

تأثیر جهت انفجار تولید پیش شکافی در پایداری شیب معادن روباز با استفاده از رفتارنگاری سطحی، مطالعه موردی: معدن سنگ آهن چادرملو

حسین اینانلو عربی شاد*^۱، یاسر نعیمی^۲، کاوه آهنگری^۳

^۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

^۲- دانشجو دکتری، مکانیک سنگ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

^۳- استادیار و عضو هیئت علمی، مکانیک سنگ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

(*عهده دار مکاتبات – Inanloo.hossein@yahoo.com)

چکیده

یکی از عملیات مهم در معادن روباز، ایجاد دیواره‌هایی پایدار و با شکل یکنواخت و مسطح می‌باشد. در معدن سنگ آهن چادرملو نیز به دلیل تنوع لیتولوژی و عملکرد شدید تکتونیک، این مساله، حائز اهمیت بسیار بوده و جهت ایجاد دیواره‌هایی پایدار و با شکلی مطلوب از آشنایی پیش شکافی در دیواره‌های نهایی استفاده می‌گردد. در این روش، ابتدا خط پیش شکافی و پس از آن بلوک تولید، پیش شکافی می‌شود که نحوه عملکرد و تأثیر این دو انفجار برهم حائز اهمیت است. با توجه به این موضوع که انفجار پیش شکافی بایستی قبل از انفجار بلوک تولید آن صورت پذیرد، ارائه راهکارهای مناسب در ارتباط با کمینه نمودن ضربه ناشی از انفجار بلوک‌های تولید و ایجاد پس شکست در خط پیش شکافی از مؤثرترین و با اهمیت‌ترین عوامل در پایداری و حفظ شکل یکنواخت دیواره‌ها می‌باشد. از پارامترهای مهم در این ارتباط می‌توان به جهت انفجار (موازی یا با زاویه نسبت به پیش شکافی) اشاره نمود. در این پژوهش به بررسی اثر جهت انفجار در ایجاد دیواره‌های پایدار و مسطح از طریق کمینه نمودن ضربه ناشی از انفجار با استفاده از تحلیل داده‌های رفتارنگاری در معدن سنگ آهن چادرملو پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: جهت انفجار، تولید پیش شکافی، رفتارنگاری.

۱- مقدمه

در معدنکاری، بخش مهمی از عملیات، پی بردن به ناپایداری و در صورت شناسایی آن، مدیریت ریسک مرتبط با ناپایداری شیب است. در مراحل عملی پایداری شیب، مطالعات تجربی، تحلیلی و عددی، ابزاربندی و رفتارنگاری برای کنترل عملیات و کاهش ریسک‌های موجود در عملیات معدنکاری صورت می‌پذیرد. سپس با استفاده از نتایج به دست آمده از عملیات رفتارنگاری، پارامترهای ژئومکانیکی تدقیق شده و تحلیل پایداری با استفاده از پارامترهای به دست آمده از آنالیز برگشتی صورت می‌پذیرد. معدن سنگ آهن چادرملو در ۱۶۵ کیلومتری غرب شهرستان یزد و ۴۵ کیلومتری شرق خرانق در ایران مرکزی با مشخصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این معدن از دیدگاه زمین شناسی و تکتونیک، یکی از نواحی پیچیده ایران می‌باشد. تنوع سنگ‌ها و همچنین وجود مواد و مناطق گسله و زون‌های برشی از خصوصیات آن است. کانسار، دارای بیش از ۲۰۰ میلیون تن ذخیره استخراجی و ۴۰۰ میلیون تن، ذخیره اکتشافی است. سنگ‌های دربرگیرنده معدن روباز چادرملو، مجموعه دره‌ای از سنگ‌های آذرین و مقادیر کمتری از سنگ‌های دگرگونی و رسوبی به شدت دگرنهاده است که عملکرد گسل‌ها و کانسارزائی آهن، پیچیدگی و ابهام‌های زیادی را در ارزیابی رفتار ژئوتکنیکی آن‌ها به وجود

آورده است. ویژگی‌های محلی چادرملو، شامل کانسارزائی آهن و تغییرات فیزیکی و شیمیائی ناشی از نوع زایش کانسار مانند دگرنهادی سنگ‌های دربرگیرنده و گسل‌های فراوان است (کانی‌کاوان شرق، ۱۳۸۸).

