

# تحلیل رفتار مغار نیروگاه زیرزمینی لوارک در سازند کنگلومرای هزاردره بر اساس داده های ابزاردقیق

مهدی موسوی  
استادیار دانشکده فنی، دانشگاه تهران  
حسین محمدی آریعی  
کارشناس ارشد مهندسی مکانیک سنگ، شرکت پایاب زمزم

## چکیده

توده سنگ دربرگیرنده نیروگاه لوارک، کنگلومرای سری A سازند هزاردره می باشد که به علت پراکندگی زیاد سیستم ناپیوستگی ها می توان آن را بصورت یک توده پیوسته، همگن و همسانگرد در نظر گرفت که در رده سنگهای ضعیف و با تغییر شکل پذیری بالا قرار دارد. هدف از برنامه رفتارنگاری مغار نیروگاه لوارک در این توده، بررسی پایداری مغار زیرزمینی و کنترل وضعیت تنش های اولیه زمین و خواص دگرشکل پذیری آن می باشد. سیستم ابزاردقیق طراحی شده برای مغار نیروگاه لوارک شامل اکستنسومترهای ۴ تا ۷ نقطه ای، بارسنج، فشارسنج، کرنش سنج بتن و پین همگرایی می باشد. با در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی و بر اساس اطلاعات حاصل از ابزارها، رفتار توده سنگ منطقه مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی تأثیر سطح مقطع، تراز و محل حفاری نسبت به محل نصب ابزارها، فاصله سینه کار تا محل نصب ابزارها، سرعت پیشروی حفاری و اثر تقاطع گسل موجود در مغار در روند جابجایی ثبت شده توسط اکستنسومترها ارائه شده است.

## ۱- مقدمه

با استفاده از اطلاعات حاصله از جابجایی و فشار جداره فضای زیرزمینی که تحت برنامه زمان بندی خاصی بطور مداوم اندازه گیری می شود، می توان به وضعیت رفتاری توده سنگ اطراف فضای حفاری شده پی برد. انتخاب ایستگاههای ابزاربندی با توجه به مطالعات اولیه زمین شناسی صورت می گیرد و سعی می شود این ایستگاهها در مناطق حساس مانند زون های گسلی و مناطق سست انتخاب شوند. البته پس از حفاری فضا، امکان ایجاد ایستگاههای جدید و یا تغییر مکان ایستگاههای از قبل

تعیین شده، با توجه به افزایش اطلاعات زمین‌شناسی وجود دارد. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از اطلاعات اکستنسومترها و بعضاً دیگر ابزارهای نصب شده در مغار، و با توجه به شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی موجود، به بررسی رفتار توده سنگ کنگلومرایی پرداخته شود.

## ۲- توده سنگ دربرگیرنده نیروگاه

بر اساس مطالعات اکتشافی مشخص گردید که توده سنگ دربرگیرنده نیروگاه از کنگلومرای سری A سازند هزاردره با سن پلیو-پلیوستوسن تشکیل شده است. این کنگلومرا هتروژن بوده و عمدتاً فاقد سیمان می باشد و بجای آن از ماتریکس رسی-سیلتی و ماتریکس ماسه ای برخوردار است. کنگلومرای مزبور دارای لایه بندی بسیار ضخیم بوده و در بعضی موارد حاوی لایه های ۲۵-۲۰ cm ماداستون، سیلتستون و رس سخت، بصورت بین لایه ای می باشد. نفوذپذیری آن در حد بسیار کم ( $K = 3/8 * 10^{-9} \text{ m/s}$ ) و دانه بندی آن از نوع SM, SC, GC و CL می باشد. گسله های موجود در آن عمدتاً آکنده از رس سخت است که بسیار پایا ( $L = 11 \text{ m}$ ) بوده و فاصله ناپیوستگی های موجود در آن، عمدتاً بین حداقل ۳ تا حداکثر ۲۰ متر می باشد. سیستم ناپیوستگی های موجود در آن بسیار پراکنده بوده و از نظم خاصی تبعیت نمی کند. براین اساس می توان توده سنگ کنگلومرایی اطراف نیروگاه را بصورت یک جسم پیوسته، همگن و همسانگرد در نظر گرفت [۱].

## ۳- خصوصیات ژئوتکنیکی سنگ بکر

از آنجا که خصوصیات بخش ریزدانه (ماتریکس) کنگلومرا از اهمیت زیادی در رفتار ژئوتکنیکی آن برخوردار می باشد با انجام آزمایشهای دانه بندی بر روی نمونه های خرد شده در آزمایشگاه مشخص گردید که این بخش از پلاستیسیته متوسط ( $PI = 18\%$ ) برخوردار بوده و با  $LL = 33\%$  هیچگونه واگرایی ایجاد نمی کند. با ترسیم داده های بخش ریزدانه کنگلومرا بر روی نمودار فعالیت مشخص گردید که این بخش در هنگام آبیگری، عمدتاً از فعالیت بالا ( $A = 3.3$ ) برخوردار می باشد. مصالح بخش ریزدانه از جنس کانیهای ایلیت، کائولینیت و کلریت می باشد. با توجه به داده های جدول ۱ سنگ بکر کنگلومرایی در رده سنگهای ضعیف و با تغییر شکل پذیری بالا قرار می گیرد [۱].

#### ۴- خصوصیات ژئوتکنیکی توده سنگ

جهت تعیین خصوصیات ژئوتکنیکی کنگلومرا، پارامترهای مقاومت برشی  $(\Phi, C)$  و همچنین پارامترهای مربوط به ویژگیهای الاستیسیته و مدول تغییرشکل پذیری مورد بررسی قرار گرفت. طبقه بندی مهندسی توده سنگ کنگلومرای همراه با بررسی وضعیت و کیفیت توده سنگ کنگلومرای در امتداد محور نیروگاه انجام گردید که بر اساس داده های حاصل از نقشه ها و مقاطع ژئوتکنیکی، کنگلومراها از شرایط جدول ۲ برخوردار می باشند.

همانطوریکه مشاهده می گردد ۲۲ متر اولیه از کیفیت متوسط، ۱۹ متر میانی از کیفیت پایین و ۳۳ متر انتهایی مغار از کیفیت خوب برخوردار می باشند. تحت این شرایط، ۲۶٪ از توده سنگ کنگلومرای مغار (بخاطر درجه تحکیم و تراکم پایین، وجود گسله و رطوبت بالای ۱۲٪ کنگلومراها) از کیفیت و شرایط ژئوتکنیکی پایینی برخوردار هستند. پارامترهای پیشنهادی جهت طراحی مغار که با توجه به محاسبات عددی و تجربیات مهندسی بدست آمده اند، در جدول ۳ آورده شده است [۱].

جدول ۱: پارامترهای فیزیکی و مکانیکی سنگ بکر کنگلومرای

نیروگاه [۱]

Hoek Constant mi (CD)	Hoek Constant mi (SCD)	$V_p$ (Km/s)	Triaxial SCD Test		Triaxial CD Test		Direct Shear Test		Elasticity Modulus $E_{si}$ (MPa)	Uniaxial Compressive Strength (MPa)		Water Content W(%)	Porosity n(%)	$\gamma$ dry (gr/cm <sup>3</sup> )	Gs (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ nat. (gr/cm <sup>3</sup> )
			C(MPa)	$\Phi$ (deg.)	C(MPa)	$\Phi$ (deg.)	C(MPa)	$\Phi$ (deg.)		Sat.	Dry					
3.65	2.543	1.8	0.38	23.5	0.7	33.1	0.125-0.416	31.5	500-800	0.85	2.6	4.55	16.7	2.2	2.61	2.241
		Very Low							Highly Deformable	Very Weak Rock	Weak Rock		High Porosity	Moderate	Dense	

جدول ۲: طبقه بندی مهندسی توده سنگ [۱]

Q	M-RMR	کیفیت توده سنگ	متر از ابندای مغار
2.86	56	Fair-Good	0-15
2.3	53	Fair	15-22
1.26	42	Poor	22-30 (دیواره)
5.85	60	Good	22-30 (سقف)

