Archive of SID

نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن"

Iranian Journal of Mining Engineering (IRJME)

دوره چهارم، شماره هشتم، سال 8388، صفحه 38 تا 37

Vol. 4, No. 8, 2009, pp.31-37

ارزیابی تأثیر پیشروی کارگاه‌های استخراج جبهه کار طولانی بر رفتار گالری پست 5 معدن بزرگ پابدانا

رضا رحمان‌نژاد[8*]؛ وحید معاذاللهی[2]

1- دانشیار بخش مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛
تلفن: 0101112 1231؛ Email: r_rahmannejad@mail.uk.ac.ir
0- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه شهید باهنر کرمان; Email: v_moazallahi@graduate.uk.ac.ir

(دریافت 85 فروردین 8388 ، پذیرش 88 مهر 8388)

چکیده

بررسی رفتار حفریات زیرزمینی با تکیه بر اندازه‌گیری جابجایی‌ها از رایجترین روش‌های ارزیابی پایداری است. در این تحقیق تأثیر عملیات استخراجی در کارگاه‌های 245 پسرو و 245 پیشرو بر وضعیت گالری پست 5 معدن بزرگ پابدانا که متحمل مشکلات گوناگون شامل جابجایی بیش از حد مقطع عرضی گالری، ایجاد تغییر شکل‌های گوناگون قاب‌های نگهداری و شکست و تخریب آنها گردیده، ارائه شده است. ابزار مورد استفاده متر همگرایی‌سنج و ایستگاه‌ها از نوع 3 نقطه‌ای هستند. نتایج یکساله ثبت همگرایی در 82 ایستگاه حاکی از آن است که بیش از 92٪ جابجایی کل در پشت جبهه‌کار کارگاه استخراج جبهه کار طولانی رخ می‌دهد. به گونه‌ای که تغییر شکل‌های مضر در محدوده‌ای بین 7 تا 22 متر پشت جبهه‌کار کارگاه و در زیر زون تخریب بوقوع می‌پیوندند. همچنین سرعت پیشروی عملیات استخراجی در کارگاه از عوامل مهم تأثیرگذار بر رفتار گالری تشخیص داده شد.

کلمات کلیدی

معدن پابدانا، کارگاه استخراج جبهه کار طولانی، رفتارنگاری، متر همگرایی‌سنج.

* عهده‌دار مکاتبات

www.SID.ir

Archive of SID

8- مقدمه

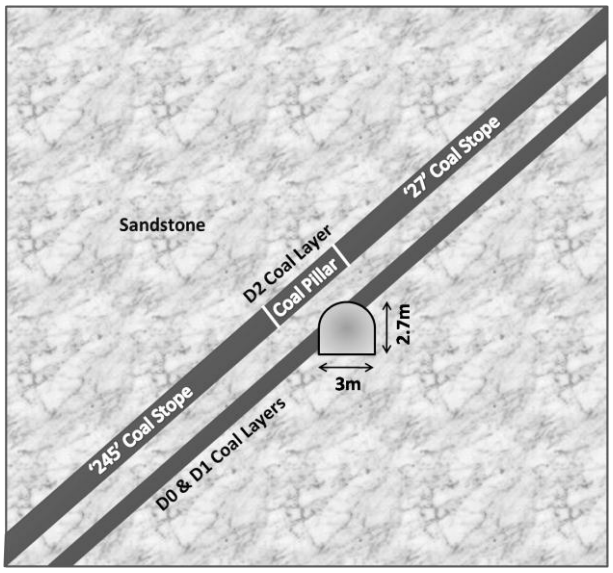
معدن زغال پابدانا یکی از معادن مهم و با سابقه ایران بشمار می‌آید که طول حفریات آن بالغ بر چند ده کیلومتر بوده و تجربه انبوه عملیات معدنکاری در آن نهفته است. شرایط زمین-شناسی متنوع و تعدد مناطق دشوار چون انواع گسل و چین-خوردگی، وجود دسته درزه‌های متعدد، لایه‌بندی و شیستوزیته، آبهای زیرزمینی، لایه‌های آماسی، زون‌های ضعیف و لهیده و ... منجر به ایجاد پدیده‌های مختلف زمین‌شناختی شده است که بر پایداری حفریات آن تاثیر می‌گذارد[1].

