

## ارائه روشی کاربردی برای دستیابی به خردشدگی مورد نیاز در معادن سنگریزه سد گتوند علیا

حسن بخشنده امنیه<sup>۱\*</sup>، حمید رضا مالکی نژاد<sup>۲</sup>

۱-دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران [hbakhshandeh@ut.ac.ir](mailto:hbakhshandeh@ut.ac.ir)  
۲-کارشناس ارشد استخراج، گروه معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان [malekinezhad@grad.kashanu.ac.ir](mailto:malekinezhad@grad.kashanu.ac.ir)

(دریافت ۱ تیر ۱۳۹۱، پذیرش ۱ تیر ۱۳۹۲)

### چکیده

خردشدگی ناشی از انفجار نقش مهمی در کنترل و کاهش هزینه های عملیات بارگیری، باربری و سنگ شکنی دارد. بنابراین پیش-بینی خردشدگی حاصل از انفجار در طراحی عملیات انفجار بهینه بسیار مؤثر خواهد بود. سد گتوند علیا بزرگ ترین سد سنگریزه ای کشور با هسته رسی است که روی رودخانه کارون در دست ساخت است. بر اساس مشخصات فنی طرح برای مصالح بدنه سد دانه بندی ویژه ای در نظر گرفته شده است. بنابراین تأمین مصالح مورد نیاز آن نیازمند طراحی الگوی عملیات انفجاری مناسب است. هدف اصلی این تحقیق ارائه روشی کاربردی برای طراحی پارامترهای طرح عملیات انفجار است به گونه ای که تأمین کننده خردشدگی مورد نیاز باشد. در این تحقیق از مدل تجربی ck برای پیش بینی توزیع خردشدگی حاصل از انفجار استفاده شده است. این مدل با استفاده از نتایج تجزیه سرندي مصالح سنگریزه معادن سد گتوند علیا تصحیح و پس از اعتبارسنجی به عنوان مدل مبنا برای تعیین پارامترهای طرح عملیات انفجار استفاده شده است. قرار گرفتن منحنی توزیع خردشدگی الگوهای پیشنهادی در پوش مجاز خردشدگی مصالح بدنه سد نشان می دهد که روش به کار گرفته شده، روشی مناسب برای دستیابی به خردشدگی مورد نیاز در انفجارهای معادن روباز است.

### کلمات کلیدی

انفجار، پیش بینی خردشدگی، مدل ck، پردازش تصویر

## ۱- مقدمه

در بسیاری از معادن عملیات چالزنی و انفجار به‌عنوان اولین مرحله خردایش سنگ محسوب می‌شود. خردشدگی بهینه موضوعی هدفمند بوده که بسته به استفاده نهایی از سنگ و تجهیزات به کار گرفته شده در بخش‌های مختلف عملیات معدن‌کاری متفاوت خواهد بود [۱]. آرژوسکی<sup>۱</sup> (۱۹۸۵) نشان داد که اندازه بهینه قطعات سنگ بایستی بین ۰/۱۵ تا ۰/۲ ریشه سوم حجم جام شاول باشد [۲].

$$X_{OPT} = (0.15 - 0.2)V^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

که در آن V: حجم جام شاول (متر مکعب) است. جیمینو و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که اندازه بهینه قطعات سنگ بایستی ۰/۱۲۵ تا ۰/۱۶۶ اندازه جام شاول و ماکزیمم اندازه قطعات ۰/۷ اندازه جام شاول باشد [۳].

بنابراین با مشخص بودن اندازه بهینه خردشدگی، گام بعدی طراحی پارامترهای طرح انفجاری است به گونه‌ای که تأمین‌کننده خردشدگی مورد نیاز باشند. در این مرحله برای جلوگیری از افزایش تعداد انفجارهای آزمایشی، پیش‌بینی خردشدگی حاصل از انفجار ابزارهای مناسب برای دستیابی به پارامترهای طرح انفجار خواهد بود. در چهل سال گذشته مدل‌های تجربی بسیاری همچون مدل کوزنتسوف، کوز-رم، لارسون، سوندیفو، CK و KCO برای پیش‌بینی خردشدگی حاصل از انفجار ارائه شده است که در این میان مدل کوزنتسوف به طور گسترده در انفجارهای بزرگ مقیاس توسط محققان مختلف استفاده شده است.

کوزنتسوف (۱۹۷۳) رابطه‌ای را برای تعیین متوسط اندازه قطعات حاصل از انفجار ارائه کرد که در آن متوسط اندازه خردشدگی تابعی از نوع سنگ، مقدار ماده منفجره مصرفی و حجم سنگ شکسته شده است (رابطه ۲) [۴].

$$X_M = A \left( \frac{V}{Q_{TNT}} \right)^{0.8} (Q_{TNT})^{0.166} \quad (2)$$

که در آن  $X_M$ : اندازه متوسط قطعات (سانتی‌متر)، A: فاکتور سنگ، V: حجم سنگ شکسته شده هر چال (متر مکعب) و  $Q_{TNT}$ : جرم TNT حاوی انرژی معادل خرج انفجاری در هر چال (کیلوگرم) است.

در مواردی مانند مصالح مورد نیاز بدنه سدهای سنگریزه‌ای، اکتفا کردن به یک اندازه مشخص مانند متوسط اندازه خردشدگی کافی نخواهد بود. کونینگهام (۱۹۸۳) برای بیان خردشدگی حاصل از انفجار از توزیع روزین - راملر استفاده کرد که در آن با مشخص بودن اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی، کل توزیع خردشدگی قابل دستیابی است. توزیع روزین - راملر با رابطه ۳ بیان می‌شود [۵].

$$R(X) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{X}{X_c} \right)^n \right) \quad (3)$$

که در آن  $R(x)$ : نسبت قطعات عبوری از دهانه سرند X،  $X$ : اندازه دهانه سرند (سانتی متر)،  $X_c$ : اندازه مشخصه و n: شاخص یکنواختی منحنی توزیع خردشدگی است.