پیت ۳۰ ساله معدن دارای عمق ۲۲۵ متر تا تراز ۱۳۰۰ است. در حال حاضر عملیات معدنکاری در حال انجام است و پیت معدن در حال توسعه بوده که قطر تقریبی آن ۱۲۰۰ متر و بیشینه ارتفاع دیواره ۱۶۵ می‌باشد. حفاری و آتشکاری از مهم‌ترین عملیات و اولین مرحله از عملیات استخراج در معادن روباز می‌باشد. لذا سایر عملیات از قبیل بارگیری، باربری، شکل ظاهری و پایداری دیواره‌ها متأثر از این مرحله با اهمیت و حساس است (کانی‌کاوان شرق، ۱۳۸۸).

در معادن روباز، اجرای آتشیاری‌های کنترل‌شده در پله‌های نهایی می‌تواند مزایای زیر را در بر داشته باشد (اصانلو، ۱۳۸۴).

- امکان افزایش شیب معدن و در نتیجه بالا رفتن ذخیره قابل استخراج و کم شدن نسبت باطله به ماده معدنی.
- کاهش احتمال سقوط سنگ، امکان استفاده از پله‌های کم عرض تر در نتیجه امکان افزایش شیب.
- افزایش راندمان و ایمنی کار.

در دیواره‌های نهایی معدن سنگ آهن چادرملو، به منظور ایجاد دیواره‌هایی پایدار با شکل یکنواخت و مسطح و ضربه کمتر به دیواره از آتشیاری پیش‌شکافی استفاده می‌شود. از پارامترهای مؤثر بر اجرای مطلوب با حداکثر بهره‌بردن از کارایی انفجار پیش‌شکافی می‌توان به خواص توده‌سنگ، خواص ماده منفجره، دقت چالزنی، هندسه و توالی انفجار و انفجار بلوک‌های تولید آن اشاره کرد. همان‌طور که اشاره شد یکی از پارامترهای بسیار مهم در عملکرد و استفاده بهینه از انفجار پیش‌شکافی، انفجار بلوک‌های تولید آن می‌باشد. یکی از مهم‌ترین عوامل مخرب ایجادشده در اثر انفجار، لرزش زمین و ضربه ناشی از انفجار می‌باشد. از پارامترهای مؤثر بر لرزش و ضربه ناشی از انفجار می‌توان به خواص ژئومکانیکی سنگ‌ها، فاصله از محل انفجار، خرج ویژه، پارامترهای هندسی انفجار، خرج بر تأخیر و فواصل تأخیر اشاره کرد. همان‌طور که اشاره شد پارامترهای خرج بر تأخیر و فواصل تأخیر دارای تأثیر مهمی بر لرزش زمین و ضربه ناشی از انفجار می‌باشند که اثر این دو پارامتر بر محدوده پیرامون بلوک انفجاری را می‌توان توسط جهت انفجار کنترل بیشتری نمود (Lopez Jimeno and et al., 1995 and Mandal and et al., 2008).

با توجه به اهمیت و ضرورت بحث پایداری و بررسی اثر آتشیاری بر آن، در این پژوهش به بررسی پارامتر جهت انفجار در ایجاد دیواره‌ای پایدار، مسطح با کمینه نمودن ضربه ناشی از انفجار با توجه به تحلیل داده‌های رفتارنگاری در معدن سنگ آهن چادرملو پرداخته می‌شود.