در این تحقیق مسئله پایداری و دلایل ناپایداری گالری پست 4 معدن بزرگ پابدانا مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. گالری مذکور بخشی از حفریات معدن بزرگ پابدانا است که در افق 0414 در عمق حدود 141 متری با سطح مقطع مفید 6/0 مترمربع حفاری شده است (شکل 1).

شکل 8: نمایی از گالری پست 5 معدن بزرگ پابدانا

حفاری این گالری در فاصله سال‌های 1255تا 1256 انجام شده است. در مسیر گالری، کارگاه‌های 06 پسرو و پیشرو در بالادست و کارگاه‌های 031، 034پسرو و 034 پیشرو در پایین دست آن واقع شده‌اند. در واقع رفتار گالری مذکور متأثر از استخراج زغال در این کارگاه‌ها است. از این میان استخراج کارگاه‌های 06پسرو و 06 پیشرو به ترتیب در فاصله سال‌های 1257تا 1261 و 1258تا 1260 و کارگاه 031 در سال‌های 1267تا 1271 صورت گرفته است. استخراج کارگاه‌های 034 پسرو و 034 پیشرو نیز به ترتیب در مهر 1271 و ابتدای 1270 آغاز شده و همچنان ادامه دارد. در واقع این گالری مسیر دسترسی و تهویه کارگاه‌های مذکور است.

شکل 0 مقطع شماتیک گالری پست 4 را نشان می دهد. سیستم نگهداری در این گالری، قاب‌های فولادی کشویی با فاصله 1 متر به همراه لارده‌های بتن مسلح بوده است. هم اکنون سیستم مذکور به شدت آسیب دیده است و به صورت مکرر تعمیر می شود (شکل 2). عدم رعایت پاره‌ای اصول معدنکاری مانند باقی گذاشتن لنگه زغالی در کارگاه و یا پایه سنگی در گالری‌های موازی لایه و در بعضی مواقع استخراج زغال تا پشت قاب‌های فولادی نگهداری، منجر به مسائلی از قبیل جابجایی بیش از حد مجاز و تغییرشکل مضر مقطع عرضی گالری، ایجاد تغییرشکل‌های گوناگون قاب‌های نگهداری و شکست و تخریب آنها و در کل ایجاد شرایط بحرانی برای گالری شده است (شکل 3).



شکل 2: مقطع شماتیک گالری پست 5

شکل 3: نمایی از قسمت تعمیر شده گالری پست

2- سابقه مطالعات

در کشور روسیه تجربه انبوهی در مورد رفتار انواع حفریات معدنی وجود دارد. رفتارنگاری‌های چند ساله در گالری‌های

www.SID.ir

Archive of SID

موازی لایه، امتدادلایه و عمود برلایه با سطح مقطع 6 تا 01 مترمربع و در اعماق 111 تا 511 متر انجام شده است. سنگ-های دربرگیرنده حفریات شامل ماسه‌سنگ، آرژیلیت، الورولیت و ترکیب آنها بوده که محدوده مقاومت فشاری از 7 (در زون-های خرد شده) تا 011 مگاپاسکال را شامل می‌شد.

شکل 4: تخریب شدید سیستم نگهداری گالری پست 5 در زیر کارگاه 27 به علت بار مرده ناشی از زون تخریب

بررسی نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که فرایندهای مکانیکی در توده سنگ اطراف حفریات افقی یا شیب‌دار موازی لایه در خارج از محدوده کارگاه استخراج و پایداری آنها به عوامل زیر وابسته است[0]:

ساختار و مقاومت سنگ‌ها شامل: خواص توده سنگ (از جمله همگنی و انیزوتروپی محیط، الاستیک بودن محیط و پارامترهای مکانیکی سنگ)، خصوصیات ناپیوستگی‌های محیط (تعداد دسته درزه‌ها، شیب و امتداد آنها نسبت به گالری، خصوصیات سطح درزه)؛

وضعیت تنش‌های برجای منطقه و شرایط آب‌های زیرزمینی؛

مساحت مقطع، عمق، نوع نگهداری و شیوه حفاری گالری.

برای حفریات واقع در محدوده کارگاه‌ها علاوه بر پارامترهای مذکور، مشخصات سنگ کمربالای لایه زغال، مشخصات هندسی کارگاه، شیوه استخراج و هدایت سقف کارگاه، شیوه حفاظت گالری و فاصله زمانی و مکانی حفاری گالری و استخراج کارگاه مربوطه و کارگاه همسایه نیز نقش دارند[2].