کونینگهام (۱۹۸۳، ۱۹۸۷) مدلی تجربی برای تعیین شاخص یکنواختی توزیع خردشدگی حاصل از انفجار ارائه کرد که در آن شاخص یکنواختی تابعی از پارامترهای طرح انفجار بوده و با رابطه ۴ بیان شده است [۵]، [۶].

$$n = \left( 2.2 - 14 \frac{B}{d} \right) \left( 1 - \frac{W}{B} \right) \left( \frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right)^{0.5} \left( \frac{L}{H} \right) \quad (4)$$

که در آن B: بارسنگ (متر)، d: قطر چال (میلی متر)، W: انحراف استاندارد از دقت حفاری (متر)، S: فاصله چال‌ها در یک ردیف (متر)، L: طول خرج گذاری (متر) و H: ارتفاع پله (متر) است.

روش‌های متعددی برای ارزیابی خردشدگی حاصل از انفجار به کار گرفته شده است. از آن جمله می‌توان محاسبه تعداد سنگ‌های بزرگ مقیاس، میزان ماده منفجره مصرفی در انفجارهای ثانویه، نرخ بارگیری شاول، تجزیه سرندهی و پردازش تصویر را نام برد. با وجود اینکه تجزیه سرندهی به‌عنوان دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری خردشدگی شناخته شده است اما به دلیل ایجاد وقفه در عملیات و هزینه بر بودن استفاده از سیستم‌های پردازش تصویر مانند اسپلیت<sup>۲</sup>، گلدسایز<sup>۳</sup> و فرگ آلیست<sup>۴</sup> گسترش پیدا کرده است و امروزه این روش با وجود خطاهای ذاتی همراه آن به عنوان روشی رایج برای ارزیابی خردشدگی محسوب می‌شود [۱] - [۲].

در این تحقیق با استفاده از ترکیب روش تجزیه سرندهی، مدل چونگ - کاتسابانیز و پردازش تصویر برای معادن سنگریزه سد گتوند علیا الگوهای انفجاری طراحی شده است به گونه‌ای که تأمین‌کننده خردشدگی مورد نیاز باشند.

## ۲- مدل چونگ-کاتسابانیز (ck)

چونگ و کاتسابانیز (۲۰۰۰) با استفاده از نتایج تجزیه سرنندی انفجارهای کوچک مقیاس نشان دادند که مدل کوز-رم شاخص یکنواختی توزیع خردشدگی حاصل از انفجار را بیش از مقدار واقعی آن تخمین می‌زند. آن‌ها پیشنهاد کردند در صورتی که برای محاسبه شاخص یکنواختی و اندازه مشخصه منحنی توزیع خردشدگی از رابطه های ۵ و ۶ استفاده شود منحنی حاصل برازش بهتری نسبت به داده‌های موجود خواهد داشت [۷].

$$n = \frac{0.842}{\ln x_{80} - \ln x_{50}} \quad (5)$$

$$X_c = e^{0.565 \ln x_{50} + 0.435 \ln x_{80}} \quad (6)$$

که در آن  $n$ : شاخص یکنواختی،  $x_{50}$ : اندازه دهانه سرنندی ۵۰ درصد مواد از آن عبور کنند،  $x_{80}$ : اندازه دهانه سرنندی ۸۰ درصد مواد از آن عبور کنند و  $x_c$ : اندازه مشخصه (دهانه سرنندی که ۶۳/۲ درصد مواد از آن عبور کنند) است. سپس با استفاده از داده های انفجارهای کوچک مقیاس رابطه ای کلی را به شکل رابطه های ۷ و ۸ برای  $x_{80}$  و  $x_{50}$  تعریف کردند.

$$X_{50} = AQ^\alpha B^\beta \left(\frac{S}{B}\right)^\gamma H^\delta t^\varepsilon \quad (7)$$

$$X_{80} = AQ^\alpha B^\beta \left(\frac{S}{B}\right)^\gamma H^\delta t^\varepsilon \quad (8)$$

که در آن  $A$ : فاکتور سنگ،  $Q$ : مقدار خرج در چال انفجاری (کیلوگرم)،  $B$ : بارسنگ (متر)،  $S$ : فاصله چال ها در یک ردیف (متر)،  $H$ : ارتفاع پله (متر)،  $t$ : زمان تأخیر و  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ : ثابت های محل انفجار هستند. به دلیل کم بودن مشاهدات اثر تأخیر، این پارامتر از معادلات حذف شد و رابطه های ۹ و ۱۰ از تحلیل رگرسیون غیر خطی حاصل شد.

$$X_{50} = AQ^{-1.193} B^{2.461} \left(\frac{S}{B}\right)^{1.254} H^{1.266} \quad (9)$$

$$X_{80} = 3AQ^{-1.07} B^{2.43} \left(\frac{S}{B}\right)^{1.013} H^{1.111} \quad (10)$$

