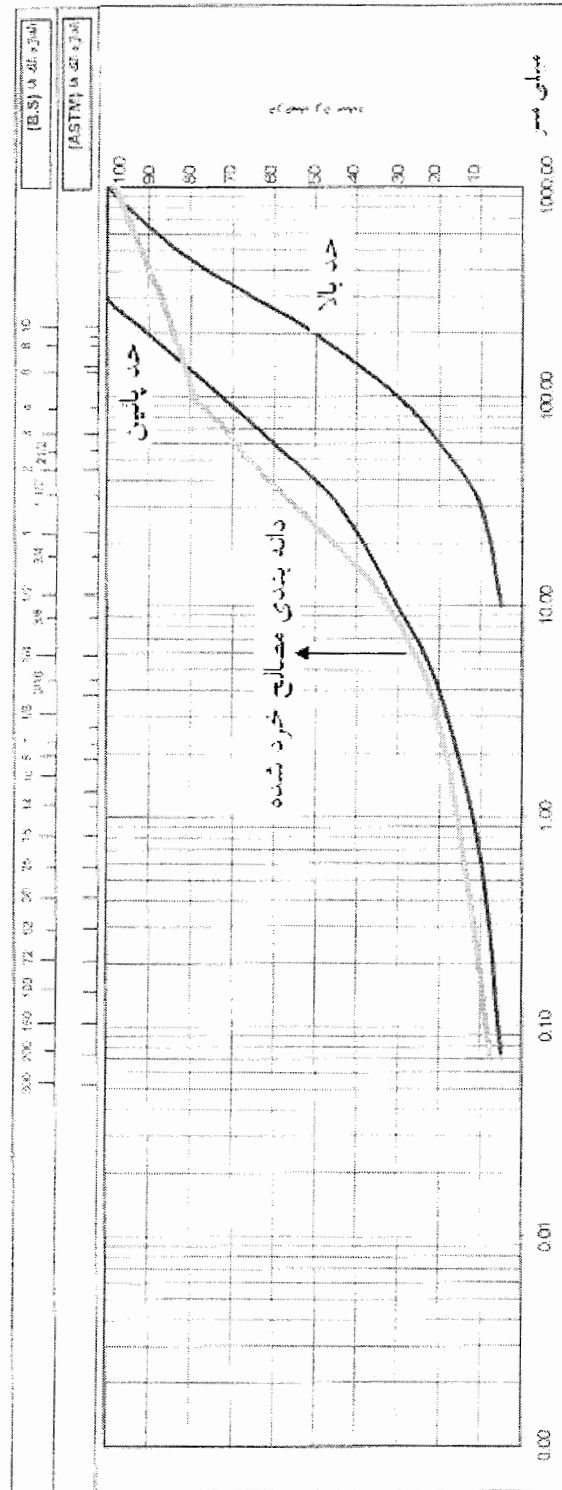
بارگیری در محل انفجار، به منطقه‌ای دیگر انتقال یافته و در آن جا پس از تخلیه و دیو شدن این مواد، با توجه به روش‌های یاد شده در بخش قبل، آنالیز دانه‌بندی بر روی آن‌ها صورت گرفته است به همین دلیل نتایج آنالیز سرنندی که به دست آمده به‌طور کامل نتایج حاصل از انفجار نبوده و بلکه نتایج مصالح خردشده پس از دو و یا حتی سه بار جابجایی و خردشدن بیشتر مصالح حاصل از انفجار تا زمان آنالیز می‌باشند.

۴-۳-۴-۱- دانه‌بندی انفجار اول

آزمایش دانه‌بندی مصالح حاصل از اولین انفجار آزمایشی با حمل ۳۰ کمپرسی از مصالح (۵٪ کل مصالح حاصل از انفجار) و ریختن آن بر روی صفحه بتنی آزمایشگاه آغاز شد. زمان نمونه‌برداری با بارندگی مصادف شده بود و طی یک روز به انجام رسید. به این ترتیب وزن کل مصالحی که به روی صفحه بتنی حمل شد بالغ بر ۴۸۱ تن بود. آزمایش دانه‌بندی به همان روشی که ذکر شد انجام گرفت (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

نتایج حاصل از دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار اول بر اساس اندازه‌های مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد در شکل ۴-۷ آورده شده است.

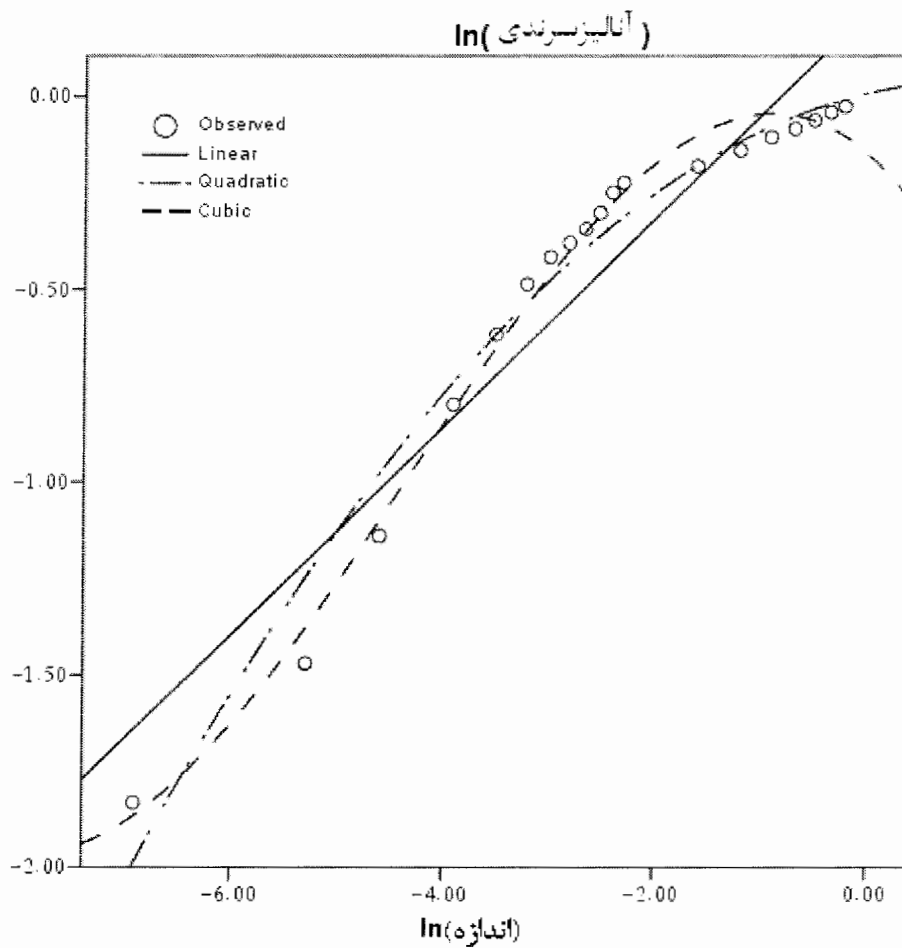
برای برازش کردن رابطه ریاضی مربوط به نتایج آنالیز سرنندی این انفجار از سه روش خطی^۲، کویک^۳ و کوادراتیک^۴ استفاده شد که نتایج این برازش در جدول ۴-۸ و شکل ۴-۸ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۷- نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی اول (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

جدول ۴-۸ - فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کوئیک و کوادراتیک برای انفجار اول

Parameter Estimates				Model Summary	Equation
b3	b2	b1	Constant	R ²	
		.270	.224	.907	Linear
	-.033	.064	.009	.970	Quadratic
-.011	-.151	-.244	-.150	.990	Cubic



شکل ۴-۸ - برازش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرندی انفجار اول

همان گونه که مشاهده می‌شود، روش کوبیک دارای بالاترین ضریب است. در رگرسیون چند متغیره ضریب همبستگی، معیاری برای نشان دادن خوب برازش شدن مدل می‌باشد. مقدار کم R^2 نشان‌دهنده آن می‌باشد که متغیرهای مستقل مقدار کمی از اطلاعات را برای پیش‌بینی متغیر وابسته در بر می‌گیرد و مقدار R^2 نزدیک به یک نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل بیشتر اطلاعات ضروری جهت پیش‌بینی متغیر پاسخ را در بر می‌گیرد. (صالحی، ۱۳۷۸)

مشاهده می‌شود که روش کوبیک دارای بالاترین ضریب تعیین است که رابطه ریاضی دانه‌بندی این انفجار به شرح زیر می‌باشد:

$$y = e^{(-0.150 - 2.44 \times \ln(x) - 0.151 \times \ln(x)^2 - 0.011 \times \ln(x)^3)} \quad (1-4)$$

$$R^2 = 0.99$$

که در این رابطه:

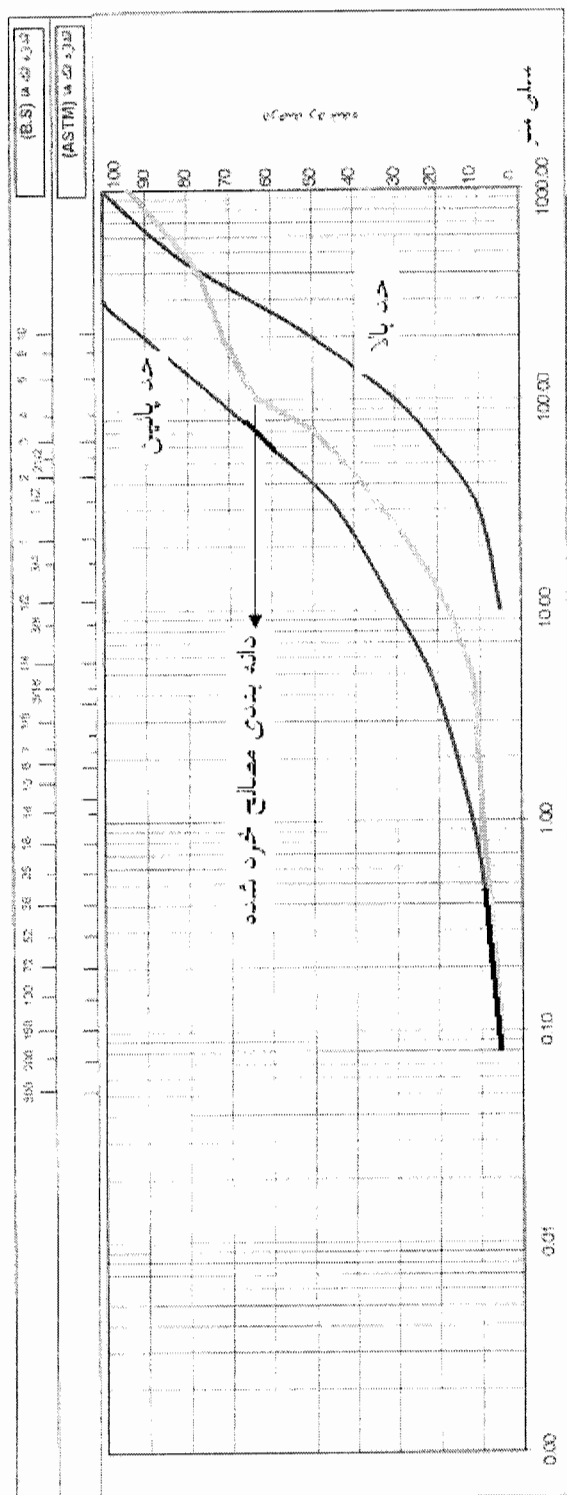
y : نتایج آنالیز سرندي

x : اندازه دهانه سرندي

۴-۳-۴-۲- دانه‌بندی انفجار دوم

آزمایش دانه‌بندی مصالح حاصل از دومین انفجار آزمایشی با حمل ۳۰ کمپرسی از مصالح (۵٪ کل مصالح حاصل از انفجار) در ۵ مرحله و ریختن آن بر روی صفحه بتنی آزمایشگاه آغاز شد. وزن کل مصالحی که به روی صفحه بتنی حمل شد بالغ بر ۴۷۸ تن به عنوان وزن کل در فرم دانه‌بندی در نظر گرفته شده است (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب).

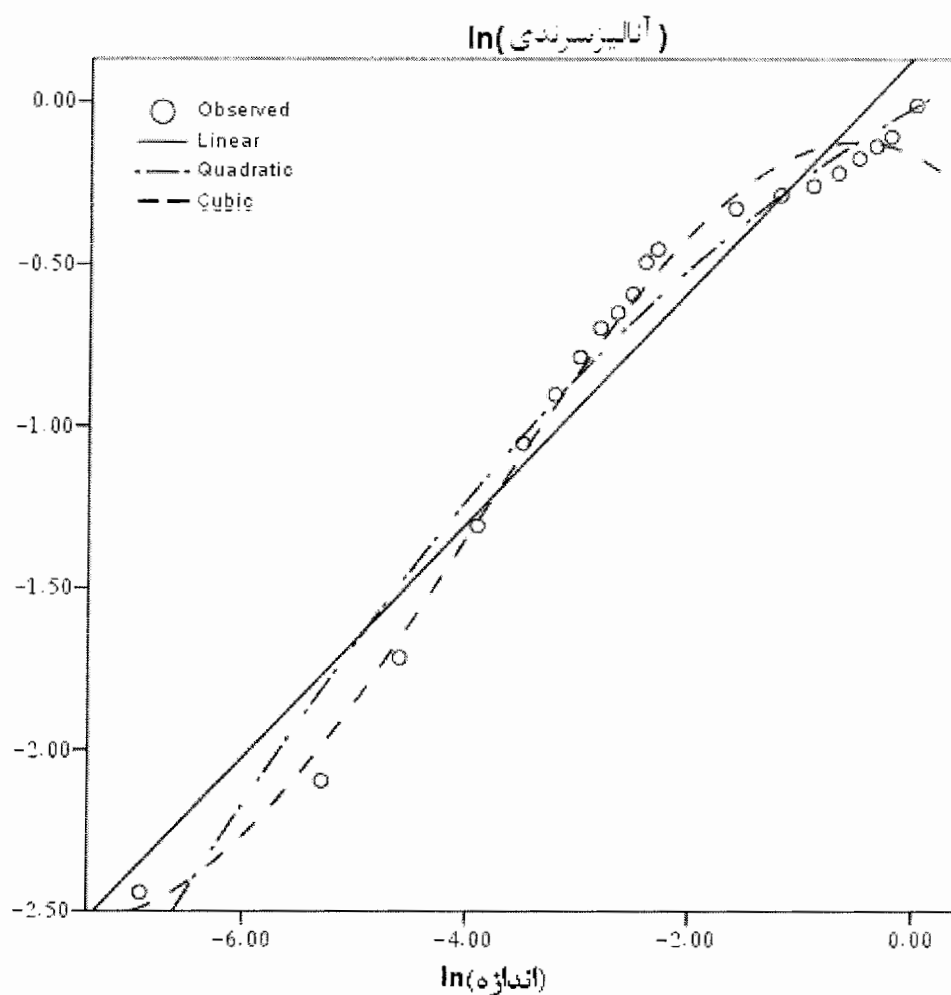
نتایج حاصل از دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار دوم بر اساس اندازه‌های مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد در نمودار شکل ۴-۹ آورده شده است. برای برازش کردن رابطه ریاضی مربوط به نتایج آنالیز سرندي این انفجار از سه روش خطی، کوبیک و کوادراتیک استفاده شد که نتایج این برازش در جدول ۴-۹ و شکل ۴-۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۹- نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی دوم (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)

جدول ۴-۹- فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کویبیک و کوادراتیک برای انفجار دوم

Parameter Estimates				Model Summary	Equation
b3	b2	b1	Constant	R^2	
		.360	.141	.941	Linear
	-.028	.193	-.015	.968	Quadratic
-.015	-.176	-.173	-.169	.989	Cubic



شکل ۴-۱۷ - برازش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرنندی انفجار دوم