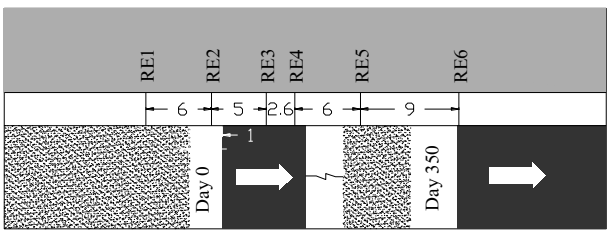
در بررسی این مطالعات نتایج ذیل را می‌توان خلاصه نمود: از کل جابجایی سقف و کف گالری 11 تا 14 درصد در محدوده فشار تکیه‌گاهی کارگاه اول،41 تا 54 درصد در محدوده اثر لغزش و شکست فعال سنگ در پشت کارگاه اول، 3 تا 7 درصد در محدوده کرنش و تغییرشکل آرام شونده و حدود 01 تا 07 درصد در محدوده فشار تکیه‌گاهی کارگاه دوم قرار دارد (این مقادیر مربوط به شرایطی‌اند که گالری پس از استخراج کارگاه دوم، تخریب می‌شود). همچنین جابجایی دیواره گالری-ها تحت اثر فشار تکیه‌گاهی در جلو کارگاه اول حدود 4 تا 11برابر کمتر از شرایط وجود 0 کارگاه است. ضمن اینکه در لایه‌های با ضخامت بیش از 0متر که سقف و کف آنها مقاومت بیش از 61 مگاپاسکال دارد این مسئله شدت بیشتری دارد [3].

3- برنامه رفتارنگاری

به منظور مطالعه تأثیر پیشروی کارگاه استخراج بر روی این گالری، دو بخش از آن در محل سینه‌کارهای استخراج کارگاه-های 034 پسرو و 034 پیشرو انتخاب و جهت رفتارنگاری آماده‌سازی گردید. هر یک از این بخش‌ها با طول حدود 21 متر، منطقه‌ای از قبل از زون تخریب کارگاه تا فاصله‌ای در جلوی جبهه‌کار را شامل می‌شود.

3-8- ایستگاه‌های رفتارنگاری

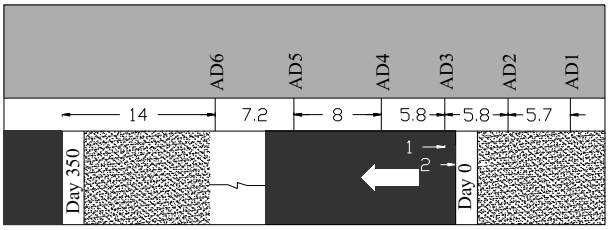
جهت بدست آوردن اطلاعات جامع، در هر یک از قسمت‌های مزبور 5 ایستگاه رفتارنگاری با توجه به شرایط زمین‌شناسی، محدوده تأثیر کارگاه و ... آماده‌سازی شد. ایستگاه‌ها در قسمت کارگاه پسرو به ترتیب از RE1 تا RE6 و در قسمت کارگاه پیشرو از AD1 تا AD6 نامگذاری شد. در شکل 4 و شکل 5 موقعیت ایستگاه‌های رفتارنگاری به ترتیب برای کارگاه 034 پسرو و کارگاه 034 پیشرو دیده می‌شود. عملیات اندازه‌گیری همگرایی به وسیله متر همگرایی‌سنج و در ایستگاه‌های سه نقطه‌ای صورت گرفت (شکل 6). برای هر ایستگاه پاسپورتی تهیه شده که در شکل 7 نمونه آن برای ایستگاه RE2 ارائه شده است [4].



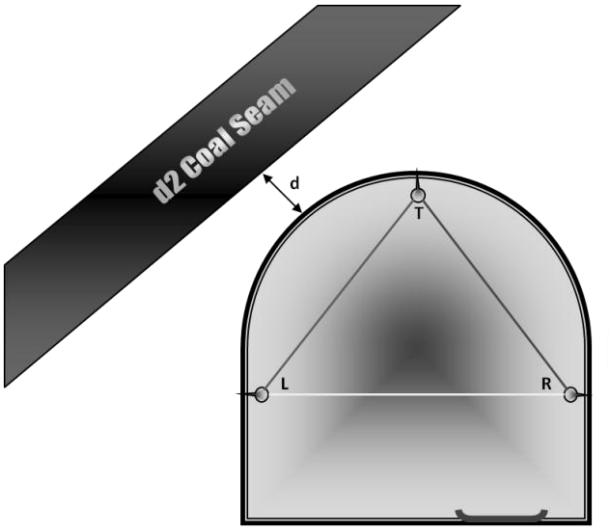
شکل 5: موقعیت کارگاه 245 پسرو در زمان اولین و آخرین قرائت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 6: موقعیت کارگاه 245 پیشرو در زمان اولین و آخرین قرائت