$\frac{1.26-0.9}{0.481}$	$\frac{42-45}{35}$	Poor	30-41
5.85	59	Good	41-74

جدول ۳: پارامترهای ژئوتکنیکی توده سنگ کنگلومرایی جهت طراحی  
مغار نیروگاه [۱]

$\nu$	$E_{sm}$ (MPa)	$E_{dm}$ (MPa)	$\Phi$ (deg.)	$C$ (MPa)	$\gamma_{sat.}$ (MN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{dry}$ (MN/m <sup>3</sup> )
0.27	3000	2000	27	0.3	0.0235	0.022

#### ۵- خواص وابسته به زمان کنگلومرای نیروگاه

برای تعیین خواص وابسته به زمان کنگلومرای دربرگیرنده مغار، از داده های مربوط به آزمایشهای خزش درون گمانه ای (دیلاتومتر) و خزش تک محوری (جکینگ) استفاده شده است. بر اساس این داده ها، مقدار ضریب خزش درحد  $C_f = 9-17\%$  درقسمتهای سطحی (بارگذاری صفحه ای) تغییر می کند. بیشترین مقدار ضریب خزش در عمق ۳ متر، بالغ بر ۲۴ تا ۵۰ درصد و کمترین آن در عمق ۴/۵ متری به میزان ۱۶ تا ۲۵ درصد می باشد. داده های مزبور حاکی از آنند که فقط ۲۰٪ از پهنه پلاستیک ضعیف ترین توده سنگ اطراف مغار، رفتار نرم شدگی کرنش (Strain-Softening) را از خود نشان داده و حداکثر فشار تأخیری وارده  $2-3 \text{ t/m}^2$  می باشد [۱].

#### ۶- وضعیت تنش های اولیه و ثانویه در اطراف مغار

با توجه به نتایج آزمایشهای برجا و داده های حاصل از مشاهدات ابزار دقیق در حین عملیات اکتشافی، وضعیت تنش های اطراف مغار به شرح زیر برآورد شده اند:

$$\sigma_1 = 2.3(\text{MPa}), \sigma_3 = 1.15(\text{MPa}), K = 0.5$$

$$\sigma_H = 1.7(\text{MPa}), \sigma_V = 4.0(\text{MPa}), K_y = \frac{1.7}{4.0} = 0.425, \sigma_h = 0.77(\text{MPa}), k_a = \frac{0.77}{4.0} = 0.1295$$

وضعیت و جهت تانسورهای تنش با داده های تکتونیکی مطابقت دارد که تنش افقی حداکثر ( $\sigma_H$ ) به صورت عمود بر دیواره مغار بوده و تنش افقی حداقل ( $\sigma_h$ ) موازی با محور مغار می باشد [۱].

#### ۷- حفاری مغار

با توجه به جنس توده سنگ و شرایط ژئوتکنیکی موجود در منطقه، برای حفر فضاهای زیرزمینی نیروگاه لوآرک از دستگاه حفاری Road Header استفاده گردید. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد حفاری مغار در پنج مرحله انجام شد که اولین مرحله آن حفر تونل پایلوت در تاج مغار بود. در ادامه عملیات حفاری، پیشروی مراحل 2b,2a بطور همزمان انجام شد. سپس مرحله 3a از ابتدای مغار تا سینه کار انتهایی مغار حفاری گردید که حفاری مرحله 3b بعد از مرحله 3a و همانند آن انجام شد. قابل ذکر است که سیستم تحکیم موقت شامل نصب بولت‌های ۷ و ۵ متری و اعمال یک لایه ۱۵ cm آمش و شاتکریت در حداقل زمان ممکن بعد از حفاری اجرا گردید. تخلیه مواد حفاری شده تا مرحله 4a از طریق تونل دسترسی به تاج مغار و تخلیه مواد حفاری شده مراحل بعدی از طریق تونل موجود در کف مغار انجام شد. در جدول ۴ زمان بندی مراحل مختلف حفاری مغار آورده شده است.

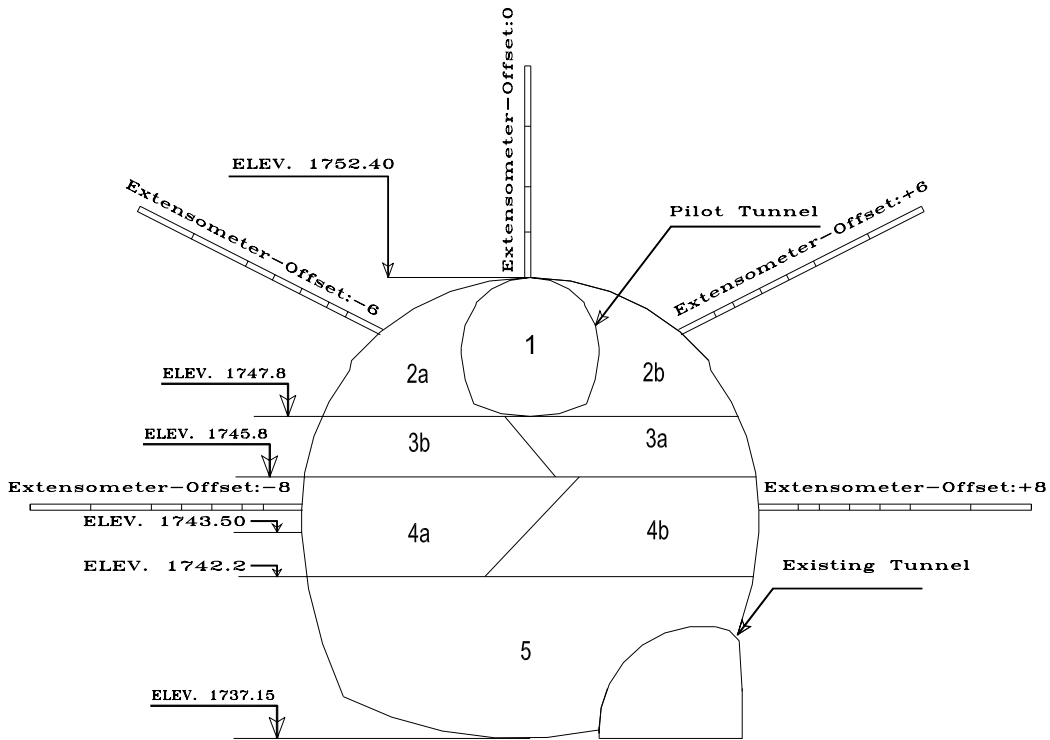
#### ۸- سیستم ابزار دقیق

سیستم ابزار دقیق طراحی شده برای مغار نیروگاه لوآرک شامل متره‌گرایی سنجی و اکستنسومترهای ۴ تا ۷ نقطه‌ای به طولهای ۷ تا ۹ متر و با سیستم قرائت الکتریکی به منظور تعیین جابجایی سنگ و همچنین بارسنج‌ها و فشارسنج‌های الکتریکی جهت تعیین نیروی اعمال شده بر روی بولتها و فشار وارده به پوشش شاتکریت می‌باشد. به علاوه از تعدادی کرنش‌سنج بتن نیز به منظور کنترل کرنش‌های عملی در شاتکریت استفاده گردید. در این پروژه سعی شده است ابزارها در حداقل زمان ممکن بعد از حفاری محل مورد نظر نصب گردد تا بتوان نتایج واقعی و دقیق‌تری از رفتار زمین را مشاهده کرد. در جدول ۵ مشخصات و محل نصب اکستنسومترهای طرح شده در مغار آورده شده است. در شکل ۲ نمای سه بعدی اکستنسومترهای نصب شده و گسل متقاطع با مغار نشان داده شده است.

