



بررسی مدل‌های کاز-رام و کاز-رام اصلاح شده در پیش بینی میزان خردایش سه انفجار آزمایشی در بزرگترین معدن تولید مصالح پروژه ی سد و نیروگاه رودبار لرستان

علی روشنی^۱، زهرا کاظم زاده^۲

۱- یزد، دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی معدن

۲- تهران، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان

Ali.roshani65@gmail.com

خلاصه

در مهندسی انفجار خردشدگی یک مسئله ی کاربردی و مهم است که به نوع استفاده از سنگ بستگی دارد. خردایش سنگ به فاکتور های زیادی از جمله خصوصیات توده ی سنگ، پارامتر های هندسی چال و نوع ماده ی منفجره بستگی دارد. لذا تعیین خصوصیات ژئومکانیکی توده ی سنگ در عملیات آتشکاری از اهمیت بسزایی برخوردار است. مدل های کاز-رام و کاز-رام اصلاح شده دو مدل تجربی و کاربردی برای پیش بینی توزیع خردشدگی محصولات حاصل از انفجار هستند. در مدل کاز-رام ضریب سنگ و در مدل کاز-رام اصلاح شده شاخص قابلیت انفجار (BI) نماینده ی خصوصیات ژئومکانیکی توده ی سنگ می باشند. پژوهش پیش رو تنها گزارشی است مبنی بر عدم کارایی مدل های کاز-رام و کاز-رام اصلاح شده در پیش بینی خردایش محصولات حاصل از سه انفجار آزمایشی در بزرگترین معدن تولید مصالح پروژه ی سد و نیروگاه رودبار لرستان.

کلمات کلیدی: مدل کاز-رام، مدل کاز-رام اصلاح شده، خردایش، مهندسی انفجار.

۱. مقدمه

پروژه ی سد و نیروگاه رودبار لرستان در فاصله ی حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهرستان الیگودرز واقع شده است. به دلیل شرایط خاص توپوگرافی حاکم بر منطقه، اختلاف ارتفاع طبیعی حدود ۳۰۰ متر بین ساختگاه سد و محل نیروگاه ایجاد شده است و استفاده از این پتانسیل طبیعی جهت تولید انرژی برق آبی طرح سد و نیروگاه رودبار لرستان را به لحاظ اقتصادی توجیه می کند. معادن سنگ آهک پروژه ی رودبار لرستان در دو دامنه ی اصلی شمالی و جنوبی کوه های مشرف به محل محور سد و کارگاه کیش (کمپ دائم) قرار گرفته اند. برای تامین مصالح سنگ ریزه ای مورد نیاز طرح، بر اساس عملیات اکتشافی و مطالعات انجام شده در فاز یک تعداد ۱۰ معدن سنگ آهک پیش بینی شده است. با توجه به بررسی های انجام شده معادن AX₁ و AX₂ به دلیل موقعیت مناسب و حجم بالا و همچنین نزدیکی به محل سد جهت تامین مصالح انتخاب شدند. انفجارات آزمایشی انجام شده در معدن AX₁ به عنوان بزرگترین معدن تولید مصالح صورت گرفته است. [۳]

خردایش سنگ توسط انفجار تاثیر بسزایی بر هزینه های چالزنی، انفجار، بارگیری، ترابری و سنگ شکنی دارد. خردایش سنگ به فاکتور های زیادی از جمله خصوصیات توده ی سنگ، پارامتر های هندسی الگو ی انفجار و نوع ماده ی منفجره بستگی دارد. از سالها پیش تلاشهای زیادی برای پیش بینی میزان خرد شدگی حاصل از انفجار انجام شده است. به علت پیچیدگی مکانیزم خرد شدن توسط انفجار، اغلب این تلاشها تجربی بوده اند. در حال حاضر مدل های ریاضی متعددی برای پیش بینی توزیع خردایش مورد استفاده قرار میگیرند که میتوان از این میان به مدل های لارسون، دنیس و گاما، کازتسوف، کاز-رام و مدل اصلاح شده ی کاز-رام اشاره کرد [۸] و [۵]. این تحقیق مقایسه ای است میان نتایج حاصل از پیش بینی توزیع خردشدگی توسط مدل های کاز-رام و کاز-رام اصلاح شده با نتایج حاصل از آنالیز سرندهی سه انفجار آزمایشی.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی گیاه پزشکی