مشاهده می‌شود که روش کویک دارای بالاترین ضریب همبستگی درجه دوم است که رابطه ریاضی دانه-بندی این انفجار به شرح زیر می‌باشد:

$$y = e^{(-0.169 - 0.173 \times \ln(x) - 0.176 \times \ln(x)^2 - 0.015 \times \ln(x)^3)} \quad (2-4)$$

$$R^2 = 0.988$$

که در این رابطه:

y : نتایج آنالیز سرندي

x : اندازه دهانه سرندي

۳-۴-۳-۴- دانه‌بندی انفجار چهارم:

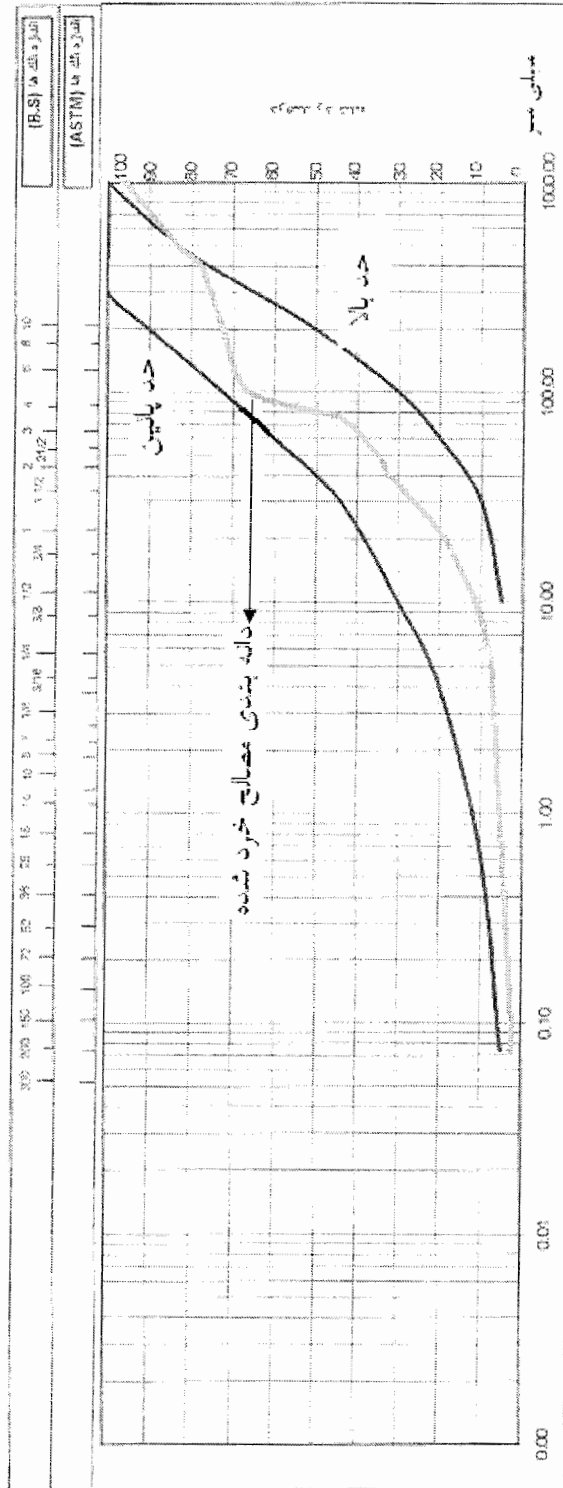
دانه‌بندی مصالح حاصل از چهارمین انفجار آزمایشی در سه مرحله و در هر مرحله ۱۰ کمپرسی که وزن مصالح دانه‌بندی شده پس از توزین معادل ۴۸۴ تن بدست آمد.

نتایج حاصل از دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار چهارم بر اساس اندازه‌های مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد در نمودار شکل ۴-۱۱ آورده شده است.

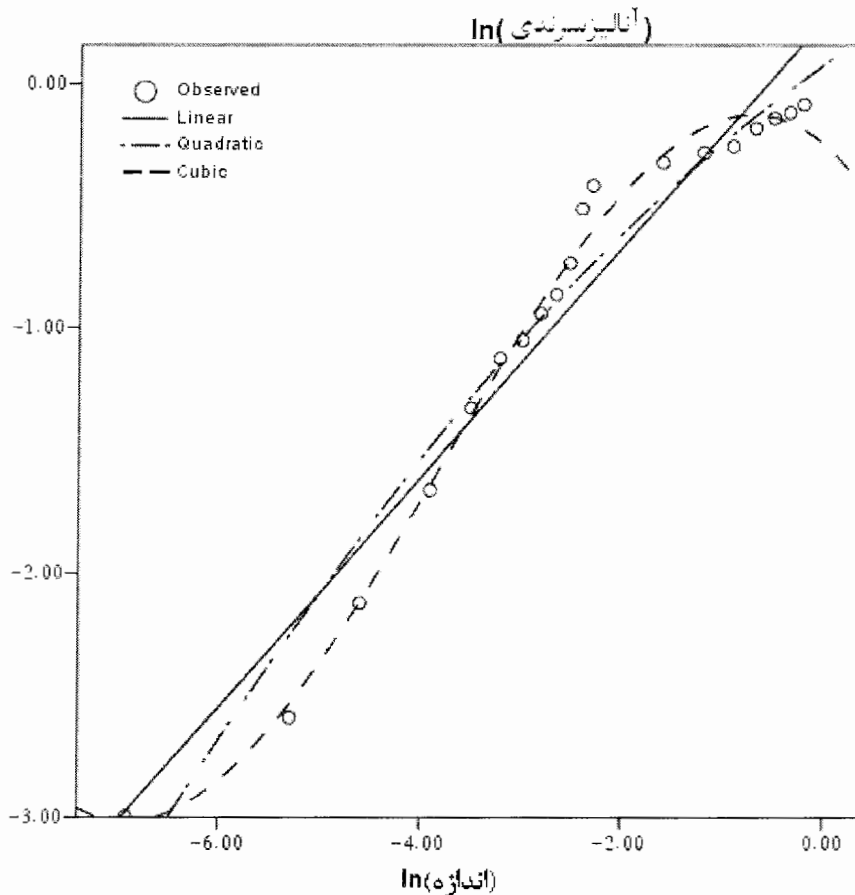
برای برآزش کردن رابطه ریاضی مربوط به نتایج آنالیز سرندي این انفجار از سه روش خطی، کویک و کوادراتیک استفاده شد که نتایج این برآزش در جدول ۴-۱۰ و شکل ۴-۱۲ نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱۰- فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کویک و کوادراتیک برای انفجار چهارم

Parameter Estimates				Model Summary	Equation
b3	b2	b1	Constant	R^2	
		.470	.273	.944	Linear
	-.028	.291	.085	.961	Quadratic
-.025	-.281	-.368	-.255	.992	Cubic



شکل ۴-۱۱ - نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی چهارم (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)



شکل ۴-۱۲- برازش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرندي انفجار چهارم

مشاهده می‌شود که روش کوبیک دارای بالاترین ضریب همبستگی درجه دوم است که رابطه ریاضی دانه-بندی این انفجار به شرح زیر می‌باشد:

$$y = e^{(-0.225 - 0.368 \ln(x) - 0.281 \ln(x)^2 - 0.025 \ln(x)^3)} \quad (۳-۴)$$

$$R^2 = 0.992$$

که در این رابطه:

y : نتایج آنالیز سرندي

x : اندازه دهانه سرندي

۴-۴-۳-۴- دانه‌بندی پنجمین انفجار

آزمایش دانه‌بندی مصالح حاصل از اولین انفجار آزمایشی با حمل ۳۰ کمپرسی از مصالح (۵٪ کل مصالح حاصل از انفجار) در سه مرحله و ریختن آن بر روی صفحه بتنی آزمایشگاه آغاز شد. به این ترتیب وزن کل مصالحی که به روی صفحه بتنی حمل شد بالغ بر ۴۶۷ تن بود. آزمایش دانه‌بندی به همان روشی که ذکر شد انجام گرفت.

نتایج حاصل از دانه‌بندی مصالح حاصل از انفجار پنجم بر اساس اندازه‌های مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد در نمودار شکل ۴-۱۳ آورده شده است. برای برازش کردن رابطه ریاضی مربوط به نتایج آنالیز سرنندی این انفجار از سه روش خطی، کوبیک و کوادراتیک استفاده شد که نتایج این برازش در جدول ۴-۱۱ و شکل ۴-۱۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱۱- فرمول‌های حاصل از سه روش خطی، کوبیک و کوادراتیک برای انفجار پنجم

Parameter Estimates				Model Summary	Equation
b3	b2	b1	Constant	R^2	
		.403	.229	.963	Linear
	-.018	.291	.112	.971	Quadratic
-.018	-.207	-.202	-.143	.996	Cubic

مشاهده می‌شود که روش کوبیک دارای بالاترین ضریب همبستگی درجه دوم است که رابطه ریاضی دانه‌بندی این انفجار به شرح زیر می‌باشد:

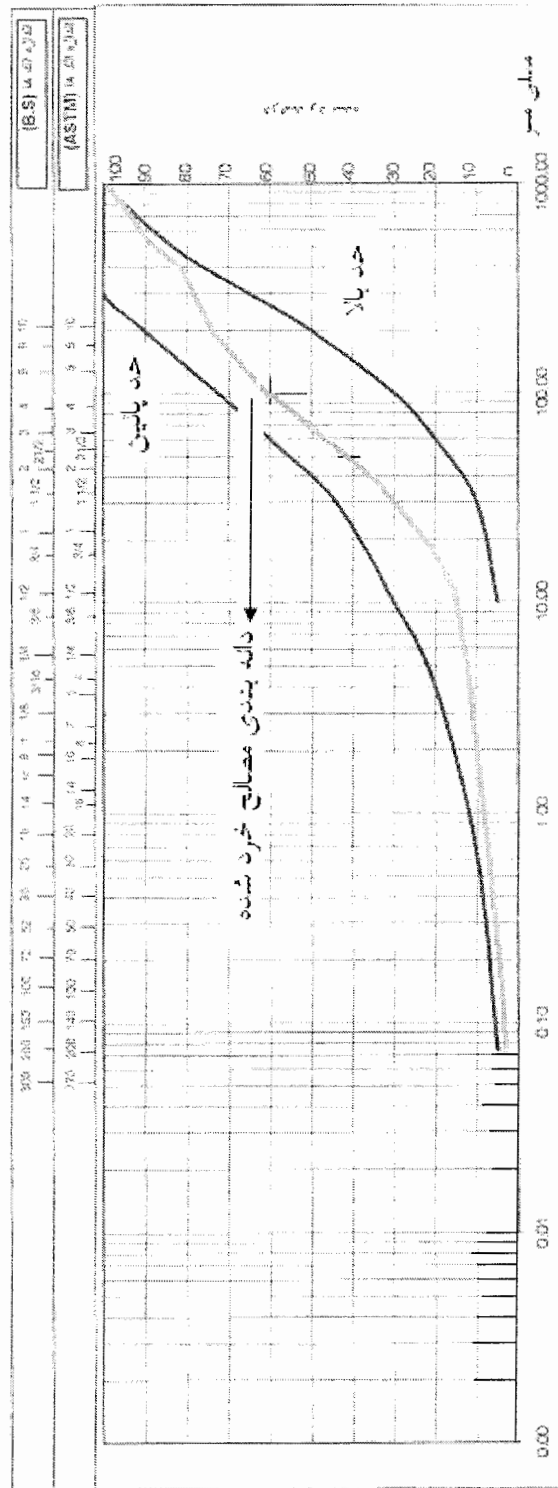
$$y = e^{(-0.143 - 0.202 \ln(x) - 0.207 \ln(x)^2 - 0.018 \ln(x)^3)} \quad (4-4)$$

$$R^2 = 0.996$$

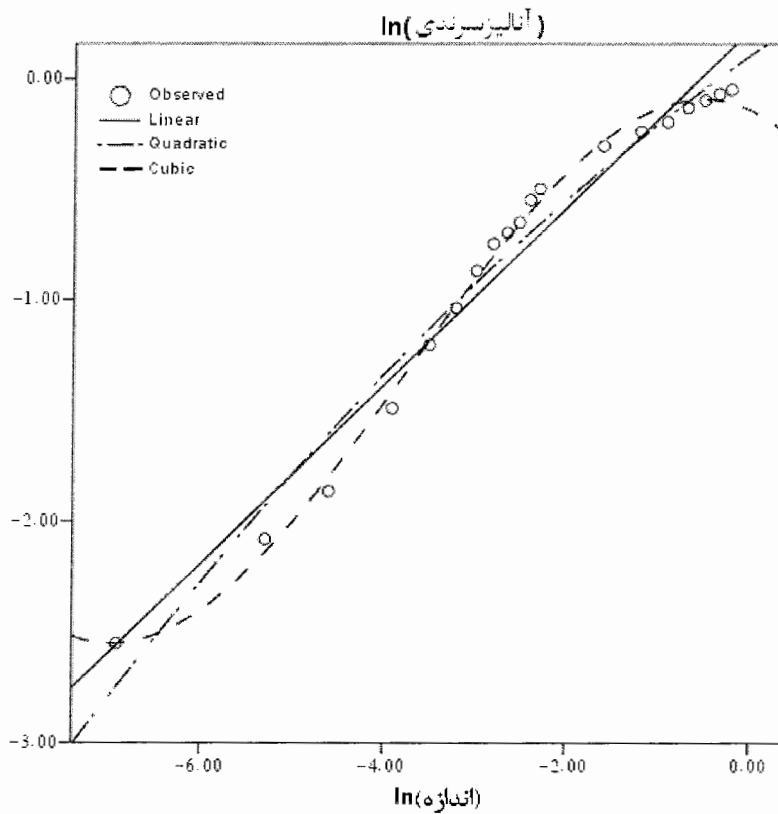
که در این رابطه:

y : نتایج آنالیز سرنندی

x : اندازه دهانه سرنند



شکل ۴-۱۳ - نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار آزمایشی پمچم (شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب)



شکل ۴-۱۴- برازش بهترین رابطه ریاضی بر نتایج آنالیز سرنندی انفجار پنجم

همان‌گونه که در شکل‌های ۴-۷، ۴-۹، ۴-۱۱ و ۴-۱۳ مشاهده شد، از الگوی اول هرچه به سمت الگوی آخر پیش می‌رویم، نتایج آنالیز سرنندی مواد خردشده حاصل از انفجار برای استفاده در بدنه سد بهتر شده و در محدوده دانه‌بندی مورد نیاز قرار می‌گیرد. البته لازم به ذکر است که همان‌گونه که در بخش توضیح نحوه انجام انفجارها نیز اشاره شد، نتایج انفجار سوم به دلیل بالا بودن میزان مواد خردشده بزرگ‌تر از اندازه مورد نظر، در محاسبه‌ها و نتایج حاصل از آن مدنظر قرار نگرفته است. از طرفی هر چه به سمت الگوهای آخر می‌رویم، نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار بهتر می‌شود. از آنجایی که هدف ما ارائه الگوی انفجار برای به‌دست آوردن خردشدگی مناسب برای استفاده در بدنه سد می‌باشد، لذا استفاده از نتایج و الگوهای چهارم و پنجم به دلیل مناسب‌تر بودن نتایج دانه‌بندی آن‌ها به ما در دستیابی به یک الگوی انفجار مناسب برای ایجاد خردشدگی مناسب کمک بیشتری خواهد کرد.

فصل پنجم

طراحی الگوی انفجار بهینه برای

ایجاد خردایش مناسب

۵-۱- مقدمه

همان‌گونه که در فصل سوم نیز اشاره شد، در مورد خردایش سنگ در اثر انفجار تحقیقات و بررسی‌های زیادی انجام شده است که یک‌سری از تحقیقات به تعیین توزیع ابعاد قطعات پرداخته و دسته دیگر مربوط به بررسی پیش‌بینی میزان خردایش بر اساس تجربیات حاصل از بررسی‌های سری اول و مدل‌سازی آن با فرمول‌های ریاضی می‌باشد.