#### ۹- تحلیل نتایج قرائت ابزارهای نصب شده در مغار

جهت تحلیل نتایج ابزارها از دو روش استفاده شده است: در روش اول، به تحلیل ابزارهای نصب شده در هر رینگ پرداخته شد و در روش دیگر، ابزارهای نصب شده در یک تراز و یک Offset تحلیل گردید. آنچه در تحلیل‌ها مدنظر بوده بررسی میزان تأثیر عواملی نظیر بزرگی، موقعیت و تراز سطح مقطع حفاری نسبت به محل نصب ابزارها، فاصله سینه کار تا محل ابزار و سرعت پیشروی سینه کار حفاری بر روی نتایج رفتارنگاری بوده است.

به دلیل رعایت اختصار و گویایی بیشتر نتایج اکستنسومترها در رفتار مغار به بررسی برخی از این نتایج مطابق شکل های ۳ تا ۱۱ پرداخته شده است.



شکل ۱: مراحل حفاری مغار و محل نصب اکستنسومترها

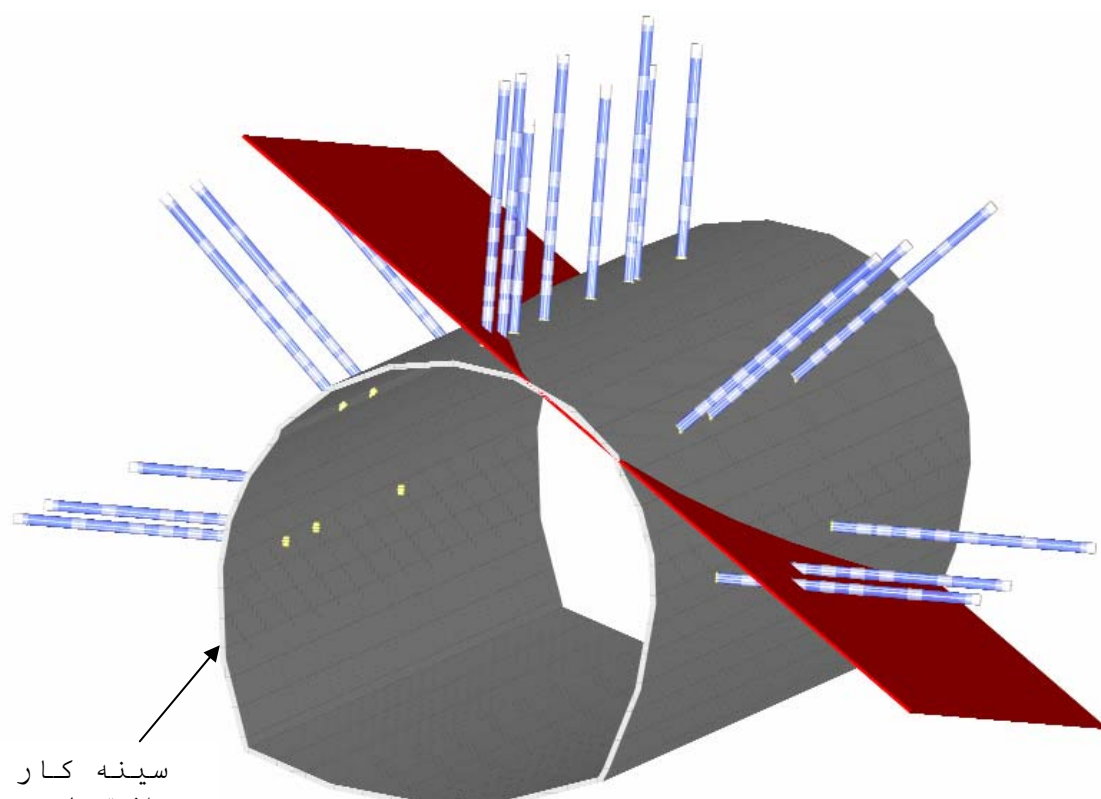
جدول ۴: زمان مراحل مختلف حفاری مغار

توضیحات	زمان شروع حفاری	زمان شروع حفاری	مرحله حفاری
از ابتدا تا انتهای مغار	۸۱/۹/۲۰	۸۱/۷/۲۵	2a
از ابتدا تا انتهای مغار	۸۱/۹/۲۰	۸۱/۷/۲۹	2b
از ابتدا تا انتهای مغار	۸۱/۱۱/۱۷	۸۱/۹/۲۱	3a
از ابتدا تا انتهای مغار	۸۱/۱۱/۲۹	۸۱/۱۱/۱۹	3b
از ابتدا تا انتهای مغار	۸۲/۱/۲۶	۸۲/۱/۱۶	4a
از ابتدا تا انتهای مغار	۸۲/۲/۱۴	۸۲/۲/۵	4b
از ابتدا تا انتهای مغار	۸۲/۴/۴	۸۲/۲/۱۴	5

جدول ۵: مشخصات و محل نصب اکستنسومترهای نصب شده در مغار نیروگاه لواری

شماره کستنسومتر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
تعداد انکر	۴	۴	۷	۷	۷	۷	۷	۴	۷	۷

۵۵/۵	۵۵/۵	۴۴	۳۴/۵	۳۴/۵	۳۴/۵	۳۴/۵	۳۴/۵	۳۳	۲۱/۵	متر از
۷۵۰/۵	۱۷۴۴/۷	۱۵۷۲/۴	۱۷۴۴/۷	۱۷۵۰/۵	۱۵۷۲/۴	۱۷۵۰/۵	۱۷۴۴/۷	۱۵۷۲/۴	۱۵۷۲/۴	تراز
+۶	+۸	۰	-۸	-۶	۰	+۶	+۸	۰	۰	Offset
۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	شماره کستنسومتر
۷	۷	۷	۷	۴	۷	۷	۷	۷	۷	تعداد انکر
۷۰	۶۶	۶۳	۶۳	۶۳	۶۳	۶۳	۵۵/۵	۵۵/۵	۵۵/۵	متر از
۵۷۲/۴	۱۵۷۲/۴	۱۷۴۴/۷	۱۷۵۰/۵	۱۵۷۲/۴	۱۷۵۰/۵	۱۷۴۴/۷	۱۷۴۴/۷	۱۷۵۰/۵	۱۵۷۲/۴	تراز
۰	۰	-۸	-۶	۰	+۶	+۸	-۸	-۶	۰	Offset



شکل ۲: نمای سه بعدی اکستنسومترهای نصب شده و گسل متقاطع با مغار

همچنین نمودارهای نشان داده شده ، جایبایی نسبی نقاط انکر نسبت به هد دستگاه (جداره تونل) می باشد و جایبایی مطلق توده سنگ نمی باشد. عمده ترین نتایجی که از تحلیل های انجام شده حاصل شده است عبارتند از:

- اکستنسومترهای نصب شده در سقف مغار (اکستنسومترهای شماره ۱، ۲، ۵، ۸، ۱۱ و ۲۰) فقط از مراحل حفاری 2b,2a تأثیر

پذیرفته اند و در مراحل بعدی حفاری، جابجایی زیادی را ثبت نکرده اند. فقط دو استثناء در این مورد، اکستنسومترهای شماره ۱۶ و ۱۹ می باشند که به علت واقع شدن در محدوده تأثیر خط گسل از این قاعده پیروی نمی کنند. بر اساس مشاهدات انجام شده در هنگام نصب هد الکتریکی، دیده شده است که خط تأثیر گسل در سقف، از مابین اکستنسومترهای ۱۶ و ۱۹ عبور کرده است. فضای حفاری در این حالت دارای نسبت عرض به ارتفاع ۲/۵ می باشد که از نظر هندسی دارای بدترین شرایط پایداری است که با پیشرفت حفاری در مراحل بعدی و با نزدیک شدن نسبت عرض به ارتفاع فضای حفاری شده به عدد یک، بر پایداری فضا افزوده گردیده است. آنچه که مسلم است در بررسی پایداری فضاهای زیرزمینی می بایست تأثیر ترکیبی عواملی مانند شکل و نسبت عرض به ارتفاع فضا، تنش برجای موجود در منطقه و عوامل ژئوتکنیکی حاکم در نظر گرفته شود.