۲. زمین شناسی معدن AX1

معدن AX1 در فاصله ی ۱/۵ کیلومتری پایین دست تکیه گاه راست سد قرار گرفته است. جنس سنگ این معدن همانند سنگ آهک دولومیتی موجود در تکیه گاه های محور سد از سازند دالان میباشد. بر اساس مطالعات زمین شناسی به عمل آمده در مرحله ی دوم مطالعاتی طرح و تدقیق آن با نتایج حاصل از مطالعات بعد از حفاری ترانشه های اکتشافی، مشخص شد که لایه های تشکیل دهنده بخش بالایی جناح راست سد از جنس آهک دولومیتی و دولومیت آهکی به رنگ خاکستری تیره می باشد و از هوازدگی متوسطی برخوردار هستند. سنگ های این ناحیه مستحکم بوده و در عمق در مناطق نزدیک به گسل های دربرگیرنده از استحکام آن ها کاسته میشود. درز و شکاف بین سنگ ها در ناحیه توسط کانی ثانویه ی کلسیت پر شده است. [۳]

۳. مدل کاز-رام

مدل تجربی کاز-رام بر اساس دو معادله ی کازتسلف و رزین-راملر بنا شده است. در مدل تجربی کاز-رام پارامترهایی چون جنس سنگ، چگونگی ناپیوستگی ها، خرج ویژه، نوع مواد منفجره، قطر چال و ... مد نظر قرار گرفته است.

۳.۱. معادله ی کازتسلف

متوسط ابعاد قطعات حاصل از خردایش به کمک رابطه ی ۱ (معادله ی کازتسلف) قابل محاسبه است. [۸]

$$X_m = A (PF)^{-0.8} Q_e \left(\frac{115}{Sanfo} \right)^{0.633} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه X_m بعد متوسط ابعاد قطعات خرد شده بر حسب سانتیمتر، A فاکتور سنگ که مقدار آن از جدول شماره ۱ قابل استخراج است. PF خرج ویژه، Q_e وزن خرج به کار رفته در یک چال بر حسب کیلو گرم و $Sanfo$ قدرت وزنی ماده ی منفجره نسبت به قدرت وزنی آنفو است (۱۰۰ برای آنفو)

جدول ۱ (مقدار ضریب سنگ (A))

| ضریب سنگ | وضعیت ساختاری توده ی سنگ |
|----------|--------------------------|
| ۵ | سنگ خیلی نرم |
| ۲ | سنگ نرم |
| ۷ | سنگ متوسط |
| ۱۰ | سنگ سخت و درزه دار |
| ۱۲ | سنگ سخت و همگن |

طبق شرایط زمین شناسی حاکم بر معدن AX1 ضریب سنگ در این معدن مقدار ۱۰ در نظر گرفته شده است

۳.۲. معادله ی رزین-راملر

این معادله برای پیش بینی توزیع ابعاد خردایش به کار می رود که توسط رابطه ی ۲ بیان میشود. [۹]

$$R_m = 1 - e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \quad \text{رابطه ۲}$$



در رابطه ی ۲ مقدار R_m در صد مقدار عبوری از سرند، X_c اندازه ی مشخصه ی سرند بر حسب سانتیمتر (معادل دهانه ی سرندی که ۶۳/۲ درصد مواد از آن عبور کند) X سایز سرند بر حسب سانتیمتر و n شاخص یکنواختی میباشد.