۲- ابزاربندی و رفتارنگاری

پس از مطالعات پایداری شیب، بررسی امور مرتبط، شناسایی، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر، در صورت لزوم، ابزاربندی و رفتارنگاری دیواره‌ها مدنظر می‌باشد. شایان ذکر است که حرکت شیب در معادن روباز امری رایج است. بسیاری از شیب‌های سنگی در دوره بهره‌برداری و یا در دوران عمر طبیعی خود در ابعاد متفاوتی دارای حرکت می‌باشند. این حرکت‌ها نشان می‌دهند که شیب در یک حالت شبه پایدار است ولی این شرایط شاید سال‌ها یا حتی قرن‌ها بدون پیدایش شکست ادامه یابد. گرچه، در موارد دیگر، حرکت جزئی اولیه شیب شاید عاملی برای حرکت شتابدار تا فروپاشی شیب باشد. به‌خاطر عدم قابلیت پیش‌بینی رفتار شیب، برنامه‌های رفتارنگاری حرکت می‌تواند در کنترل خطرات شیب با ارزش باشد و معدن سنگ آهن چادرملو نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. ابزاربندی و رفتارنگاری برای پی‌بردن به روند جابجایی‌ها و جهت اخطار دادن در هنگام بروز شرایط ناپایدار می‌باشد. ضرورت ابزاربندی و

رفتارنگاری در دیواره‌های شبه پایدار و ناپایدار می‌باشد و پس از آن، حتی اگر شیروانی به‌نحو مناسب و با حداکثر ضریب ایمنی طراحی شده باشد، می‌تواند در معرض ناپایداری قرار گیرد (کانی‌کاوان شرق، ۱۳۸۸).

ابزاربندی و رفتارنگاری دیواره‌های معدن سنگ‌آهن چادرملو به اشکال زیر درحال اجرا می‌باشد:

- ابزاربندی سطحی دیواره‌ها

- ابزاربندی زیرسطحی دیواره‌ها

ابزاربندی و رفتارنگاری سطحی دیواره‌های معدن از سال ۱۳۸۵ درحال اجرا می‌باشد. در این عملیات از

روش‌های:

الف- رفتارنگاری مشاهده‌ای

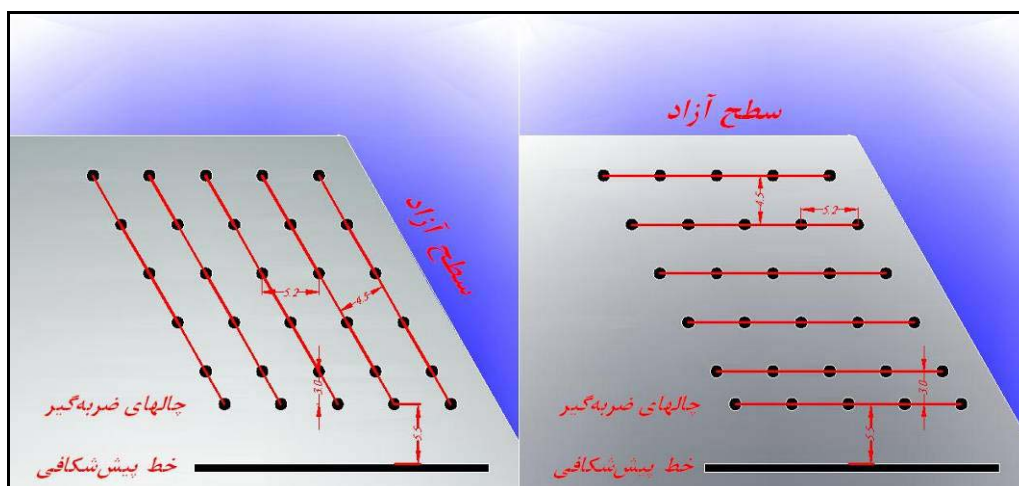
ب- رفتارنگاری ناپیوستگی‌ها از طریق پین‌کوبی

پ- ابزاربندی و رفتارنگاری از طریق نصب ترک‌سنج

بهره گرفته شده است (کانی‌کاوان شرق، ۱۳۸۸ و SRK Consulting, 2006).