- در اکستنسومترهای شماره ۴، ۶، ۱۰، ۱۲، ۱۵ و ۱۷، در تاریخ ۸۲/۱۲/۱ تا ۸۲/۱۲/۷ یک پرش در روند جابجایی ها مشاهده می شود که ناشی از حفر مقطع 3b و بزرگ شدن مقطع حفاری شده و در نتیجه، فعال شدن گسل F1 متقاطع با مغار است. قابل ذکر است که میزان این افزایش ناگهانی جابجایی در اکستنسومترهای سمت راست بیشتر از اکستنسومترهای سمت چپ می باشد، زیرا با توجه به شیب و امتداد صفحه گسل نسبت به مغار، جابجایی صفحه گسل در سمت راست مغار به سمت داخل مغار بوده در حالیکه جابجایی صفحه گسل در سمت چپ مغار در امتداد محور طولی مغار می باشد. اثر خط تأثیر گسل موجود بر شاکریت دیواره و سقف مغار، از سمت راست مغار در متر ۵۰ شروع و تا متر ۷۶ در سمت چپ مغار در سقف ادامه دارد. اثر گسل بر روی دیواره ها هم وجود دارد که تأثیر آن نسبت به سقف کمتر می باشد.

- در بعضی از نمودارها، در تمامی مراحل حفاری به استثناء مراحل حفاری 2b,2a، تأثیر کم محل سینه کار پیشروی بر روی روند جابجایی کاملاً واضح است بطوریکه در هر مرحله حفاری، بعد از آنکه متر ۵ متر سینه کار پیشروی از متر ۵ متر محل نصب اکستنسومتر عبور کرد، روند جابجایی در آنکرها افزایش یافته و به مرور زمان روند جابجایی کم می شود. به عنوان مثال از مطلب فوق، می توان به تأثیر مرحله حفاری مقطع ۵ بر روی تمامی نمودارها توجه کرد که به علت طولانی تر بودن زمان حفاری (سرعت کم پیشروی) و بزرگتر بودن مقطع حفاری در این مرحله، روند افزایش جابجایی در زمانی زودتر از آنکه متر ۵ سینه کار به متر ۵ متر محل نصب اکستنسومتر برسد، آشکار شده است.

- از تاریخ ۸۲/۴/۳ تا ۸۲/۴/۱۵ ، عملیات مش بندی و بتن ریزی کف مغار (بتن مگر) انجام شد که تأثیر تشکیل یک ساختار بسته از بتن و شاتکریت، بر روی کاهش روند جابجایی اکستنسومتر مشهود می باشد.

- جابجایی مطلق موجود در بین انکرهای ۳ و ۴ اکستنسومتر شماره ۱۸ که تقریباً ۱۰ میلیمتر می باشد، به قطع شدن چال اکستنسومتر با صفحه گسل در بین این دو گسل (شکل ۲) و تأثیر پذیرفتن از این پدیده منتسب است.

- با توجه به آنکه اکستنسومترهای متراژ ۳۴/۵ در توده سنگ کنگلومرایی با کیفیت پایین نصب شده اند اما به علت عدم تأثیر صفحه گسل بر روی اکستنسومترها، نتایج زیر را نشان می دهد:

اکستنسومتر شماره ۴ : روند جابجایی در این اکستنسومتر از مراحل حفاری 4b,3a که در سمت راست مقطع مغار و در زیر محل نصب اکستنسومتر واقع شده اند، تأثیر پذیرفته است.

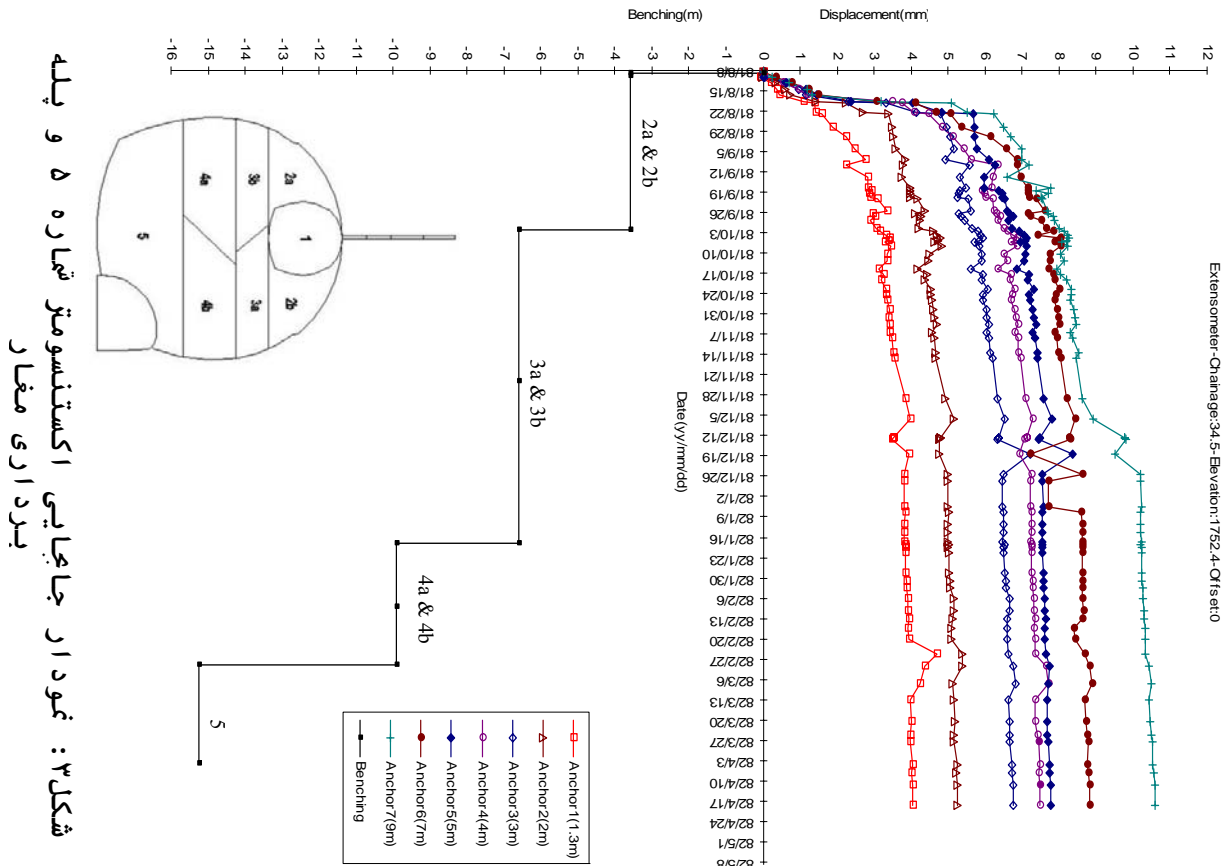
اکستنسومتر شماره ۶ :: روند جابجایی در این اکستنسومتر از مراحل حفاری 4a,3b که در سمت چپ مقطع مغار و در زیر محل نصب اکستنسومتر واقع شده اند، تأثیر پذیرفته است.

- با توجه به اتمام عملیات حفاری و محصور نبودن توده سنگ دیواره در این محدوده، رفتار وابسته به زمان توده سنگ کنگلومرایی اطراف مغار موجب جابجایی خواهد شد. آنچه که در تحلیل نتایج نمودارهای اکستنسومترهای نصب شده در این محدوده باید دقت شود، تفکیک جابجایی ناشی از حرکت هد اکستنسومتر در اثر حرکت شاتکریت (به علت متصل بودن هد اکستنسومتر به لایه های شاتکریت) از جابجایی خود توده سنگ می باشد. به عبارت دیگر با توجه به فاصله کم هد دستگاه از انکر اول (۱/۳ متر) می توان جدایش شاتکریت از توده سنگ را برابر یا کمی کمتر از جابجایی نسبی ثبت شده توسط انکر اول دانست.