مقدار شاخص یکنواختی از رابطه ی ۳ قابل محاسبه است.

$$n = (2.2 - 14 \left(\frac{B}{D}\right)) \left(1 - \frac{W}{B}\right) \left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2}\right)^{0.5} (0.1 + abc \left(\frac{BCL - CCL}{L}\right))^{0.1} \left(\frac{L}{H}\right) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در این رابطه B بار سنگ بر حسب متر، S فاصله ی ردیفی چال ها بر حسب متر، D قطر چال بر حسب میلی متر، W انحراف چال بر حسب متر، L طول کلی خرج بر حسب متر، ارتفاع پله بر حسب متر، BCL طول خرج تحتانی، CCL طول خرج میانی بر حسب متر و abc قدر مطلق میباشد. و سپس با ترکیب دو معادله ی کازنتسف و رزین - راملر به رابطه ی نهایی ۴ خواهیم رسید.

$$R_m = 1 - e^{-0.693 \left(\frac{X}{X_m}\right)^n} \quad \text{رابطه ۴}$$

۴. مدل کاز - رام اصلاح شده

با توجه به پیچیدگی های شناخت عوامل و طبقه بندی توده ی سنگ، ضریب سنگ را نمیتوان به صورت دقیق با یک توصیف کیفی آنچنان که در جدول ۱ آمده تعیین کرد. لذا کائینگهام ضریب سنگ را به صورت تابعی از شاخص قابلیت انفجار (BI) ارائه نمود که از رابطه ی ۵ تعیین میشود.

$$A = 0.06 (RMD + JPS + JPA + RDI + HF) \quad \text{رابطه ۵}$$

پارامترهای ضریب سنگ در مدل کاز - رام اصلاح شده از جدول شماره ی ۲ قابل استخراج است.

جدول شماره ی ۲- پارامترهای ضریب سنگ (A) اصلاح شده

| امتیاز | پارامترهای ژئومکانیکی | امتیاز | پارامترهای ژئومکانیکی |
|------------|--------------------------------------|------------|--|
| JPA | زاویه ی صفحه ی ناپوستگی | RMD | شرح توده ی سنگ |
| 20 | شیب به طرف بیرون سینه کار | 10 | پودری (بلوکی) |
| 30 | امتداد عمود بر سینه کار | 20 | بلوکی |
| 40 | شیب به طرف داخل سینه کار | 50 | توده ای |
| RDI | تأثیر چگالی سنگ | JPS | فاصله ی ناپوستگی ها |
| 25*RD-50 | RD: چگالی سنگ | 10 | کمتر از ۱ متر |
| HF | فکتور سختی سنگ | 20 | بین ۱۰ سانتیمتر تا ۱ متر |
| E/3 | E: مدول یانگ کمتر از ۵۰ گیگا پاسگال | 50 | بیشتر از ۱ متر |
| UCS/5 | E: مدول یانگ بیشتر از ۵۰ گیگا پاسگال | | UCS مقاومت فشاری تک محوری سنگ بر حسب Mpa |

طبق برداشتهای صورت گرفته از معدن پارمترهای ضریب سنگ اصلاح شده در هر سه انفجار آزمایشی برای معدن AX۱ طبق جدول شماره ی ۳

میباشد

جدول شماره ی ۳- مقدار پارامترهای ضریب سنگ اصلاح شده برای معدن AX۱

| | |
|-------|-----|
| 13 | RMD |
| 20 | JPS |
| 30 | JPA |
| 16.25 | RDI |
| 4.17 | HF |
| 5 | A |



۵. مشخصات فنی و توزیع خردایش انفجارها

۵.۱. انفجار شماره یک

مشخصات فنی پترن آتشیاری انفجار شماره ۱ مطابق جدول شماره ۴ میباشد .