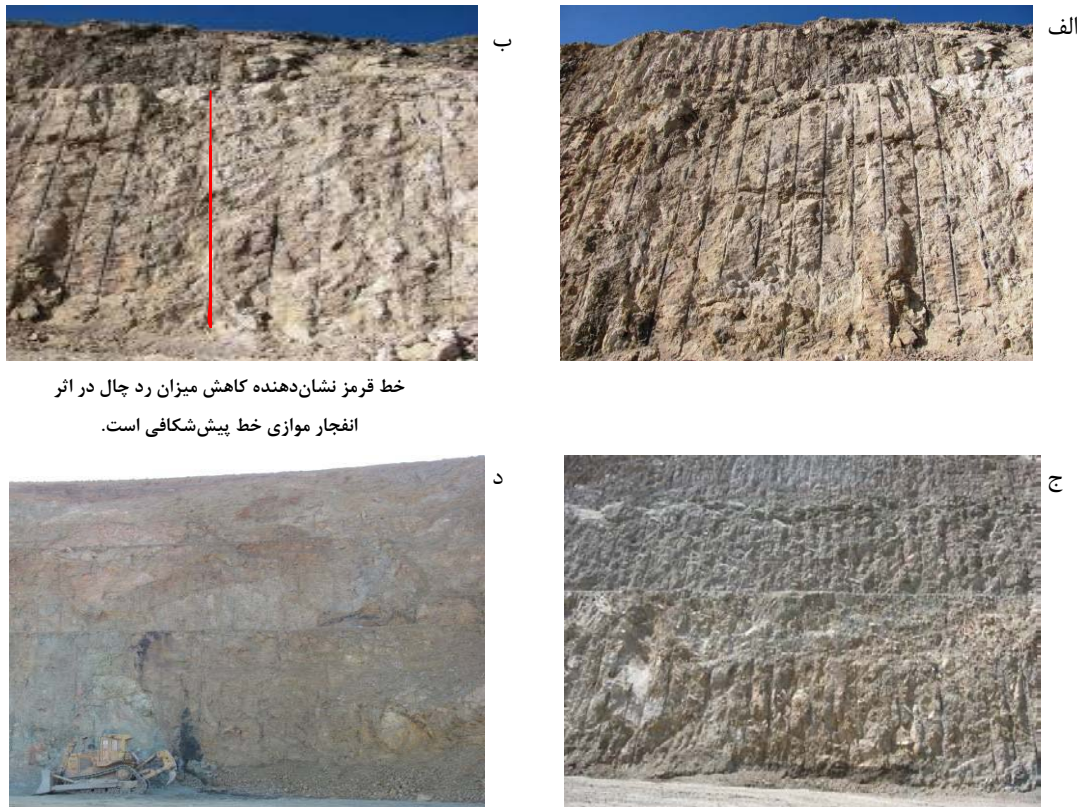
۳- بحث و بررسی

یکی از عوامل مطلوبیت انفجار چال‌های تولید، میزان رد چال‌های باقی‌مانده انفجار پیش‌شکافی است که با بررسی میزان ضربه و لرزش‌های ناشی از انفجار با کنترل میزان بازشدگی ترک‌های کششی در محدوده بلوک‌های انفجاری می‌توان پایداری آن را نیز کنترل نمود. علاوه بر مطالب ذکرشده از پارامترهای مؤثر، بررسی تأثیر جهت انفجار بر میزان رد چال‌های باقیمانده از انفجار پیش‌شکافی است (Mandal and et al., 2008). برای بررسی تأثیر این موضوع و میزان آن در معدن سنگ آهن چادرملو، الگوهای حفاری مشابهی از نظر تعداد چال، خرج ویژه، خرج بر تأخیر و میزان فاصله اولین ردیف چال‌ها بلوک‌های تولید پیش‌شکافی نسبت به خط پیش‌شکافی بر اساس جهت‌های انفجار مختلف (موازی یا دارای زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی) در بلوک‌های دارای لیتولوژی تقریباً یکسان و نحوه حفاری و انفجار کاملاً مشابه خط پیش‌شکافی، طراحی و انفجار گردید. شکل ۱ الگوهای مورد استفاده بر اساس جهت انفجار را نشان می‌دهد.