- به علت فعالیت و تأثیر گسل بر روی سقف مغار از متراژ ۵۰ به بعد، و اعمال فشار بر روی لایه های مش و شاتکریت اجرا شده در سقف، فشار وارده به لایه های مش و شاتکریت اجرا شده در Spring Line منتقل شده و از آنجا که ترکیب مش و شاتکریت یک جسم با مقاومت خمشی و کمانشی بالاتر نسبت به شاتکریت بدون مش می باشد، لایه های مش و شاتکریت اجرا شده در Spring Line به سمت داخل مغار کمانش کرده و از توده سنگ دیواره جدا شده و فاصله گرفته است. این پدیده هم با کاهش فشار در فشارسنج هایی که فشار شعاعی را اندازه می گیرند (شکل ۱۲) و هم با افزایش فشار در فشارسنج هایی که فشار مماسی را اندازه می گیرند (شکل ۱۳)، تأیید شده است. جهت تحقیق این پدیده، اقدام به حفر چالهایی با سرمنه ۲۵

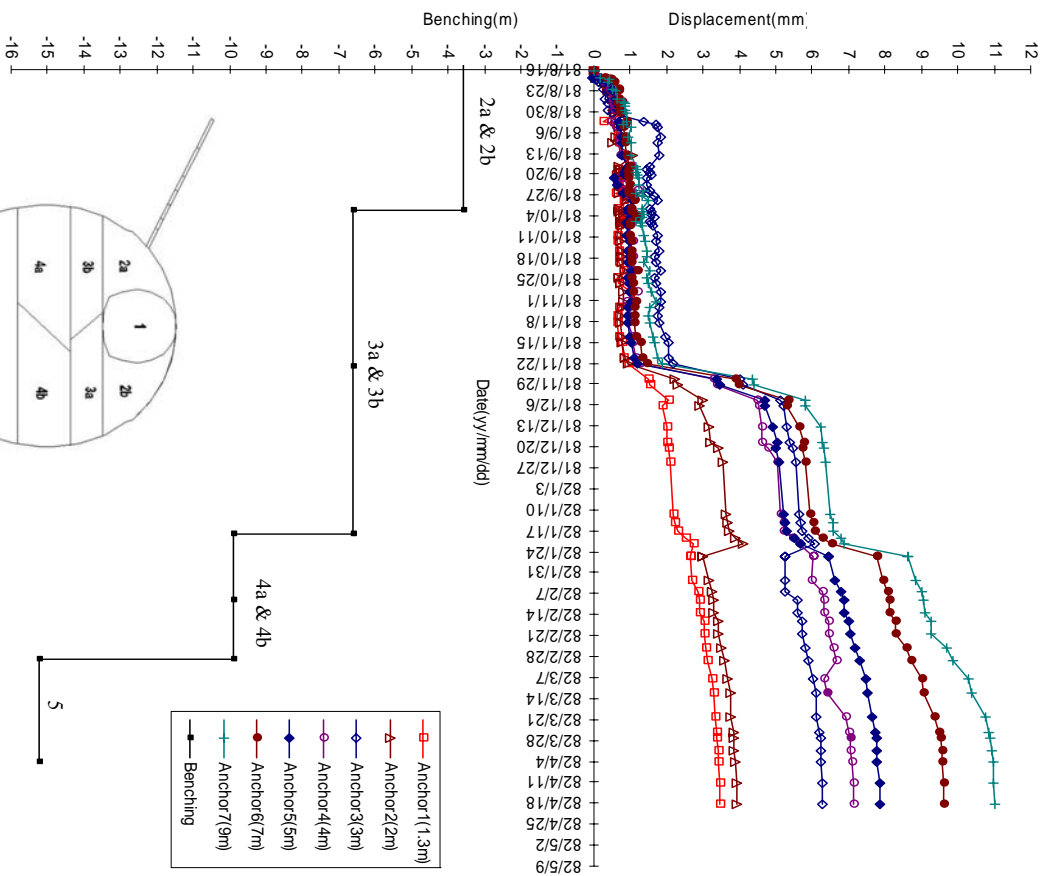
میلیمتری گردید که نتیجه فوق مورد تأیید قرار گرفت. همچنین ترکهایی در لایه های مش و شاتکریت اجرا شده در Spring Line مترائ ۵/۵۵ به بعد وجود دارد که ناشی از افزایش فشارمماسی درشاتکریت می باشد که با نتایج ثبت شده در فشارسنج های فشار مماسی (افزایش تدریجی فشار و کاهش ناگهانی فشار) مطابقت دارد.

- تأثیر افزایش سطح مقطع حفاری ناشی از پله برداری در روند و افزایش جابجایی انکرهای اکستنسومترها، بطور واضح در اکستنسومترهای شماره ۴، ۶، ۱۰، ۱۵ و ۱۷ مشهود است. آنچه که موجب شده نمودار جابجایی انکرهای اکستنسومترها بصورت پلکانی و متناسب با سیکل های حفاری نمود پیدا کند، حساسیت بالای اکستنسومترها و پیوسته، همگن و همسانگرد بودن توده سنگ کنگلومرای منطقه است.



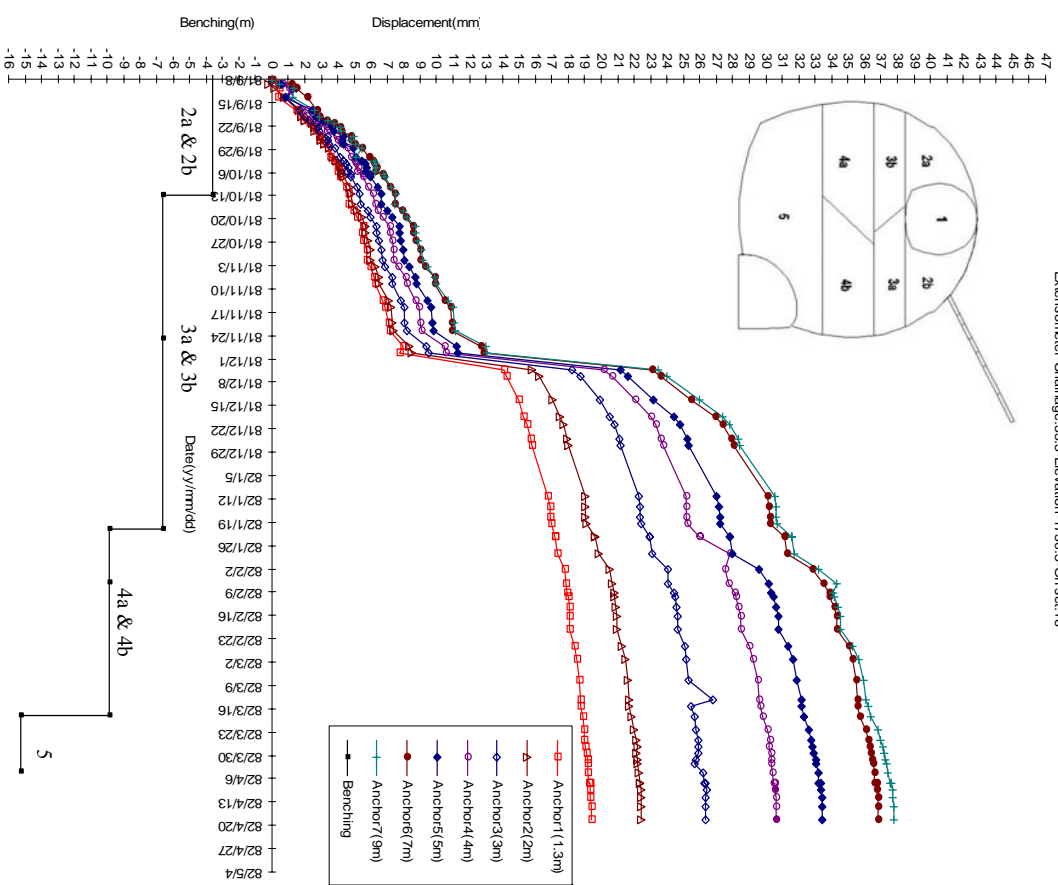
شکل ۳: نمودار جابجایی اکستنسومتر شماره ۵ و پله برداری مغار

