بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید باهنر کرمان
مجتمع آموزش عالی زرند
بخش مهندسی معدن

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش استخراج

تحلیل عددی کرنش‌های اطراف چال‌های انفجاری با استفاده از نرم افزار 3DEC

مطالعه موردی: معدن شماره یک سنگ آهن گل گهر

مؤلف:

اکبر فرتوت خواجه

اساتید راهنما:

دکتر غلامرضا سعیدی رشک علیا

دکتر حمید منصوری

بهمن ماه ۱۳۹۳

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

دانشگاه شهید باهنر کرمان
مجتمع آموزش عالی زرند
بخش مهندسی معدن

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

امضاء

دانشجو : اکبر فرتوت خواجه

استاد راهنما اول : دکتر غلامرضا سعیدی رشک علیا

استاد راهنما دوم : دکتر حمید منصوری

داور ۱ : دکتر حسین جلالی فر

داور ۲ : دکتر محمد علی ابراهیمی قرسنگی

نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر مهدی ابراهیمش

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده : دکتر مهدی ابراهیمش

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

ت

تقدیم به :

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

اکنون، ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم
به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم. امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما را آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگی تان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

و همچنین **خواهران عزیزم** که لبخند شیرین شان، گرما بخش زندگی ام است.

تشکر و قدردانی :

اکنون پس از پیمودن مسیری طولانی و پرفراز و نشیب، که افتخار شاگردی اساتید بزرگوار و گرامی ام، **آقای دکتر غلامرضا سعیدی** و **آقای دکتر حمید منصوری** را داشتم و همواره راهنمایی های ارزنده و بردبارانه شان گره گشای مشکلات در انجام کار بود، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید محترم داوران، آقای دکتر حسین جلالی فر و آقای دکتر محمدعلی‌ابراهیمی نیز کمال تشکر و قدردانی دارم.

از اساتید محترم بخش مهندسی معدن مجتمع آموزش عالی زرند نیز کمال تشکر و قدردانی دارم.

از آقای دکتر نیما بابانوری، آقای دکتر حمیدرضا محمدی و آقای مهندس احد ضیائی نیز بابت راهنمایی‌های ارزنده در خصوص مدل‌سازی عددی کمال تشکر و قدردانی دارم.

چکیده:

انفجار مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای خردکردن سنگ در عملیات معدنکاری روباز است. بطور کلی، سنگ‌ها در اثر آزاد شدن حجم زیادی از انرژی در یک زمان بسیار کوتاه خرد می‌شوند. تنها ۲۰٪ تا۳۰٪ از این انرژی در شکستن و جابجایی توده سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد، و بقیه آن به صورت لرزش زمین، لرزش هوا، پرتاب سنگ، عقب زدگی، سروصدا و گردغبار تلف می شود. آسیب‌های ناشی از انفجار جزو جدایی ناپذیر عملیات انفجار در خردایش سنگ هستند. در این تحقیق، با مدل سازی تک چال انفجاری با استفاده از نرم افزار المان مجزای سه بعدی، 3DEC، سرعت ذره‌ای و کرنش‌های ایجاد شده در فواصل مختلف از چال انفجاری تعیین شد. نتایج حاصل از این مدل‌سازی با سرعت ذره ای برداشت شده از انفجار تک چال در معدن گل‌گهر مقایسه شد که نتایج حاصل در مدل پیوسته و ناپیوسته به‌ترتیب برابر ۳۱۵، ۲۲۵ و ۶۲/۵ میلی‌متر بر ثانیه و ۱۱۴، ۱۱۶ و ۸۸ میلی‌متر بر ثانیه است که در مدل پیوسته به‌ترتیب ۱۰۰٪، ۲٪ و ۴۴٪ و در مدل ناپیوسته به‌ترتیب ۲۷٪، ۴۷٪ و ۲٪ با مقدار سرعت ذره ای اندازگیری شده اختلاف دارند.