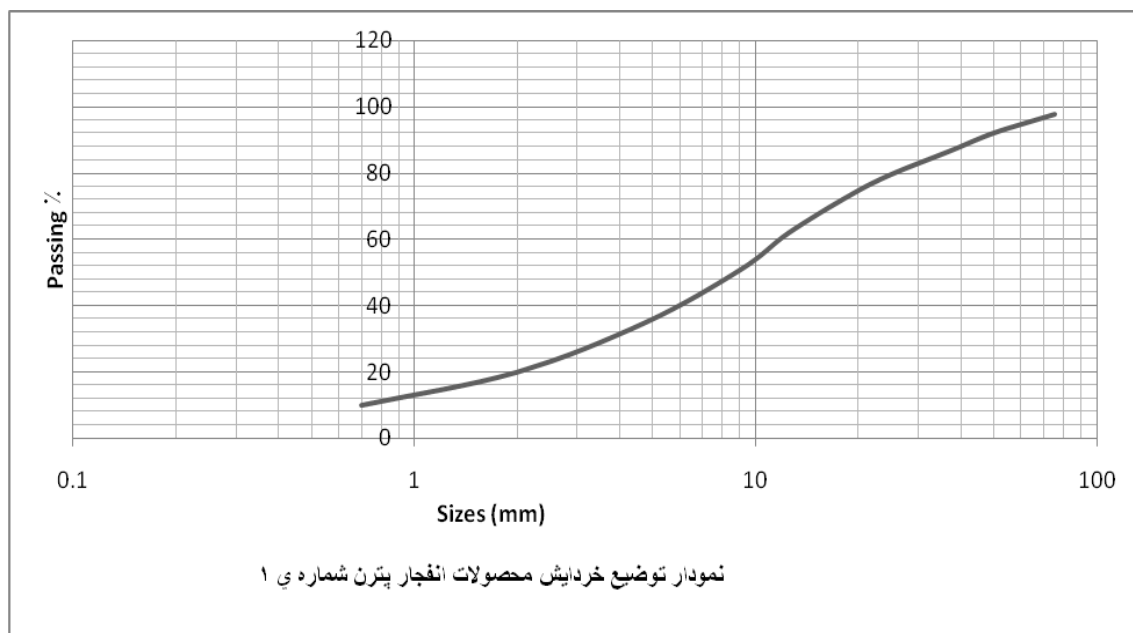
جدول ۴ (مشخصات فنی پترن آتشیاری انفجار شماره ۱)

| ردیف | تعداد چال | تعداد چاشنی | نوع چاشنی | نوع بوستر | بوستر هر چال | بوستر کل | نوع ماده ی منفجره | آنفوی هر چال (کیلوگرم) | آنفوی کل (کیلوگرم) |
|------|-----------|-------------|-----------|-----------------|--------------|----------|-------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 10 | 5 | MS2 | بوستر نیم پوندی | 1 | 10 | آنفو | 8.3 | 83 |
| 2 | 9 | 5 | MS4 | بوستر نیم پوندی | 1 | 9 | آنفو | 8.3 | 74 |
| 3 | 10 | 5 | MS6 | بوستر نیم پوندی | 1 | 10 | آنفو | 8.3 | 83 |

| | | | | | | |
|------|------|-------|----------|------|--------|--------|
| B=1m | S=1m | St=1m | Q=2Kg/M3 | H=4m | W=0.2m | D=76mm |
|------|------|-------|----------|------|--------|--------|

نمودار توزیع دانه بندی محصولات حاصل از انفجار پترن شماره ۱ مطابق شکل ۱ است .

شکل ۱ (نمودار توزیع دانه بندی محصولات حاصل از انفجار پترن شماره ۱)





۵.۲. انفجار شماره ی دو

مشخصات فنی پترن آتشباری انفجار شماره ۲ مطابق جدول شماره ۵ می باشد.