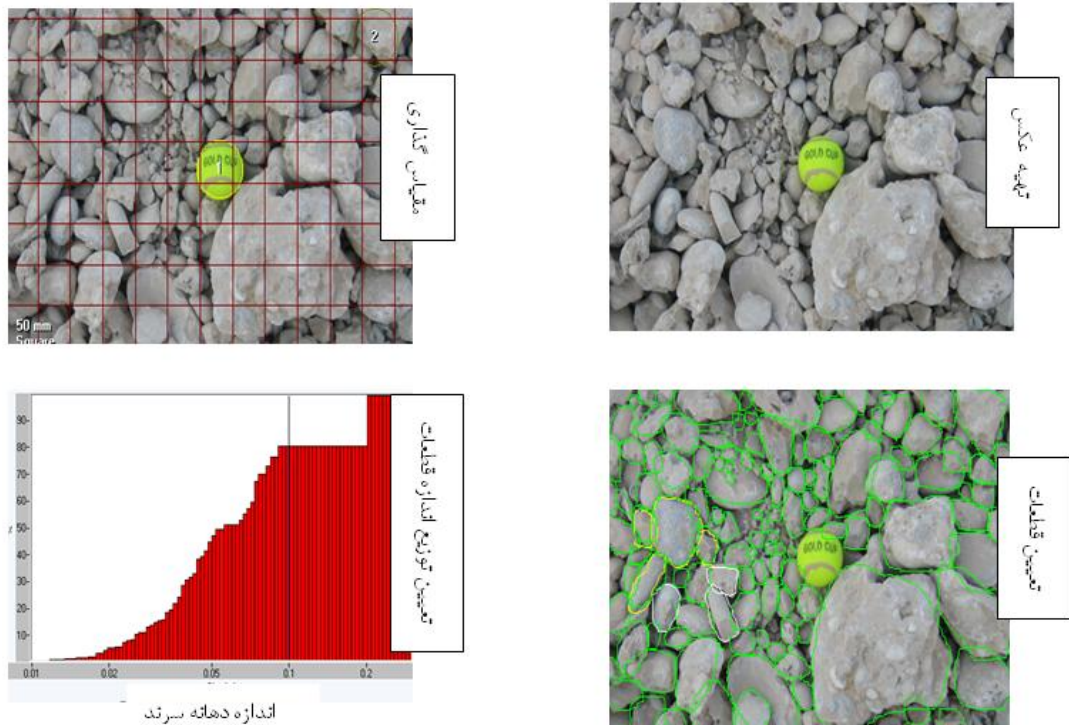
## ۳- تعیین توزیع اندازه قطعات با استفاده از نرم افزار

## گلدسایز

یکی از قوانین اصلی سیستم های پردازش تصویر آن است که تنها اشیائی که در عکس ظاهر می شوند قابل اندازه گیری هستند. بنابراین نتایج با دقت بالاتر از عکس‌هایی با کیفیت

بهتر و مقیاس گذاری مناسب‌تر حاصل می‌شود. در صورتی که عکس‌ها روشنایی مناسب نداشته باشند یا از دوربین‌هایی با وضوح تصویر پایین برای عکس‌برداری استفاده شود نتایج ضعیفی حاصل خواهد شد. هنگام عکس‌برداری از توده‌هایی با توزیع اندازه وسیع قطعات، یک عکس نمی‌تواند تمام تغییرات اندازه را نمایش دهد. در شرایطی امکان دارد بعضی از قطعات به اندازه‌ای بزرگ باشند که قابلیت نمایش در یک عکس را نداشته باشند و حال اینکه بعضی از قطعات می‌توانند به اندازه-ای کوچک باشند که قابل نمایش در عکس نباشند. برای برطرف کردن این نوع خطاها در توده‌هایی که بازه وسیعی از توزیع اندازه دارند راه‌کارهای متعددی وجود دارد. اولین راه‌کار استفاده از همان مقادیر اندازه‌گیری شده برای برآورد نتایج است زیرا مقادیر نسبت به هم خطای نسبی دارند، دومین راه-کار استفاده از کالیبره‌سازی تجربی است و سومین راه‌کار استفاده از عکس‌هایی با مقیاس‌های متفاوت و ترکیب نتایج آن‌ها است. این روش توسط سانتامارینا (۱۹۹۶) به کار گرفته شد که تحت عنوان zoom-merge شناخته شده است [۸].

نرم‌افزار گلدسایز ابزاری برای تخمین توزیع اندازه قطعات حاصل از انفجار است. در این نرم‌افزار فرآیند اندازه‌گیری قطعات شامل سه مرحله مقیاس‌گذاری، دیجیتایز کردن قطعات که در این مرحله مرز قطعات به صورت دستی و با کمک ماوس مشخص شده و تعیین توزیع اندازه قطعات با استفاده از دو مرحله قبلی است [۹]. در این نرم‌افزار برای کاهش خطای اندازه‌گیری قطعات سه فاکتور تبدیل طول به حجم<sup>۵</sup>، تبدیل طول به اندازه دهانه سرندی<sup>۶</sup> و اندازه تصحیح نرمه<sup>۷</sup> در اختیار کاربر قرار دارد. برای محاسبه این فاکتورها باید نتایج آنالیز تصویری را با نتایج تجزیه سرندی که روی یک نمونه از یک نوع سنگ خردشده انجام می‌شود مقایسه و با استفاده از روش سعی و خطا مقادیر این فاکتورها را محاسبه کرد. نمونه‌ای از فرآیند اندازه‌گیری قطعات حاصل از انفجار در معادن سنگریزه سد گوند علیا با استفاده از نرم‌افزار گلدسایز در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: مراحل تعیین توزیع اندازه قطعات با استفاده از نرم افزار گلدسایز

و آخرین سد بر روی رودخانه کارون از لحاظ ساختگاه است. نیروگاه سد از نوع سطحی بوده که به وسیله هشت توربین ۲۵۰ مگاواتی تأمین خواهد شد.

سد مخزنی گتوند از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی است. ارتفاع هسته رسی ۱۷۸ متر، طول تاج ۷۶۰ متر، عرض تاج ۱۵ متر و تراز تاج ۲۴۴ متر بالاتر از سطح دریا است. حجم بدنه ۲۶/۶ میلیون متر مکعب بوده و حجم مخزن سد ۴۵۰۰ میلیون متر مکعب در دریاچه‌ای به طول ۹۰ کیلومتر است.