همان‌گونه که بیان شد، روش‌های متفاوتی برای پیش‌بینی و برآورد میزان خردایش وجود دارد که با توجه به داده‌های موجود، استفاده از روش‌هایی مانند روش سوئدیفو، کاز-رام و کاز-رام اصلاح شده از سایر روش‌ها مناسب‌تر است.

در این فصل در ابتدا میزان خردایش حاصل از انفجارهای آزمایشی ذکر شده در فصل چهارم، با استفاده از مدل‌های ریاضی مختلف پیش‌بینی و با مقادیر آنالیز سرنندی مقایسه شده است. سپس رابطه ریاضی بین نتایج آنالیز سرنندی و مدل‌های ریاضی مورد بحث برقرار شده است. در نهایت بر اساس روابط ریاضی ارائه شده، آرایش چال‌زنی و انفجاری که بهترین دانه‌بندی مصالح را ایجاد کند طراحی شده است.

۵-۲- پیش‌بینی میزان خردایش حاصل از انفجارهای آزمایشی بر اساس مدل‌های ریاضی

در این بخش میزان خردایش حاصل از انفجارهای آزمایشی با استفاده از هر یک از سه روش سوئدیفو، کاز-رام و کاز-رام اصلاح شده به‌طور جداگانه محاسبه و در ادامه به مقایسه این روش‌ها با هم و هم-چنین مقایسه آن‌ها با نتایج آنالیز سرنندی مصالح حاصل از انفجار پرداخته شده است. البته لازم به ذکر است که انفجار سوم به‌دلیل بالا بودن بیش از حد میزان سنگ‌های بزرگ‌تر از اندازه مورد نیاز

برای استفاده در بدنه سد نامناسب تشخیص داده شده، در نتیجه میزان خردایش حاصل از این انفجار با هیچ یک از روش‌های موجود پیش‌بینی نشده است.

۵-۲-۱- مدل سوئدیفو

همان‌گونه که در فصل سوم اشاره شده این روش از اضافه کردن تاثیر ارتفاع پله و طول انسداد چال به روش لارسون توسط کو^۱ و روستن^۲ از موسسه تحقیقات آتشکاری سوئد در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است.

با قرار دادن داده‌های موجود در الگوی انفجار هر یک از انفجارها به طور جداگانه و سایر اطلاعات موجود، نتایج حاصل از الگوی مربوط پیش‌بینی می‌شود. پارامترهای مؤثر مدل سوئدیفو بر اساس الگوهای انفجار تمامی انفجارها در جدول ۵-۱ آورده شده است. نتایج پیش‌بینی حاصل از انفجارهای آزمایشی براساس الگوهای مختلف به‌طور خلاصه در جدول ۵-۲ و شکل‌های ۵-۱ تا ۵-۴ نشان داده شده است.

جدول ۵-۱- پارامترهای مدل سوئدیفو بر اساس الگوهای انفجار تمامی انفجارها

انفجار ۵	انفجار ۴	انفجار ۲	انفجار ۱	پارامترهای انفجار (برای هر چال)
۱۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۶	طول چال H (متر)
۲/۸	۲/۷	۲/۶	۲/۴	بار سنگ B (متر)
۳/۵	۳	۳/۲۵	۳	فاصله چالها در یک ردیف S (متر)
۱/۵	۱/۵	۲/۶	۳	طول گل گذاری (متر)

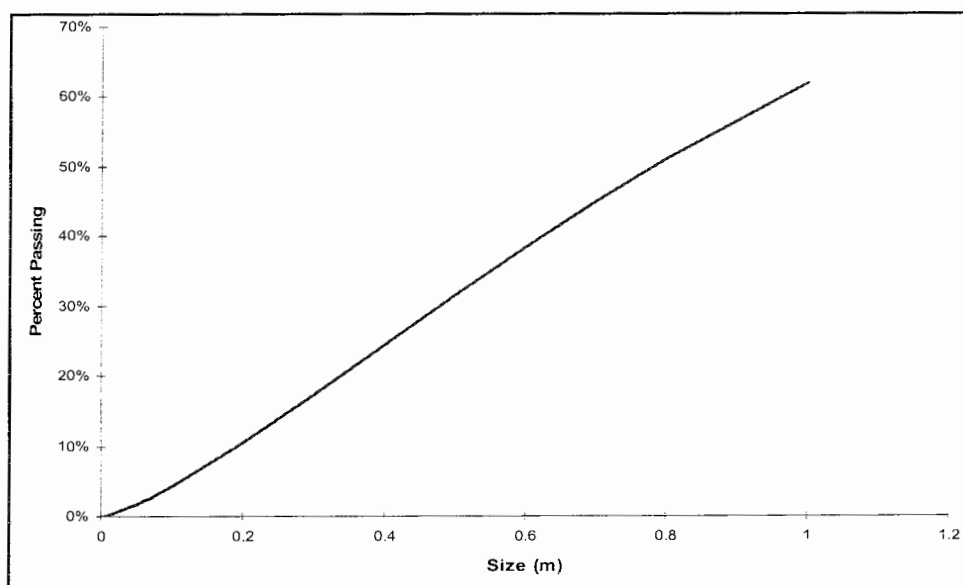
۵-۲-۲- مدل کاز-رام

همان‌گونه که در فصل سوم اشاره شده این مدل در سال ۱۹۸۳ میلادی توسط کونینگهام^۳ ارائه شده است که پایه و اساس آن معادلات تجربی کازنتسوف^۴ برای پیش‌بینی ابعاد سنگ‌های خردشده پس از آتشکاری و منحنی توزیع رزین - راملر^۵ می‌باشد.

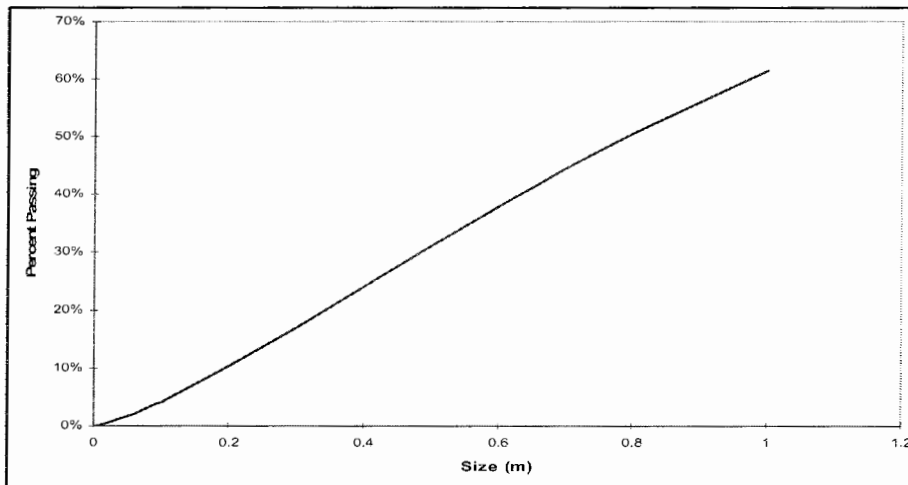
- 1 - Kou
- 2 - Rusan
- 3 -Cunningham
- 4 -Kuznetsov
- 5 -Rosion and Rammler

جدول ۵-۲- نتایج پیش‌بینی مدل سوئدیفو براساس الگوهای مربوط

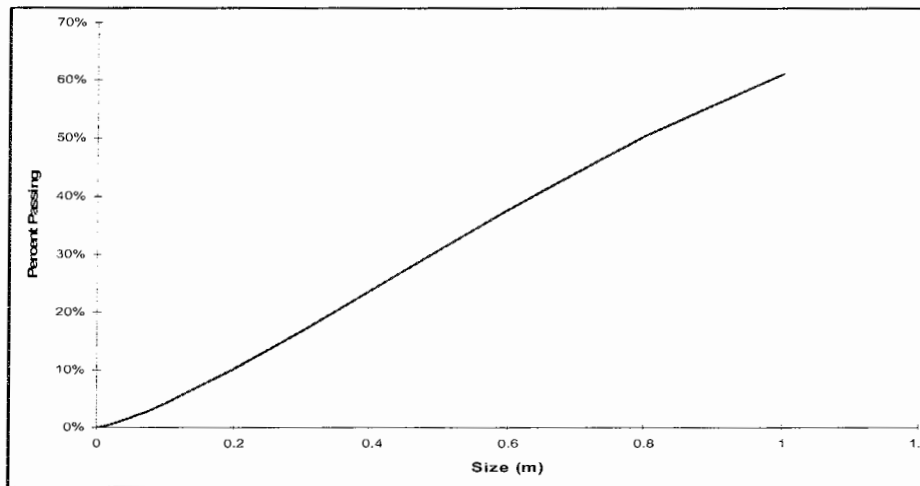
Size (m)	blast 1	blast 2	blast 4	blast 5
0.001	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%
0.005	0.00%	0.07%	0.07%	0.07%
0.01	0.19%	0.19%	0.19%	0.19%
0.02	0.49%	0.48%	0.48%	0.48%
0.03	0.85%	0.83%	0.83%	0.83%
0.04	1.24%	1.23%	1.22%	1.22%
0.05	1.68%	1.66%	1.64%	1.64%
0.06	2.14%	2.11%	2.10%	2.10%
0.07	2.63%	2.60%	2.57%	2.58%
0.08	3.14%	3.10%	3.07%	3.08%
0.09	3.62%	3.62%	3.59%	3.60%
0.10	4.22%	4.17%	4.13%	4.14%
0.20	10.41%	10.28%	10.20%	10.21%
0.30	17.31%	17.10%	16.97%	16.99%
0.40	24.44%	24.16%	23.98%	24.02%
0.50	31.53%	31.19%	30.97%	31.01%
0.60	38.40%	38.00%	37.75%	37.80%
0.70	44.93%	44.49%	44.22%	44.27%
0.80	51.05%	50.59%	50.29%	50.35%
1.00	61.92%	61.43%	61.12%	61.18%



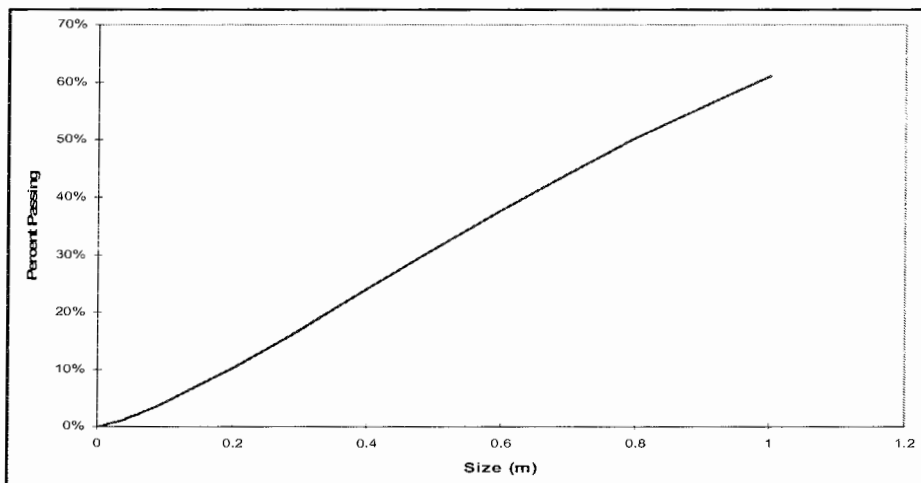
شکل ۵-۱- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی اول



شکل ۵-۲- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی دوم



شکل ۵-۳- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی چهارم



شکل ۵-۴- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل سوئدیفو براساس الگوی پنجم

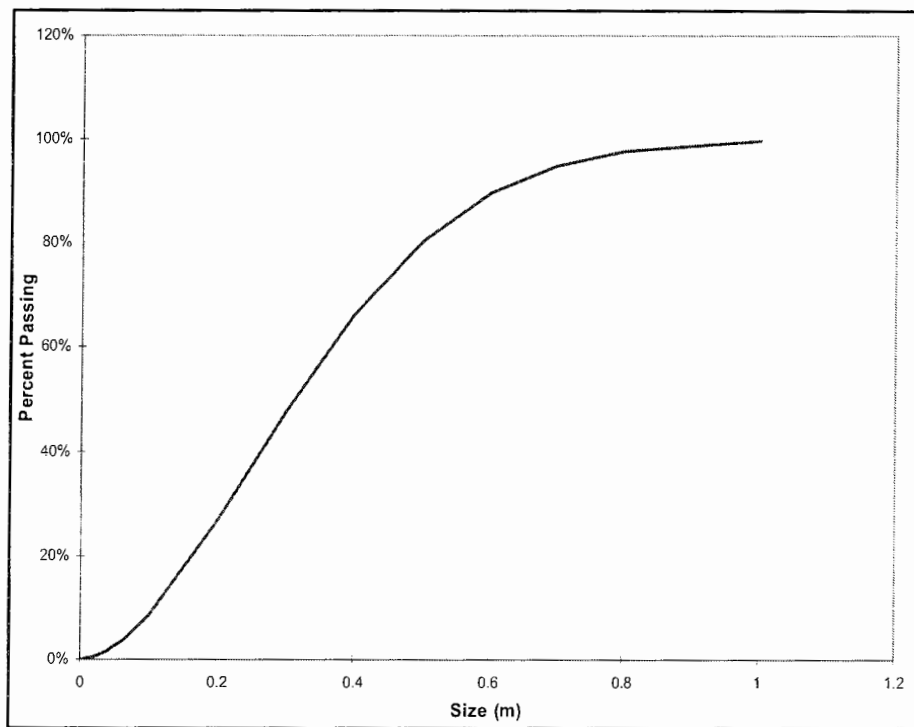
در مدل کاز-رام نیز مانند روش قبل، نتایج حاصل از انفجار پیش‌بینی می‌شود. پارامترهای مؤثر مدل کاز-رام بر اساس الگوهای انفجار تمامی انفجارها در جدول ۳-۵ آورده شده است. نتایج پیش‌بینی حاصل از انفجارهای آزمایشی براساس الگوهای مربوط به‌طور خلاصه در جدول ۴-۵ و شکل‌های ۵-۵ تا ۵-۸ آورده شده است.