Extensometer-Change:34.5-Elevation:1750.5-Of set:-6

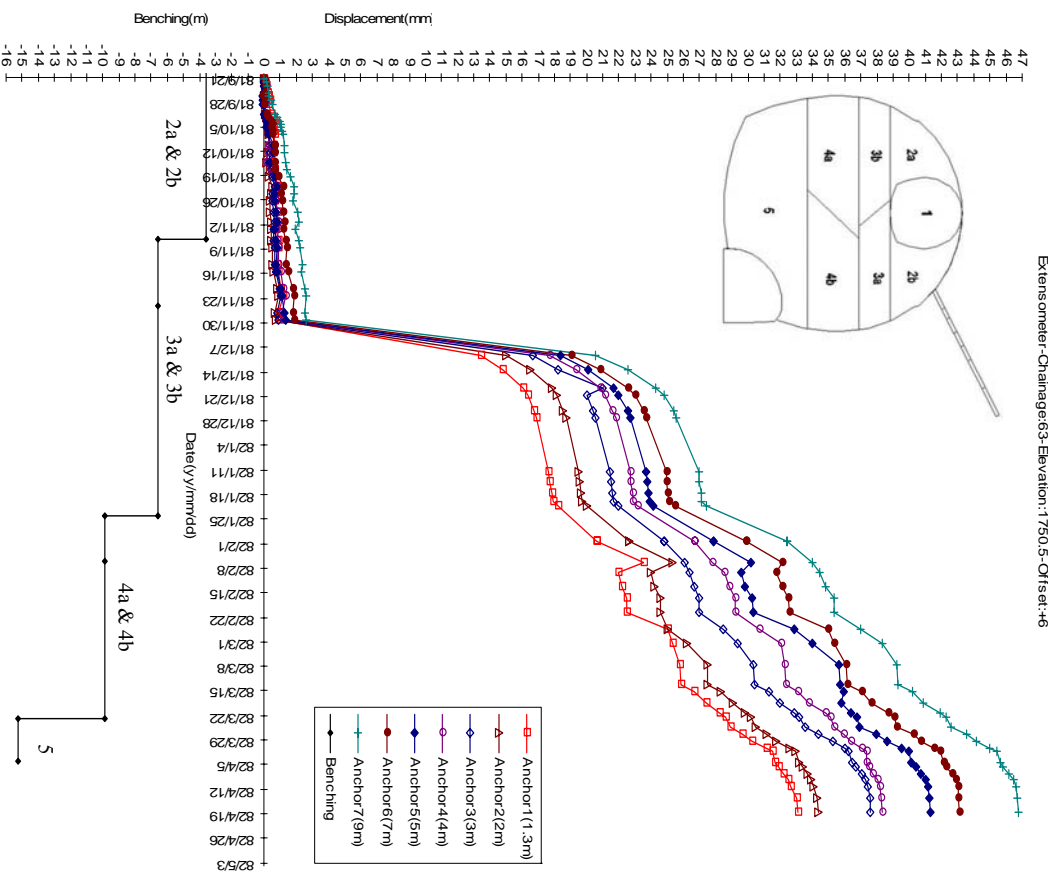


شکل ۴: نمودار جایجایی اکستنسومتر شماره ۴ و پله برداری مغار

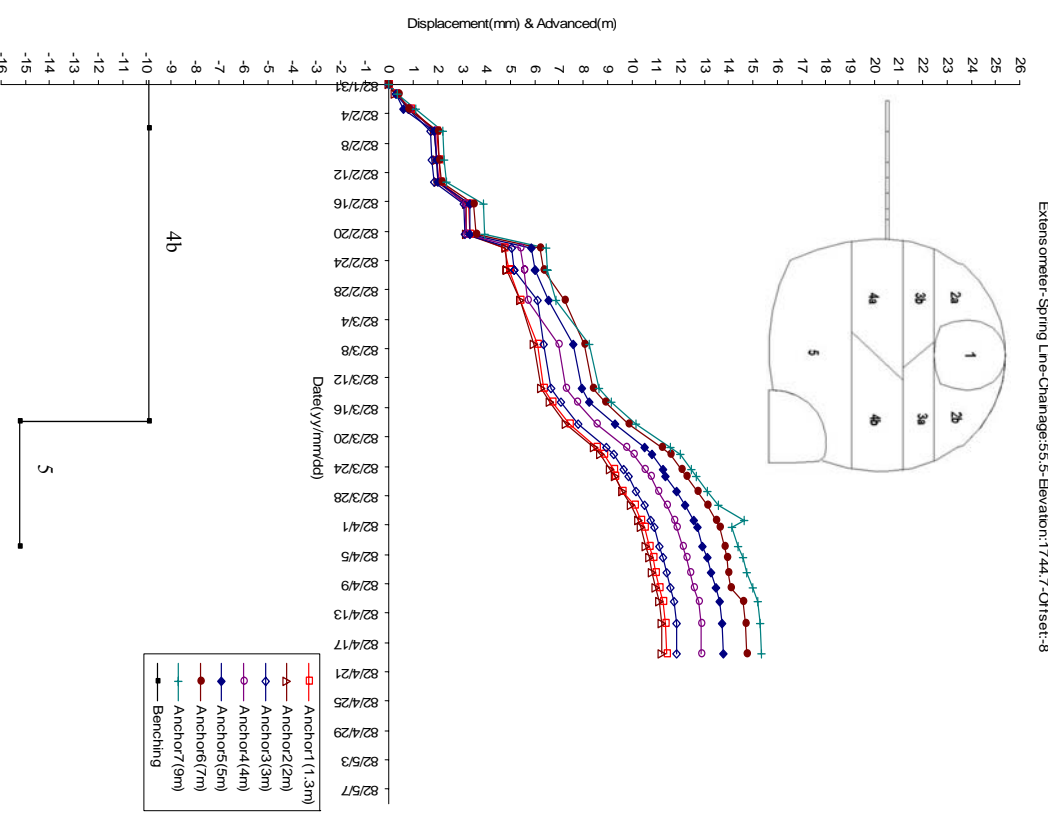
Extensometer-Change:55.5-Elevation-1750.5-Of set:-6



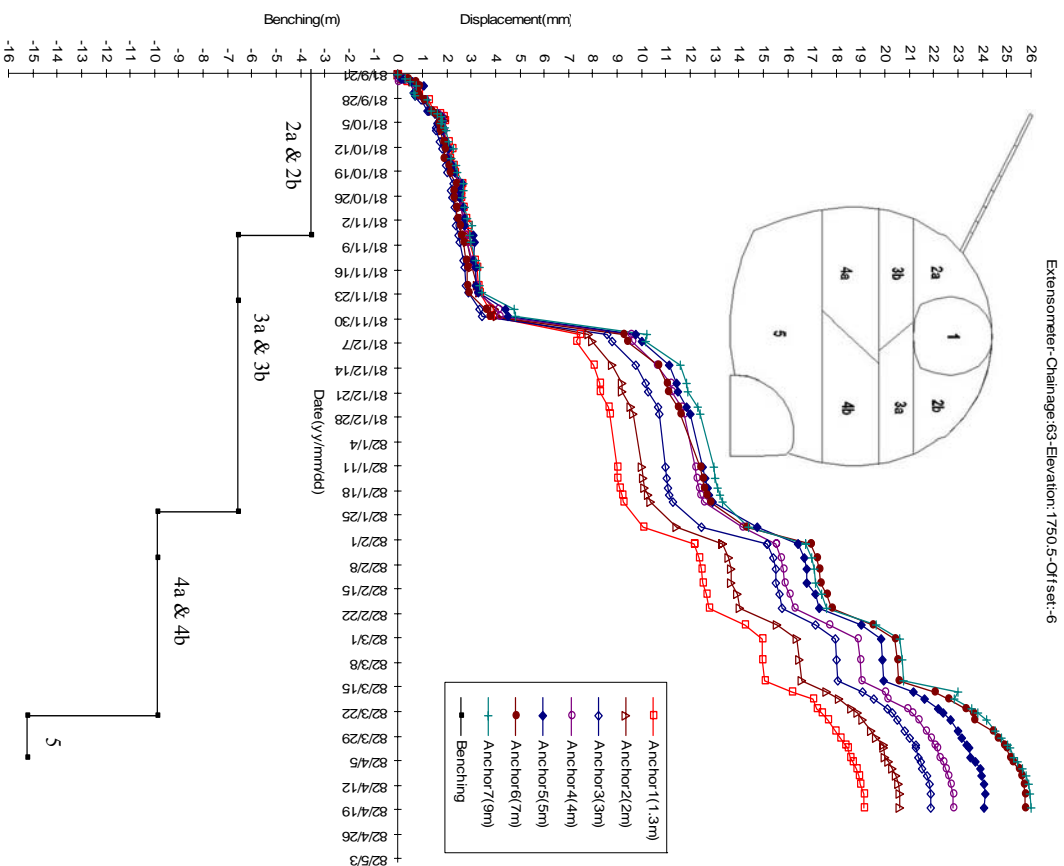
شکل ۵: نمودار جایجایی اکستنسومتر شماره ۱۰ و پله