کلمات کلیدی: کرنش،آسیب ، 3DEC، گل‌گهر

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ اهمیت موضوع ۲

۱-۳ روش انجام تحقیق ۳

۱-۴ ساختار پایان نامه ٤

فصل دوم: پیش بینی لرزه و کرنش های حاصل از انفجار ۲

۲-۱ مقدمه ٦

۲-۲ مکانیزم لرزش زمین ٦

۲-۳ پیش بینی لرزههای ناشی از انفجار ٦

۲-۳-۱ روش فاصله مقیاس شده ۷

۲-۳-۲ روش برهم نهی خطی ۷

۲-۴ روابط ارائه شده برای محاسبه کرنش در اطراف چال ۱۰

۲-۵ جمع بندی ۱۱

فصل سوم: معرفی معدن سنگ آهن گل‌گهر و نحوهی انفجارهای انجام شده ۱۲

۳-۱ مقدمه ۱۳

۳-۲ معرفی معدن سنگ آهن گل‌گهر ۱۳

۳-۳ وضعیت تکتونیکی ناحیه گل‌گهر ۱۳

۳-۴ مشخصات فنی معدن شماره یک گل‌گهر ۱٤

۳-۵ وضعیت حفاری های معدن گل گهر ۱۶
۳-۶ ماده منفجره و سیستم آغاز انفجار ۱۷
۳-۷ جمع بندی ۱۸

فصل چهارم: مطالعات عددی ۱۹
۴-۱ مقدمه ۲۰
۴-۲ روشهای عددی ۲۰
۴-۳ روش المان مجزا (DEM) ۲۱
۴-۴ برنامه 3DEC ۲۲
۴-۵ تحلیل دینامیکی در 3DEC ۲۲
۴-۶ تاریخچه کارهای عددی انجام شده با روش المان مجزا ۲۳
۴-۶-۱ تاریخچه کارهای عددی با استفاده از 3DEC ۲۳
۴-۶-۲ تاریخچه کارهای عددی با استفاده از UDEC ۲۴
۴-۷ تحلیل عددی انفجار ۲۸
۴-۸ هندسه و ابعاد مدل ۲۸
۴-۹ پارامترها و مدل های رفتاری انتخاب شده برای توده سنگ و دسته درزه ها ۳۱
۴-۱۰ بارگذاری دینامیکی انفجار ۳۴
۴-۱۱ مکانیزم انفجار در نظر گرفته شده ۳۵
۴-۱۲ پارامترهای میرایی موج انفجار ۳۶
۴-۱۳ شرایط مرزی دینامیکی ۳۷
۴-۱۴ جمع بندی ۳۷

فصل پنجم: نتایج حاصل از تحلیل های عددی انفجار در محیط پیوسته و ناپیوسته .. ۳۸
۵-۱ مقدمه ۳۹
۵-۲ اجرای مدل ۳۹
۵-۳ مقایسه نتایج با داده های سرعت ذره ای واقعی ۳۹
۵-۴ تعیین الگوی استهلاک سرعت ذره ای ۴۰

۵-۵ محاسبه میزان کرنش ایجاد شده در اطراف چال..... ٤٤
۵-۶ جمع بندی ٤٧

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ٤٨
۶-۱ نتیجه گیری..... ٤٩
۶-۲ پیشنهادات..... ۵۰