جدول ۳-۵- پارامترهای مؤثر مدل کاز-رام بر اساس الگوهای انفجار تمامی انفجارها

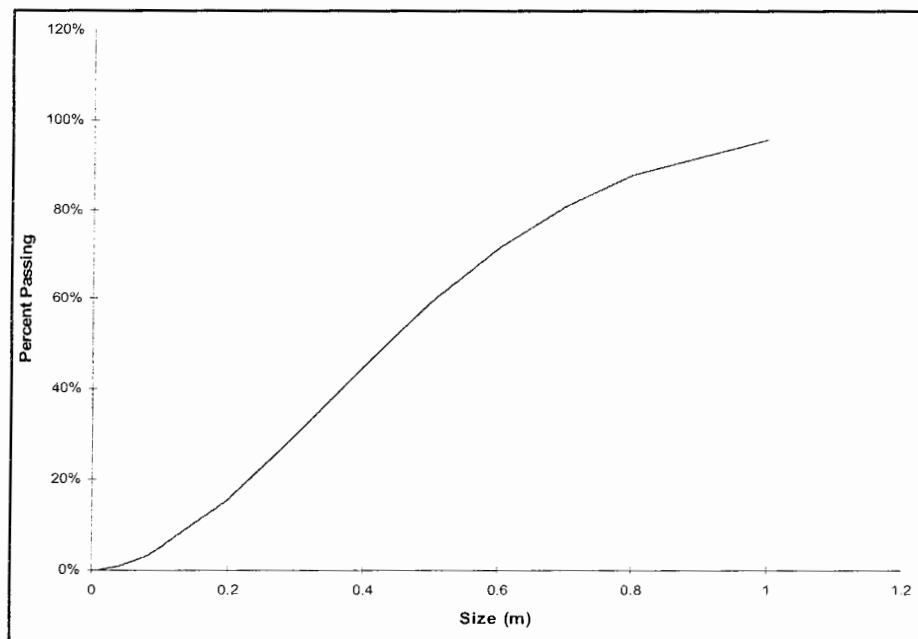
انفجار ۵	انفجار ۴	انفجار ۲	انفجار ۱	پارامترهای انفجار (برای هر چال)
۷۶	۷۶	۷۶	۷۶	قطر چال (میلی متر)
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	ارتفاع پله K (متر)
۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۷۵	اضافه چال زنی U (متر)
۱۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۶	طول چال H (متر)
۲/۸	۲/۷	۲/۶	۲/۴	بار سنگ B (متر)
۳/۵	۳	۳/۲۵	۳	فاصله چال‌ها در یک ردیف S (متر)
۱۴	۱۵/۱	۱۴	۱۳/۶	طول خرج میان چال (متر)
۶۳/۲	۶۳/۲	۵۷/۷	۵۵/۲	کل خرج موجود در چال (کیلو گرم)
۱/۵	۱/۵	۲/۶	۳	طول گل‌گذاری (متر)
۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۴۵۵	۰/۵۱	خرج ویژه (کیلو گرم بر متر مکعب)

جدول ۴-۵- نتایج پیش‌بینی مدل کاز-رام براساس الگوهای مربوط

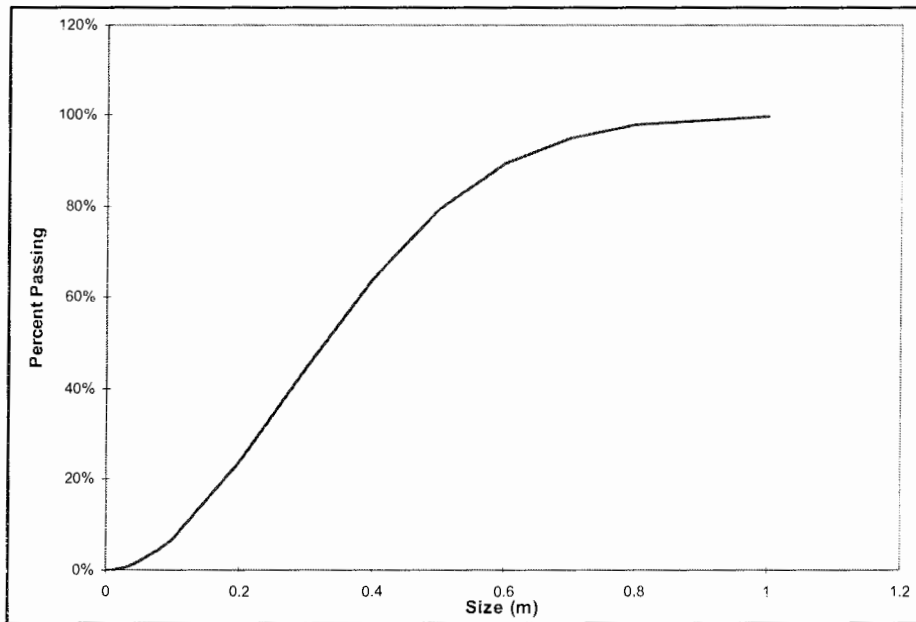
Size (m)	blast 1	blast 2	blast 4	blast 5
0.001	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.005	0.04%	0.02%	0.02%	0.04%
0.01	0.14%	0.07%	0.08%	0.13%
0.02	0.49%	0.26%	0.32%	0.48%
0.03	1.02%	0.54%	0.70%	1.03%
0.04	1.71%	0.90%	1.21%	1.76%
0.05	2.54%	1.35%	1.85%	2.66%
0.06	3.51%	1.88%	2.62%	3.73%
0.07	4.60%	2.48%	3.51%	4.96%
0.08	5.81%	3.15%	4.52%	6.33%
0.09	7.14%	3.88%	5.64%	7.84%
0.10	8.56%	4.69%	6.86%	9.47%
0.20	26.76%	15.58%	23.67%	30.73%
0.30	47.58%	29.82%	44.55%	54.52%
0.40	66.17%	44.99%	64.16%	74.19%
0.50	80.19%	59.22%	79.34%	87.28%
0.60	89.44%	71.34%	89.36%	94.53%
0.70	94.85%	80.88%	95.09%	97.95%
0.80	97.70%	87.87%	97.97%	99.32%
1.00	99.64%	95.78%	100.00%	99.95%



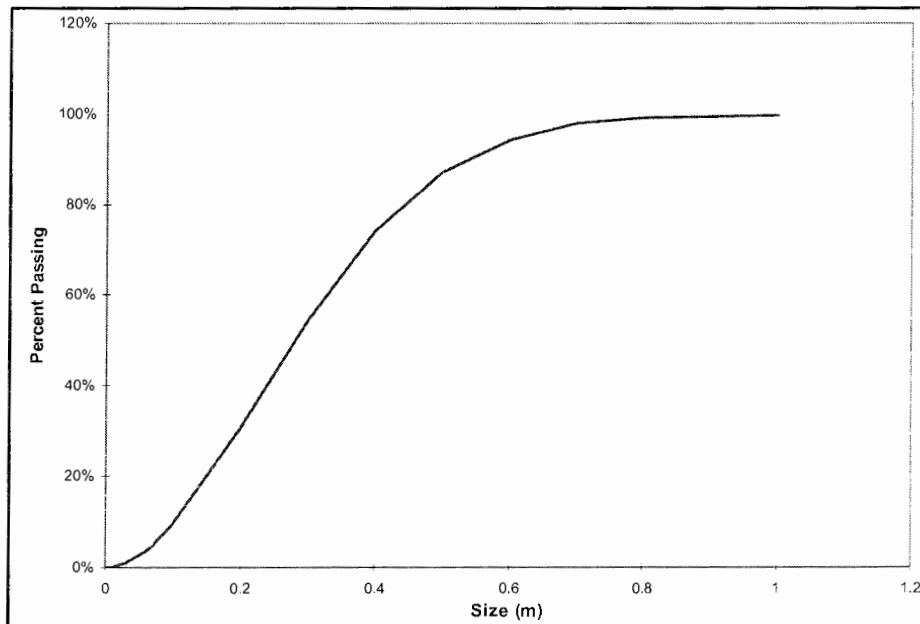
شکل ۵-۵- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی اول



شکل ۵-۶- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی دوم



شکل ۵-۷- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی چهارم



شکل ۵-۸- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام براساس الگوی پنجم

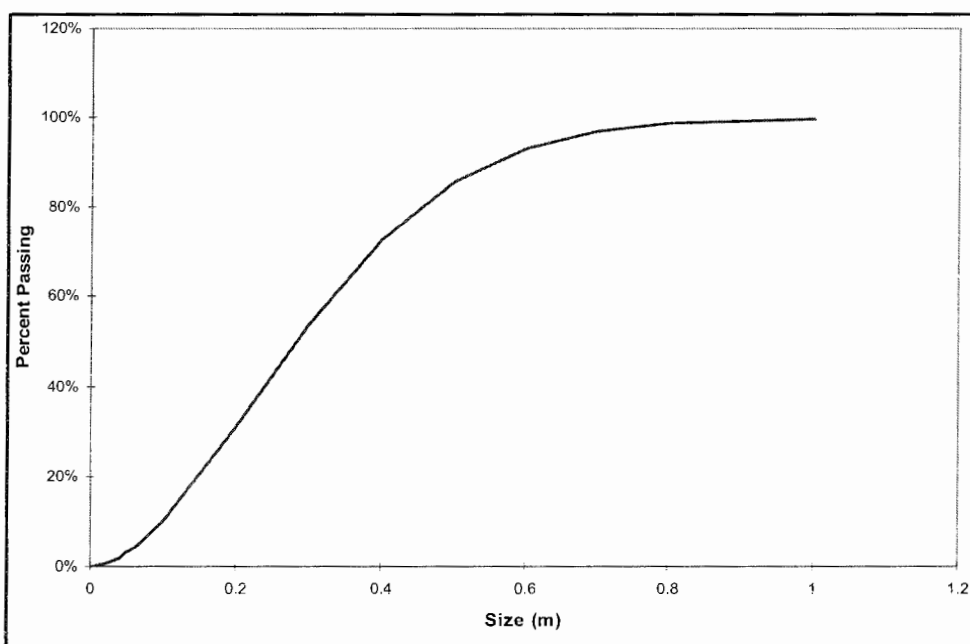
۵-۲-۳- مدل کاز-رام اصلاح شده

به دلیل تاثیر فراوان پارامترهای توده سنگ در خردشدگی، کونینگهام در سال ۱۹۸۷ مدل قبلی خود را تکمیل کرد و در آن تاثیرهای خواص توده سنگ را وارد کرد.

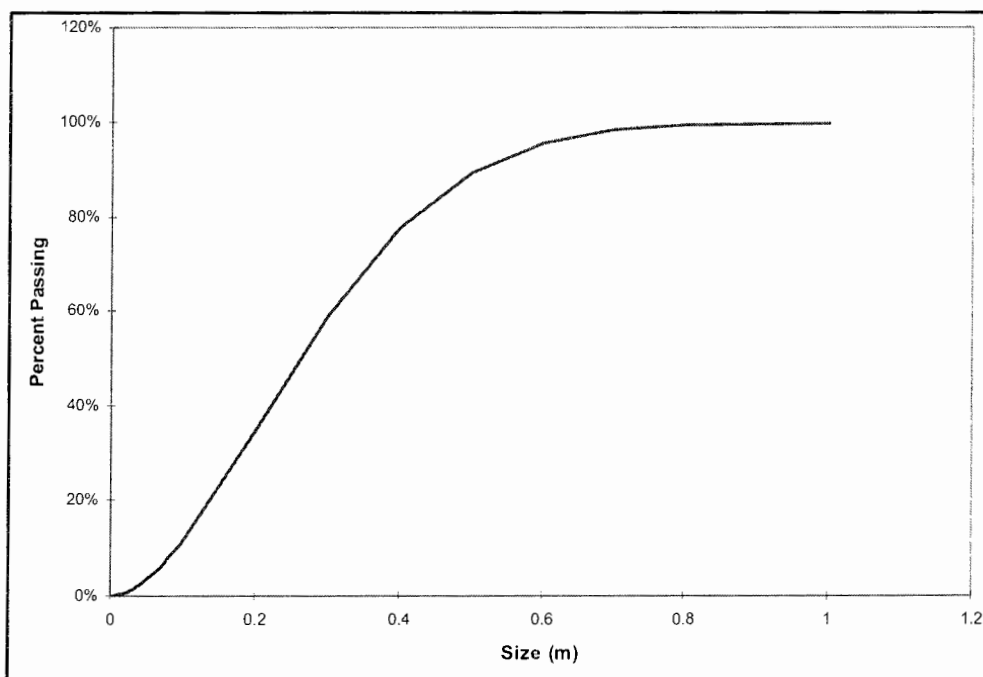
در این مدل نیز همانند مدل‌های قبل با قرار دادن داده‌های موجود در الگوی انفجار هر یک از انفجارهای به طور جداگانه و سایر اطلاعات موجود، نتایج حاصل از انفجار الگوی مربوط پیش‌بینی می‌شود. پارامترهای مؤثر مدل کاز-رام اصلاح شده نیز مانند مدل کاز-رام می‌باشد و بر اساس الگوهای انفجار تمامی انفجارها در جدول ۳-۵ آورده شده است. علاوه بر پارامترهای موجود در جدول ۳-۵، شاخص قابلیت انفجارپذیری نیز در این مدل تاثیرگذار است که مقدار آن از جدول ۳-۴ به دست می‌آید. در جدول ۵-۵ نتایج پیش‌بینی حاصل از انفجارهای آزمایشی براساس الگوهای مربوط به‌طور خلاصه در اندازه‌های مختلف آورده شده است. همچنین نتایج پیش‌بینی هر یک از انفجارها براساس الگوهای مربوط در شکل‌های ۵-۹ تا ۵-۱۲ به طور جداگانه آورده شده است.

جدول ۵-۵- نتایج پیش‌بینی مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوهای مربوط

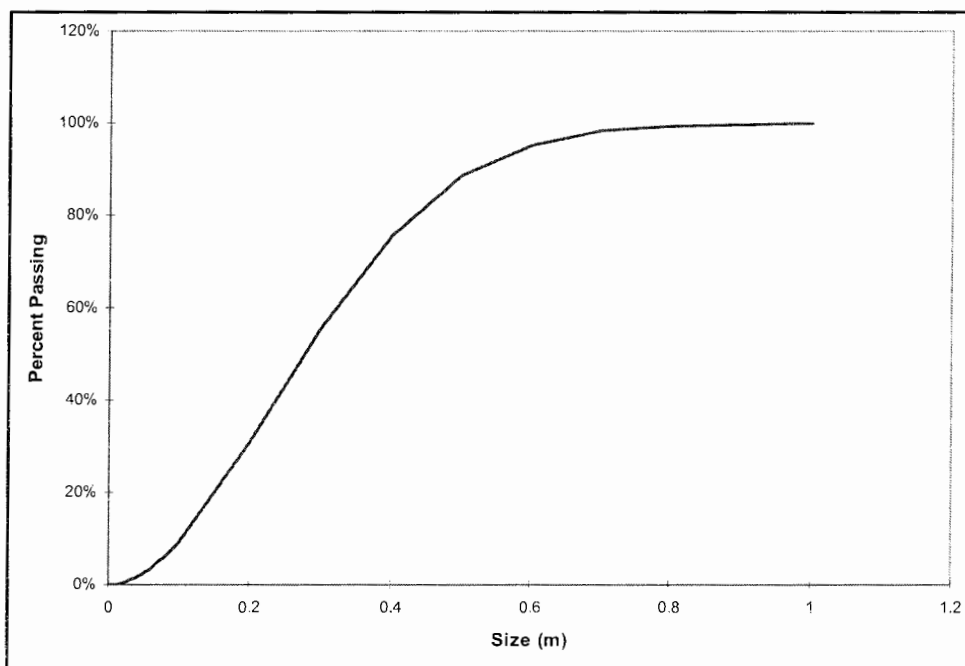
Size (m)	blast 1	blast 2	blast 4	blast 5
0.001	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
0.005	0.05%	0.05%	0.03%	0.05%
0.01	0.17%	0.18%	0.12%	0.18%
0.02	0.59%	0.64%	0.44%	0.65%
0.03	1.22%	1.34%	0.95%	1.39%
0.04	2.04%	2.26%	1.65%	2.37%
0.05	3.03%	3.37%	2.53%	3.59%
0.06	4.18%	4.66%	3.57%	5.02%
0.07	5.48%	6.13%	4.78%	6.65%
0.08	6.92%	7.74%	6.14%	8.47%
0.09	8.48%	9.50%	7.64%	10.46%
0.10	10.16%	11.39%	9.28%	12.61%
0.20	31.11%	34.74%	30.92%	17.30%
0.30	53.84%	59.04%	55.41%	65.58%
0.40	72.66%	77.83%	75.47%	84.01%
0.50	85.60%	89.57%	88.46%	93.86%
0.60	93.21%	95.71%	95.35%	98.04%
0.70	97.13%	98.45%	98.39%	99.48%
0.80	98.90%	99.51%	99.52%	99.88%
1.00	100.00%	99.97%	99.97%	100.00%



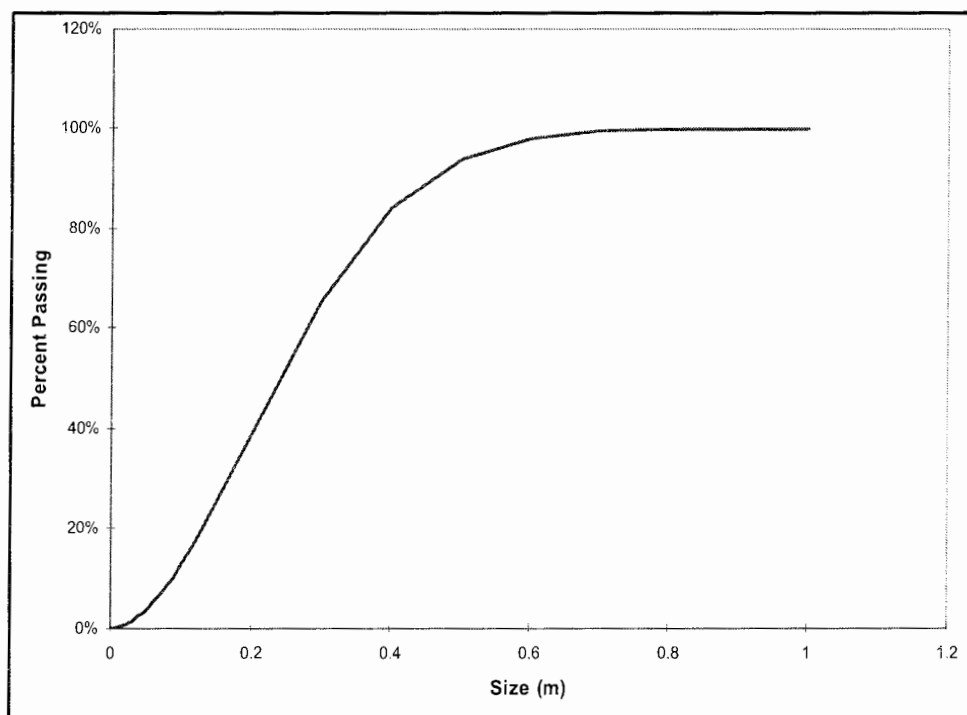
شکل ۵-۹- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی اول



شکل ۵-۱۰- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی دوم



شکل ۵-۱۱- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی چهارم



شکل ۵-۱۲- نمودار پیش‌بینی نتایج خردشدگی سنگ در مدل کاز-رام اصلاح شده براساس الگوی پنجم

۵-۲-۴- نتایج آنالیز سرندي حاصل از انفجارهاي آزمایشی

نظر به این که مصالح باید در یک محدوده دانه‌بندی خاص قرار گیرد، لازم است که با توجه به نوع سنگ، فواصل چال‌ها و الگوی خرج‌گذاری برای انجام انفجارهای آزمایشی در این محدوده مشخص شود.