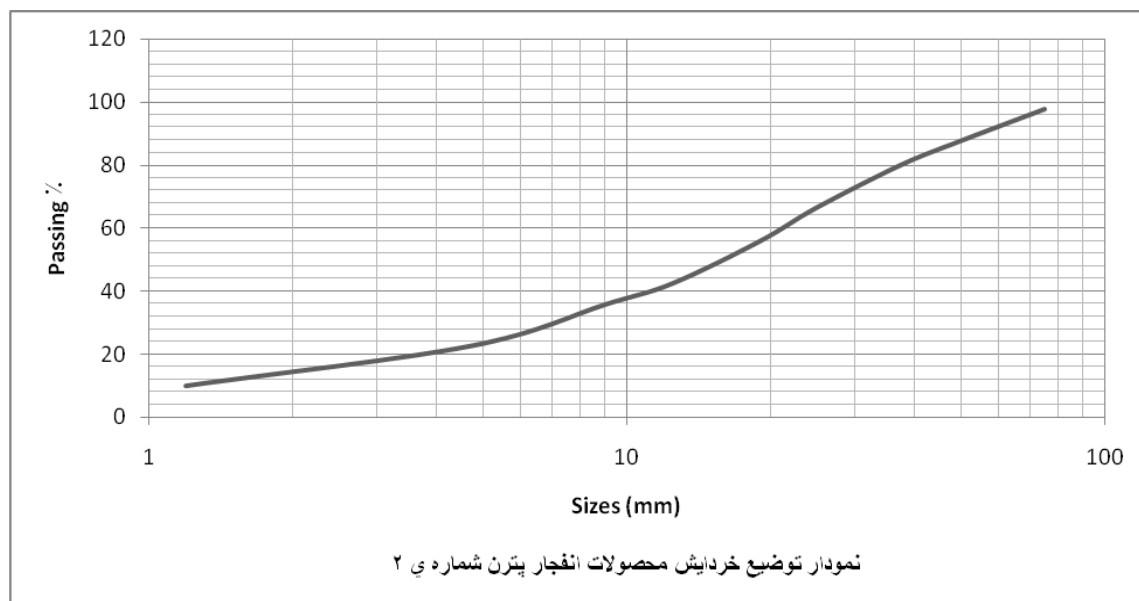
جدول ۵ (مشخصات فنی پترن آتشباری انفجار شماره ی ۲)

| ردیف | تعداد چال | تعداد چاشنی | نوع چاشنی | نوع ماده ی منفجره | امولایت هر چال (کیلوگرم) | امولایت کل (کیلوگرم) |
|------|-----------|-------------|-----------|-------------------|--------------------------|----------------------|
| ۱ | 2 | 5 | MS2 | امولایت ۳۵ | 10 | 8 |
| ۲ | 6 | 5 | MS4 | امولایت ۳۵ | 10 | 24 |
| ۳ | 6 | 5 | MS6 | امولایت ۳۵ | 10 | 24 |
| ۴ | 6 | 5 | MS8 | امولایت ۳۵ | 10 | 24 |
| ۵ | 6 | 5 | MS10 | امولایت ۳۵ | 10 | 24 |

| | | | | | | |
|--------|--------|---------|-------------|------|--------|--------|
| B=1.5m | S=1.5m | St=1.5m | Q=0.39Kg/M3 | H=5m | W=0.2m | D=76mm |
|--------|--------|---------|-------------|------|--------|--------|

نمودار توزیع دانه بندی محصولات حاصل از انفجار پترن شماره ی ۲ مطابق شکل شماره ۲ است.

شکل ۲ (نمودار توزیع دانه بندی محصولات حاصل از انفجار پترن شماره ی ۲)



۵.۳. انفجار شماره ی سه

مشخصات فنی پترن انفجار شماره ی ۳ طبق جدول شماره ی ۶ است.



جدول شماره ۶ (مشخصات فنی پترن انفجار شماره ۳)

| ردیف | تعداد چال | تعداد چاشنی | نوع چاشنی | نوع بوستر | بوستر هر چال | بوستر کل | نوع ماده ی منفجره | آنفوی هر چال (کیلوگرم) | آنفوی کل (کیلوگرم) |
|------|-----------|-------------|-----------|-----------------|--------------|----------|-------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | 6 | 6 | MS1 | بوستر ۱/۳ پوندی | 1 | 6 | آنفو | 10.6 | 64 |
| 2 | 6 | 6 | MS2 | بوستر ۱/۳ پوندی | 1 | 6 | آنفو | 9.1 | 55 |
| 3 | 6 | 6 | MS3 | بوستر ۱/۳ پوندی | 1 | 6 | آنفو | 9.1 | 55 |
| 4 | 6 | 6 | MS4 | بوستر ۱/۳ پوندی | 1 | 6 | آنفو | 9.1 | 55 |
| 5 | 6 | 6 | MS5 | بوستر ۱/۳ پوندی | 1 | 6 | آنفو | 9.1 | 55 |
| 6 | 5 | 6 | MS6 | بوستر ۱/۳ پوندی | 1 | 5 | آنفو | 9.1 | 55 |

| | | | | | | |
|------|--------|-------|--------------|------|--------|--------|
| B=۳m | S=3.5m | St=3m | Q=0.183Kg/M3 | H=7m | W=0.3m | D=76mm |
|------|--------|-------|--------------|------|--------|--------|

نمودار توزیع دانه بندی محصولات حاصل از انفجار پترن شماره ۳ مطابق شکل ۳ است.