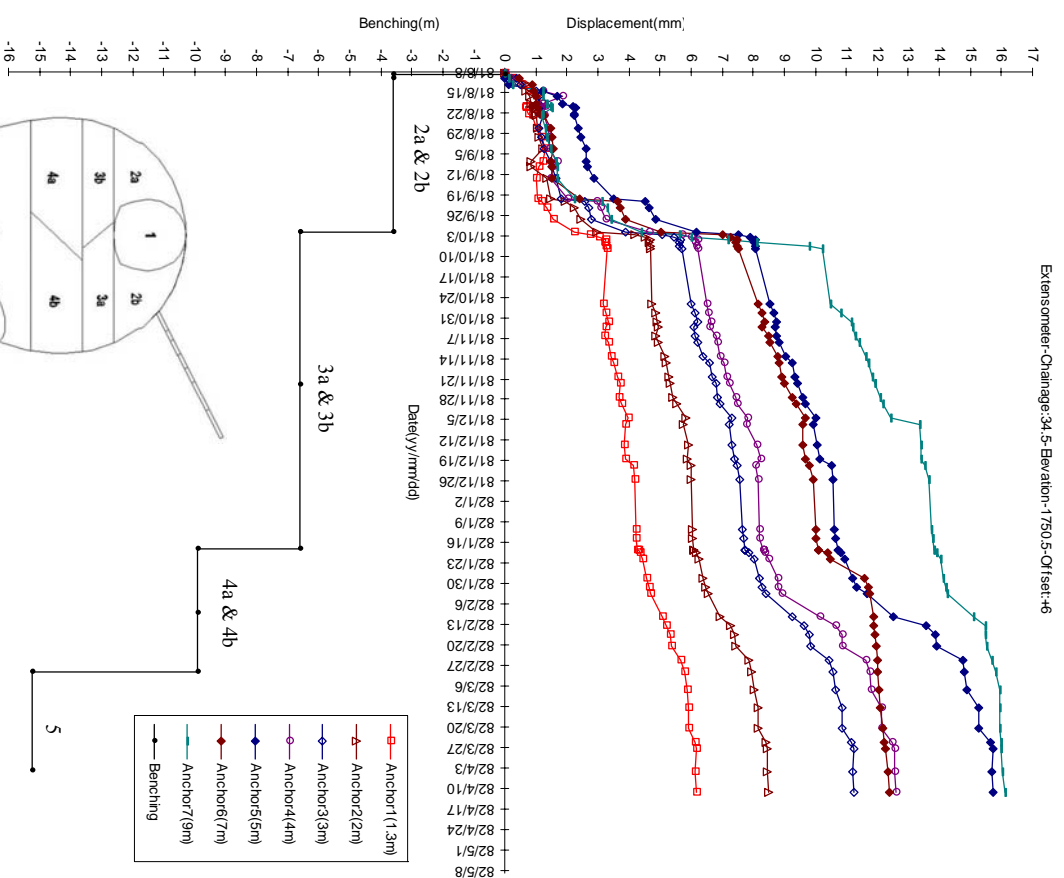
شکل ۶: نمودار جایابی اکستنسومتر شماره ۱۵ و پله



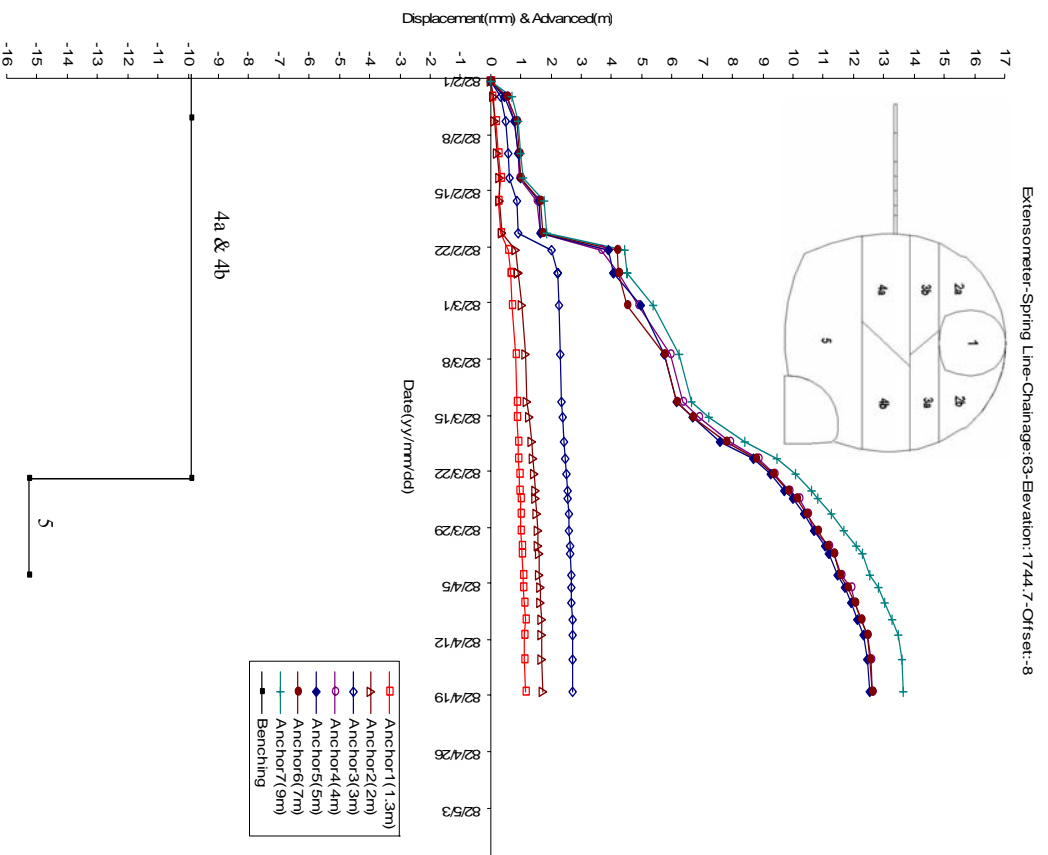
شکل ۷: نمودار جایابی اکستنسومتر شماره ۱۳ و پله