منابع ۵۱

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل ۲-۱ روش زمانی یا روش موج ذره ای ۸
شکل ۳-۱: موقعیت نسبی ذخایر شش گانه ناحیه گل گهر ١٤
شکل ۳-۲: وضعیت گسل های معدن شماره یک گل گهر ١٥
شکل ۳-۳: مقطع عرضی از وضعیت معدن شماره یک گل گهر ١٦
شکل ۳-٤: محدوده نهایی معدن شماره یک گل گهر..... ۱۷
شکل ٤-۱: نمای پله مدل سازی شده ۲۹
شکل ٤-۲ : شرایط مرزی، (الف): مقطع طولی؛ (ب): مقطع عرضی ۳۰
شکل ٤-۳: نمودار نیروی نامتعادل کننده، (الف): مدل پیوسته،(ب): مدل ناپیوسته ۳۳
شکل ٤-٤: نمودار کنتور جابجایی ها، (الف): مدل پیوسته،(ب): مدل ناپیوسته ۳٤
شکل ٤-٥: تاریخچه زمانی سرعت ذره ای ۳٥
شکل ٥-۱: نمای عمومی از محل انفجار تک چال در معدن گل گهر ٤٠
شکل ٥-۲: مدل پیوسته؛ سرعت ذره ای در راستای طولی (الف)، عرضی (ب) و قائم (پ)..... ٤۲
شکل ٥-۳: مدل ناپیوسته؛ سرعت ذره ای در راستای طولی (الف)، عرضی (ب) و قائم (پ)..... ٤۳
شکل ٥-٤: مدل پیوسته؛ کرنش ایجاد شده در اطراف چال در راستای طولی (الف)، عرضی (ب) و قائم (پ) ٤٥
شکل ٥-٥: مدل ناپیوسته؛ کرنش ایجاد شده در اطراف چال در راستای طولی (الف)، عرضی (ب) و قائم (پ)..... ٤۷

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۲-۱: روابط ارائه شده در باره ی PPV ۹
جدول ۳-۱: مشخصات کمی و کیفی ذخیره معدن شماره یک گل گهر ۱۶
جدول ٤-۱: خصوصیات مواد استفاده شده در مدل ۳۲
جدول ٤-۲: خصوصیات دسته درزه ها در مدل ۳۲

فهرست علایم

V	سرعت ذره ای
K, $\alpha, \beta, n, B,$ K_c, K_r	ثابت های محل
D, R, r_c	فاصله از محل انفجار
Q	میزان خرج انفجار شده
PPV	بیشترین سرعت ذره ای
ε	کرنش
ε_{rmax}	بیشترین کرنش شعاعی
ε_t	بیشترین کرنش مماسی
r_b	شعاع چال قبل از انفجار
r_d	شعاع چال بعد از انفجار
ν	ضریب پواسون
P_b	فشار انفجار
P_m	فشار گاز های ناشی از انفجار
ρ	دانسیته سنگ
C	سرعت موج در سنگ

V_p	سرعت ذره ای نرمال
γ	ضریب آدیاباتیک
λ	طول موج

فهرست علایم (ادامه)

Δl	ابعاد المان
σ_p	تنش نرمال
σ_s	تنش برشی
C_p	سرعت موج P
C_s	سرعت موج S
V_n	سرعت ذره ای نرمال
V_s	سرعت ذره ای برشی
K	مدول بالک
G	مدول برشی
t_n	میزان تنش نرمال اعمالی به مرز در شرایط ویسکوز
t_s	میزان تنش برشی اعمالی به مرز در شرایط ویسکوز
V_l	سرعت ذره ای طولی
V_t	سرعت ذره ای عرضی
V_v	سرعت ذره ای قائم
ε_l	کرنش شعاعی

ε_t	کرنش مماسی
ε_v	کرنش قائم

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

انفجار مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای کندن سنگ در عملیات معدنکاری روباز است. فرآیند شکست سنگ توسط انفجار در معادن روباز یک پدیده پیچیده ای است که توسط پارامترهای زیادی کنترل می شود [۳-۱]. بطور کلی سنگ‌ها توسط انرژی آزاد شده در انفجار خرد می شوند؛ اگر چه، مشخص شده است که تنها ۳۰٪-۲۰٪ از انرژی ماده منفجره مستقیما در شکستن و جابجایی سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد، و بقیه انرژی به صورت لرزش زمین، لرزش هوا، پرتاب سنگ، عقب زدگی و ایجاد سر و صدا و گرد و غبار تلف می‌شود [۸-۴].