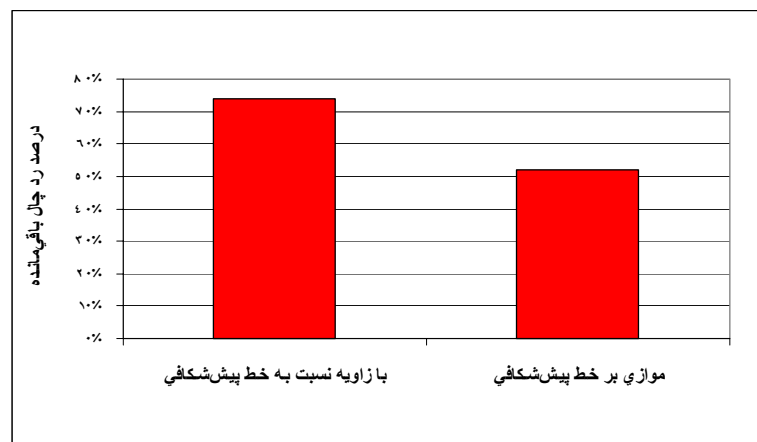
شکل ۱: الگوهای پیش‌شکافی مورد استفاده بر اساس جهت انفجار (کانی‌کاوان شرق، ۱۳۸۸)

نتایج انفجارها تاثیر جهت انفجار بر رد چال‌های پیش‌شکافی و ایجاد دیواره‌ای مسطح و پایدار را نشان می‌دهند. همانطور که در شکل‌های ۲-الف تا ۲-د و نمودار ۱ که بیانگر درصد میزان رد چال باقی‌مانده انفجار پیش‌شکافی پس از انفجار بلوک‌های تولید آن می‌باشد، مشاهده می‌شود که رد چال و شکل دیواره در انفجارهای دارای زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی از انفجارهای موازی بر خط پیش‌شکافی بهتر و مناسب‌تر می‌باشد. ضمن آن که نتایج رفتارنگاری ابزارهای سطحی نیز از بازشدگی بیشتر ترک‌های محدوده انفجارهای موازی بر خط پیش‌شکافی نسبت به ترک‌های محدوده انفجارهای با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی حکایت دارد (نمودارهای ۱-الف تا ۱-د).