شکل ۳ (نمودار توزیع دانه بندی محصولات حاصل از انفجار پترن شماره ۳)



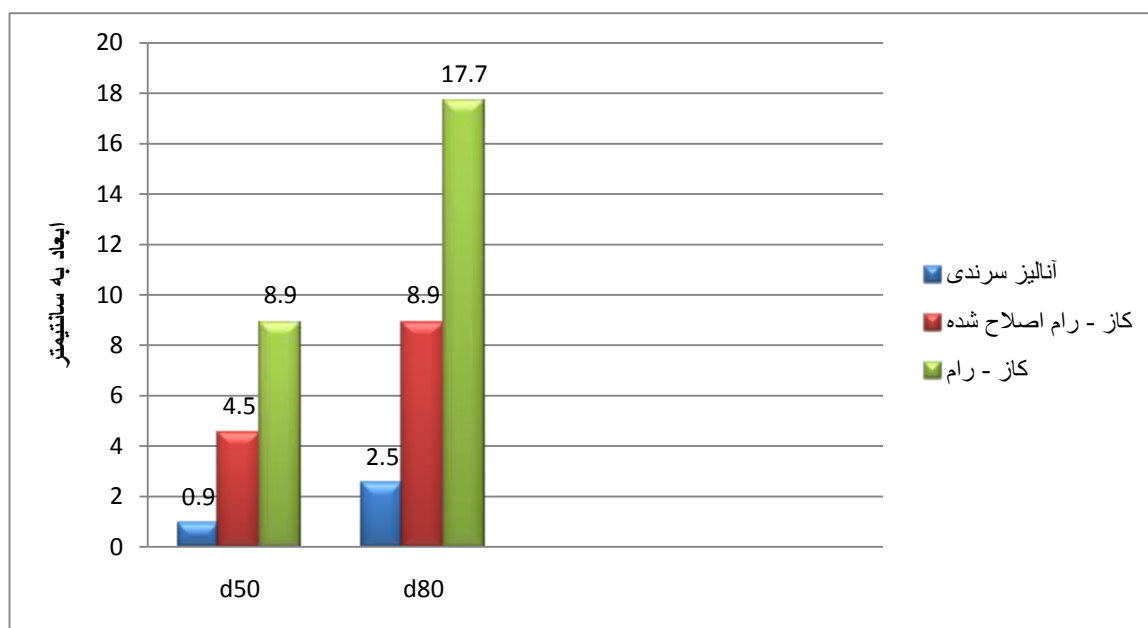


با توجه به مشخصات فنی هر انفجار و نمودارهای توزیع خردایش جداول ۹، ۸، ۷ به عنوان هدف نهایی این تحقیق قابل ارائه میباشند.

جدول شماره ۷ (پترن شماره ۱)

| مدل بیان توزیع خردایش | d 50 (cm) | d 80 (cm) |
|-----------------------|-----------|-----------|
| کاز - رام | ۸/۹ | ۱۷/۷ |
| کاز - رام اصلاح شده | ۴/۵ | ۸/۹ |
| آنالیز سرندی | ۰/۹ | ۲/۵ |

شکل شماره ۴ (نمودار مقایسه ابعاد محصولات حاصل از انفجار شماره ۱ در دو ساینز d50 & d80)