سیستم انحراف آب شامل یک فرازبند الحاقی به ارتفاع ۷۰ متر، نشیب بند به ارتفاع ۲۸ متر و سه تونل انحراف آب به طول مجموع ۴۵۲۹ متر و قطر تمام شده ۹/۵ متر است. سرریز سد از نوع قوسی دریچه دار بوده، طول سرسره ۳۴۰ متر و دارای عرض ۷۲ متر است و چهار دریچه الحاقی با عرض ۱۵ متر و ارتفاع ۱۷ متر روی آن نصب می‌شود.

#### ۴-۲ لزوم ارائه الگوی انفجاری بهینه

بر اساس مشخصات فنی طرح برای مصالح سنگریزه پوسته سد دانه‌بندی ویژه‌ای تعریف شده است. بنابراین عملیات استخراج مصالح باید به گونه‌ای انجام گیرد که به‌طور دقیق در محدوده دانه‌بندی بیان‌شده قرار گرفته و پس از تولید به‌طور

#### ۴- روش تحقیق

در این تحقیق، مدل چونگ-کاتسابانیز برای بررسی خردشدگی حاصل از انفجار در معادن سنگریزه سد گتوند علیا در نظر گرفته شده است. بنابراین مدل چونگ-کاتسابانیز برای این معادن تصحیح و به عنوان مدل مبنا برای تعیین پارامترهای طرح انفجار مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه اعتبارسنجی مدل تصحیح شده برای طراحی الگوهای پیشنهادی امری ضروری است و امکان تجزیه سرندهی مصالح در هر مرحله وجود ندارد بنابراین نرم‌افزار گلدسایز برای این منطقه تصحیح و مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که نام‌گذاری معادن بر اساس تراز است و از نظر جنس سنگ هیچ تفاوتی بین معدن شماره یک و دو وجود ندارد.

#### ۴-۱ موقعیت جغرافیایی و مشخصات فنی سد گتوند علیا

سد گتوند علیا بزرگ‌ترین سد سنگریزه‌ای کشور با هسته رسی است که با ظرفیت نصب نیروگاه ۲۰۰۰ مگاوات بر روی بزرگ‌ترین رودخانه کشور یعنی کارون در دست اجرا است. این سد در ۳۸۰ کیلومتری مصب رودخانه کارون، ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان شوشتر و ۱۲۰ کیلومتری شهر اهواز قرار دارد

با توجه به این که برای تعیین توزیع اندازه قطعات حاصل از انفجار و اعتبارسنجی مدل تصحیح شده، از روش پردازش تصویر (با استفاده از نرم افزار گلدسایز) استفاده می شود بنابراین در ابتدا روش پردازش تصویر تصحیح می شود.

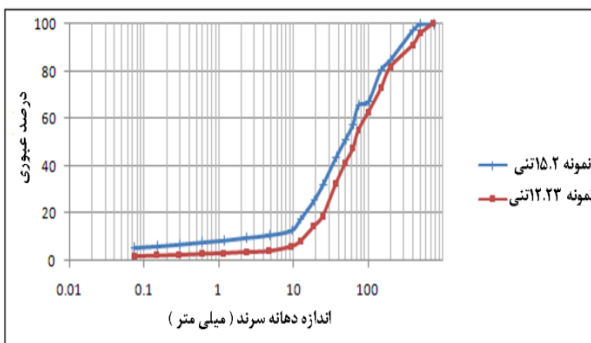
برای تعیین توزیع اندازه مصالح به روش تجزیه سرندي، دو نمونه ۱۵/۲ و ۱۲/۲۳ تنی از مصالح سنگریزه معدن شماره ۲ تهیه و به آزمایشگاه فرستاده شد که نتایج در شکل ۳ مشخص شده است. با استفاده از نرم افزار دیتافیت و برازش تابع توزیع روزین - راملر به متوسط نتایج تجزیه سرندي، دو پارامتر اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی توزیع به ترتیب معادل ۹۳/۸۷ میلی متر و ۰/۸۵ تعیین شد. نتایج برازش در شکل ۴ نشان داده شده است.

برای تصحیح نرم افزار از همان مصالح ارسالی به آزمایشگاه تعداد ۱۵ عکس گرفته و ۱۰ عکس به عنوان معرف مصالح در نظر گرفته شد و با استفاده از نرم افزار گلدسایز، توزیع اندازه قطعات تعیین شد. با استفاده از نرم افزار دیتافیت<sup>۸</sup> و برازش تابع توزیع روزین - راملر به نتایج توزیع اندازه حاصل از نرم افزار گلدسایز، دو پارامتر اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی توزیع به ترتیب معادل ۱۱۷/۵۶ میلی متر و ۱/۱۳ تعیین شد. نتایج برازش در شکل ۵ نشان داده شده است.

با توجه به اندازه مشخصه و شاخص یکنواختی توزیع اندازه قطعات با استفاده از روش پردازش تصویر و تجزیه سرندي، منحنی توزیع اندازه تصحیح شده با استفاده از روش پردازش تصویر به صورت رابطه ۱۶ تعیین شد.

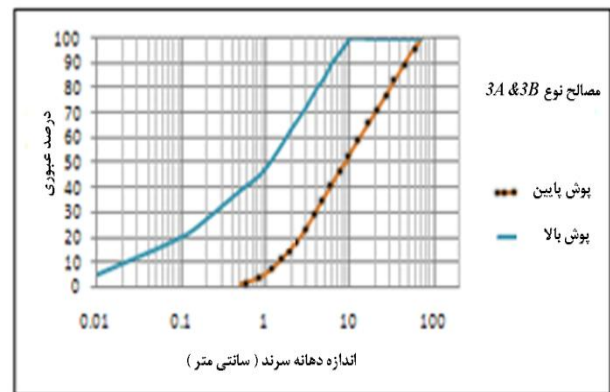
$$P(X) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X}{XC \cdot 0.7985}\right)^{n \cdot 0.75095}\right) \quad (16)$$

که در آن  $XC$  و  $n$  به ترتیب اندازه مشخصه (میلی متر) و شاخص یکنواختی حاصل از پردازش تصویر می باشند.