شکل 7: نمای شماتیک امتدادهای قرائت و موقعیت لایه استخراجی

RE2		
Distance from First Station		6.00
Distance to d2 Coal Seam(m)		- 0.8
Coal Pillar (m)		
Tunnel Dimensions (m)	b	2.60
	h	2.40
Pin Height (m)	T	2.15
	R	1.13
	L	1.10
Length of Measuring Directions (cm)	TR	155.412
	TL	153.592
	RL	230.486
Comments		

شکل 8: پاسپورت ایستگاه RE2

3-2- روند عملیات قرائت

عملیات ثبت همگرایی از فروردین 1275 آغاز شد و بمدت 241 روز ادامه یافت. در ابتدای عملیات جهت بدست آوردن روند کلی جابجایی‌ها و تعیین فواصل زمانی قرائت‌ها، به مدت 0 هفته هر روز قرائت صورت گرفت. در این زمان عملیات استخراج در کارگاه پسرو بسیار کند صورت می‌گرفت. همچنین در کارگاه پیشرو به علت کاهش ضخامت لایه استخراجی در میانه کارگاه، استخراج تنها در پایین کارگاه انجام می‌شد و عملاً بخش بالایی کارگاه غیرفعال بود. بنابراین فواصل انجام قرائت به یک اندازه‌گیری در هفته افزایش یافت. پس از شروع استخراج قسمت بالایی کارگاه پیشرو در اوایل خرداد، تعداد قرائت‌ها به 2 قرائت در هفته افزایش یافت. در هر قرائت علاوه بر اندازه‌گیری فواصل پین‌ها، موقعیت کارگاه استخراج، زون تخریب و تغییرات احتمالی در گالری از قبیل شکستگی لارده‌ها یا تغییر شکل قاب‌ها نیز ثبت می‌شد [4].

4- بررسی و تفسیر نتایج رفتارنگاری

در این قسمت منحنی‌های جابجایی و سرعت متناظر آنها ارائه می‌شود. به لحاظ محدودیت صفحات مقاله تنها گراف‌های 0 ایستگاه در کارگاه پسرو و پیشرو آورده شده است. بعلاوه با توجه به گراف‌ها و اطلاعات ثبت شده دیگر از قبیل شرایط کارگاه، لنگه‌های زغالی، پایه‌های سنگی، سرعت پیشروی کارگاه، مشاهدات تغییرات محسوس در سیستم نگهداری و غیره نتایج کلی ارائه شده است. لازم به ذکر است که داده‌های ثبت شده در بعضی ایستگاه‌ها به علت آسیب‌دیدگی پین‌ها یا قاب‌هایی که پین‌ها بر روی آن ها نصب شده و یا حفر دویل درست در جوار یک ایستگاه دچار اشکال شده و دارای اعتبار مناسب نبوده و از بررسی آنها صرف‌نظر شد.