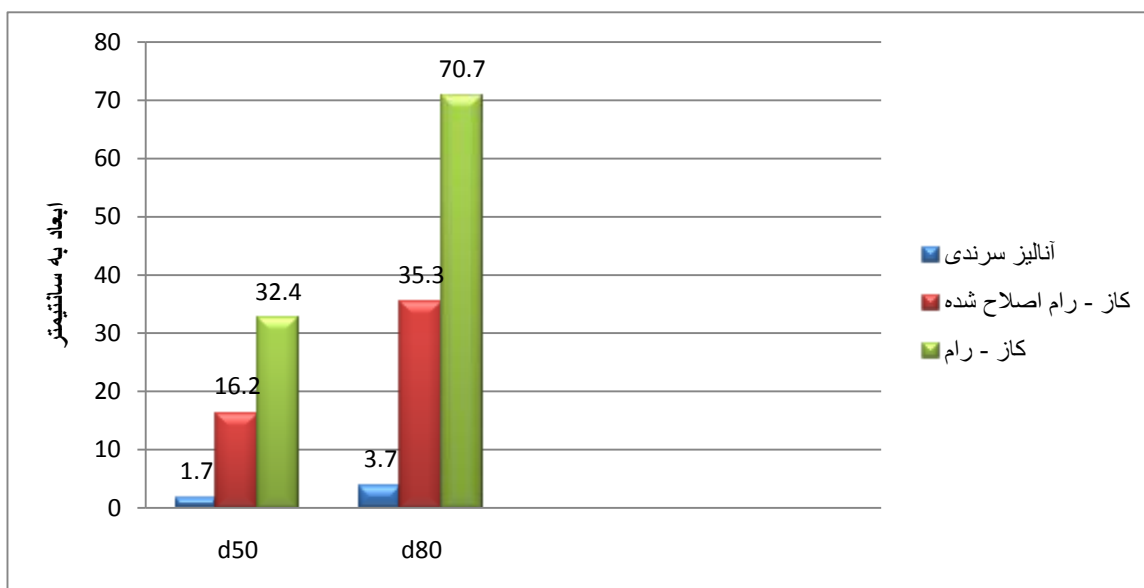


جدول شماره ۸ (پترن شماره ۲)

| مدل بیان توزیع خردایش | d 50 (cm) | d 80 (cm) |
|-----------------------|-----------|-----------|
| کاز - رام | ۳۲/۴ | ۷۰/۷ |
| کاز - رام اصلاح شده | ۱۶/۲ | ۳۵/۳ |
| آنالیز سرندی | ۱/۷ | ۳/۷ |



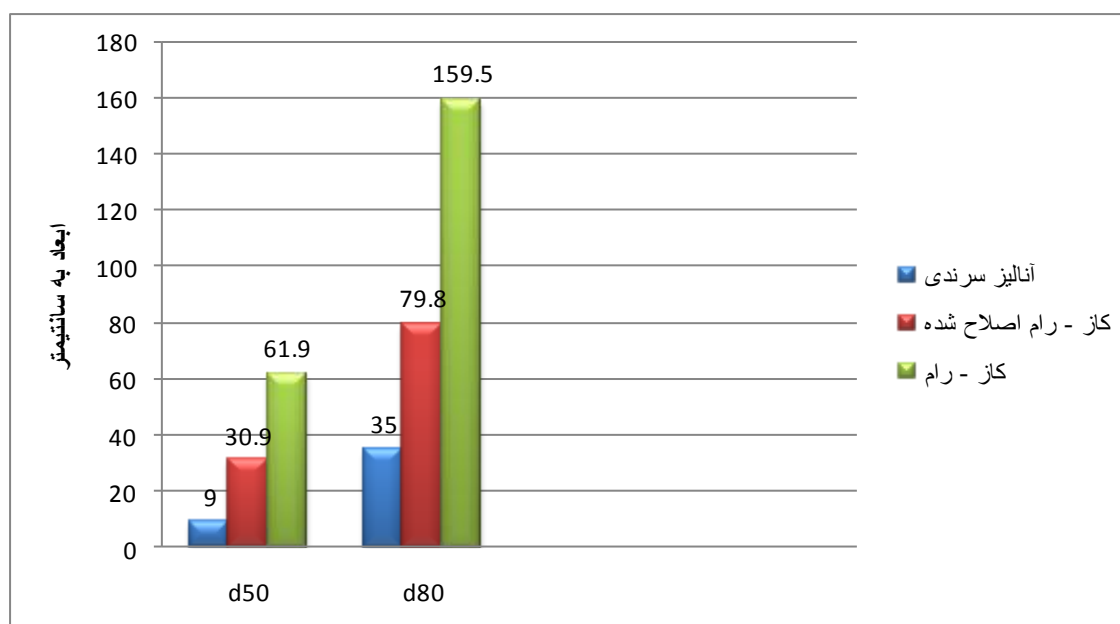
شکل شماره ۵) نمودار مقایسه ابعاد محصولات حاصل از انفجار شماره ۲ در دو سایز d50 & d80