پس از هر مرحله انفجار، نمونه‌ای را که معرف کل مصالح باشد، انتخاب شده و به محل سرندي و آزمایشگاه برای دانه‌بندی منتقل شده است. سپس به روش آنالیز سرندي مورد تجزیه قرار گرفته است که بر اساس اندازه‌های مختلف درصد مواد عبوری از سرندهای مختلف به‌طور خلاصه در جدول ۵-۶ آورده شده است.

جدول ۵-۶- نتایج آنالیز سرندي حاصل از انفجارات آزمایشی براساس الگوهای مربوط

Size (m)	blast 1	blast 2	blast 4	blast 5
0.001	0.16	0.087	0.05	0.078
0.005	0.23	0.123	0.075	0.125
0.01	0.32	0.18	0.12	0.155
0.02	0.45	0.27	0.19	0.225
0.03	0.54	0.348	0.265	0.3
0.04	0.615	0.405	0.325	0.355
0.05	0.66	0.455	0.35	0.42
0.06	0.685	0.498	0.39	0.475
0.07	0.71	0.522	0.422	0.5
0.08	0.74	0.553	0.48	0.524
0.09	0.78	0.61	0.6	0.58
0.10	0.8	0.635	0.66	0.61
0.20	0.835	0.72	0.725	0.74
0.30	0.87	0.75	0.755	0.79
0.40	0.9	0.772	0.775	0.825
0.50	0.92	0.803	0.835	0.88
0.60	0.94	0.84	0.87	0.91
0.70	0.96	0.872	0.89	0.936
0.80	0.975	0.898	0.92	0.954
1.00	1	1	1	1

۵-۳- مقایسه نتایج پیش‌بینی مدل‌های مختلف با نتایج حاصل از روش آنالیز سرنندی

با توجه به اینکه نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل‌های مختلف برای الگوهای ثابت با یکدیگر متفاوت است، و از طرف دیگر برای اعتبارسنجی درستی و یا نادرستی هر یک از نتایج، باید نتایج پیش‌بینی را با یک مرجع دیگری که اعتبار آن نسبت به سایر نتایج بیش‌تر و مطمئن‌تر است مقایسه کرد. از آن‌جایی که روش آنالیز سرنندی یکی از معتبرترین و مطمئن‌ترین روش‌های موجود برای بررسی میزان خردشدگی می‌باشد، لذا با توجه به در دسترس بودن نتایج آنالیز سرنندی برای هر یک از انفجارهای آزمایشی انجام شده، از این روش به‌عنوان معیار سنجش صحت و درستی پیش‌بینی سایر مدل‌ها استفاده شده است.

۵-۳-۱- انفجار اول

در شکل ۵-۱۳ پیش‌بینی مدل‌های ریاضی بیان شده نسبت به نتایج آنالیز سرنندی حاصل از انفجار اول دیده می‌شود. دانه‌بندی حاصل از نتایج آنالیز سرنندی انفجار اول با توجه به شکل ۴-۱۴ در محدوده اندازه مورد نظر برای بدنه سد قرار نداشته و در نتیجه دانه‌بندی حاصل از این انفجار برای استفاده در بدنه سد مناسب تشخیص داده نمی‌شود.

۵-۳-۲- انفجار دوم

در شکل ۵-۱۴ پیش‌بینی مدل‌های ریاضی بیان شده نسبت به نتایج آنالیز سرنندی حاصل از انفجار دوم دیده می‌شود. دانه‌بندی حاصل از نتایج آنالیز سرنندی انفجار دوم نیز مانند انفجار اول با توجه به شکل ۴-۱۵ در محدوده اندازه مورد نظر برای بدنه سد قرار نداشته و در نتیجه دانه‌بندی حاصل از این انفجار برای استفاده در بدنه سد مناسب تشخیص داده نمی‌شود.

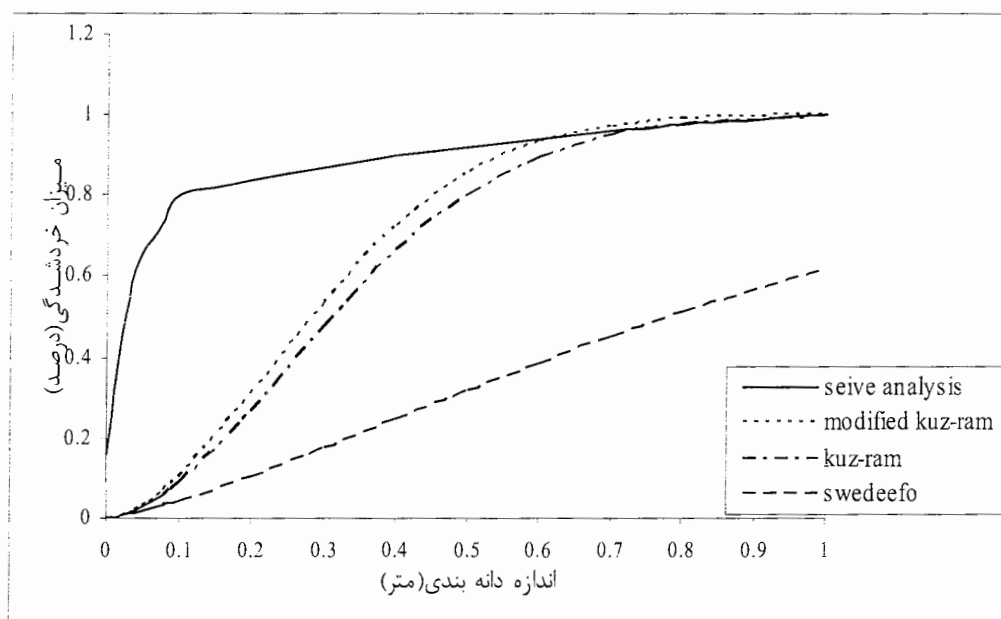
۵-۳-۳- انفجار چهارم

در شکل ۵-۱۵ پیش‌بینی مدل‌های ریاضی بیان شده نسبت به نتایج آنالیز سرنندی حاصل از انفجار چهارم دیده می‌شود. دانه‌بندی حاصل از نتایج آنالیز سرنندی انفجار چهارم با توجه به شکل ۴-۱۶

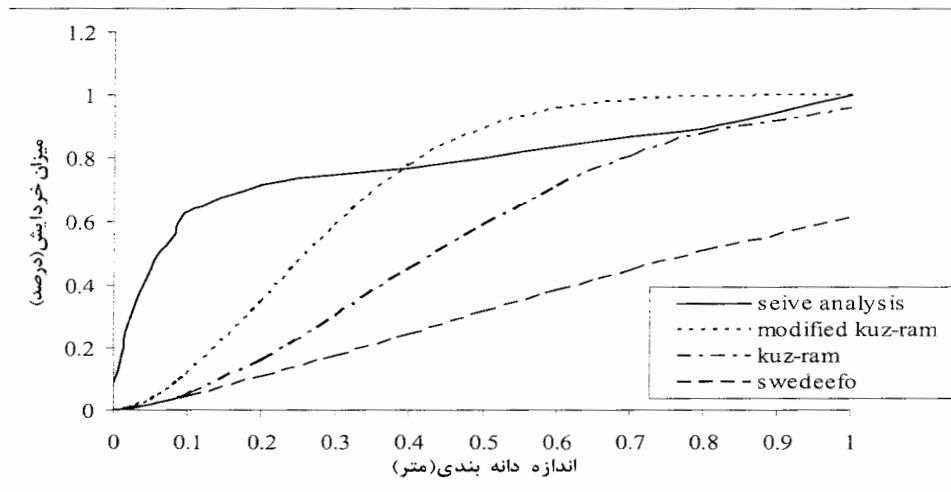
نسبتاً در محدوده اندازه مورد نظر برای بدنه سد قرار داشته و در نتیجه دانه‌بندی حاصل از این انفجار برای استفاده در بدنه سد نسبتاً مناسب تشخیص داده می‌شود.

۵-۳-۴- انفجار پنجم

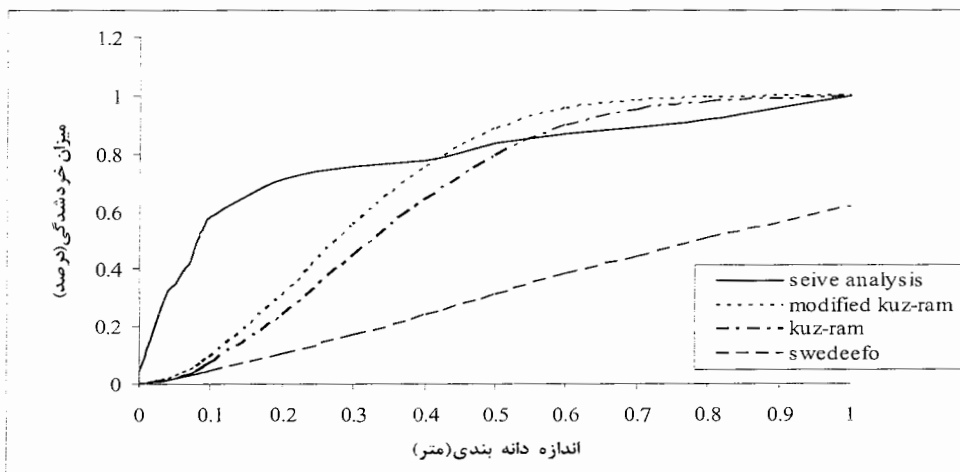
در شکل ۵-۱۶ پیش‌بینی مدل‌های ریاضی بیان شده نسبت به نتایج آنالیز سرنندی حاصل از انفجار پنجم دیده می‌شود. دانه‌بندی حاصل از نتایج آنالیز سرنندی انفجار چهارم با توجه به شکل ۴-۱۷ در محدوده اندازه مورد نظر برای بدنه سد قرار داشته و در نتیجه دانه‌بندی حاصل از این انفجار برای استفاده در بدنه سد مناسب تشخیص داده می‌شود. همان‌گونه که در فصل قبل نیز بیان شد، از الگوی اول هرچه به سمت الگوی آخر پیش می‌رویم نتایج آنالیز سرنندی در محدوده دانه‌بندی مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد قرار می‌گیرد. هم‌چنین با توجه به شکل‌های ۵-۱۳ تا ۵-۱۶ نتایج پیش‌بینی حاصل از مدل کاز-رام اصلاح شده نسبت به سایر مدل‌های دیگر به نتایج حاصل از آنالیز سرنندی نزدیک‌تر می‌باشد.



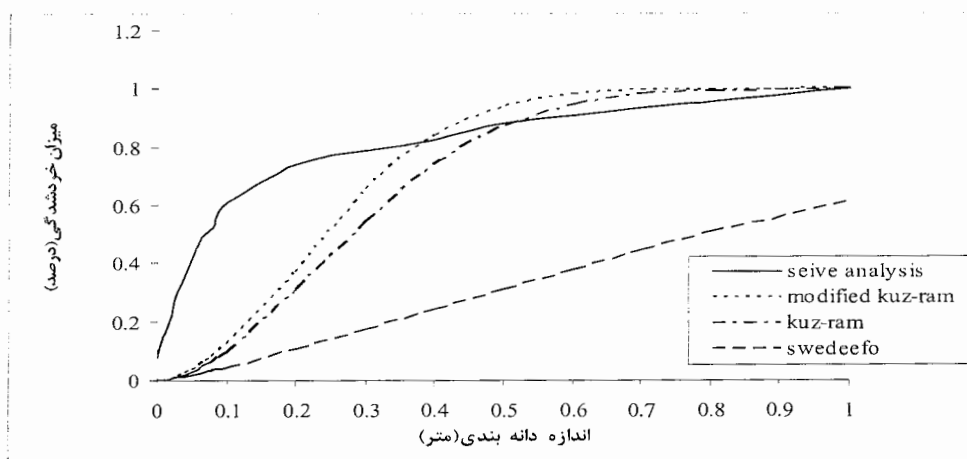
شکل ۵-۱۳- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشده‌گی حاصل از انفجار اول با نتایج پیش‌بینی هر سه روش



شکل ۵-۱۴- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشدگی حاصل از انفجار دوم با نتایج پیش‌بینی هر سه روش



شکل ۵-۱۵- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشدگی حاصل از انفجار چهارم با نتایج پیش‌بینی هر سه روش



شکل ۵-۱۶- مقایسه نتایج آنالیز سرنندی میزان خردشدگی حاصل از انفجار پنجم با نتایج پیش‌بینی هر سه روش

۴-۵- بدست آوردن الگوی جدید چالزنی و انفجار بر اساس نتایج پیش‌بینی حاصل از مدل

کاز-رام اصلاح شده و معادله‌های ریاضی نتایج آنالیز سرندي

برای به‌دست آوردن الگوی جدید چالزنی و انفجار با استفاده از مدل‌های ریاضی، در ابتدا باید یک ارتباط صحیح بین نتایج حاصل از آنالیز سرندي و پیش‌بینی مدل مورد نظر برقرار کرد. از آنجایی‌که مدل اصلاح شده کاز-رام به‌عنوان مدل مناسب‌تر برای انجام این کار انتخاب شد، لذا باید ارتباط ذکر شده بین این مدل و نتایج حاصل از آنالیز سرندي برقرار شود.

برای ایجاد چنین ارتباطی باید از روش‌های ریاضی و بلاخص روش‌های آماری کاربردی استفاده کرد. در معادله‌سازی با استفاده از روش‌های آماری کاربردی از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است. در این نرم‌افزار امکان استفاده از چندین روش مختلف ریاضی برای ایجاد معادله مورد نظر وجود دارد که برای دسترسی به بهترین نتیجه تمامی این روش‌ها را مورد آزمایش قرار داده و بهترین نتیجه را با بالاترین ضریب همبستگی انتخاب می‌کنیم. برای این‌که معادله حاصل در مورد تمامی انفجارها و نتایج آن صادق باشد، با در نظر گرفتن تمامی داده‌های انفجارهای مختلف به‌عنوان یک انفجار واحد، معادله مورد نظر محاسبه شده است.