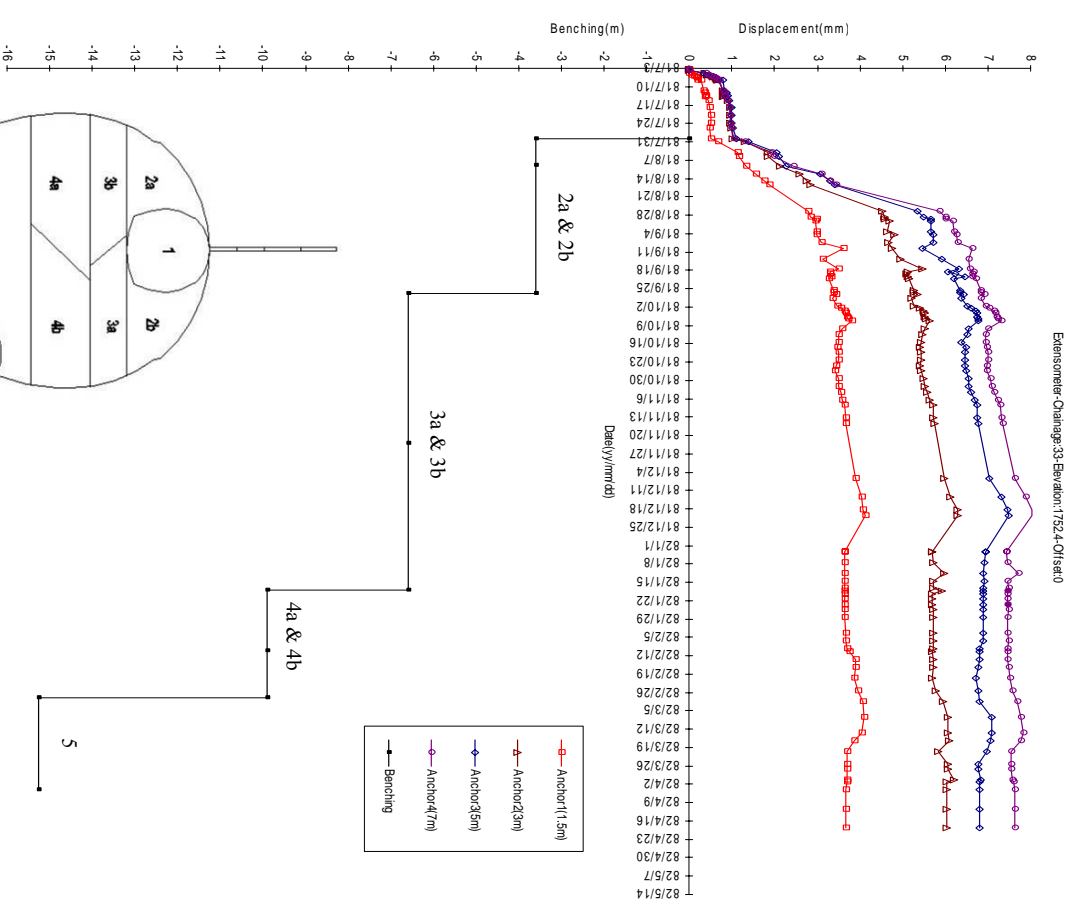
شکل ۸: نمودار جایابی اکستنسومتر شماره ۱۷ و پله



شکل ۹: نمودار جایابی اکستنسومتر شماره ۴ و پله

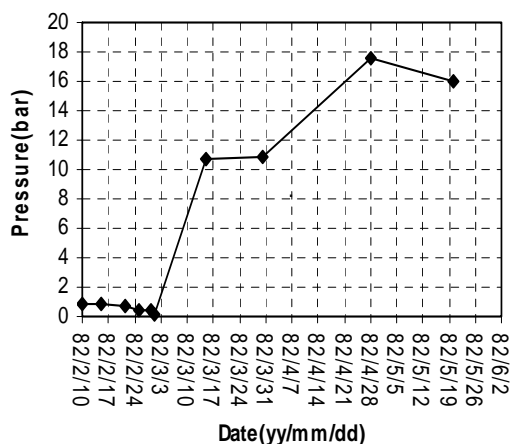


شکل ۱۰: نمودار جایابی اکستنسومتر شماره ۱۸ و پله

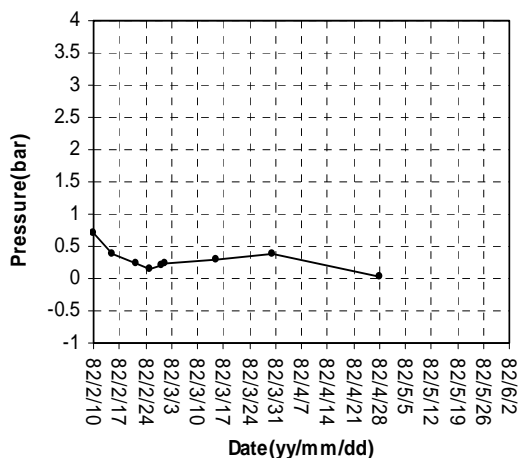


شکل ۱۱: نمودار جایابی اکستنسومتر شماره ۲ و پله

Pressure Cell (Tangential Stress): Chainage:55.5-  
Elevation:1744.7-Offset:+8



Pressure Cell (Radial Stress): Chainage:55.5-  
Elevation:1744.7-Offset:+8



شکل ۱۲: کاهش فشار در فشار شعاعی شکل ۱۳: افزایش فشار در فشار مماسی  
جداره مغار

## ۱۰- نتیجه گیری

بر اساس بررسی های صورت گرفته بر روی تغییر شکل های مغار نیروگاه لوارک در حین حفاری، نتایج زیر حاصل گردید:

- تأثیر فراوان شکل مقطع نهایی مراحل حفاری 2b,2a بر روی افزایش جابجایی انکرهای اکستنسومترهای نصب شده در سقف مغار به دلیل نسبت عرض به ارتفاع ۲/۵ فضای حفاری (که از نظر مکانیک سنگی دارای شرایط بد پایداری است) می باشد.

- افزایش جابجایی انکرهای اکستنسومترهای نصب شده در 6-6, Offset: +6، از حفر مقطع 3b و در نتیجه فعال شدن گسل F1، به خوبی اهمیت ساختارهای ناپیوسته را در رفتار توده سنگها نشان می دهد.

- تأثیرپذیری جابجایی انکرهای اکستنسومترها از سرعت پیشروی حفاری (که فقط در سرعت کم پیشروی، روند افزایش جابجایی در زمانی زودتر از آنکه متراژ سینه کار پیشروی به متراژ محل نصب اکستنسومتر برسد) در بیشتر ابزارها آشکار شده است.

- کاهش روند جابجایی انکرهای اکستنسومترها ناشی از تشکیل یک ساختار بسته از بتن و شاتکریت در اکثر قرائتها مشاهده می شود.

- تأثیرپذیری جابجایی مطلق موجود در بین انکرهای دو طرف صفحه گسل در اکستنسومتری که چال آن صفحه گسل را قطع کرده است به خوبی ثبت شده است.

- فعالیت گسل و تأثیر آن بر روی لایه های مش و شاتکریت دیواره های مغار که موجب کمایش آن به سمت داخل مغار و جدا شدن پوشش از توده سنگ دیواره شده است، به خوبی توسط ابزارها ثبت شده است. لذا با توجه به اتمام عملیات حفاری و محصور نبودن توده سنگ دیواره در این محدوده، رفتار وابسته به زمان توده سنگ کنگلومرایی اطراف مغار موجب جابجایی های بعدی خواهد شد.

## ۱۱-قردانی و تشکر

لازم است از کارفرمای محترم پروژه، شرکت آب و نیروی ایران-طرح نیروگاههای متوسط آبی و همچنین مشاور محترم طرح، شرکت مهندسین مشاور لار و پیمانکار محترم طرح، مؤسسه حرا وابسته به قرارگاه خاتم الانبیاء برای همکاری در اجرای برنامه ابزاربندی و ارائه نتایج آن قردانی و تشکر نمایم.

## ۱۲-منابع و مراجع

[۱] شرکت مهندسین مشاور لار، (۱۳۸۰)، " گزارش ارزیابی مجدد زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک نیروگاه زیرزمینی لوارک همراه با گزارش تکمیلی آنالیز عددی مغار نیروگاه "