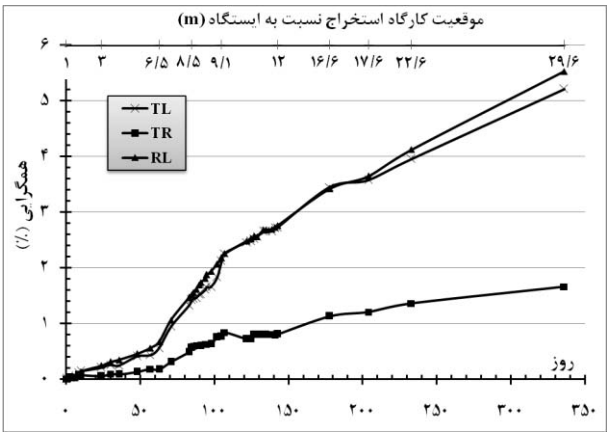
4-8- ایستگاه RE2

در این ایستگاه بیشترین جابجایی به ترتیب در امتدادهای RL، TL و TR ثبت شده است (شکل 8). تا روز 51ام که کارگاه عملاً استخراج چندانی نداشته است، جابجایی‌ها با سرعت نسبتاً کمی رو به افزایش بوده است. اما در اثر افزایش فعالیت کارگاه، یکباره میزان جابجایی‌ها به شدت افزایش یافته و سرعت آن در جهت افقی به حدود *سانتی‌متر بر روز* 1/1 رسید (شکل 11). پس از گذشت حدود 111 روز و پیشروی کارگاه، تأثیر آن بر این ایستگاه کاهش یافته و بنابراین سرعت جابجایی‌ها نیز کم شده است. پس از این مدت جابجایی‌ها همچنان با سرعت کمتری در حال افزایش بود. علت عدم ثبوت جابجایی‌ها در این مدت این است که ایستگاه همچنان در محدوده تأثیر پشت کارگاه واقع بوده است. در حقیقت این ایستگاه در محدوده فعال جدایش و ریزش در فضای پشت کارگاه دوم قرار داشته است. سرعت جابجایی‌ها در روزهای 51 تا 111ام بالا بوده و بعضاً به مقادیر بحرانی (جابجایی‌هایی که باعث آسیب‌دیدگی قاب‌ها و ایجاد ناپایداری گالری می‌گردند) رسیده است. لازم به ذکر است که با توجه به مشاهدات صورت گرفته در حین رفتارنگاری و در نظر گرفتن شرایط معدنکاری،

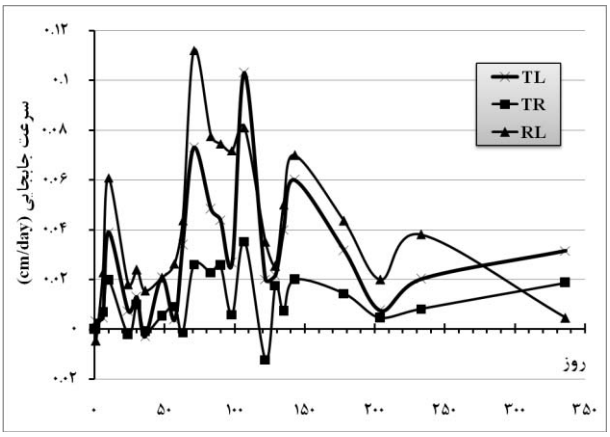
www.SID.ir

Archive of SID

مقدار سرعت بحرانی در این گالری به مقادیر بیش از *سانتی‌متر بر روز* 1/1 اطلاق خواهد شد[5]. بر این اساس جابجایی‌های مضر، جابجایی‌هایی هستند که با سرعتی بیش از سرعت بحرانی به وقوع می‌پیوندند. ماکزیمم مقدار این پارامتر در ایستگاه برابر *سانتی‌متر بر روز* 1/11 بوده و زمانی رخ داده است که کارگاه به حدوداً 6 متر جلوتر از ایستگاه رسیده بود.