به‌دلیل اختلاف بازه‌های محدوده دانه‌بندی در تمامی انفجارها که ناشی از کوچک بودن بازه‌های زیر ۱۰۰ میلی‌متر (در حدود ۱۰ میلی‌متر) و بزرگ بودن بازه‌های بالای ۱۰۰ میلی‌متر (در حدود ۱۰۰ میلی‌متر) می‌باشد، به ناچار دانه‌بندی تمامی انفجارها را در دو بازه متفاوت زیر ۱۰۰ میلی‌متر و بالای ۱۰۰ میلی‌متر تقسیم بندی کرده و سپس فرمول مربوط به هر یک از این محدوده‌ها محاسبه شده است. روش‌های مختلف و فرمول‌های مربوط به چگونگی محاسبه معادله مناسب با استفاده از این نرم افزار در جدول ۵-۷ آورده شده است.

نتایج میزان همبستگی‌ای که با هر یک از این روش‌ها برای برقراری معادله‌ای واحد بین نتایج آنالیز سرندي و پیش‌بینی مدل کاز-رام اصلاح شده برای تمامی انفجارها وجود دارد بر اساس محدوده‌های معین شده زیر ۱۰۰ میلی‌متر و بالای ۱۰۰ میلی‌متر به ترتیب در جدول‌های ۵-۸ و ۵-۹ آورده شده است.

جدول ۵-۷- روش‌های مختلف و فرمول‌های مربوط به چگونگی محاسبه معادله مناسب با استفاده از نرم افزار SPSS

عنوان	معادله	معادله خطی
LINEAR	$y = b_0 + b_1 t$	
LOGARITHMIC	$y = b_0 + b_1 \ln(t)$	
INVERSE	$y = b_0 + \frac{b_1}{t}$	
QUADRATIC	$y = b_0 + b_1 t + b_2 t^2$	
CUBIC	$y = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3$	
COMPOUND	$y = b_0 b_1^t$	$\ln(y) = \ln(b_0) + t \ln(b_1)$
POWER	$y = b_0 t^{b_1}$	$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1 \ln(t)$
S	$y = e^{b_0 + \frac{b_1}{t}}$	$\ln(y) = b_0 + \frac{b_1}{t}$
GROWTH	$y = e^{b_0 + b_1 t}$	$\ln(y) = b_0 + b_1 t$
EXPONENTIAL	$y = b_0 e^{b_1 t}$	$\ln(y) = \ln(b_0) + b_1 t$
LGSTIC (logistic)	$y = \left(\frac{1}{u} + b_0 b_1^t \right) - 1$	$\ln\left(\frac{1}{y} - \frac{1}{u} \right) = \ln(b_0) + \ln(b_1)$

که در این روابط:

b_0 : مقدار ثابت

b_n : ضریب رگرسیون

t : متغیر مستقل یا مقدار زمان

\ln : لگاریتم طبیعی

u : مقدار حد بالایی در روش logistic

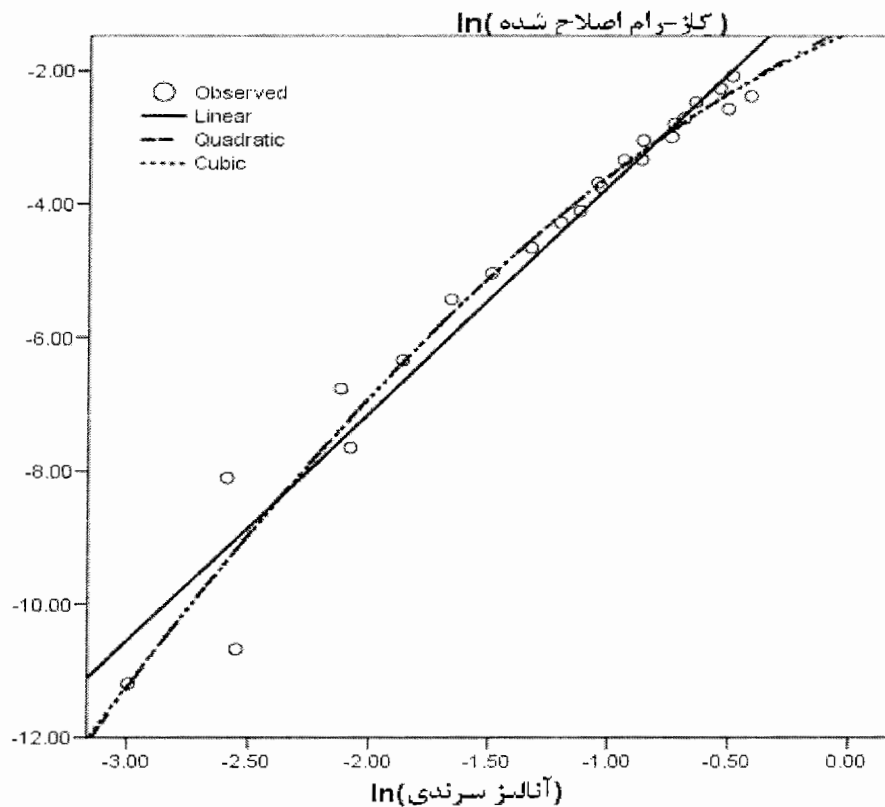
جدول ۵-۸- داده‌های روش‌های مختلف فرمول‌های مربوط به چگونگی محاسبه معادله زیر ۱۰۰ میلی‌متر

Parameter Estimates				Model Summary	Equation
b3	b2	b1	Constant	R^2	
		3.413	-.305	.958	Linear
	-.530	1.726	-1.316	.969	Quadratic
-.035	-.702	1.482	-1.411	.969	Cubic

جدول ۵-۹- داده‌های روش‌های مختلف فرمول‌های مربوط به چگونگی محاسبه معادله بالای ۱۰۰ میلی‌متر

Parameter Estimates				Model Summary	Equation
b3	b2	b1	Constant	R^2	
		3.027	.219	.752	Linear
	-19.348	-3.338	-.111	.947	Quadratic
89.870	24.626	2.369	.053	.976	Cubic

برازش رابطه ریاضی بین پیش‌بینی مدل کاز-رام اصلاح‌شده با نتایج آنالیز سرنندی برای هر چهار انفجار مورد نظر با فرمول به‌دست آمده توسط هر یک از این روش‌ها بر اساس محدوده‌های معین شده زیر ۱۰۰ میلی‌متر و بالای ۱۰۰ میلی‌متر به‌ترتیب در شکل‌های ۵-۱۷ و ۵-۱۸ آورده شده است. همان‌گونه که از شکل‌های ۵-۱۷ و ۵-۱۸ و جدول‌های ۵-۹ و ۵-۱۰ مشخص است، میزان همبستگی در روش Cubic از سایر روش‌های دیگر در رابطه کلی که برای تمامی انفجارها با هم به دست آورده شده بیشتر است هرچند که روش‌های دیگری مانند Quadratic و خطی نیز دارای ضریب همبستگی بالایی هستند ولی برای برقراری بهترین معادله برای انفجارهای مورد نظر و طراحی الگوی جدید بر اساس مدل کاز-رام اصلاح شده و ارتباط آن با نتایج آنالیز سرنندی، لذا در این جا برای به دست آوردن معادله لازم از روش ریاضی Cubic استفاده شده است. همان‌گونه که در انتهای فصل پیش نیز به آن اشاره شده است، برای بالابردن دقت کار، در ادامه تمامی اقدامات، روی الگوهای چهارم و پنجم صورت می‌گیرد.



شکل ۵-۱۷- برازش رابطه ریاضی بین مدل کاز-رام اصلاح شده با نتایج آنالیز سرنندی با استفاده از سه روش Cubic، Quadratic و خطی برای زیر ۱۰۰ میلی‌متر

معادله بین مدل کاز-رام اصلاح شده با نتایج آنالیز سرنندی با استفاده از روش Cubic برای دانه‌های زیر ۱۰۰ میلی‌متر به همراه میزان ضریب همبستگی توان دوم آن در زیر آورده شده است.

$$\ln y = -1.411 + 1.482(\ln x) - 0.702(\ln x)^2 - 0.035(\ln x)^3 \quad (۱-۵)$$

$$R^2 = 0.969$$

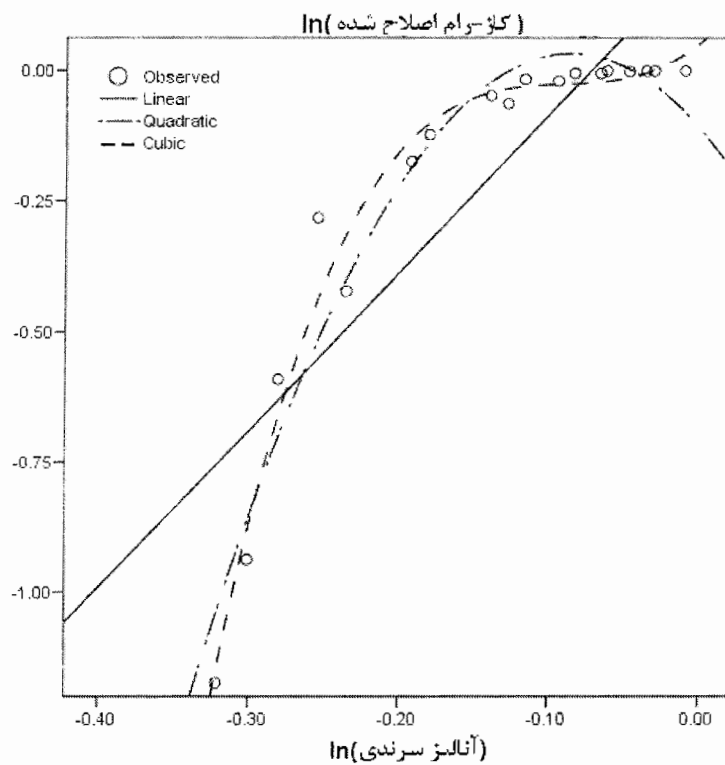
که در این رابطه :

y : مقادیر پیش‌بینی کاز-رام اصلاح شده

x : نتایج آنالیز سرنندی

در نتیجه داریم:

$$y = e^{-1.411 + 1.482(\ln x) - 0.702(\ln x)^2 - 0.035(\ln x)^3} \quad (۲-۵)$$



شکل ۵-۱۸- برآزش رابطه ریاضی بین مدل کاز-رام اصلاح شده با نتایج آنالیز سرنندی با استفاده از سه روش Cubic، Quadratic و خطی برای بالای ۱۰۰ میلی متر

همچنین معادله بین مدل کاز-رام اصلاح شده با نتایج آنالیز سرنندی با استفاده از روش Cubic برای دانه‌های بالای ۱۰۰ میلی متر به همراه میزان ضریب همبستگی توان دوم آن نیز به شرح ذیل است.

$$\ln y = 0.053 + 2.369(\ln x) + 24.626(\ln x)^2 + 89.87(\ln x)^3 \quad (۳-۵)$$

$$R^2 = 0.976$$

که در این رابطه :

y : مقادیر پیش‌بینی کاز-رام اصلاح شده

x : نتایج آنالیز سرنندی

در نتیجه داریم:

$$y = e^{0.053+2.369(\ln x)+24.626(\ln x)^2+89.87(\ln x)^3} \quad (۴-۵)$$

از آنجایی که هدف نهایی از این اقدام‌ها، طراحی الگوی انفجاری مناسب برای رسیدن به میزان خردایش مورد نظر برای استفاده در بدنه سد می‌باشد، لذا می‌توان با در دست داشتن اندازه مورد نیاز

خردایش و معادله‌های فوق و همچنین مدل اصلاح شده کاز-رام، به الگوی مورد نظر برای رسیدن به میزان خردایش مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد دست یافت.

در این مرحله، ابتدا باید دانه‌بندی بهینه مورد نظر برای استفاده در بدنه سد را بر اساس نمودار محدوده دانه‌بندی محاسبه کرد و سپس با داشتن دانه‌بندی مورد نیاز، مقادیر پیش‌بینی مدل کاز-رام اصلاح شده را محاسبه کرد. اندازه بهینه دانه‌بندی مصالح خرده‌سنگی قابل استفاده در بدنه سد در محدوده مورد نظر در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده است.

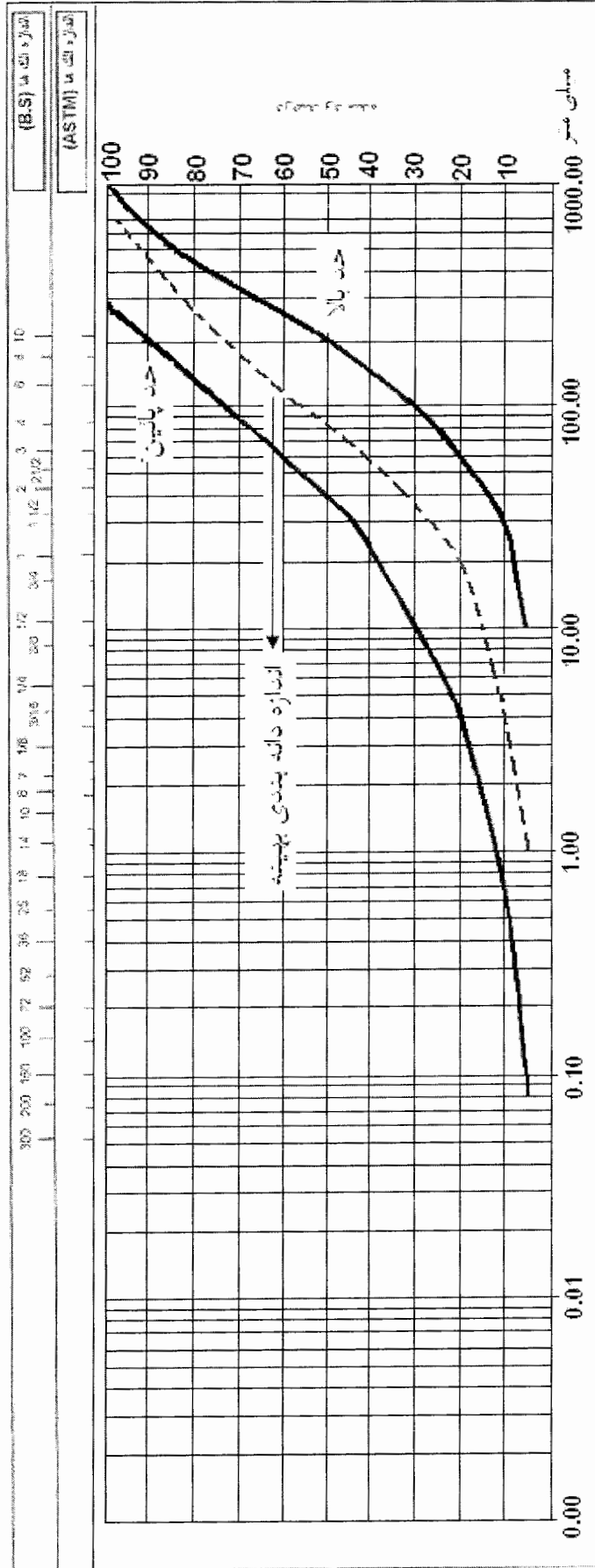
در گام بعدی با داشتن نتایج پیش‌بینی مدل کاز-رام اصلاح شده، می‌توان الگوی انفجار مناسب برای آن محدوده دانه‌بندی مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد را به دست آورد. با توجه به مطالب یاد شده در فصل قبل و به کمک نتایج حاصل از انفجارهای مختلف و همچنین فرمول‌های ارائه شده در فصل سوم همین پایان‌نامه که به مدل کاز-رام اصلاح شده مربوط می‌باشند، الگوی انفجارهای متفاوتی برای ایجاد خردایش مناسب سنگ برای استفاده در بدنه سد طراحی شده است که بر اساس اصول تغییرات بارسنگ و فاصله‌داری چال‌ها به همراه تغییر طول گل‌گذاری طراحی شده‌اند.