جدول شماره ۹ (پترن شماره ۳)

| d 80 (cm) | d 50 (cm) | مدل بیان توزیع خردایش |
|-----------|-----------|-----------------------|
| ۱۵۹/۵ | ۶۱/۹ | کاز - رام |
| ۷۹/۸ | ۳۰/۹ | کاز - رام اصلاح شده |
| ۳۵ | ۹ | آنالیز سرندی |

شکل شماره ۶) نمودار مقایسه ابعاد محصولات حاصل از انفجار شماره ۳ در دو سایز d50 & d80





۶. نتیجه گیری

با عنایت به جداول شماره ۹، ۸، ۷ و شکل های شماره ۶، ۵، ۴ مشاهده میگردد که نتایج حاصل از آنالیز سرنندی به عنوان دقیق ترین مدل توزیع خردایش، تفاوت بارزی با نتایج حاصل از مدل های کاز - رام و کاز - رام اصلاح شده دارد، هر چند نتایج حاصل از مدل کاز - رام اصلاح شده نسبت به مدل کاز - رام به واقعیت نزدیک تر است، اما با این وجود، اختلاف نتایج حاصل از مدل کاز - رام اصلاح شده با نتایج حاصل از آنالیز سرنندی فاحش بوده و غیر قابل پذیرش میباشد، از این رو در این سه انفجار آزمایشی هیچکدام از مدل های کاز - رام و کاز - رام اصلاح شده به عنوان یک مدل پیش بینی ابعاد خردایش انطباق خوبی با آنالیز سرنندی نداشته و عملاً مفید واقع نگردیدند، لذا نیاز به یک رابطه جدید و کارآمد تجربی در پیش بینی توزیع خردایش که شامل پارامترهای بیشتری از انفجار است، هنوز بیش از پیش احساس میشود.

۷. تشکر و قدر دانی

نظر به اینکه تحقیق در زمینه مهندسی انفجار بسیار هزینه بر و تحت تدابیر امنیتی انجام میگردد، از این رو امکان پژوهش در این راستا بسار دشوار و در چهارچوب مقررات خاصی انجام میشود و ارگان ها و شرکتهای خاصی زیر بار این هزینه ها و مقررات میروند، لذا لازم میدانم از کلیه پرسنل بخش معاونت فنی و معاونت بدنه سد رودبار لرستان در شرکت مهندسی سپاسد خصوصاً آقای مهندس مجید فروتن که امکان این پژوهش را فراهم نمودند تشکر نمایم.

۸. مراجع

- ۱- استوار، رحمت الله ۱۳۷۶، "آتشکاری در معادن"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جلد اول
- ۲- استوار، رحمت الله ۱۳۷۶، "آتشکاری در معادن"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر جلد دوم
- ۳- مدارک و جزوات موجود در مرکز اسناد و کتابخانه پروژه سد و نیروگاه رودبار لرستان
- 4-Morin, A. Mario, Ficarazzo, F.2006,"Monte Carlo simulation as a tool to predict blasting fragmentation based on the Kuz-Ram model", computer & Geosciences 32,352-359
- 5-shim, j.,Hyn, 2008, optimized blasting design for large-scale quarrying based on a 3-D spatial distribution of rock factor mechanics & mining sciences
- 6-Chakraborty, A.K., 2004, parametric study to develop guidelines for blast fragmentation improvement in jointed and massive formation engineering Geology 73, 105-116
- 7-Lopez, J., Carlo, 1995, Drilling & Blasting of rock : A.A. Balkema , Rotterdam, Brookfield
- 8-Hustulid W,1990,"Blasting principles for open pit mining, vol 1, A.A. Balkema/Rotterdam
- 9-Cuningham C.V.B 1983, "The Kuz-Ram model for production of fragmentation from blasting." The 1st international by blasting, vol.2 Culea Sweden, p 439-453