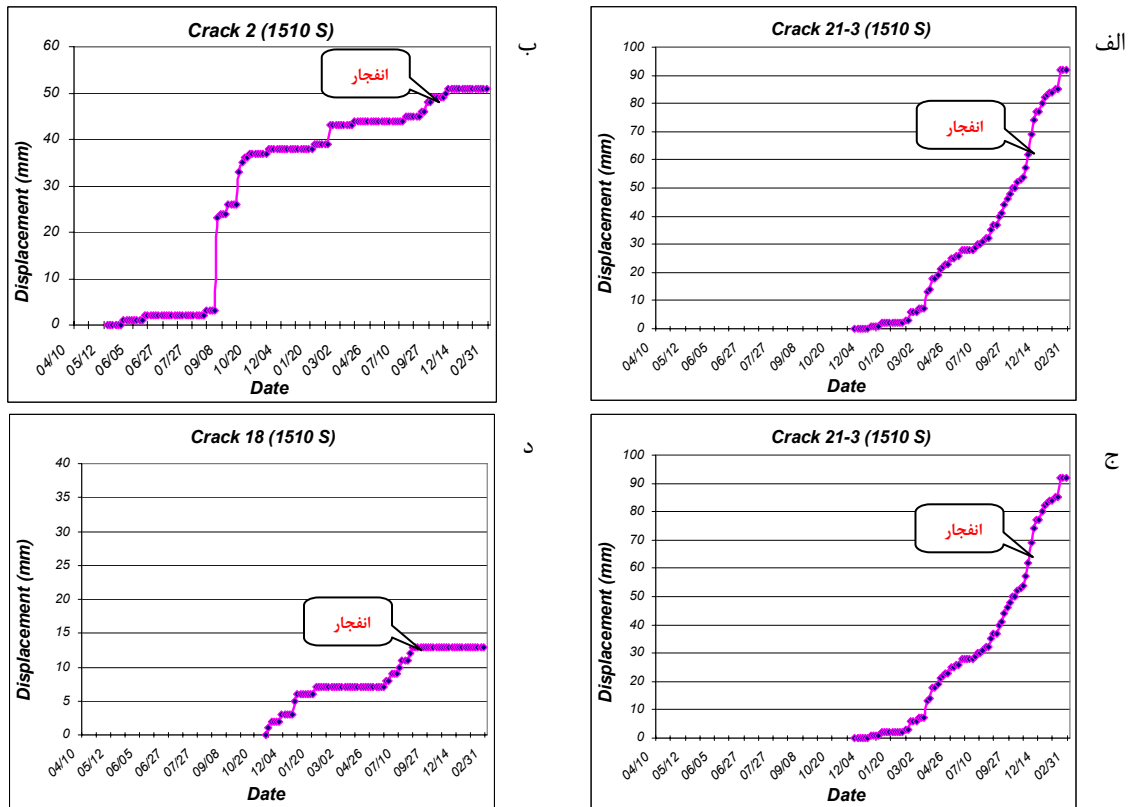


خط قرمز نشان‌دهنده کاهش میزان رد چال در اثر انفجار موازی خط پیش‌شکافی است.

شکل ۲: الف و ج- اثر چال در دیواره انفجار با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی، ب و د- اثر چال در دیواره انفجار موازی بر خط پیش‌شکافی



نمودار ۱: درصد رد چال باقی‌مانده بر اساس جهت انفجار



نمودار ۲: الف- تغییرات میزان بازشدگی ترک ۵ افق ۱۵۱۰، انفجار موازی بر خط پیش‌شکافی، ب- تغییرات میزان بازشدگی ترک ۲ افق ۱۵۱۰، انفجار با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی، ج- تغییرات میزان بازشدگی ترک ۲۱-۳ افق ۱۵۱۰، انفجار موازی بر خط پیش‌شکافی، د- تغییرات میزان بازشدگی ترک ۱۸ افق ۱۵۱۰، انفجار با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی

بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت میزان رد چال باقی مانده در بلوک‌هایی که با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی انفجار شده‌اند، دارای میزان رد چال باقی‌مانده بیشتری نسبت به بلوک‌هایی انفجاری که به صورت موازی با خط پیش‌شکافی است، هستند. همچنین در بلوک‌های با انفجار موازی نسبت به خط پیش‌شکافی در هر پریود ۵ چال همزمان نسبت به خط پیش‌شکافی انفجار می‌شوند که جهت ضربه به سمت خط پیش‌شکافی می‌باشد. در حالی که در انفجارهای با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی، تنها یک چال بر خط پیش‌شکافی اثر می‌گذارد و جهت ضربه به سمت عمود بر خط پیش‌شکافی با کمترین لرزش می‌باشد. این امر به معنی کاهش خرج بر تأخیر و افزایش فواصل تأخیر چال‌هایی که بر خط پیش‌شکافی اثر می‌گذارد در انفجارهای دارای زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی می‌باشد. این موضوع در نمودارهای رفتارنگاری ابزارهای سطحی که نشان‌دهنده میزان بازشدگی ترک‌ها قبل و پس از انفجار می‌باشد، به صورت واضح مشخص است.