الگوی پیشنهادی دوم

اولین الگوی پیشنهادی با الگوی چال (متر $3/4 \times$ متر $2/6$) که بقیه پارامترهای آن به جز طول گل‌گذاری، نظیر عمق چال و الگوی خرج‌گذاری مشابه الگوی انفجار چهارم و پنجم باشد. این انفجار با تعداد ۴۰ عدد چال (ردیف ۵ در ۸ تایی) انجام شد. پارامترهای این الگو در جدول ۵-۱۰ آورده شده است.

الگوی پیشنهادی دوم

دومین الگوی پیشنهادی با الگوی چال (متر $3/4 \times$ متر ۳) که پارامترهای دیگر آن مانند طول گل‌گذاری برابر $1/4$ متر و همچنین میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه نیز در آن از الگوی پیشنهادی اول کمتر می‌باشند. سایر پارامترها نظیر عمق چال و الگوی خرج‌گذاری مشابه الگوی پیشنهادی اول می‌باشد. این انفجار با تعداد ۴۰ عدد چال (ردیف ۵ در ۸ تایی) انجام شد. بقیه پارامترهای این الگو در جدول ۵-۱۰ آورده شده است.



شکل ۵-۱۹ - اندازه بهینه دانه‌بندی مصالح خردسنگی در محدوده مورد نظر برای استفاده در بدنه سد

جدول ۵-۱۰- الگوهای پیشنهادی برای ایجاد خردایش مناسب سنگ برای استفاده در بدنه سد

پارامترهای انفجار (برای هر چال)	الگوی اول	الگوی دوم	الگوی سوم	الگوی چهارم
قطر چال (میلی متر)	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶
ارتفاع یله K (متر)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
اضافه چال زنی U (متر)	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸
طول چال H (متر)	۱۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۸
بار سنگ B (متر)	۲/۶	۳	۳	۲/۹
فاصله چال‌ها در یک ردیف S (متر)	۳/۴	۳/۴	۳/۳	۳/۵
پرایمر - دینامیت (کیلو گرم)	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲
خرج میان چال - آنفو (کیلو گرم)	۵۷	۵۸/۲	۵۷/۸	۶۰
طول خرج میان چال (متر)	۱۵	۱۵/۳	۱۵/۲	۱۵/۴
کل خرج موجود در چال (کیلو گرم)	۵۹/۲	۶۰/۴	۶۰	۶۲/۲
طول گل‌گذاری (متر)	۱/۶	۱/۴	۱/۴	۱/۴
مقدار فتیله انفجاری (متر)	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵
حجم سنگ برای هر چال (متر مکعب)	۱۳۲/۶	۱۵۳	۱۴۸/۵	۱۵۲/۲۵
خرج ویژه (کیلو گرم بر متر مکعب)	۰/۴۵	۰/۳۹۴	۰/۴۲	۰/۳۸۹
مصلح به ازای هر متر حفاری (متر مکعب)	۷/۹۹	۹/۲۲	۸/۹۵	۹/۱۷
چال‌زنی ویژه (متر بر متر مکعب)	۰/۱۳	۰/۱۰۸	۰/۱۱۲	۰/۱۱۰

الگوی پیشنهادی سوم

سومین الگوی پیشنهادی با الگوی چال (متر $۳/۳ \times$ متر ۳) که پارامترهای دیگر آن مانند طول گل‌گذاری برابر $۱/۴$ متر و همچنین میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه نیز در آن از الگوی پیشنهادی اول کمتر ولی از الگوی پیشنهادی دوم بیشتر می‌باشند. سایر پارامترها نظیر عمق چال و الگوی خرج‌گذاری مشابه سایر الگوهای پیشنهادی می‌باشد. این انفجار با تعداد ۴۰ عدد چال (ردیف ۵ در ۸ تایی) انجام شد. بقیه پارامترهای این الگو در جدول ۵-۱۰ آورده شده است.

الگوی پیشنهادی چهارم

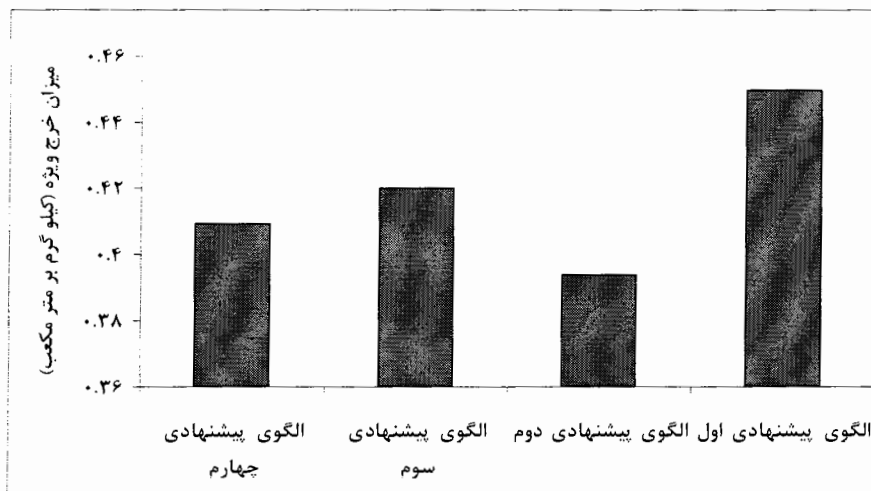
چهارمین الگوی طراحی شده با الگوی چال (متر $۳/۵ \times$ متر $۲/۹$) که پارامترهای دیگر آن مانند طول گل‌گذاری برابر $۱/۶$ متر و همچنین میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه نیز در آن از الگوی طراحی شده اول و سوم کمتر ولی از چال‌زنی ویژه آن از الگوی انفجار طراحی شده دوم بیشتر و خرج ویژه آن از این الگو کمتر است. سایر پارامترها نظیر عمق چال و الگوی خرج‌گذاری مشابه سایر الگوی انفجار طراحی شده می‌باشد. این انفجار با تعداد ۴۰ عدد چال (ردیف ۵ در ۸ تایی) انجام شد. مقدار خرج

مصرفی کل در این الگوی پیشنهادی نسبت به سایر الگوهای پیشنهادی بیشترین مقدار است. بقیه پارامترهای این الگو در جدول ۵-۱۰ آورده شده است.

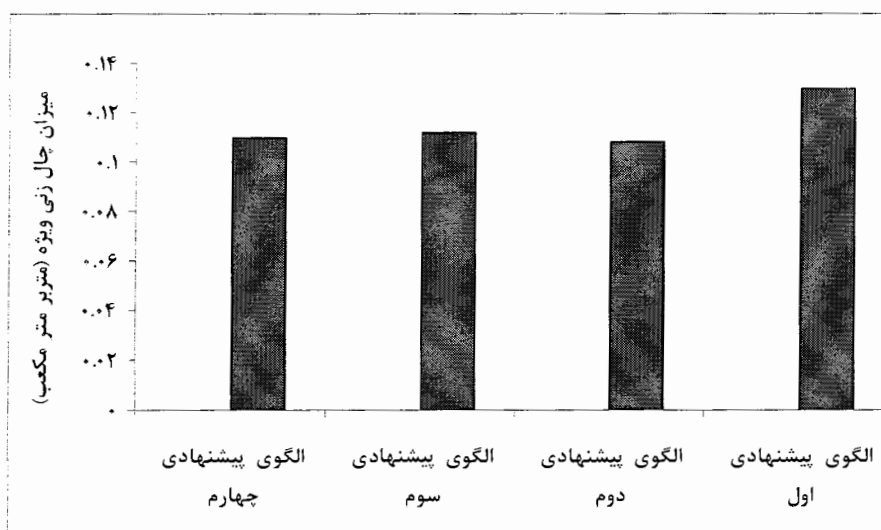
حال باید از بین چهار الگوی پیشنهاد شده، اقتصادی‌ترین الگوی انفجار را انتخاب کنیم. از آنجایی که میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه در هر انفجاری اهمیت بالایی دارد لذا در جدول ۵-۱۱ و شکل ۵-۲۰ و ۲۱-۵ هر یک از الگوهای پیشنهادی از لحاظ خرج ویژه و چال‌زنی ویژه با هم مقایسه شده‌اند. با مطالعه بر روی میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه در هر انفجاری و مقایسه آن‌ها با هم، می‌توان به اقتصادی‌تر بودن الگوهای انفجار نسبت به هم پی برد.

جدول ۵-۱۱- میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه در هر یک از الگوهای پیشنهادی

شرح	میزان خرج ویژه (کیلو گرم بر متر مکعب)	میزان چال‌زنی ویژه (متر بر متر مکعب)
الگوی پیشنهادی اول	۰/۴۵	۰/۱۳
الگوی پیشنهادی دوم	۰/۳۹۴	۰/۱۰۸
الگوی پیشنهادی سوم	۰/۴۲	۰/۱۱۲
الگوی پیشنهادی چهارم	۰/۴۰۹	۰/۱۱۰



شکل ۵-۲۰- میزان خرج ویژه در هر یک از الگوهای پیشنهادی

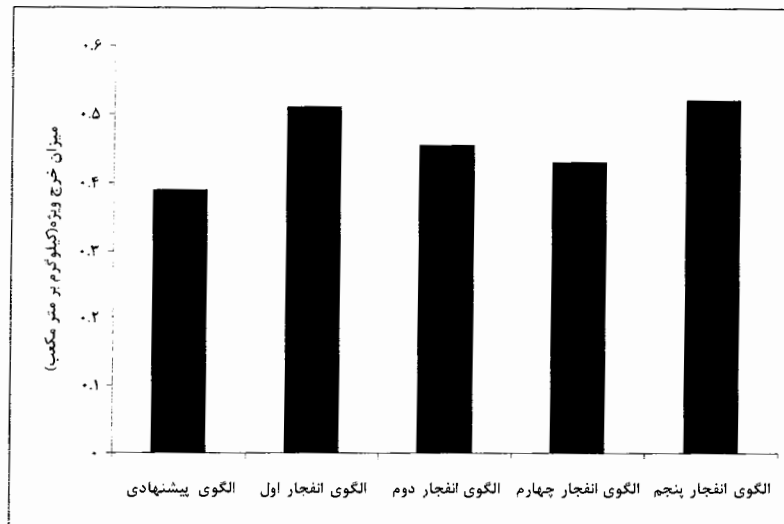


شکل ۵-۲۱- میزان چال زنی ویژه در هر یک از الگوهای پیشنهادی

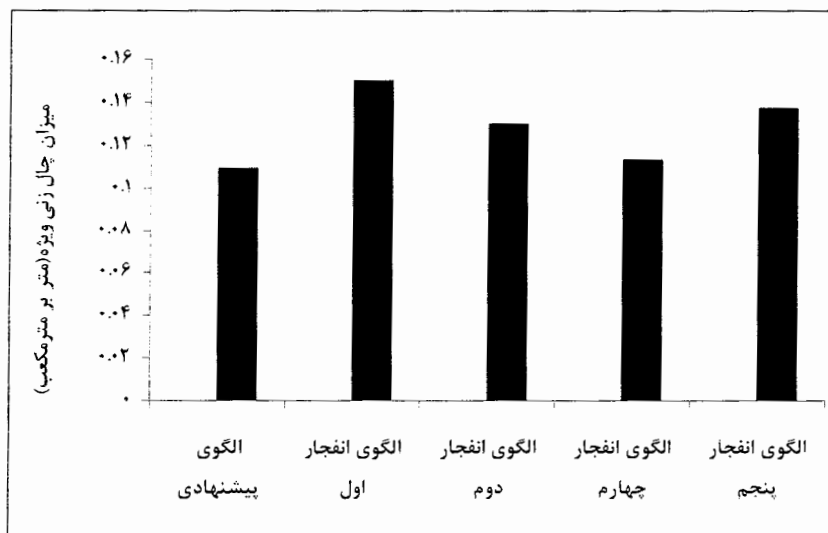
با توجه به جدول ۵-۱۱ و شکل های ۵-۲۰ و ۵-۲۱، مشاهده می شود که الگوی پیشنهادی دوم دارای کمترین خرج ویژه و چال زنی ویژه و الگوی پیشنهادی اول دارای بیشترین مقدار خرج ویژه و چال زنی ویژه می باشد. با توجه به میزان خرج ویژه و چال زنی ویژه الگوهای پیشنهادی، به سادگی می توان پی برد که الگوی پیشنهادی دوم مناسب ترین الگوی در بین الگوهای پیشنهادی می باشد. در ادامه مقایسه ای بین الگوی انفجار پیشنهاد شده و سایر الگوهای انفجار آزمایشی موجود انجام می گیرد. در جدول ۵-۱۲ و شکل های ۵-۲۲ و ۵-۲۳ مقادیر خرج ویژه و چال زنی ویژه بهترین الگوی پیشنهادی و الگوهای انفجارهای آزمایشی موجود آورده شده است.

جدول ۵-۱۲- میزان خرج ویژه و چال زنی ویژه الگوی پیشنهادی و سایر الگوهای انفجار آزمایشی

شرح	میزان خرج ویژه (کیلو گرم بر متر مکعب)	میزان چال زنی ویژه (متر بر متر مکعب)
الگوی پیشنهادی	۰/۳۹۴	۰/۱۰۸
الگوی انفجار اول	۰/۵۱	۰/۱۵۰
الگوی انفجار دوم	۰/۴۵۵	۰/۱۳۰
الگوی انفجار چهارم	۰/۴۳	۰/۱۱۳
الگوی انفجار پنجم	۰/۵۲	۰/۱۳۷



شکل ۵-۲۲- میزان خرج ویژه الگوی پیشنهادی و سایر الگوهای انفجارهای آزمایشی



شکل ۵-۲۳- میزان چال زنی ویژه الگوی پیشنهادی و سایر الگوهای انفجارهای آزمایشی

همان گونه که در جدول ۵-۱۲ و شکل های ۵-۲۲ و ۵-۲۳ مشاهده می شود، مقادیر خرج ویژه و چال زنی ویژه الگوی پیشنهادی از سایر الگوها کمتر می باشد و این مطلب علاوه بر تولید مصالح خرده سنگی مناسب تر نسبت به سایر الگوهای انفجار آزمایشی، دلیل دیگری برای مناسب تر بودن این الگو می باشد.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱- نتیجه‌گیری

هدف از انجام انفجار در معادن خردشدن سنگ و جدا شدن آن از توده اصلی است. خردشدگی خوب یک مسئله کاربردی است و بستگی به نوع استفاده از سنگ دارد و علاوه بر آن، اندازه قطعات مطلوب بستگی به نوع و اندازه تجهیزاتی دارد که برای جابجایی سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از عملیات چال‌زنی و انفجار می‌تواند بر نتایج عملیات بعدی تولید تاثیر گذارد. با انجام صحیح عملیات انفجاری و دستیابی به خردشدگی مناسب، می‌توان قابلیت خردشدگی ماده معدنی را افزایش داد که در این صورت باعث صرفه‌جویی انرژی نیز خواهد شد.

از آنجایی که مصالح تولیدی این معدن برای استفاده در بدنه سد مورد نیاز است و نظر به این که مصالح مورد استفاده در بدنه سد نیز باید در یک محدوده دانه‌بندی خاص قرار گیرد، لذا لازم است با توجه به نوع سنگ، فواصل چال‌ها و الگوی خرج‌گذاری برای انجام انفجار در این محدوده مشخص شود تا بتوان مصالح تولیدی معدن را تا حد ممکن به اندازه مورد نیاز برای استفاده در بدنه سد نزدیک نمود تا نیاز به انفجار ثانویه نباشد.