شکل ۳: توزیع اندازه مصالح با استفاده از روش تجزیه سرندي

مستقیم در خاکریزی بخش پوسته سد استفاده شود. محدوده مجاز دانه بندی مصالح سنگریزه ای بدنه سد گوند به صورت دو پوش بالا و پایین در شکل ۲ نشان داده شده است. برای رسیدن به دانه بندی مورد نیاز برای پوسته سد، واحد سنگ-شکنی مجزا برای خرد کردن مصالح استخراجی از معادن سنگریزه در نظر گرفته نشده است. بنابراین الگوی انفجاری در معادن سنگریزه باید به گونه ای طراحی شود که مصالح حاصل از انفجار، ویژگی های تعیین شده در مشخصات فنی را داشته باشد.



شکل ۲: پوش مجاز خردشدگی مصالح نوع 3A&3B [۱۰]

#### ۴-۳ تصحیح پردازش تصویر

پردازش تصویر پتانسیل بالایی برای کمی کردن توزیع اندازه قطعات سنگی حاصل از انفجار دارد و به سبب خطاهای ذاتی همراه آن نیازمند تصحیح است. در این تحقیق برای تصحیح پردازش تصویر از نتایج تجزیه سرندي و رابطه های ۱۱ تا ۱۵ استفاده شده است.

$$P(X_{3D}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X_{3D}}{XC_{3D}}\right)^{n_{3D}}\right) \quad (11)$$

$$P(X_{2D}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X_{2D}}{XC_{2D}}\right)^{n_{2D}}\right) \quad (12)$$

$$XC_{3D} = XC_{2D} \cdot \alpha \quad (13)$$

$$n_{3D} = n_{2D} \cdot \beta \quad (14)$$

$$P(X_{3D}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X_{3D}}{XC_{2D} \cdot \alpha}\right)^{n_{2D} \cdot \beta}\right) \quad (15)$$

که در آن  $XC$ : اندازه مشخصه توزیع،  $n$ : شاخص یکنواختی توزیع،  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایب تصحیح می باشند.

مشخصه و شاخص یکنواختی به ترتیب معادل ۲۳۳/۹۵ میلی-متر و ۰/۷۵ دارند.

پس از هر انفجار تعداد ۴۰ عکس از مصالح سنگریزه تولید شده گرفته و ۲۲ عکس به عنوان معرف انتخاب و با استفاده از نرم افزار گلدسایز تحلیل شد. منحنی میانگین توزیع اندازه قطعات به دست آمده اندازه مشخصه ۱۴۸/۹۶ میلی-متر و شاخص یکنواختی ۰/۹ دارد. با توجه به اختلاف توزیع اندازه پیش‌بینی شده با استفاده از مدل چونگ-کاتسابانیز و توزیع اندازه تعیین شده با استفاده از روش پردازش تصویر تصحیح شده، از رابطه های ۱۷ و ۱۸ برای تصحیح مدل چونگ-کاتسابانیز استفاده شد.

$$XC' = 0.6366XC \quad (17)$$

$$n' = 1.1953n \quad (18)$$

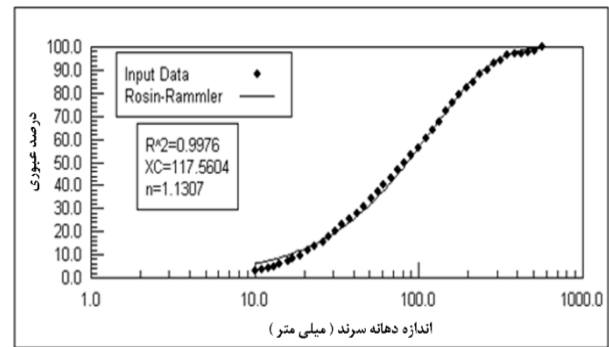
که در آن  $XC$ : اندازه مشخصه مدل چونگ-کاتسابانیز،  $XC'$ : اندازه مشخصه مدل تصحیح شده،  $n$ : شاخص یکنواختی و  $n'$ : شاخص یکنواختی تصحیح شده است.

#### ۴-۵ اعتبارسنجی مدل چونگ-کاتسابانیز

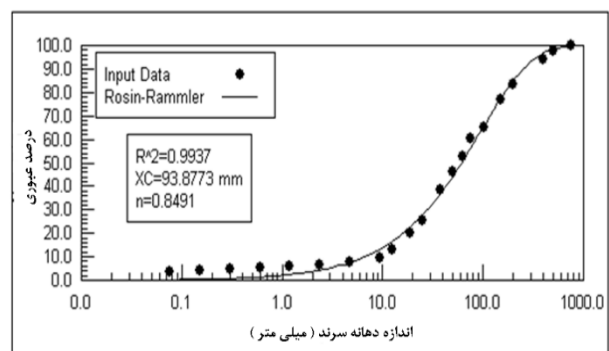
برای اعتبارسنجی مدل چونگ-کاتسابانیز تصحیح شده از الگوی انفجاری معدن سنگریزه شماره دو سد گتوند علیا استفاده شد که پارامترهای مربوط به آن در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به داده‌های موجود در این جدول، منحنی توزیع اندازه پیش‌بینی شده با استفاده از مدل چونگ-کاتسابانیز تصحیح شده دارای اندازه مشخصه ۲۰۷/۶ میلی-متر و شاخص یکنواختی ۰/۹ است.