۴- نتیجه‌گیری

با بررسی تاثیر جهت انفجارهای تولید پیش‌شکافی بر خط پیش‌شکافی از لحاظ شکل و پایداری دیواره ایجادشده و میزان لرزش‌های انتقالی به دیواره می‌توان بیان کرد که میزان رد چال باقی‌مانده در بلوک‌هایی که با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی انفجار شده‌اند، دارای میزان رد چال باقی‌مانده بیشتری نسبت به بلوک‌هایی است که انفجار به صورت موازی با خط پیش‌شکافی می‌باشد. همچنین نتایج رفتارنگاری و بازشدگی ترک‌هایی که در محدوده‌ی بلوک‌هایی انفجاری مورد ابزاربندی سطحی قرارگرفته نشان‌دهنده بازشدگی بیشتر ترک‌های محدوده انفجارهای موازی بر خط

پیش‌شکافی نسبت به ترک‌های محدوده انفجارهای با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی می‌باشد. علت این امر را می‌توان در این دانست که در هر پرپود زمانی ۵ چال همزمان نسبت به خط پیش‌شکافی انفجار می‌شوند و جهت ضربه به سمت خط پیش‌شکافی می‌باشد. در حالی که در انفجارهایی با زاویه نسبت به خط پیش‌شکافی فقط ۱ چال به خط پیش‌شکافی اثر می‌گذارد و جهت ضربه به سمت عمود بر خط پیش‌شکافی با وارد شدن لرزش کمتر می‌باشد. در تحقیق‌های آتی می‌توان میزان تأثیر زاویه بلوک تولید نسبت به خط پیش‌شکافی را در ایجاد دیواره‌ای مسطح و پایدار بررسی نمود.

۵- سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس نوریان مدیر محترم عامل و جناب آقای مهندس ابریشمی مدیر محترم مجتمع معدنی و صنعتی چادرملو به خاطر حمایت و محبت‌های بی‌دریغ‌شان و تمام عزیزانی که به نحوی ما را در انجام این پروژه یاری نمودند، تشکر و قدردانی نموده و برای ایشان آرزوی موفقیت و سعادت می‌نماییم.

۶- منابع

۱. اصانلو، م. ۱۳۸۴، روش‌های استخراج معادن سطحی، جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲. کانی کاوان شرق، شرکت مهندسی، ۱۳۸۸، گزارش تحلیل پایداری شیب دیواره جنوبی (محدوده‌های ژئوتکنیکی ۲ و ۳) معدن سنگ آهن چادرملو.
۳. کانی کاوان شرق، شرکت مهندسی، ۱۳۸۸، گزارش بررسی تأثیرپذیری ترک‌های دیواره جنوبی از انفجارهای معدن سنگ آهن چادرملو.
4. Blasting Pattern, Geotech Geol Eng, 26, 399-416.
5. Lopez Jimeno, C. Lopez Jimeno, E. Aylar Carcedo F.J., 1995, Drilling and Blasting of Rocks, A.A. Balkema Publishers.
6. Mandal, S.K. Singh, M.M. Dasgupta, S., 2008, Theoretical Concept to Understand Plan and Design Smooth
7. SRK Consulting, 2006, CHADOR MALU PHASE II SLOPE DESIGN STUDIES.
8. Singh, P.K. Roy M.P. Joshi, A.V.P., Joshi, 2010, Rampura Agucha Mine, Hindustan Zinc Limited, Rampura Agucha, India Controlled blasting (pre-splitting) at an open-pit mine in India. Rock Fragmentation by Blasting – Sanchidrián (ed), Taylor & Francis Group, London.