شکل 9: نمودار جابجایی‌های TR، TL و RL در ایستگاه RE2

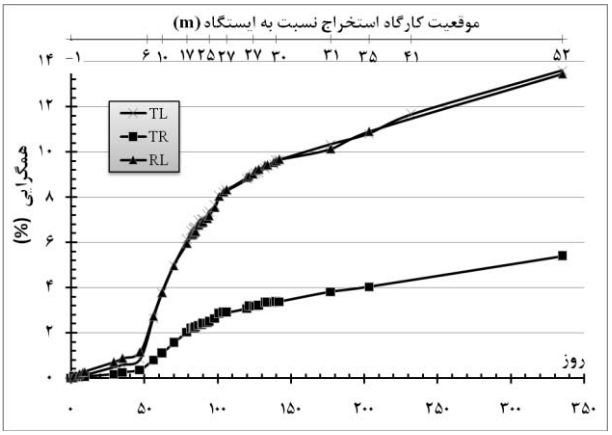


شکل 81: نمودار سرعت جابجایی ها در ایستگاه RE2

4-2- ایستگاه AD2

این ایستگاه در واقع منحنی‌های جابجایی ناشی از استخراج کارگاه را به صورت تیپیک نشان می‌دهد (شکل 11). در شروع اندازه‌گیری‌ها این ایستگاه با فاصله 1 متر در جلوی کارگاه استخراج، در زون فشار تکیه‌گاهی کارگاه قرار داشته است. به علت عدم استخراج تا روز 34ام جابجایی‌ها مقدار زیادی ندارند. مشاهده می‌شود که سرعت جابجایی‌ها در این زمان نسبتاً ثابت و بیشترین مقدار آن در راستای افقی و به میزان متوسط 1/15 سانتی‌متر بر روز بوده است. پس از این تاریخ و با شروع فعالیت استخراجی در بخش بالایی کارگاه، جابجایی‌ها با سرعت زیادی تا حدوداً روز 111ام افزایش یافته‌اند. یکی از مهمترین دلایل سرعت بالای جابجایی‌ها در این زمان، سرعت بالای استخراج و پیشروی در کارگاه (نسبت به کارگاه پسرو) بوده است. پس از این تاریخ که کارگاه استخراج بیش از 06 متر از این ایستگاه دور شده است، سرعت جابجایی‌ها با گذشت زمان کاهش یافته و ایستگاه به حالت تعادل نزدیک شده است. لازم به ذکر است که جهش ناگهانی در منحنی‌های این ایستگاه در روز 85ام مربوط به شکستگی قاب همجوار این ایستگاه و وارد شدن بار اضافی بر این ایستگاه است. در این ایستگاه نیز بیشترین مقدار جابجایی در راستای افقی و کمترین آن در سمت راست (توده سنگ) به وقوع پیوسته است. یکی از مهم‌ترین دلایل آسیب زیاد قاب‌ها در این محدوده از گالری، سرعت بالای جابجایی‌ها است که خود ناشی از سرعت بالای پیشروی در قسمت بالای کارگاه (نزدیک به گالری) است. به گونه‌ای که ماکزیمم سرعت جابجایی 1/34 سانتی‌متر بر روز می‌باشد (شکل 10).

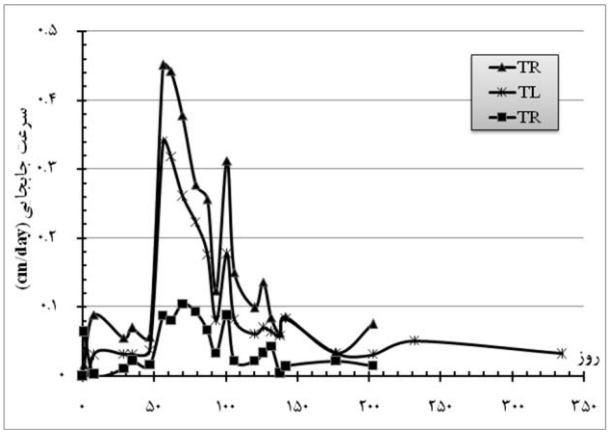
با توجه به منحنی سرعت جابجایی دیده می‌شود که پس از شروع استخراج، سرعت جابجایی‌ها به میزان چشمگیری افزایش یافته است. پس از مدتی روند کلی این منحنی به علت دور شدن کارگاه استخراج از آن رو به کاهش گذاشته است. نوسانات موجود را می‌توان به ضربات ناشی از تخریب سقف کارگاه و همچنین تا حدودی به فاصله محل استخراج از گالری در جهت شیب کارگاه نسبت داد [6]. جابجایی‌های این ایستگاه هم اکنون با سرعتی کمتر از 1/14 سانتی‌متر بر روز ادامه دارد. با توجه به گراف‌های این ایستگاه می‌توان عنوان کرد که زون تغییر شکل‌های مضر تا 06 متر پشت کارگاه ادامه دارد.