در انفجار سنگ عموما پذیرفته شده است که دو نوع بارگذاری بر سنگ‌های اطراف عمل می-کند؛ بارگذاری موج تنشی (موج شوک) و بارگذاری فشار گاز انفجار. بارگذاری موج تنشی از انفجار ستون خرج در چال به وجود می آید [۱۱-۹]. برای نمونه در مواد منفجره تجاری، فشار انفجار وارده بر دیواره چال در لحظه انفجار می تواند به بیش از ۱۰ GPa برسد. این فشار زیاد بر دیواره چال موج شوکی در توده سنگ اطراف ایجاد می‌کند، اما این موج به زودی به یک موج تنش فرکانس بالا تبدیل می‌شود که با سرعت موج طولی در توده سنگ منتشر می‌شود. بارگذاری اگر چه با سرعت خیلی کمتر؛ ولی فورا، به وسیله ی بارگذاری طولانی تر فشار گاز ادامه می‌یابد. ترک ها در اطراف چال آغاز می‌شوند، و سپس گازها در این ترک‌ها نفوذ می‌کنند و باعث گسترش و انتشار بیشتر آنها می‌شوند. بنابراین، هر دو بارگذاری‌ها در استفاده موثر از انرژی ماده منفجره نقش خیلی مهمی ایفا می-کنند [۱۰،۱۱].

۱-۲ اهمیت موضوع

چون امروزه تکنولوژی انفجار بطور گسترده ای استفاده می شود، مطالعه آسیب‌های انفجار یکی از موضوعات اصلی انفجار است. از طرفی چون معادن روباز عمیق‌تر می شوند، حفظ یکپارچگی دیواره سنگی طی عملیات‌های انفجار مهم است [۱۴-۱۲].

آسیب کاهش در مقاومت توده سنگ به علت حضور ترک‌های ایجاد شده جدید یا بازشدگی و برش در طول ترک‌ها یا درزه‌ها از جمله آسیب‌های انفجار است.″اوریارد[1]″ (۱۹۸۲) آسیب را، شکستن یا گسیختگی سنگ خارج از محدوده طراحی شده حفاری و همچنین سست شدگی، جابجایی و

[1] Oriard

آشفتگی توده سنگ می داند [۱۵].

در معدنکاری روباز، آسیب انفجار تاثیر مهمی بر روی پایداری شیب دارد. طبق‌نظر"بائر[۲] "(۱۹۸۲) اگر عقب زدگی کنترل نشود، کاهش شیب نهایی پیت در نهایت ضروری خواهد بود، و منجر به نتایج ناخواسته‌ای ، مانند کاهش بازیابی ماده معدنی و افزایش نسبت باطله به ماده معدنی (%w) خواهد شد. سست شدگی زیادتر سنگ، سطح جبهه کار پله‌های ایمنی طراحی شده را کم تاثیر خواهد کرد .

مزایای کاهش آسیب توده سنگ (کالدر[۳] (۱۹۷۷)؛ موهانتی و چانگ[٤] (۱۹۸۶)؛ پرسون و همکاران (۱۹۹۴)) عبارتند از [۱۵]:

- افزایش بهره برداری
- کاهش نگهداری مکانیکی
- افزایش فاصله پله های ایمنی، زیرا دیوارهای کاواک و پله های ایمنی سالم اند
- از هزینه های اضافی ناشی از آسیب های وارده بر ساختمان ها، تونل ها می توان با کنترل لرزه های انفجار جلوگیری کرد
- خطرات ریزش سنگ برای افراد و تجهیزات را می توان کاهش داد (دیوارهای کاواک سالم ترند و شکستگی ها کمترند، بنابراین ریزش سنگ کاهش می‌یابد)
- پله‌های ایمنی در جذب ریزش های سنگ خیلی موثر خواهند بود
- لرزش زمین را می توان برای بهبود پایداری کاهش داد

۱-۳ روش انجام تحقیق

در این تحقیق، با توجه به اهمیت و جایگاه انفجار در عملیات استخراج در معادن و اتلاف بخش اعظمی از انرژی آزاد شده از انفجار، به منظور بررسی تاثیر حضور ناپیوستگی‌ها در انتشار موج در محیط ناپیوسته بر اساس انفجار تک چال انجام شده در معدن سنگ آهن گل‌گهر از نرم افزار المان مجزای 3DEC استفاده شد.