برای دستیابی به یک الگوی بهینه، چند انفجار آزمایشی انجام شد که مصالح سنگ‌ریزه‌ای حاصل از این انفجارها با روش آنالیز سرنندی مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا با یک الگوی اولیه انفجار را انجام داده و پس از بررسی نتایج دانه‌بندی حاصل از انفجار که در محدوده اندازه مورد نظر برای استفاده در بدنه سد نبود، الگوی بعدی بر اساس تغییرات بارسنگ و فاصله چال‌ها در هر ردیف تغییر داده شده است. در الگوی دوم با افزایش اندازه بارسنگ و فاصله چال‌ها در هر ردیف و کم کردن طول گل‌گذاری، انفجار را آزمایش کرده، مشاهده شد که به دلیل بالا بودن طول گل‌گذاری مانند انفجار اول، سنگ‌های قسمت‌های بالای چال به اندازه‌های بزرگ شکسته شده و قطعات درشت تولید

شده است. در ادامه با کاهش طول گل‌گذاری و افزایش مواد منفجره در داخل چال و همچنین تغییر میزان بارسنگ و فاصله چال‌ها در هر ردیف، الگوهای دیگری طراحی و مورد آزمایش قرار گرفت. با بررسی نتایج حاصل از انفجارهای الگوهای دیگر مشخص شد که هرچه به انفجار آخر نزدیک‌تر شده، اندازه خرده سنگ‌های حاصل از انفجار بیشتر در محدوده دانه‌بندی مورد نظر قرار گرفته‌اند. سپس برای هر یک از این انفجارها با استفاده از نرم‌افزار SPSS یک رابطه ریاضی نوشته شده است.

در ادامه بر اساس مدل‌های ریاضی مانند مدل‌های سوئدیفو، کاز-رام و کاز-رام اصلاح شده، الگوهای هر یک از این انفجارها مورد بررسی قرار گرفته و نتایج ممکن حاصل از این انفجارها توسط این مدل‌ها پیش‌بینی شده است. با بررسی انجام شده بر روی نتایج حاصل از انفجار به روش آنالیز سرنندی و مقایسه آن‌ها با نتایج پیش‌بینی هر یک از مدل‌های ریاضی پیش‌بینی خریدار، این نتیجه حاصل شد که مدل کاز-رام اصلاح‌شده نزدیک‌ترین جواب به نتایج دانه‌بندی آنالیز سرنندی حاصل از انفجارهای آزمایشی انجام شده را دارا می‌باشد.

البته نباید فراموش کرد که آنالیز سرنندی بر روی مصالحی انجام شده است که پس از بارگیری در محل انفجار، توسط ماشین‌های حمل مواد به محل دیگری برده شده و در آن جا پس از تخلیه و دپو، مجدداً بر روی سرندهای مختلف ریخته شده و مورد آنالیز قرار گرفته است. در نتیجه به دلیل این جابجایی‌ها، مقداری از مصالح درشت‌تر شکسته شده و به مصالح ریزتر تبدیل شده‌اند. در ادامه به برقراری رابطه ریاضی بین نتایج آنالیز سرنندی نتایج انفجارها و نتایج پیش‌بینی مدل‌های مختلف ریاضی پرداخته شده است.

از آن جایی که بازه‌های در نظر گرفته شده برای دانه‌بندی دارای مقیاس‌های متفاوتی می‌باشد، لذا برای دقیق‌تر بودن نتیجه کار محدوده دانه‌بندی را به دو بخش زیر ۱۰۰ میلی‌متر و بالای ۱۰۰ میلی‌متر تقسیم کرده و برای هر یک از این بخش‌ها روابط ریاضی جداگانه‌ای تهیه شده است.

در ادامه کار بر اساس نمودار دانه‌بندی مصالح سنگ‌ریزه‌ای برای استفاده در بدنه سد، بهترین اندازه دانه‌بندی ممکن به دست آمده است. با داشتن این روابط ریاضی و همچنین مدل ریاضی مناسب (در این جا کاز-رام اصلاح‌شده) و داشتن اندازه‌های دانه‌بندی بهینه برای استفاده در بدنه سد، به طراحی الگو بر اساس مناسب‌ترین اندازه‌های خریددگی مصالح پرداخته شده است. برای رسیدن به الگوی

مناسب با استفاده از روش ذکر شده، چهار الگوی متفاوت بر اساس تغییرات اندازه بارسنگ، فاصله چال‌ها در هر ردیف و طول گل‌گذاری پیشنهاد شد.

در بین چهار الگوی پیشنهادی، الگوی اول دارای بالاترین مقدار خرج ویژه و چال‌زنی ویژه بوده که به ترتیب برابر ۰/۴۵ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۱۳ متر بر مترمکعب می‌باشند و الگوی دوم دارای کمترین چال‌زنی ویژه و خرج ویژه بوده که به ترتیب برابر ۰/۱۰۸ متر بر مترمکعب و ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشند. در نتیجه الگوی پیشنهادی دوم با داشتن کمترین میزان خرج ویژه و چال‌زنی ویژه در بین سایر الگوهای پیشنهادی به‌عنوان مناسب‌ترین الگو انتخاب شد.

الگوی حاصل تا میزان بسیاری به الگوهای انفجار آزمایشی چهارم و پنجم که بهترین نتایج را در بین انفجارهای آزمایشی دارا بودن، نزدیک است. این امر با توجه به نتایج دانه‌بندی حاصل از آنالیز سرنندی انفجارهای فوق که تا حدود بسیاری در محدوده دانه‌بندی مورد نظر قرار دارند، دور از انتظار نبوده است. در مقایسه بین الگوهای انفجار آزمایشی و بهترین الگوی پیشنهادی، بیشترین مقدار خرج ویژه با ۰/۵۲ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به الگوی انفجار آزمایشی پنجم و بیشترین مقدار چال‌زنی ویژه با ۰/۱۵ متر بر متر مکعب مربوط به الگوی انفجار آزمایشی اول است. همچنین کمترین مقادیر خرج ویژه و چال‌زنی ویژه به ترتیب با مقادیر ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب و ۰/۱۰۸ متر بر متر مکعب مربوط به بهترین الگوی انفجار پیشنهادی می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، الگوی پیشنهادی دوم نسبت به تمامی الگوهای انفجار آزمایشی موجود دارای مقادیر خرج ویژه و چال‌زنی ویژه کمتری می‌باشد.

با توجه به کاهش میزان خرج ویژه، چال‌زنی ویژه و خردایش مناسب‌تر این الگو نسبت به سایر الگوهای انفجارهای آزمایشی، الگوی پیشنهادی دوم به‌عنوان مناسب‌ترین الگوی انفجار برای به‌دست آوردن مصالح خرده سنگی برای استفاده در بدنه سد گتوند انتخاب می‌شود.

۶-۲- پیشنهادها

۱- می‌توان برای دست‌یابی به الگوی مناسب، به‌جای استفاده از چندین انفجار مختلف، دو و یا حداکثر سه انفجار آزمایشی انجام داد و سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی پیش‌بینی خردایش، به الگوی انفجار مناسب دست یافت.

۲- در بررسی میزان خردشدگی حاصل از هر انفجار، می‌توان به‌جای استفاده از روش پرهزینه آنالیز سرنندی، از سایر روش‌های تعیین دانه‌بندی مانند آنالیز تصویری استفاده کرد. هرچند که روش آنالیز سرنندی دارای بالاترین دقت در تعیین میزان خردشدگی می‌باشد ولی دقت تعیین میزان خردشدگی در روش آنالیز تصویری نیز نسبت به سایر روش‌ها بسیار مناسب می‌باشد.

۳- استفاده از بوسترهای پنتولیتی ۱ و ۱/۳ یوندی در انفجارهای معدن سرریز به‌جای استفاده از دینامیت به‌عنوان پرایمر در ته چال سبب بهبود کیفیت انفجار به‌دلیل قدرت بالای این بوسترها می‌شود. همچنین به دلایل قابل دسترس بودن، عدم حساسیت در برابر شوک، ضربه، گرما، مقاومت در برابر رطوبت و سادگی کاربرد آن‌ها، با طراحی یک الگوی انفجار دیگر، استفاده گسترده از این بوسترها در انفجارهای روباز را توجیه‌پذیرتر می‌کند. این جایگزینی به لحاظ اقتصادی نیز به دلیل قیمت پائین‌تر این مواد مقرون به صرفه می‌باشد.

۴- استفاده از مواد ناریه امولسیون سان ۹۰ به‌جای دینامیت یکی دیگر از موارد قابل استفاده است، زیرا این نوع مواد ناریه از نظر سرعت انفجار، وزن واحد بسته‌بندی و همچنین شرایط اجرایی مطلوب از نظر کاهش عوارض جانبی برای آتشبار نسبت به دینامیت کارایی بهتری داشته و میزان مصرف آن نیز نسبت به دینامیت کمتر خواهد بود.

۵- برای مناسب‌تر شدن نتایج انفجار، از چاشنی‌های میکرو تاخیری استفاده شود.

منابع

منابع فارسی

- استوار رحمت ا...، ۱۳۷۵، آتشباری در معادن، جلد دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی امیر کبیر.
- اصانلو مرتضی، ۱۳۷۴، طراحی برنامه ریزی و روش های استخراج معادن سطحی، انتشارات لادن.
- ابراهیمی امیری حمید، منصوری حمید و امیر رحمت محسن، ۱۳۸۴، اعتبارسنجی نتایج حاصل از روش آنالیز تصویری در دانه بندی سنگ معدن مس سرچشمه، مجموعه مقالات دومین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه باهنر کرمان، صفحه ۱۴۹-۱۵۸.
- بخشنده امینه حسن، ۱۳۷۷، مقایسه مدل های ریاضی جهت پیش بینی ابعاد سنگ های خرد شده از انفجار معادن روباز، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه امیر کبیر.
- ثمره قنبرعلی حسین، زمانی فرشید، بررسی نقش طراحی پارامترهای فیزیکی چال های انفجاری بر ایجاد پدیده پس زدگی در معادن روباز به صورت یک مدل ریاضی، ۱۳۸۰، مجموعه مقالات اولین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه باهنر کرمان، صفحه ۲۱۱-۲۱۸.

حکمت آسیه، ۱۳۸۲، پیش‌بینی بازدهی سیستم بارگیری (شاول) بر مبنای سنگ‌های منفجر شده بزرگ مقیاس در معدن سنگ آهن گل‌گهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیر کبیر.

دهقان بنادکی محمد، مجدی عباس و رئیس گهروئی داراب، ۱۳۸۰، تعیین خردشدگی سنگ در اثر انفجار با استفاده از روش عکس‌برداری، مجموعه مقالات اولین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه باهنر کرمان، صفحه ۱۹۱-۲۰۰.

شرکت مهندسی مشانیر، ۱۳۷۹، مطالعات و بررسی‌های پی و پارامترهای ژئوتکنیک.

شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ الف، شناسنامه پروژه.

شرکت مهندسی سپاسد، ۱۳۸۱ ب، گزارش انفجارات آزمایشی در محدوده سرریز سد، کارگاه سد گتوند.

صالحی، نوذر، ۱۳۷۸، بررسی علل انحراف چال‌های انفجاری و گمانه‌ها و نحوه کنتری و اثرات ناشی از انحراف آن‌ها در عملیات انفجاری و ارائه مدل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

عطائی محمد و زیاری نادر، ۱۳۸۴، بررسی توزیع خردشدگی سنگ‌ها در اثر انفجار در معدن سنگ آهن سنگان، مجموعه مقالات دومین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه باهنر کرمان، صفحه ۱۶۹-۱۷۸.

محمدی سام و غفارزاده رضا، ۱۳۸۳، طراحی الگوی آتشباری جهت تولید مصالح سنگ‌ریزه‌ای (Rock File) در سد گتوند علیا، مجموعه مقالات کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ۵۶۵-۵۷۸.

نعمت‌اللهی حسین، ۱۳۷۵، کانه آرائی، جلد اول، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

همزه ابیازنی مرتضی، مظفری ابوالقاسم، ۱۳۸۳، طراحی نحوه استخراج معدن سنگ‌ریزه سد گتوند، مجموعه مقالات کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ۵۹۷-۶۰۱.

ویجیندرا ه.گ، ۱۳۷۸، کانه آرائی، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه صنعتی سهند، ترجمه آقابابایی حمید و خداپرست اکبر.

منابع خارجی

Ash, R.L, 1968, " The Desing of blasting, sme surface sining"

Bozday, T, Karpuz, C, 1997,"Development of a particle size ditribution analysis system by digital image processing", International Journal Of Surface Mining, Reclamation And Environmental, A.A.Balkema, PP.70-75

Cunningham C.V.B. 1983, "The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting", The 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Vol. 2, Lulea, Sweden, p.439-453.

Cunningham, C V B, 1987. "Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model" four years on, in Proceedings 2nd International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, pp 475-487, Keystone Colorado.

Dey Lecturer A., Gupta R. N., 1995, "Fragmentation prediction and assessmen on open cast blasting- a case study", Journal Of Mines, metals and fuel, PP.300-311.

Dey Lecturer, A, Dr Gupta, R.N, 1998, "Fragmentation prediction and assessment in openblast blasting"- "A Case Study", Journal Of Mines, Metals & Fuels, PP.121-125

- Dinis and Gama, C. 1995, "A model for rock mass fragmentation by blasting", Proceedings 8th International Congress on Rock Mechanics, Tokyo, Setembro de Vol. 1, pp 73-76.
- Djordjevic, N, 1999, "A two-component model of blast fragmentation", The AusIMM Proceedings, PP. 9-13
- Djordjevic, N, 1998, "Optimal blast fragmentation", Mining Magazine, PP.121-125
- Furstenau, M.C, Chi, G, 1997, "International one grindability and plant through put with controlled blasting", Mining Engineering, PP.70-75
- Heinio, M, 1999, "Principles of rock excavation technologies", Rock Excavation Handbook.
- Hustrulid, W, 1999, "Blasting principals for open pit mining", General Desing Concepts, A.A.Balkema, Rotterdam.
- <http://www.Googel earth.com>
- Kou, S.Q, Rustan, P.A. 1993, "Computerized design and result prediction of bench blasting", FragBlast-4 A. A Balkema Publ. Rotterdam.
- Kuznetsov, V.M, 1973, "The mean diameter of fragments formed by blasting rock", Soviet Mining Science, Vol 9 (2), 144-148.
- Lilly, P.A., 1986. "An empirical method of assessing rock mass blastability", in Davidson, J.R. (editor) Proceedings AusIMM/I.E.Australia Newman Combined Group Large Open Pit Mining Conference, 89- 92.
- Lopez jimeno, C, Lopez jimeno, E, Ayala Carcedo, F.J, 1995 ," Drilling And Blasting Of Rocks", A.A.Balkema, Rotterdam, BrookField

- Palangio, T.C, and Maerz, N.H.,1999. "Case studies using the WipFrag image analysis system". FRAGBLAST 6, Sixth International Symposium For Rock Fragmentation By Blasting, Johannesburg, South Africa, pp.117-120
- Maerz,N.H., and Zhou,W.,2000, "Calibration of optical digital fragmentation measuring systems". FRAGBLAST, the International Journal For Blasting and Fragmentation. pp. 126-138.
- Olafsson, stig.O, 1995, " Applied explosives technology for construction and mining", 342 P.
- Singh, S.P, Yalcin, T., Glogger, M. and Narendrula, R., 2003, "Interaction between the size distributaion of the muck and the loading equipment", Computer Applcation in the Minerals Industries.

Abstrakt

The good fragmentation is a technical objective and it depends on the type and size of rock also the loading and haulage equipment it must be known that the blasting method were used then we could have the blast abiliting of rocks.

As it known that the gotvand dam has made of fragmented material that they were resulted of drilling and blasting method.

In this study the result of several explosions were tested by screening analysis. Based on test results a match matichal formula were provided and then the best drilling and blasting pattern were shosen .

Key word

Drilling and blasting pattern, gotvand upper dam , fragmentation , rock - Fill