برای بررسی صحت نتایج پیش‌بینی شده مدل چونگ-کاتسابانیز تصحیح شده، از مصالح سنگریزه ۱۳ انفجار عکس برداری صورت گرفت. از ۴۰ عکس گرفته شده از هر انفجار ۲۳ عکس به عنوان معرف انتخاب و با استفاده از نرم افزار گلدسایز تحلیل شد به گونه‌ای که منحنی میانگین توزیع اندازه قطعات حاصل از انفجار اندازه مشخصه ۲۰۱/۷ میلی-متر و شاخص یکنواختی ۰/۸۵ را دارد.

منحنی های توزیع اندازه قطعات پیش‌بینی شده با استفاده از مدل چونگ-کاتسابانیز تصحیح شده و پردازش تصویر تصحیح شده در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۶ مشاهده می‌شود مدل تصحیح شده از قابلیت مناسبی برای پیش‌بینی توزیع اندازه قطعات حاصل از انفجار دارد.



شکل ۴: برازش تابع توزیع روزین-رامرلر به توزیع اندازه حاصل از تجزیه سرنده



شکل ۵: برازش تابع توزیع روزین-رامرلر به توزیع اندازه حاصل از نرم افزار گلدسایز

#### ۴-۴ تصحیح مدل چونگ-کاتسابانیز

برای تصحیح مدل چونگ-کاتسابانیز در معدن سنگریزه شماره یک سد گتوند علیا، یک الگوی انفجاری طراحی و خردشدگی حاصل از آن در ۱۶ انفجار بررسی شد که پارامترهای مربوط به آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: پارامترهای الگوی انفجار معدن سنگریزه شماره یک سد

گتوند علیا

مقدار	پارامتر
انفو	نوع ماده منفجره
کنگومرا	جنس سنگ
۷۶	قطر چال (میلی متر)
۶	ارتفاع پله (متر)
۲/۵	بار سنگ (متر)
۲/۷	فاصله چال ها در یک ردیف (متر)
۳/۷۵	طول خرج گذاری (متر)
۰/۴۱	خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)

با توجه به داده‌های موجود در جدول ۱ و مدل چونگ-کاتسابانیز منحنی توزیع اندازه قطعات حاصل از انفجار اندازه

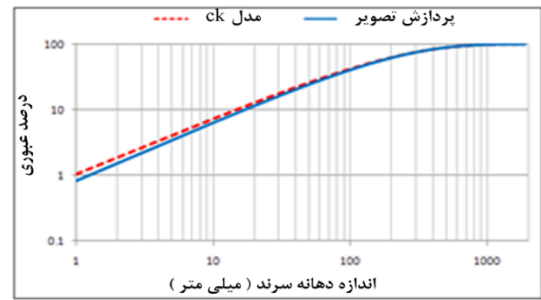
توزیع خردشدگی داده های موجود در جدول های ۴ و ۵ در شکل های ۷ و ۸ نشان داده شده اند.

با توجه به شکل های ۷ و ۸ مشخص می شود که از الگوهای موجود در جدول ۳ الگوهای شماره های ۳ تا ۶ و از الگوهای موجود در جدول ۵ الگوهای شماره های ۵ و ۶، الگوهای مناسب برای اجرا می باشند.

جدول ۲: پارامترهای الگوی انفجار معدن سنگریزه شماره دو سد

گتوند علیا

مقدار	پارامتر
آنفو	نوع ماده منفجره
کنگومرا	جنس سنگ
۸۹	قطر چال (میلی متر)
۱۰	ارتفاع پله (متر)
۳	بار سنگ (متر)
۳/۵	فاصله چال ها در یک ردیف (متر)
۶/۱	طول خرج گذاری (متر)
۰/۳۲	خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)



شکل ۶: مقایسه منحنی های توزیع اندازه قطعات (حاصل از انفجار) ایجاد شده با استفاده از مدل چونگ-کاتسابانیز و روش پردازش تصویر

#### ۴-۶ ارائه الگوهای پیشنهادی

با استفاده از مدل چونگ-کاتسابانیز تصحیح شده برای معادن سنگریزه سد گتوند علیا و روش تحلیل برگشتی، الگوهای انفجاری به گونه ای طراحی شدند که توزیع خردشدگی حاصل از آن ها در پوش مجاز خردشدگی مصالح بدنه سد گتوند علیا قرار گیرد. این الگوها و پارامترهای توزیع خردشدگی حاصل از آن ها در جدول های ۳ تا ۶ ارائه شده اند. منحنی های

جدول ۳: الگوهای طراحی شده برای دستیابی به توزیع خردشدگی مورد نیاز (قطر چال ۷۶ میلی متر)

شماره الگو						پارامترهای طراحی
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	ارتفاع پله (متر)
۲	۲/۱	۲/۲	۲/۳	۲/۴	۲/۵	بار سنگ (متر)
۲/۲	۲/۳	۲/۴	۲/۵	۲/۶	۲/۷	فاصله چال ها در یک ردیف (متر)
۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	طول خرج گذاری (متر)
۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۲۵	طول گل گذاری (متر)
۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۱	خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)

جدول ۴: پارامترهای توزیع خردشدگی الگوهای انفجاری ارائه شده در جدول ۳

شماره الگو						پارامترهای توزیع خردشدگی
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۸/۸	۹/۸۷	۱۱/۰۹	۱۲/۲۳	۱۳/۵۲	۱۴/۸۹	اندازه مشخصه (سانتی متر)
۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹	شاخص یکنواختی