[2] Bauer
[3] Calder
[4] Mohanty & Chung

۱-٤ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در شش فصل به شرح زیر ارائه شده است:

فصل اول: در این فصل راجع به بیان مسئله و اهمیت موضوع بحث می شود.

فصل دوم: در این فصل، به کارهای انجام شده در مورد پیش بینی لرزه‌ها وکرنش‌های ناشی از انفجار پرداخته شده است.

فصل سوم: در این فصل اطلاعاتی در مورد معدن و شرایط و نحوه ی انفجارهای انجام شده در معدن شماره یک سنگ آهن گل‌گهر ارائه شده است.

فصل چهارم: در این فصل ابتدا در باره‌ی نحوه‌ی مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها توسط روش‌های عددی مختلف بحث شده است و سپس تاریخچه کارهای عددی درباره‌ی تحلیل رفتار موج در محیط ناپیوسته پرداخته شده است، و در انتها نحوه‌ی مدل‌سازی و هندسه مدل ساخته شده، تشریح شده است.

فصل پنجم: در این فصل نیز نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی انفجار ابتدا در محیط پیوسته و سپس در محیط ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل ششم: در فصل آخر نیز، نتیجه گیری حاصل از تحلیل‌های عددی انفجار و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل دوم

پیش بینی لرزه و کرنش های حاصل از انفجار

۲-۱ مقدمه

لرزه‌های ناشی از انفجار باعث انتقال انرژی ماده منفجره می‌شود.آشفتگی بوجود آمده به‌صورت امواج تنش در توده سنگ منتشر شده و منبع انرژی به‌صورت انرژی سیال منتقل می‌شود. انرژی منتقل شده لرزه‌هایی در توده سنگ و سطح زمین ایجاد می‌کند. امواج سطحی منجر به لرزش ساختارهای مجاور می‌شود. وقتی فرکانس موج در محدوده فرکانس نرمال ساختارها باشد، منجر به آسیب‌های زیادی در اثر پدیده تشدید می‌شود [۱۶].

۲-۲ مکانیزم لرزش زمین

وقتی خرج انفجاری در چال منفجر شود، تنش‌های دینامیک شدیدی به توده سنگ اطراف توسط فشار گاز انفجاری بر دیواره چال ایجاد می‌شود. موج‌های کرنشی منتقل شده به سنگ اطراف، یک موج محرک در زمین ایجاد می‌کند. انرژی کرنشی ایجاد شده توسط این موج های کرنشی توده سنگ را به صورت مکانیزم‌های مختلف شکست مانند خرد کردن، ترک خوردگی شعاعی و شکست انعکاسی در حضور یک سطح آزاد خرد می‌کند. ناحیه خرد شده و ناحیه ترک‌های شعاعی یک حجم ثابت از سنگ تغییر شکل یافته را در بر می‌گیرند. وقتی شدت موج تنش تا سطحی که تغییرشکل پایداری در توده سنگ رخ نمی‌دهد، افت می‌کند (یعنی، پشت ناحیه خرد شده) انتشار موج‌های کرنشی بوسیله محیط مانند موج‌های الاستیک، ذرات را نوسان می‌دهند که به این وسیله جابجا می-شوند. این موج‌ها در ناحیه الاستیک به صورت لرزش زمین هستند، که محدوده رفتار ویسکوالاستیک را تایید می‌کند. حرکت موج از مرکز محل انفجار در تمام جهت ها منتشر می‌شود و به علت گسترش سطح انتشار میرا می‌شود. با این که میرایی لرزش زمین با فاصله، نمایی است اما هنوز می‌تواند برای ایجاد آسیب به ساختمان ها و سایر سازه های طبیعی یا ساخته بشر کافی باشد [۱۷].

۲-۳ پیش بینی لرزه‌های ناشی از انفجار

از دو روش رایج برای پیش بینی سطوح لرزه ایجاد شده توسط انفجار در یک نقطه معین استفاده می‌شود [۱۸].