شکل 88: نمودار جابجایی های TR، TL و RL در ایستگاه AD2

www.SID.ir

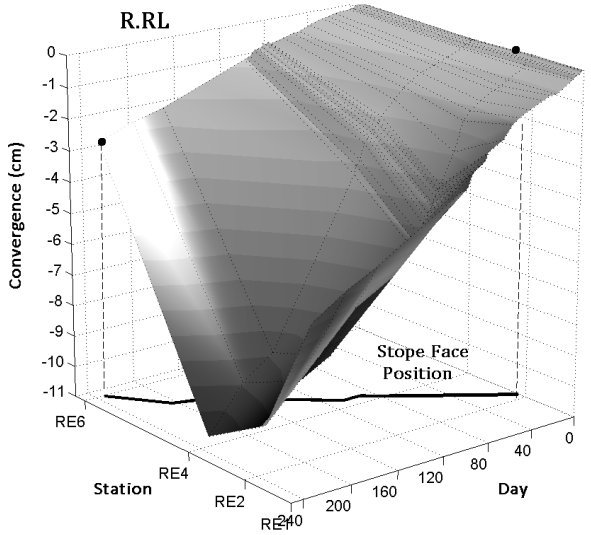
Archive of SID



شکل 82: نمودار سرعت جابجایی ها در ایستگاه AD2

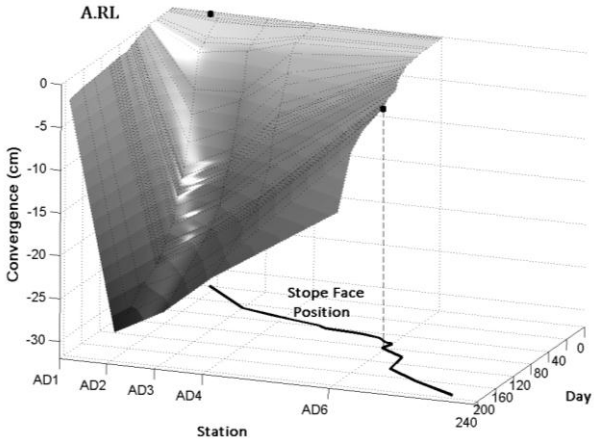
5- بررسی تغییر شکل افقی در راستای گالری

منحنی جابجایی‌های افقی در راستای گالری و در طول زمان در قسمت کارگاه 034 پسرو در شکل 12 دیده می‌شود. همچنین موقعیت کارگاه استخراج در طول زمان نیز در شکل آورده شده است. مشاهده می‌شود که همگرایی در تمامی ایستگاه‌ها و بسته به موقعیت هر ایستگاه نسبت به کارگاه استخراج، با گذشت زمان افزایش یافته است. با بررسی مقادیر جابجایی نسبت به موقعیت کارگاه مشاهده می‌شود که در ایستگاه‌های RE4 و RE2 که در ابتدا در فاصله‌ای قابل قبول در جلوی کارگاه استخراج نصب شده بودند، بیشترین مقدار جابجایی ثبت شده است. در ایستگاه RE6 علیرغم اینکه کارگاه استخراج به آن رسیده است، جابجایی نسبت به ایستگاه‌های مزبور کمتر است. این امر بیانگر این است که جابجایی‌های عمده در پشت کارگاه و در محل زون تخریب رخ می‌دهند.



شکل 83: نمودار جابجایی افقی در طول گالری نسبت به زمان در قسمت کارگاه 245 پسرو

شکل 13 نیز جابجایی‌های افقی در طول زمان در قسمت کارگاه 034 پیشرو را نشان می‌دهد. مطابق شکل علیرغم فاصله 13 متری کارگاه استخراج از ایستگاه AD6، جابجایی‌های این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌های این قسمت چندان افزایش نیافته است. جابجایی‌های ایستگاه AD1 به دلیل موقعیت اولیه آن دارای مقادیر کمی است. بیشترین میزان جابجایی نیز مربوط به ایستگاه AD2 است. در این نمودار نیز موارد مذکور در خصوص گراف قبل قابل مشاهده است. با این تفاوت که در محدوده کارگاه پیشرو مقادیر جابجایی حدوداً 2 برابر کارگاه پسرو می‌باشند.



شکل 84: نمودار جابجایی افقی در طول گالری نسبت به زمان در قسمت کارگاه 245 پیشرو

6- نتایج

با توجه به بررسی منحنی‌های حاصل از عملیات همگرایی-سنجی در 10 ایستگاه و زیر نظر گرفتن رفتار سیستم نگهداری گالری، نتایج زیر قابل استخراج است:

- عملیات معدنکاری در کارگاه استخراج جبهه‌کار بلند توأم با پدیده‌هایی چون: بر هم خوردن تعادل زمین، اثرات استاتیکی ناشی از حفاری زغال و اثرات دینامیکی ناشی از تخریب سقف کارگاه و آتشباری در کارگاه‌های استخراج است. بر اساس بررسی نتایج همگرایی‌های ثبت شده اثرات عوامل فوق را می‌توان در دو محدوده مجزا مشاهده نمود:
  - در جلوی کارگاه که میزان جابجایی‌ها کمتر از 7٪ از همگرایی کل است.
  - ناپایداری گالری در پشت کارگاه که سهم آن بیش از 80٪ از همگرایی کل است.
- محدوده تاثیر کارگاه در جلوی آن حدود 61 متر و در پشت آن بیش از 31 متر است. ضمن آنکه محدوده تغییر شکل-

www.SID.ir

Archive of SID

های مضر در فاصله 6 تا 00 متر پشت کارگاه و از محل زون تخریب شروع می‌گردد. به عبارت دیگر رشد سریع همگرایی‌ها در چنین فاصله‌ای از کارگاه رخ می‌دهد.