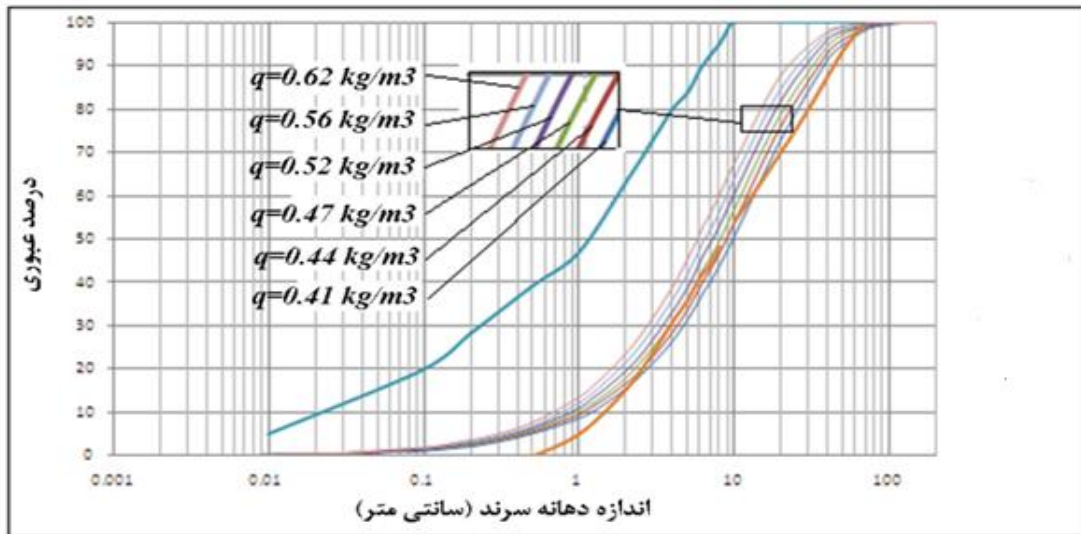
جدول ۵: الگوهای طراحی شده برای دستیابی به توزیع خردشدگی مورد نیاز (قطر چال ۸۹ میلی متر)

شماره الگو						پارامترهای طراحی
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	ارتفاع پله (متر)
۲	۲/۳	۲/۵	۲/۷	۲/۹	۳	بار سنگ (متر)
۲/۳	۲/۷	۳	۳/۲	۳/۴	۳/۵	فاصله چال‌ها در یک ردیف (متر)
۷/۴	۷	۶/۷	۶/۵	۶/۲	۶/۱	طول خرج گذاری (متر)
۲/۶	۳	۳/۳	۳/۵	۳/۸	۳/۹	طول گل گذاری (متر)
۰/۸۷	۰/۶۲	۰/۴۸	۰/۴۱	۰/۳۴	۰/۳۲	خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)

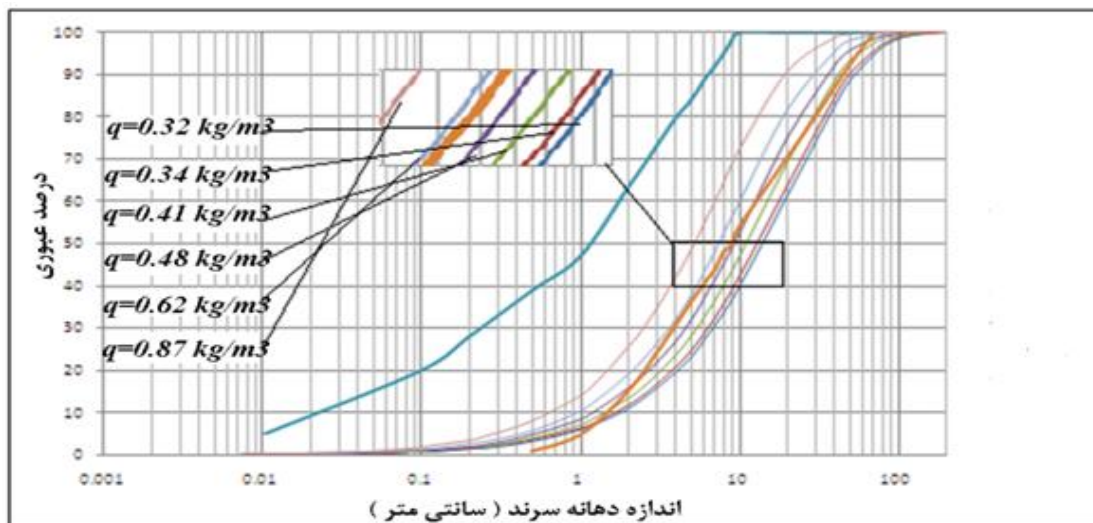
جدول ۶: پارامترهای توزیع خردشدگی الگوهای انفجاری ارائه شده در جدول ۵

شماره الگو						پارامترهای توزیع خردشدگی
۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۷/۷۳	۱۱/۱۴	۱۴/۰۱	۱۶/۶۸	۱۹/۶۲	۲۱/۲	اندازه مشخصه (سانتی متر)
۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	شاخص یکنواختی





شکل ۷: منحنی های توزیع خردشدگی حاصل از الگوهای انفجاری موجود در جدول ۳



شکل ۸: منحنی های توزیع خردشدگی حاصل از الگوهای انفجاری موجود در جدول ۵

۱- مقایسه توزیع خردشدگی حاصل از پردازش تصویر (اندازه مشخصه ۱۱۷ میلی متر و شاخص یکنواختی ۱/۱۳) و تجزیه سرنندی (اندازه مشخصه ۹۳ میلی متر و شاخص یکنواختی ۰/۸۴) نشان می دهد که روش پردازش تصویر، شاخص یکنواختی و اندازه مشخصه توزیع خردشدگی را بیش از مقدار واقعی آن برآورد می کند.

۲- روش پردازش تصویر به صورت رابطه زیر برای معادن سنگریزه سد گوند علیا تصحیح شد:

$$P(X) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X}{XC \cdot 0.7985}\right)^{n \cdot 0.75095}\right)$$

که در آن XC و n به ترتیب اندازه مشخصه (میلی متر) و شاخص یکنواختی حاصل از پردازش تصویر می باشند.

## ۵- نتیجه گیری

پیش بینی توزیع اندازه قطعات حاصل از انفجار برای بهینه سازی فرآیندهای متعاقب معدن کاری همچون باربری، بارگیری، سنگ شکنی و آسیاها امری ضروری محسوب می شود. روش های متعددی برای تعیین توزیع اندازه قطعات استفاده شده است که از جمله مهم ترین آن ها روش های تجزیه سرنندی، مدل های تجربی و سیستم های پردازش تصویر است. با توجه به تحقیق صورت گرفته نتایج زیر قابل استنتاج است:

*Analysis Technique*”, Int. J. on Rock Fragmentation by Blasting-FRAGBLAST 9, pp. 707-716.

[3] Jimeno, C.L., Jimeno, E.L. and Carcedo, F.J.A., 1995, “Drilling and Blasting of Rocks”, Rotterdam: Balkema, pp. 290-311.

[4] Kuznetsov, V.M., 1973, “*The Mean Diameter of the Fragments Formed by Blasting Rock*”, Soviet Min. Sci., Vol. 9, No. 2, pp. 144-148.

[5] Cunningham, C.V.B., 1983, “*The Kuz-Ram Model for Prediction of Fragmentation from Blasting*”, Proc. of the 1<sup>st</sup> Int.Symp.on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea University of Technology, Lulea, Sweded, pp. 439-453.

[6] Cunningham, C.V.B., 1987, “*The kuz-ram model for prediction of fragmentation from blasting*”, proc. of the 2<sup>st</sup> int.symp.onrock fragmentation by blasting, Keystone, Colorado, pp. 475-487.

[7] Chung, S.H. and Katsabanis, P.D., 2000, “*Fragmentation Prediction Using Improved Engineering Formulae*”, Int. J. for Blasting and Fragmentation, Vol. 4, No. 2, pp. 198-207.

[8] Maerz, N.H. and Zhou, W., 1998, “*Optical Digital Fragmentation MearsuringSystes-Inherent Sources of Error*”, Int. J. on Rock Fragmentation by Blasting-FRAGBLAST, Vol. 2, No. 4, pp. 415-431.

[9] Kleine, T.H. and Cameron, A.R., 1996, “*Blasting Fragmentation Measurement Using Goldsize*”, In: J.A. Frankline and T. Katsabanis, Measurement of Blast Fragmentation, pp. 83-89.

[10] Sepasad Engineering Company – Workshop for power plant at gotvand olya dam, 2000.

۳- با توجه به نتایج خردشدگی حاصل از انفجار و نتایج خردشدگی پیش‌بینی شده حاصل از مدل چونگ - کاتسابانیز، این مدل به شکل رابطه های زیر برای معادن سنگریزه سد گتوند علیا تصحیح شد.

$$n = 0.6366 \frac{0.842}{\ln x_{80} - \ln x_{50}}$$

$$X_c = 1.1953 e^{0.565 \ln x_{50} + 0.435 \ln x_{80}}$$

که در آن n: شاخص یکنواختی،  $x_{50}$ : اندازه دهانه سرندي ۵۰ درصد مواد از آن عبور کنند،  $x_{80}$ : اندازه دهانه سرندي ۸۰ درصد مواد از آن عبور کنند و  $x_c$ : اندازه مشخصه (دهانه سرندي که ۶۳/۲ درصد مواد از آن عبور کنند) است..

۴- با توجه به خارج بودن منحنی توزیع خردشدگی حاصل از الگوی انفجاری معادن سنگریزه شماره یک و دو از پوش خردشدگی تعریف شده برای مصالح بدنه سد گتوند علیا، مدل چونگ-کاتسابانیز تصحیح شده به عنوان مدل مبنا برای پیش‌بینی توزیع خردشدگی در نظر گرفته شد و با استفاده از روش سعی و خطا الگوهای متفاوتی برای چال هایی با قطر ۷۶ و ۸۹ میلی متر طراحی گردید به گونه‌ای که توزیع خردشدگی حاصل از آن‌ها در محدوده پوش مجاز قرار گرفت.

۵- دستیابی به خردشدگی مناسب در معادن سنگریزه سد گتوند علیا نشان می‌دهد که روش ارائه شده در این تحقیق (ترکیبی از روش تجزیه سرندي، آنالیز تصویری و مدل تجربی) روشی مناسب برای دستیابی به خردشدگی مورد نیاز در پروژه‌های معدنی و عمرانی است.

## منابع

[1] Chakraborty, A.K., Raina, A.K., Ramulu, M., Choudhury. P.B., Haldar, A., Sahu, P. and Bandopadhyay, C.B., 2004, “*Parametric Study to Develop Guidelines for Blast Fragmentation Improvement in Jointed and Massive Formations*”, Engineering Geology, Vol. 73, pp. 105-116.

[2] Raina, A.K., Ramulu, M., Choudhury, P.B., Chakraborty, A.K., Sinha, A., Ramesh-Kumar, B. and Fazal, M., 2010, “*Productivity Improvement In An Opencast Coal Mine In India Using Digital Image*

## پی‌نوشت

- 1- Rzhevesky
- 2-Split
- 3-Goldsize
- 4-Fragalyst
- 5-MassPower
- 6-SieveSize
- 7-Fines Cor. Size
- 8-Datafit