- ماکزیمم سرعت جابجایی‌ها نیز در محدوده‌ای بین 6 تا 11 متر پشت کارگاه استخراج رخ می‌دهد که مقدار آن برابر 1/4 سانتی‌متر بر روز است.
- با مقایسه گراف‌های مربوط به دو کارگاه 034 پیشرو و 034 پسرو دیده می‌شود که سرعت پیشروی کارگاه استخراج تأثیر قابل تأملی بر تغییر شکل‌های گالری دارد. در نتیجه می‌توان با انجام عملیات استخراجی به صورت یکنواخت در طول کارگاه استخراج و عدم تمرکز در محدوده خاص، به ثبات گالری‌های تحت تأثیر کمک کرد.
- با توجه به موارد فوق، مشاهدات و بررسی‌های صورت گرفته در گالری 034 مشخص گردید که تأثیر عمده در وضعیت گالری‌های واقع در محدوده کارگاه‌های استخراجی از جانب پارامترهایی چون سرعت پیشروی کارگاه، ابعاد پایه سنگی و لنگه زغالی می‌باشد تا چگالی نگهداری. با توجه به فاصله قاب‌ها در زیر کارگاه که در بعضی مناطق به علت نصب قاب‌های تعمیراتی به 41 سانتیمتر نیز می‌رسد، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با تغییر فواصل قاب‌های نگهداری، در صورتی که پارامترهای ذکر شده بدرستی طراحی نشده باشد، نمی‌توان پایداری گالری را تامین کرد.

7- تقدیر و تشکر

این مقاله در قالب طرح پژوهشی شماره1061 با حمایت مالی مرکز تحقیقات مواد معدنی، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران و در هسته پژوهشی طراحی و ساخت ابنیه زیرزمینی در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان به انجام رسیده است. بعلاوه لازم است از همکاری مدیریت محترم معدن پابدانا آقای مهندس سلطانی تشکر شود.

منابع

[1] شرکت زغالسنگ کرمان؛ 1274؛ **مجموعه گزارشات زمین-شناسی حوزه زغالی کرمان و منطقه پابدانا.**

[0] پوزنر، م. ی.؛ ایومینی، م. آ.؛ پوچوف و. ن.؛ 0114؛ **ژئومکانیک**، انتشارات دانشگاه معدن مسکو، مسکو، (اصل: زبان روسی).

[2] اشتومف، گ. گ.؛ ایگوروف، پ. و.؛ پتروف، آ. ی.؛ 1885؛ **فشار زمین در حفریات آماده‌سازی معادن زغال**؛ انتشارات ندرا؛ مسکو؛ (اصل: زبان روسی).

[3] کارتوزیا، ب.ا.؛ باریسف، و.ن.؛ 0111؛ **مسائل مهندسی مکانیک ابنیه زیرزمینی**، انتشارات تحصیلات متوسطه فنی، مسکو، (اصل: زبان روسی).

[4] رحمان‌نژاد، رضا؛ معاذاللهی، وحید؛ 1276؛ **بهینه‌سازی فنی و اقتصادی سیستم نگهداری قاب فولادی گالری‌های پیشروی معدن پابدانا به روش همگرایی‌سنجی**، طرح تحقیقاتی شماره 1061، مرکز تحقیقات مواد معدنی، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، یزد.

[5] اشتومف، گ. گ.؛ ایگوروف، پ. و.؛ لبدف، آ. ب.؛ 1882؛ **نگهداری و محافظت حفریات معدنی**، انتشارات ندرا، مسکو، (اصل: زبان روسی).

[6] چرنیاک، ی. ل.؛ یارولین، س. آ.؛ 1884؛ **هدایت وضعیت توده سنگ**، انتشارات ندرا، مسکو، (اصل: زبان روسی).

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir