ISSN 2345 - 4997

Available online at: www.geo-dynamica.com

Vol. (I)- No. 03- Winter 2014
9th Article- P. 38 to 54

GRIB
Geodynamics Research International Bulletin

An Investigation of the Factors Affecting Monitoring Results in Non-Mechanized Tunnels of Qom Subway

Arash Bakhshi Pour Sedaposhte*[1], Saeed Javaherzade [2]

[1] *Department of Civil Engineering Earthquake orientation, Islamic Azad University shabestar, Iran.*
[2] *Department of Civil Engineering, Structures of Civil - Earthquake, Islamic Azad University shabestar, Iran.*

*Corresponding author (arash.bakhshipoor@yahoo.com)

Article History:	Received: Dec. 24, 2014	Reviewed: Jan. 04, 2014
Revised: Feb. 07, 2014	Accepted: Feb. 12, 2014	Published: Mar. 16, 2014

ABSTRACT

In the underground tunnels after the excavation and temporary support system, the most important factor in the behavior survey of the ground and temporary supporting system (Including Ltys and shotcrete) is to use instruments that have been used in the study of Convergence Meter. The results of monitoring are useful to make sure of the accuracy of the numbers presented. In this paper, all factors affecting Qom underground tunnel monitoring and the modified results were investigated. The effect of each error and factors affecting the monitoring results were extracted as numbers. Among the factors affecting the monitoring results are import correction factors, (Calibration and temperature) machinery operation while reading, Cement slurry injection into falling sites, tunnel excavation method (TOP and BENCH), Convergence pin installation method (before or after shotcrete), Kafband Installation, repairs and meter cutting, one or two push working with the afore-mentioned machine. The purpose of this paper was to enhance the precision of the instrument that we expected from convergence meter with regard to the influential factors. Considering the listed problems and their solutions presented in this paper, best results are obtained by the analysis of the instrument.

Keywords: Convergence Meter, NATM, Behavior of Tunnels, Calibration, Installing Monitoring.

بررسی عوامل تأثیرگذار بر نتایج ابزار دقیق در تونل‌های غیرمکانیزه مترو قم

آرش بخشی‌پور صداپشته [۱]، سعید جواهرزاده [۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه آزاد شبستر، نگارنده رابط (arash.bakhshipoor@yahoo.com)
۲ - دکتری عمران (سازه - زلزله)، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی شبستر

تاریخچه انتشار مقاله	**تاریخ دریافت:** ۱۳۹۲/۱۰/۰۳	**تاریخ داوری:** ۱۳۹۲/۱۰/۱۴
تاریخ اصلاحات ۱: ۱۳۹۲/۱۱/۱۸	**تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۲/۱۱/۲۳	**تاریخ انتشار:** ۱۳۹۲/۱۲/۲۵

چکیده

در تونل‌های زیرزمینی بعد از حفاری و تحکیمات موقت، مهمترین عامل در بررسی رفتارهای زمین و تحکیمات موقت (شامل لتیس و شاتکریت) استفاده از ابزاردقیق می‌باشد که در این تحقیق از متر همگرایی‌سنج استفاده شده است. نتایج و تحلیل‌های ابزاردقیق زمانی مفید و کاربردی می‌باشد که از صحت اعداد ارائه شده مطمئن باشیم. در این مقاله تمامی عواملی که بر نتایج ابزار دقیق در تونل مترو قم تأثیرگذارند، مورد بررسی قرار گرفته و کلیه تحلیل‌ها با یکدیگر مقایسه شد و میزان تأثیر هر خطا و عامل تأثیرگذار بر نتایج ابزاردقیق به صورت عدد استخراج شده است. از جمله عوامل تأثیرگذار بر نتایج ابزاردقیق می‌توان به اعمال ضرائب تصحیح (کالیبراسیون و دمای محیط)، فعالیت ماشین‌آلات در زمان قرائت، تزریق دوغاب سیمان در محل‌های ریزش، روش حفاری تونل (TOP and BENCH)، روش نصب پین همگرایی (قبل یا بعد از شاتکریت)، نصب کفبند، تعمیرات و بریدن متر، یک فشاره یا دو فشاره کار کردن با دستگاه نام برد. هدف این مقاله بالا بردن دقت ابزاردقیق که انتظار ما از متر همگرایی بوده و بالابردن ضریب اطمینان اعداد ابزاردقیق باتوجه به عوامل تأثیرگذار ذکر شده می‌باشد. با توجه به رعایت مسائل ذکر شده و راه حل‌هایی که برای رفع آنها در این مقاله ارایه می‌شود، بهترین نتایج و تحلیل‌ها از ابزاردقیق گرفته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: متر همگرایی‌سنج، NATM، رفتار تونل، کالیبره، نصب ابزاردقیق.

All rights reserved for GRIB

۱. مقدمه

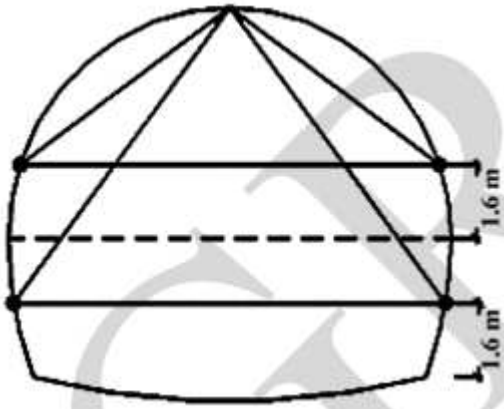
رفتارسنجی در حین و بعد از اجرای پروژه نه تنها برای کنترل پایداری سازه‌ها بلکه برای تخمین مجدد داده‌های ورودی مربوط به پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی استفاده می‌شود که در آنالیز طراحی این تخمین باید به صورتی انجام شود که فاصله مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای محیط مورد بررسی به حداقل ممکن کاهش یابد.

به عمل مشاهده، اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای توده خاک، رفتارسنجی و به هر وسیله‌ای که بدین منظور استفاده شود، ابزار و به عمل استفاده از ابزار برای رفتارسنجی، ابزاربندی گفته می‌شود. همگرایی‌سنجی در فضاهای زیرزمینی به سبب هزینه‌های اندک، اپراتوری آسان، دقت مناسب و امکان ثبت حرکات سطح تونل در اکثر پروژه‌ها به عنوان متداول‌ترین دستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه در این روش تنها جابه‌جایی نسبی بین دو نقطه از محیط تونل اندازه‌گیری می‌شود و محل دقیق حرکت در عمق خاک تعیین نمی‌گردد، اما شناخت مناطق دارای جابه‌جایی در تونل و تعیین روند این حرکت، این امکان را برای مهندس طراح فراهم می‌نماید تا نسبت به تکمیل اطلاعات و مقایسه آن با فرضیات طراحی اولیه، نسبت به انتخاب انواع ابزاردقیق و حتی سیستم‌های نگهداری بهینه در متراژهای بعدی اقدام نماید (معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها ۱۳۸۱).

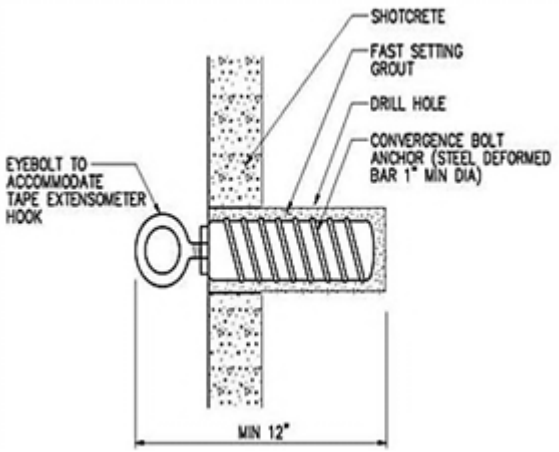
۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. اهداف ابزاربندی در تونل

در شرایط اولیه و قبل از ایجاد هر گونه فضای مصنوعی، تنش‌های موجود در زمین برابر بوده و زمین خود به خود پایدار می‌ماند. اگر شرایط طبیعی زمین با ایجاد هرگونه حفاری دچار تغییر شود، زمین جهت رسیدن به تعادل اولیه، عکس‌العمل نشان داده و بنا به قانون قسط سعی می‌کند شرایط به وجود آمده را در جهت ایجاد تعادل تغییر دهد تا به تنش‌های برابر برسد. به همین دلیل در حفاری سنتی تونل زمان نصب سازه نگهبان نهایی طولانی است، اندازه‌گیری و ثبت داده‌های همگرایی تونل یکی از مهمترین پارامترها جهت طراحی و اجرا می‌باشد. در حفاری تونل به صورت NATM در حفر هد بالایی تونل، بهترین روش جهت سنجش همگرایی، استفاده از متر همگرایی‌سنج در سه نقطه از این مقطع تونل که یکی در تاج و دو نقطه دیگر در دیواره‌های چپ و راست و به فواصل ۱/۶۰ متر بالاتر از مرکز تونل می‌باشد. این فواصل به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بیشترین تنش تونل در این قسمت‌ها می‌باشد و در مرحله دوم که حفاری تکمیل شده و مقطع به صورت تمام مقطع در می‌آید دو پین دیگر به این ایستگاه‌ها اضافه شده و به صورت ۵ نقطه‌ای قرائت می‌گردند و این دو پین به اندازه ۲۰ سانتیمتر بالاتر از پلیت پایه لتیس که به کف‌بند نصب می‌شود، می‌باشد اما از آنجا که اکثراً در تونل‌ها در این ارتفاع کم باعث آسیب دیدن این پین‌ها توسط ماشین‌آلات می‌شود آنها را در فاصله ۱/۶۰ متر بالاتر از پلیت کف پایه لتیس نصب می‌کنند.



شکل ۱. امتدادهای اندازه‌گیری در همگرایی‌سنجی ۳ و ۵ نقطه‌ای



شکل ۲. نمایی شماتیک از چگونگی نصب پین در داخل دیواره تونل

۲. ۲. اهمیت مطالعات زمین‌شناسی در نصب ابزار

All rights reserved for GRIB

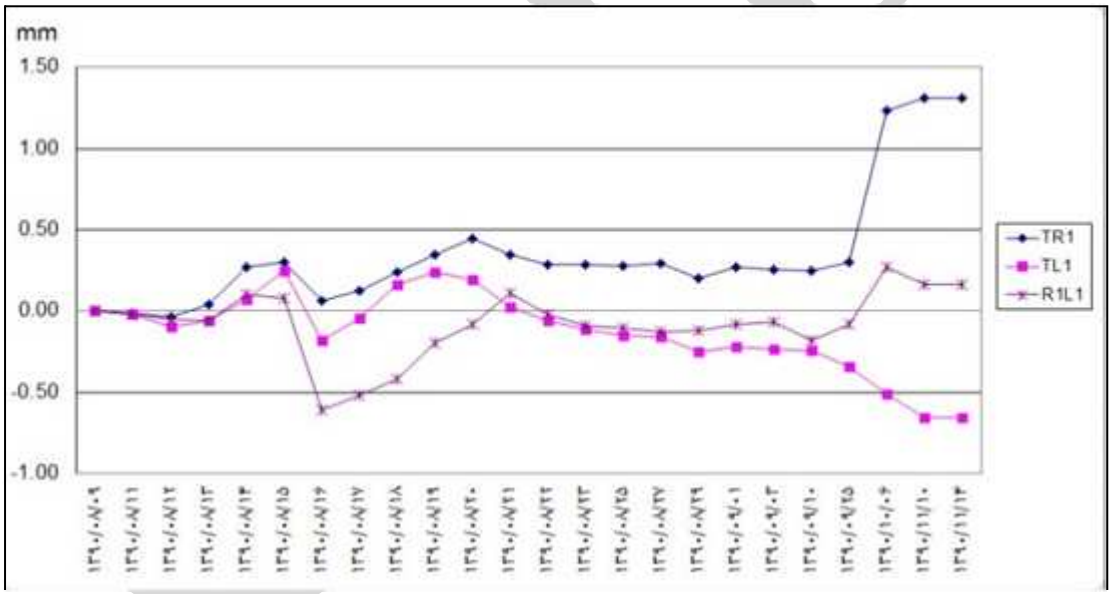
با توجه به مطالعات زمین‌شناسی منطقه، در اغلب متراژ تونل سیلت و رس موجود می‌باشد. که میان لایه‌هایی از شن و ماسه در آن وجود دارد. وجود سیلت و رس در دیواره و سقف، پایداری زمین را ایجاد می‌کند. ولی میان لایه‌های ماسه‌ای و شنی ریزش شدید سینه کار و دیواره را خواهد داشت. این موضوع نصب پین‌های همگرایی‌سنج را با تأخیر و مشکل همراه می‌کند. وجود سیلت و رس به دلیل خاصیت الاستیسیته آن همگرایی بیشتری نسبت به شن و ماسه دارد. این امر در طراحی سازه‌های نگهبان اولیه و نهایی بسیار حایز اهمیت است (مطالعات مفهومی، ۱۳۸۹).

۳. بحث و نتایج

۳. ۱. بررسی و تحلیل اعداد قرائت شده بدون اعمال ضرائب تصحیح با اعداد وارد شده با ضرائب تصحیح

اولین گام بعد از کالیبراسیون دستگاه قرائت پین‌های نصب شده در تونل می‌باشد که یال‌های آن خوانده شده و معمولاً هر یال را ۳ تا ۴ بار قرائت می‌کنند تا یک عدد بیشتر تکرار شود و درصد خطا کاهش یابد و در تحلیل زیر این اعداد بدون اعمال ضریب تصحیح دما و کالیبراسیون مورد بررسی قرار گرفته تا اختلاف آن با زمانی که این ضرائب وارد می‌شوند مورد بررسی قرار گیرد. در نمودار مربوط به شکل ۳ بیشترین جابه‌جایی و حرکت مربوط به یال TR1 می‌باشد که مقدار آن ۱/۳۱ میلی‌متر می‌باشد و دچار همگرایی (جمع شدگی) شده است (بخشی‌پور صداپشته ،۱۳۹۲). در مجموع رفتار به شرح زیر می‌باشد:

R1L1: 0.16	TL1: 0.6	TR1: 1.31
همگرایی	واگرایی	همگرایی



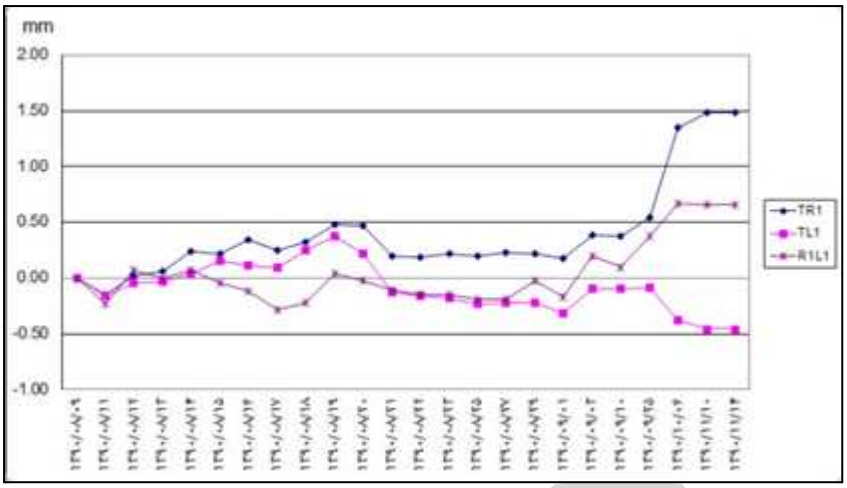
شکل ۳. نمودار تحلیل ایستگاه ۳ نقطه‌ای متراژ ۹۰ تونل بدون اعمال ضرائب تصحیح

در نمودار مربوط به شکل ۴ بیشترین جابه‌جایی و حرکت مربوط به یال TR1 می‌باشد که مقدار آن ۱/۴۹ میلیمتر می‌باشد و دچار همگرایی شده است.

R1L1: 0.66	TL1: 0.46	TR1: 1.49
همگرایی	واگرایی	همگرایی

در مجموع رفتار به شرح زیر می‌باشد:

All rights reserved for GRIB



شکل ۴. نمودار تحلیل ایستگاه ۳ نقطه ای متراژ ۹۰ تونل با اعمال ضرائب تصحیح

از مقایسه دو نمودار بالا به این نتیجه می‌رسیم که وارد کردن ضرائب تصحیح دما و کالیبراسیون در مقدار جابه‌جایی و حرک تأثیر دارد و در وارد کردن و ثبت آن در برنامه تحلیل، دقت بسیار باید داشت. جدول زیر میزان اختلاف این دو نمودار را نشان می‌دهد.

ضریب تصحیح اختلاف دما از رابطه زیر بدست می‌آید : (راهنمای استفاده از متر همگرایی‌سنج ۱۳۹۰)

$$\Delta L_1 = \alpha \times L \times \Delta\theta \qquad (۱)$$

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \qquad (۲)$$

جدول ۱. مقدار اختلاف جابه‌جایی با اعمال ضریب و بدون ضریب تصحیح

یال	مقدار جابه‌جایی		اختلاف(mm)
	بدون ضریب	با ضریب	
TR1	1.31	1.49	0.18
TL1	0.66	0.46	0.20
R1L1	0.16	0.66	0.50
اختلاف دما ۹ درجه کاهش $\Delta\theta$=9°			
در جهت حرکت همگرایی یا واگرایی تأثیری نداشت.			

θ_0 درجه حرارت محیط اطراف ایستگاه پین همگرایی در اولین قرائت، θ: درجه حرارت اطراف پین همگرایی در هر قرائت، L: فاصله اندازه‌گیری شده بین پین‌های همگرایی در هر قرائت، ضریب α در همگرایی‌سنج برابر ۰/۰۰۰۰۱۰۲ می‌باشد. در صورت تغییر طول متر همگرایی‌سنج در اثر عوامل مختلف در هنگام قرائت نسبت به طول متر همگرایی‌سنج در هنگام اولین قرائت، تصحیح طول ناشی از تغییر کالیبراسیون در هر قرائت نسبت به اولین قرائت از رابطه زیر بدست می‌آید (راهنمای استفاده از متر همگرایی‌سنج)

$$\Delta L_2 = CAL_0 - CAL \qquad (۳)$$

CAL_0: میانگین کالیبراسیون متر همگرایی‌سنج در اولین قرائت، CAL: میانگین کالیبراسیون متر همگرایی‌سنج در هر قرائت. جابه‌جایی نسبی بین پین‌های همگرایی در هر بار قرائت نسبت به اولین قرائت، با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

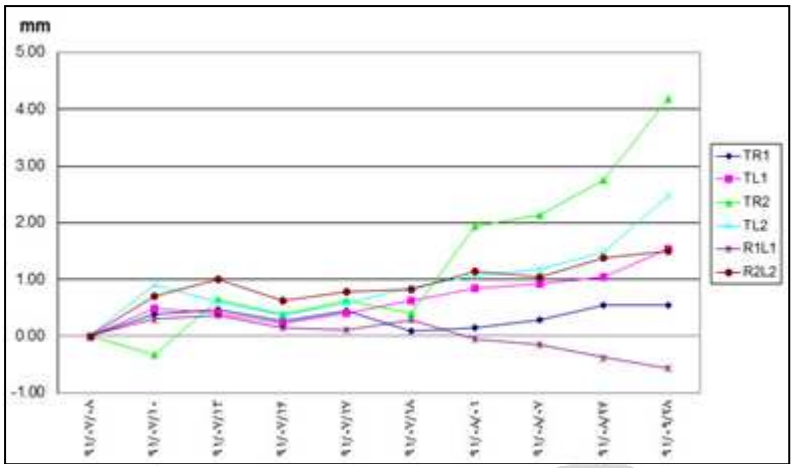
$$L + \Delta L_1 + \Delta L_2 = \text{همگرایی پین‌های بین شده تصحیح شده گیری اندازه فاصله} \qquad (۴)$$

در نمودار مربوط به شکل ۵ بیشترین جابه‌جایی و حرکت مربوط به یال TR2 می‌باشد که مقدار آن ۳/۱۴ میلی‌متر می‌باشد و دچار همگرایی (جمع شدگی) شده است. در مجموع رفتار به شرح زیر می‌باشد:

TR2: ۳/۱۴ همگرایی TR1: ۰/۰۵ واگرایی TL2: ۱/۵۳ همگرایی

TL1: ۱/۰۷ همگرایی R2L2: ۰/۱۴ همگرایی R1L1: ۱/۸۵ واگرایی

All rights reserved for GRIB

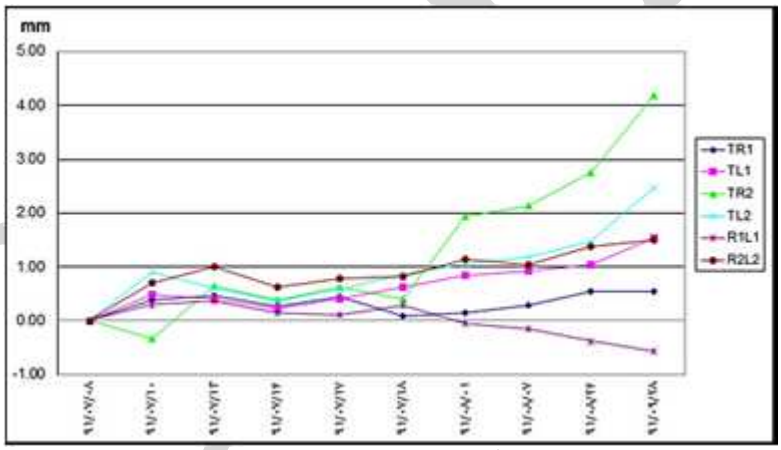


شکل۵. نمودار تحلیل ایستگاه ۵ نقطه ای متراژ ۶۲۵ تونل بدون اعمال ضرائب تصحیح

در نمودار مربوط به شکل ۶ بیشترین جابه‌جایی و حرکت مربوط به یالTR2 می‌باشد که مقدار آن ۴.۱۸ میلیمتر می‌باشد و دچار همگرایی (جمع شدگی) شده است. در مجموع رفتار به شرح زیر می‌باشد:

TR2: ۴/۱۸ همگرایی TR1: ۰/۵۵ همگرایی TL2: ۲/۴۷ همگرایی

TL1: ۱/۵۴ همگرایی R2L2: ۱/۵۱ همگرایی R1L1: ۰/۵۶ واگرایی



شکل ۶. نمودار تحلیل ایستگاه ۵ نقطه ای متراژ ۶۲۵ تونل با اعمال ضرائب تصحیح

از مقایسه این دو نمودار مشاهده شد که علاوه بر تغییر اعداد، جهت حرکت نیز دچار تغییر می‌شود. همانطور که در جدول روبرو مشاهده می‌شود یال TR1 در ابتدا دچار واگرایی (بازشدگی) شده بود که با اعمال ضرائب تصحیح دما دچار همگرایی (جمع شدگی) شد.

جدول ۲. مقدار اختلاف جابه‌جایی با اعمال ضریب و بدون ضریب تصحیح

یال	مقدار جابه‌جایی		اختلاف (mm)
	بدون ضریب	با ضریب	
TR1	۰/۰۵	۰/۵۵	۰/۶۰
TL1	۱/۰۷	۱/۵۴	۰/۴۷
R1L1	۱/۸۵	۰/۵۶	۱/۲۹
TR2	۳/۱۴	۴/۱۸	۱/۰۴
TL2	۱/۵۳	۲/۴۷	۰/۹۴
R2L2	۰/۱۴	۱/۵۱	۱/۳۷
اختلاف دما ۲۲ درجه کاهش $\Delta\theta=22^{\circ}$ TR1 واگرا بود و با اعمال ضریب تصحیح دما همگرا شد			

All rights reserved for GRIB

۳. ۲. تأثیر فعالیت بیل مکانیکی در زمان قرائت بر داده‌ها

بررسی زیر در شرایطی انجام شده است که یکی از ماشین آلات (بیل مکانیکی) در سینه کار در حال حفاری بوده و قرائت‌های زیر در فواصل ۱، ۲، ۶، ۱۵، ۲۰ و ۳۵ متری از بیل مکانیکی انجام شد که نتایج آن به صورت زیر می‌باشد (بخشی‌پور ۱۳۹۲).

۳. ۲. ۱. قرائت در فاصله ۱ متری از بیل مکانیکی

نتایج مقایسه قرائت در زمان فعالیت بیل مکانیکی و زمانی که بیل مکانیکی حضور نداشته به شرح جدول زیر می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی در زمان فعالیت بیل مکانیکی در فاصله ۱ متری

KM : 00+440 and Distance=1 m				
شرح	TR1	TL1	R1L1	دما (°C)
با حضور بیل مکانیکی	۰/۳	۰/۳	۰/۲۳	۴۰
بدون حضور بیل مکانیکی	-۰/۲	-۰/۰۲	-۰/۳	۳۱
نوع جابه‌جایی و حرکت	واگرا تبدیل به همگرا	واگرا تبدیل به همگرا	واگرا تبدیل به همگرا	افزایش دما
اختلاف (mm)	۰/۵	۰/۳۲	۰/۵۳	۹°
بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.				

۳. ۲. ۲. قرائت در فاصله ۲ متری از بیل مکانیکی

نتایج مقایسه قرائت در زمان فعالیت بیل مکانیکی و زمانی که بیل مکانیکی حضور نداشته به شرح جدول زیر می‌باشد.

جدول ۴. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی در زمان فعالیت بیل مکانیکی در فاصله ۲ متری

KM : 00+540 and Distance=2 m				
شرح	TR1	TL1	R1L1	دما (°C)
با حضور بیل مکانیکی	۰/۰۳	-۰/۱۳	-۱/۴۷	۴۲
بدون حضور بیل مکانیکی	۰/۵۲	۰/۳۷	-۰/۶۳	۳۲
نوع جابه‌جایی و حرکت	-	همگرا تبدیل به واگرا	-	افزایش دما
اختلاف (mm)	۰/۴۹	۰/۵	۰/۸۴	۱۰°
بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.				

۳. ۲. ۳. قرائت در فاصله ۶ متری از بیل مکانیکی

نتایج مقایسه قرائت در زمان فعالیت بیل مکانیکی و زمانی که بیل مکانیکی حضور نداشته به شرح جدول زیر می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی در زمان فعالیت بیل مکانیکی در فاصله ۶ متری

KM : 00+440 and Distance=6 m				
شرح	TR1	TL1	R1L1	دما (°C)
با حضور بیل مکانیکی	۰/۰۵	۰/۵۱	-۰/۰۳	۴۱
بدون حضور بیل مکانیکی	۰/۱۰	-۰/۰۱	-۰/۳۰۵	۳۴
نوع جابه‌جایی و حرکت	-	واگرا تبدیل به همگرا	-	افزایش دما
اختلاف (mm)	۰/۰۵	۰/۵۲	۰/۰۲	۷°
بیشترین تأثیر را در TL1 داشته است.				

۳. ۲. ۴. قرائت در فاصله ۱۵ متری از بیل مکانیکی

نتایج مقایسه قرائت در زمان فعالیت بیل مکانیکی و زمانی که بیل مکانیکی حضور نداشته به شرح جدول زیر می‌باشد.

جدول ۶. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی در زمان فعالیت بیل مکانیکی در فاصله ۱۵ متری

KM: 00+440 and Distance=15 m				
شرح	TR1	TL1	R1L1	دما (°C)
با حضور بیل مکانیکی	-۰/۷۱	-۰/۴	-۱/۰۵	۴۵
بدون حضور بیل مکانیکی	۰/۰۱	۰/۳۲	۰/۱۴	۳۱
نوع جابه‌جایی و حرکت	همگرا تبدیل به واگرا	همگرا تبدیل به واگرا	همگرا تبدیل به واگرا	افزایش دما
اختلاف (mm)	۰/۷۰	۰/۷۲	۱/۱۹	۱۴°
بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.				

۳. ۲. ۵. قرائت در فاصله ۲۰ متری از بیل مکانیکی

نتایج مقایسه قرائت در زمان فعالیت بیل مکانیکی و زمانی که بیل مکانیکی حضور نداشته به شرح جدول زیر می‌باشد.

All rights reserved for GRIB

جدول ۷. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی در زمان فعالیت بیل مکانیکی در فاصله ۲۰ متری

KM: 00+440 and Distance=20 m				
شرح	TR1	TL1	R1L1	دما (°C)
با حضور بیل مکانیکی	-۰/۳	۰/۲۶	-۱/۲۱	۳۹
بدون حضور بیل مکانیکی	-۰/۰۵	۰/۵۱	-۰/۸۰	۳۴
نوع جابه‌جایی و حرکت	-	-	-	افزایش دما
اختلاف (mm)	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴۱	۵°
بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.				

۳. ۲. ۶. قرائت در فاصله ۳۵ متری از بیل مکانیکی

نتایج مقایسه قرائت در زمان فعالیت بیل مکانیکی و زمانی که بیل مکانیکی حضور نداشته به شرح جدول زیر می‌باشد.

در ۶ مورد متراژی که این مقایسه و آزمایش مطالعاتی روی آنها انجام شد، مشاهده گردید که از این تعداد در ۴ ایستگاه بیل مکانیکی بیشترین تأثیر را روی یال R1L1 داشته است و می‌توان اینگونه استنباط کرد که چون این یال افقی نزدیک تر به زمین بوده بنابراین بیشترین امواج ، حرکت و تأثیر را از فعالیت بیل مکانیکی داشته است. که البته ضربه زدن درام بیل به زمین با کشیدن خاک توسط بیل بسیار متفاوت است و در مواردیکه مشاهده شده در فاصله نزدیک حرک کمتر بوده به همین علت می‌باشد، چون ضربه درام به زمین موج بیشتری تولید می‌کند.

جدول ۸ مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی در زمان فعالیت بیل مکانیکی در فاصله ۳۵ متری

KM: 00+440 and Distance=35 m				
شرح	TR1	TL1	R1L1	دما (°C)
با حضور بیل مکانیکی	0.15	0.72	-0.44	30
بدون حضور بیل مکانیکی	0.21	0.77	-0.35	29
نوع جابه‌جایی و حرکت	-	-	-	افزایش دما
اختلاف (mm)	0.60	0.05	0.09	1°
بیشترین تأثیر را در TR1 داشته است.				

۳. ۳. تأثیر تزریق دوغاب سیمان بر نتایج ابزار دقیق

در حفاری تونل نیمه مکانیزه در نقاطی که دارای ریزش بوده بعد از تحکیمات اولیه (لتیس‌گذاری و شاتکریت) عملیات تزریق دوغاب سیمان انجام می‌شود که باعث پرشدگی حفرات خالی ریزش می‌گردد که متقابلا این تزریق باعث سنگینی و نیز حرکت در تونل می‌شود که در اینجا با مقایسه قرائت‌ها ۱ و ۷ روز بعد ازتزریق و در فواصل ۵، ۱۰ و ۲۰متر از محل تزریق و نیز در خود محل تزریق به بررسی این حالت می‌پردازیم.که البته در این مقایسه علاوه بر فواصل مقدار سیمان تزریق شده نیز تأثیر دارد که مقدار آن نیز آورده شده است(بخشی‌پور ۱۳۹۲).

۳. ۳. ۱. قرائت در محل تزریق

همان طور که در جدول ۹ نشان داده شده بعد از تزریق دوغاب سیمان در محل ریزش، ابزار جابه‌جایی به مقدار ۱.۴۰ میلیمتر را نشان می‌دهد.

جدول۹. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی بعد از تزریق دوغاب سیمان طی ۱ و ۷ روز

KM: 00+210 and INJECT KM: 00+210 and CEMENT: 8 Ton			
شرح	TR1	TL1	R1L1
۱ روز بعد از تزریق	-۰/۱۰	۰/۷۰	۰/۱۰
۷روز بعد از تزریق	۰/۳۱	۱/۴۰	-۰/۴۶
نوع جابه‌جایی و حرکت	واگرا تبدیل به همگرا	-	همگرا تبدیل به واگرا
اختلاف (mm)	۰/۴۱	۰/۷۰	۰/۵۶

۳. ۳. ۲. فاصله بین محل قرائت و محل تزریق ۵ متر

در متراژ ۱۹۰ به مقدار ۳/۵ تن سیمان تزریق شد که باعث شد تا در متراژ ۱۹۵ بعد از ۷ روز به مقدار ۵ میلیمتر جابه‌جایی ایجاد شود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی بعد از تزریق دوغاب سیمان طی ۱ و ۷ روز

KM: 00+195 and INJECT KM : 00+190 and CEMENT: 3.5 Ton			
شرح	TR1	TL1	R1L1
۱ روز بعد از تزریق	۰/۳۷	۳/۶۱	-۰/۵۶
۷روز بعد از تزریق	-۰/۲۲	۵	-۲/۹۰
نوع جابه‌جایی و حرکت	همگرا تبدیل به واگرا	-	-
اختلاف (mm)	۰/۵۹	۱/۳۹	۳/۴۶

All rights reserved for GRIB

۳. ۳. ۳. فاصله بین محل قرائت و محل تزریق ۵ متر

مقدار جابه‌جایی در متراژ ۲۳۵ بعد از تزریق دوغاب سیمان در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی بعد از تزریق دوغاب سیمان طی ۱ و ۷ روز

KM: 00+235 and INJECT KM: 00+230 and CEMENT: 7.35 Ton			
R1L1	TL1	TR1	شرح
-0.50	0.25	0.15	۱ روز بعد از تزریق
2.52	0.50	1.44	۷روز بعد از تزریق
واگرا تبدیل به همگرا	-	-	نوع جابه‌جایی و حرکت
3.02	0.25	1.29	اختلاف (mm)

۳. ۳. ۴. فاصله بین محل قرائت و محل تزریق ۱۰ متر

مقدار جابه‌جایی بعد از تزریق دوغاب سیمان در متراز ۱۸۰ به شرح زیر می‌باشد.

جدول ۱۲. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی بعد از تزریق دوغاب سیمان طی ۱ و ۷ روز

KM: 00+180 and INJECT KM: 00+190 and CEMENT: 3.5 Ton			
R1L1	TL1	TR1	شرح
-0.16	-0.04	0.31	۱ روز بعد از تزریق
-0.48	0.10	0.55	۷روز بعد از تزریق
-	واگرا تبدیل به همگرا	-	نوع جابه‌جایی و حرکت
0.64	0.14	0.24	اختلاف (mm)

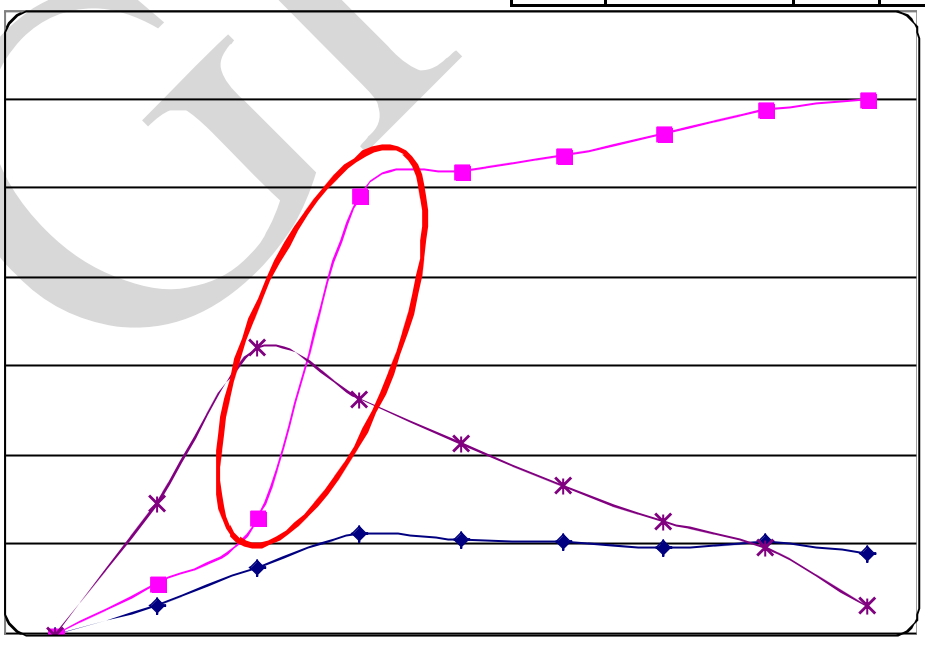
۳. ۳. ۵. فاصله بین محل قرائت و محل تزریق ۲۰ متر

مقدار تأثیر عددی در جابه‌جایی متراژ ۲۵۰ بعد از تزریق دوغاب سیمان به شرح جدول (۱۳) می‌باشد.

جدول ۱۳. مقایسه مقدار اختلاف جابه‌جایی بعد از تزریق دوغاب سیمان طی ۱ و ۷ روز

KM: 00+250 and INJECT KM: 00+230 and CEMENT : 7.35 Ton			
R1L1	TL1	TR1	شرح
-۱/۴۲	۰/۶۰	۰/۵۴	۱ روز بعد از تزریق
-۱/۳۴	۰/۱۰	۰/۹۰	۷روز بعد از تزریق
-	-	-	نوع جابه‌جایی و حرکت
۰/۰۸	۰/۵۰	۰/۳۶	اختلاف (mm)

از مقایسه بالا مشاهده گردید که بیشترین تأثیر تزریق سیمان در فاصله ۵ متری از محل تزریق بوده و نیز از نظر زمان گیرش اولیه ، بیشترین تأثیر ۷ روز بعد تزریق بوده یعنی زمانی که سیمان و آب واکنش لازم را داده و به مقاومت ۷ روزه رسیده. شکل ۷ جهش یکباره یال TR1 را بعد از تزریق نشان می‌دهد (محلی که با دایره نشان داده شده است).

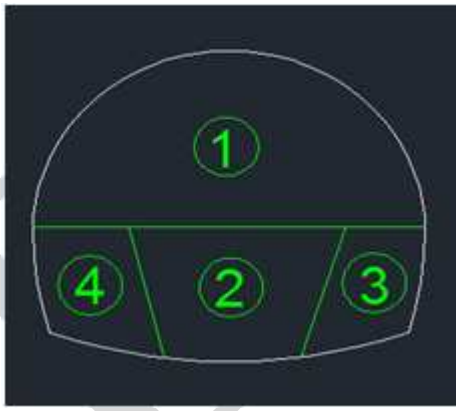


شکل ۷. نمودار رفتار ایستگاه ۱۹۵ بعد از تزریق

All rights reserved for GRIB

۳. ۴. تأثیر فرآیند کامل کردن مقطع تونل بر نتایج ابزار دقیق

در حفاری به روش نیمه مکانیزه ابتدا مقطع تونل به صورت نیم مقطع حفاری شده و بعد با برداشتن محل پایه لتیس‌ها به صورت تمام مقطع در می‌آید. شکل (۸) روند شماتیک این مراحل را نشان می‌دهد.



شکل ۸ شماتیک روند اجرایی حفاری تونل

در هرمرحله از این فرآیند که قسمتی از مقطع تونل حفاری می‌شود باعث ایجاد حرکت در تونل می‌شود چون قسمت پایین لتیس خالی شده و بسته به مدت زمان خالی بودن این فضا باعث ایجاد حرکت در تونل می‌شود که در زیر با توجه به مدت زمان خالی بودن مورد بررسی قرار گرفته است (بخشی‌پور ۱۳۹۲).

همان طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود ابتدا مقطع به صورت نیم مقطع (مرحله انجام می‌شود و بعد از آن مرحله ۲ خاکبرداری شده تا ماشین آلات بتوانند رفت و آمد کنند و درمرحله بعد بسته به موقعیت متراژ مورد نظر مرحله ۳ یا ۴ انجام می‌شود که مراحل ۳ و ۴ باعث حرکت در تونل می‌شوند.

مقایسات و بررسی‌هایی که در زیر انجام شده نشان می‌دهد که خاکبرداری محل پایه لتیس باعث ایجاد حرکت در رفتار تونل می‌شود (جدول‌های ۱۴ تا ۱۷ و شکل‌های ۹ تا ۱۱ به ترتیب برای ایستگاه‌های ۱۲۰، ۴۹۰ و ۶۴۵).

جدول ۱۴. مقایسه مقدار جابه‌جایی بعد از برداشتن پایه لتیس

KM: 00+235 and START SILL UNEARTH : Left			
شرح	TR1	TL1	R1L1
بعد از برداشتن پایه لتیس یکطرف	۰/۵۰	۰/۷۰	۲/۳۳
بعد از تکمیل برداشتن پایه لتیس	۰/۱۰	۰/۱۰	۱/۵۰
نوع جابه‌جایی و حرکت	همگرایی	همگرایی	همگرایی
مجموع حرکت کلی (mm)	۰/۶۰	۰/۸۰	۳/۸۳
بعد از ۲ روز پایه تکمیل گردید و بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.			

جدول ۱۵. مقایسه مقدار جابه‌جایی بعد از برداشتن پایه لتیس

KM: 00+490 and START SILL UNEARTH : Right			
شرح	TR1	TL1	R1L1
بعد از برداشتن پایه لتیس یکطرف	۱/۲۱	۱/۰۱	۶/۰۱
بعد از تکمیل برداشتن پایه لتیس	۰/۱۵	۱/۲۳	۵/۳۴
نوع جابه‌جایی و حرکت	همگرایی	همگرایی	همگرایی
مجموع حرکت کلی (mm)	۱/۳۶	۲/۲۴	۱۱/۳۵
بعد از ۲ روز پایه تکمیل گردید و بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.			

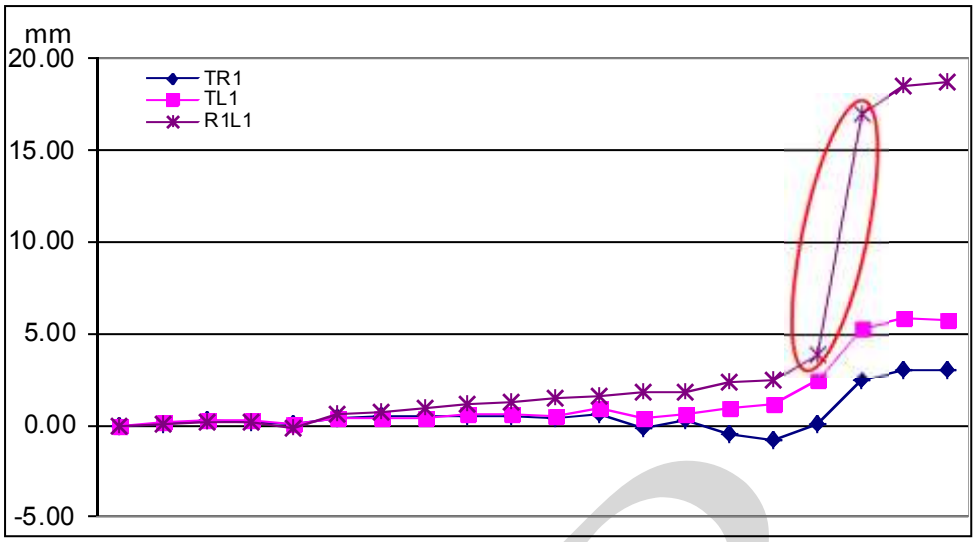
جدول ۱۶. مقایسه مقدار جابه‌جایی بعد از برداشتن پایه لتیس

KM: 00+645 and START SILL UNEARTH : Right			
شرح	TR1	TL1	R1L1
بعد از برداشتن پایه لتیس یکطرف	۰/۸۶	۰/۳۳	۲/۹۶
بعد از تکمیل برداشتن پایه لتیس	۰/۳۲	۱/۰۴	۵/۹۴
نوع جابه‌جایی و حرکت	همگرایی	همگرایی	همگرایی
مجموع حرکت کلی (mm)	۱/۱۸	۱/۳۷	۸/۹۰
بعد از ۲ روز پایه تکمیل گردید و بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.			

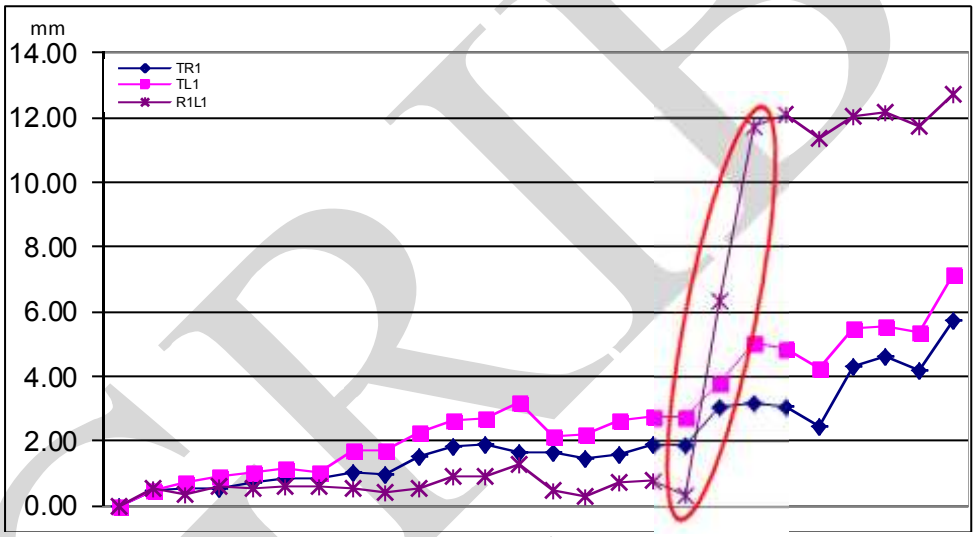
جدول ۱۷. مقایسه مقدار جابه‌جایی بعد از برداشتن پایه لتیس

KM: 00+120 and START SILL UNEARTH : Left			
شرح	TR1	TL1	R1L1
بعد از تکمیل برداشتن پایه لتیس	۲/۴۰	۲/۸۳	۱۳/۱۰
نوع جابه‌جایی و حرکت	همگرایی	همگرایی	همگرایی
بعد از ۲ روز پایه تکمیل گردید و بیشترین تأثیر را در R1L1 داشته است.			

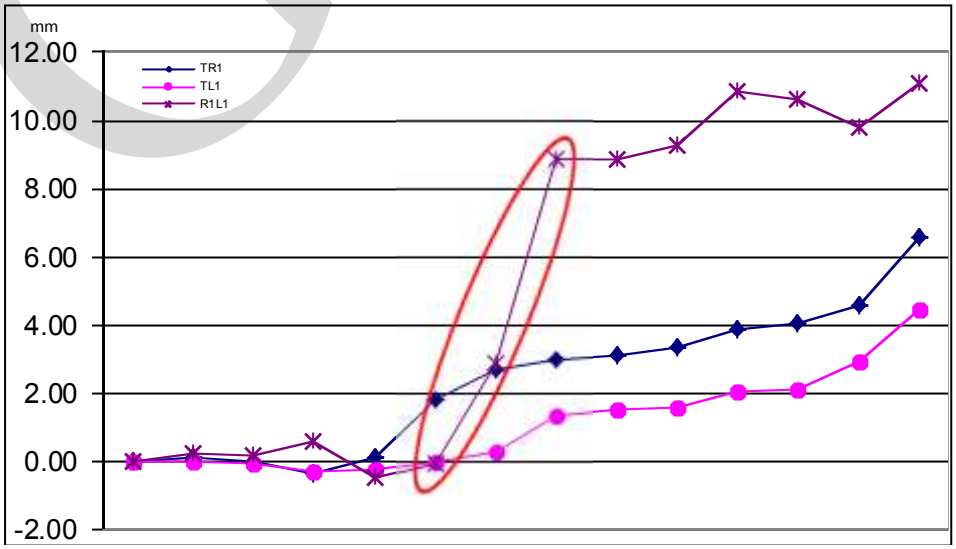
All rights reserved for GRIB



شکل ۹. نمودار رفتار ایستگاه ۱۲۰ بعد از خاکبرداری محل پایه لتیس



شکل ۱۰: نمودار رفتار ایستگاه ۴۹۰ بعد از خاکبرداری محل پایه لتیس



شکل ۱۱. نمودار رفتار ایستگاه ۶۴۵ بعد از خاکبرداری محل پایه لتیس

All rights reserved for GRIB

۳. ۵. تأثیر روش نصب پین همگرایی‌سنجی بر نتایج و رفتار تونل

در حفاری به روش NATM پین‌های همگرایی‌سنجی به دو روش قبل و بعد از شاتکریت نصب می‌شوند. در این پروژه هم از روش نصب پین قبل از شاتکریت استفاده شده و هم از روش نصب پین بعد از شاتکریت که نتایج آنها با هم مقایسه شده و به شرح زیر می‌باشد.

۳. ۵. ۱. روش نصب بعد از شاتکریت

در این روش بعد از حفاری تونل و تحکیمات موقت (شاتکریت دیواره تونل) ابتدا محل مورد نظر توسط دستگاه هیلتی به اندازه طول پین سوراخ شده و بعد پین به همراه گروت (ملات سیمان و آب) داخل دیواره نصب شده و بعد از ۱ روز استراحت به ملات برای گیرش بهتر، قرائت آن شروع می‌شود.

البته از معایب این روش می‌توان به مواردی چون برخورد به میلگرد سازه نگهبان (لتیس)، برخورد به مش بندی دیواره که باعث آسیب دیدن الماس سر مته می‌شود و نیاز به نیروی انسانی و وقت زیادی دارد.

جدول ۱۸. حرکات ثبت شده در روش نصب بعد از شاتکریت

بعد از شاتکریت	
شرح	جابه‌جایی (mm)
بیشترین حرکت نشان داده در یک قرائت	۹/۰۴
بیشترین حرکت تجمعی	۹/۰۷
میانگین حرکت در هر قرائت	۰/۳۴

۳. ۵. ۲. روش نصب قبل از شاتکریت

در این روش قبل از تحکیمات موقت (شاتکریت دیواره) در محل مورد نظر پین همگرایی سنجی را به لتیس یا مش دیواره با سیم محکم می‌بندیم (جدول ۱۹)، البته برای اینکه بعد از شاتکریت درپوش پین با بتن پوشانده نشود روی آن را با گیریس پوشانده و بعد داخل پلاستیک گذاشته و سریعا بعد از اتمام شاتکریت (برای جلوگیری از سفت شدن بتن) پلاستیک و بتن روی آن را باز کرده و یک روز بعد از نصب، قرائت انجام می‌شود.

از مزایای این روش نصب سریع و آن می‌باشد و یکی از مزایای مهم آن این است که در این روش پین همگرایی‌سنجی مستقیماً با خاک دیواره تونل درگیر می‌باشد و رفتار واقعی‌تری از تونل را به نمایش می‌گذارد و دیگر مانند روش بعد از شاتکریت محدودیت طول پین همگرایی را ندارد (بخشی‌پور ۱۳۹۲).

جدول ۱۹. حرکات ثبت شده در روش نصب قبل از شاتکریت

قبل از شاتکریت	
شرح	جابه‌جایی (mm)
بیشترین حرکت نشان داده در یک قرائت	۱۰/۹۰
بیشترین حرکت تجمعی	۱۴/۳۰
میانگین حرکت در هر قرائت	۰/۶۲

همان طور که مشاهده شده و نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که در روش نصب قبل از شاتکریت به علت بیشتر درگیر بودن پین همگرایی با دیواره تونل و صلبیتی که بین پین و سازه موقت تونل (لتیس و شاتکریت روی آن) وجود دارد در نتیجه رفتار واقعی‌تری مشاهده شده و در روش قبل از شاتکریت نسبت به روش بعد از شاتکریت حرکات و تغییرات تونل بیشتر نشان داده شده که نشان دهنده صحت و تایید این روش نسبت به روش بعد از شاتکریت می‌باشد که در جدول (۲۰) اختلاف این دو روش نشان داده شده است.

همان طور که در جدول زیر نشان داده شده، بیشترین حرکت تجمعی که در روش نصب قبل از شاتکریت ثبت شده است ۵/۲۳ میلیمتر بیشتر از روش نصب بعد از شاتکریت است.

جدول ۲۰. مقایسه روش نصب قبل و بعد از شاتکریت

COLLATION	
شرح	اختلاف (mm)
بیشترین حرکت نشان داده در یک قرائت	۱/۸۶
بیشترین حرکت تجمعی	۵/۲۳
میانگین حرکت در هر قرائت	۰/۲۸

۳. ۶. تأثیر نصب کفبند بر کنترل رفتار تونل

بعد از تکمیل حفاری و نصب پایه لتیس‌ها در دیواره تونل آخرین مرحله و مهمترین مرحله تحکیمات موقت، اجرا و نصب کفبند می‌باشد که باعث تکمیل مقطع و کامل شدن

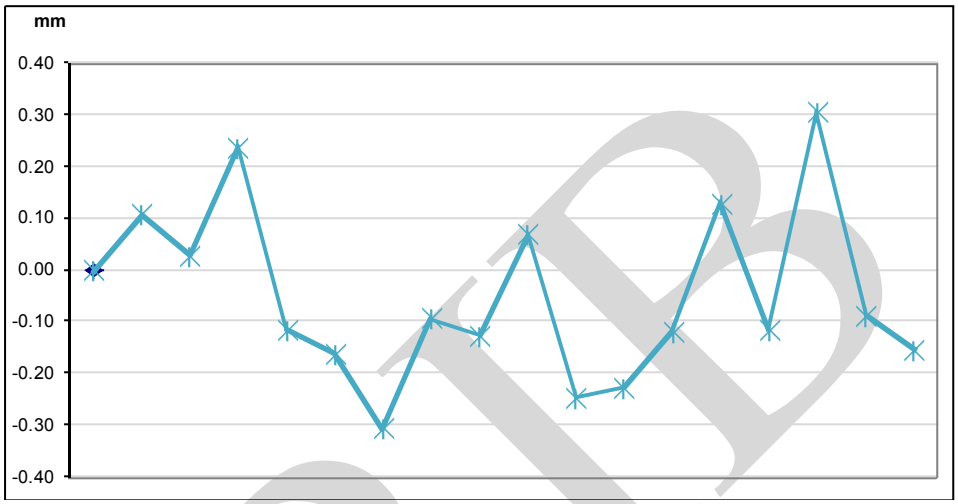
All rights reserved for GRIB

مقطع نعل اسبی می‌شود و در کنترل رفتار تونل نقش به سزایی دارد. در زیر به بررسی رفتار تونل بعد از نصب کفبند می‌پردازیم (بخشی‌پور ۱۳۹۲).

در جدول (۲۱) نتایج تأثیر کفبند بر رفتار تونل در ایستگاه‌های مختلف به همراه نمودارهای تغییرات رفتار در شکل‌های (۱۲ تا ۱۴) نشان داده شده است.

جدول ۲۱. نتایج تأثیر کفبند بر رفتار تونل

KM : 00+073.30	
شرح	**اختلاف (mm)**
بیشترین حرکت تجمعی	۰/۱۵
نوع حرکت	واگرایی
میانگین حرکت در هر قرائت	۰/۰۱
تعداد روز بدون کفبند	۵روز
تعداد روز مورد مطالعه قرار گرفتن	۱۴۸روز



شکل ۱۲. نمودار رفتار ایستگاه ۷۳.۷۰ بعد از نصب کفبند

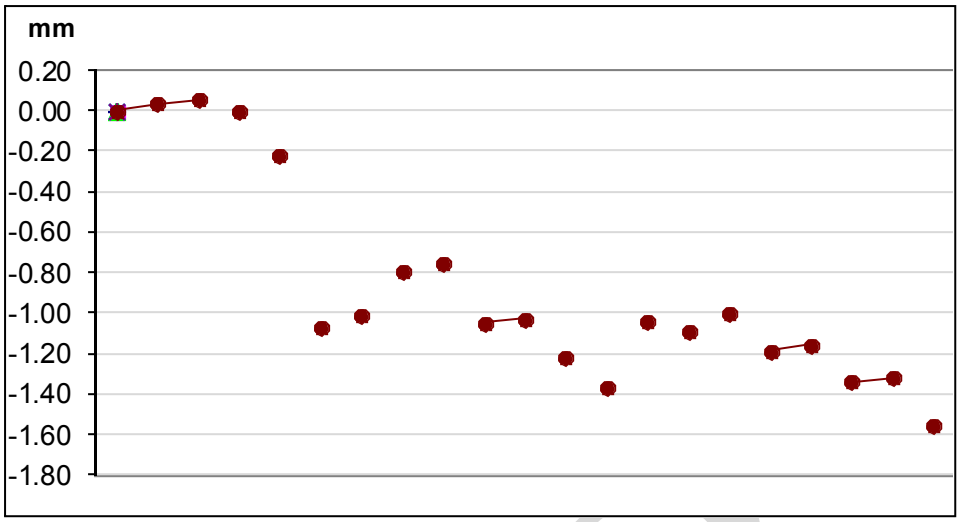
جدول ۲۲. نتایج تأثیر کفبند بر رفتار تونل در ایستگاه ۲۳۸/۲۵

KM : 00+238.25	
شرح	**اختلاف (mm)**
بیشترین حرکت تجمعی	۱/۵۶
نوع حرکت	واگرایی
میانگین حرکت در هر قرائت	۰/۰۷
تعداد روز بدون کفبند	۳روز
تعداد روز مورد مطالعه قرار گرفتن	۴۵روز

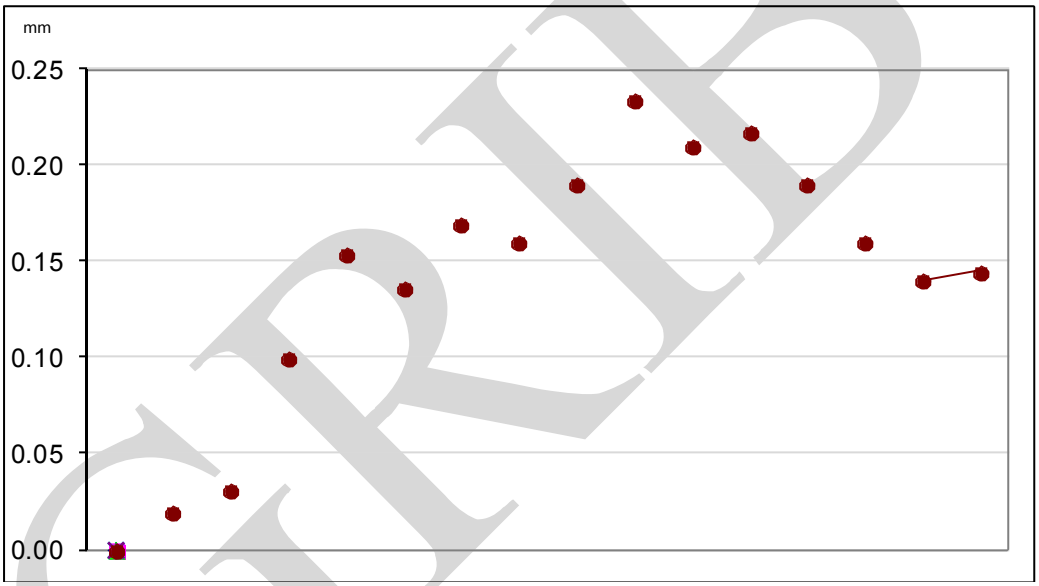
جدول ۲۳. نتایج تأثیر کفبند بر رفتار تونل در ایستگاه ۲۶۰/۹۵

KM : 00+260.95	
شرح	**اختلاف (mm)**
بیشترین حرکت تجمعی	۰/۲۵
نوع حرکت	همگرایی
میانگین حرکت در هر قرائت	۰/۰۲
تعداد روز بدون کفبند	۴روز
تعداد روز مورد مطالعه قرار گرفتن	۲۴روز

All rights reserved for GRIB



شکل ۱۳. نمودار رفتار ایستگاه ۲۳۸.۲۵ بعد از نصب کفبند



شکل ۱۴. نمودار رفتار ایستگاه ۲۶۰.۹۵ بعد از نصب کفبند

همان‌طور که از نتایج بالا مشاهده می‌شود به این نتیجه می‌رسیم که نصب کف جلوی حرکت تونل را می‌گیرید و طبق بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام شده مشاهده گردید که ۶۳٪ حرکات در محل‌هایی که کفبند نصب گردید به صورت واگرایی بوده و بیشترین حرکتی که بعد از نصب کفبندها مشاهده شده ۱/۵۶ میلیمتر بوده و میانگین حرکت در هر قرائت نیز کمتر از ۰/۱ میلی‌متر بوده که این نتایج نشان دهنده این موضوع می‌باشد که نصب کفبند باعث پایداری تونل و کنترل حرکات می‌شود.

۳. ۷. تأثیر تعمیرات دستگاه همگرایی سنجی بر نتایج ابزار دقیق

دستگاه متر همگرایی‌سنجی دارای یک متر فلزی می‌باشد که بر روی آن به فاصله هر ۱۰ سانتیمتر یک سوراخ وجود دارد تا قلاب دستگاه در آن درگیر و قفل شده و بتوان قرائت را انجام داد که به مرور زمان این سوراخ چون تحت فشار و کشش قرار می‌گشرد دچار گشادی شده و دیگر آن دقت و کارایی سابق را ندارد بنابراین باید آن قسمت مورد نظر از متر بریده شده و این فرآیند هرچند هم که دقیق باشد اما بر روی نتایج تأثیر می‌گذارد که در زیر به بررسی مقدار و نتایج این تأثیر می‌پردازیم (بخشی‌پور ۱۳۹۲).

همان طور که در جدول ۲۴ مشاهده می‌شود، بریدن متر دستگاه همگرایی‌سنجی به میزان ۰/۲۷ میلیمتر در کالیبراسیون

All rights reserved for GRIB

و ۰/۷۳ میلیمتر در نتایج داده‌ها تأثیر دارد. که این بررسی و نتایج به ما نشان می‌دهد که بعد از هر بار بریدن و تعمیر متر باید دقت داشت تا اولین قرائت بعد از تعمیر را ملاک قرار نداده و بعد از آن یعنی قرائت دوم را ملاک قرار داده تا این اعداد در رفتار واقعی تونل و نتایج دخالتی نداشته باشند.

جدول ۲۴. نتایج بریدن متر بر اعداد و آنالیزهای داده‌ها

CUT LENGTH METER	
شرح	مقدار
اختلاف در کالیبره دستگاه	0.27 mm
اختلاف در حرکت یال‌ها	0.73 mm
مقدار طول بریده شده	30 cm

۳. ۸. تأثیر تک فشاره یا دو فشاره کار کردن با دستگاه بر نتایج و داده‌ها

در هنگام قفل کردن دستگاه و اعمال فشار به دستگیره دستگاه همیشه باید دقت داشت که این اعمال فشار یک بار انجام شود و اعداد و داده‌ها در فشار اول خوانده شوند و اگر بعد از آن دوباره به دستگاه فشار آورده و داده‌ها را در فشار دوم بخوانیم، این اعداد با اعداد فشار اول بسیار متفاوت بوده و باعث اشتباه و ثبت غلط داده‌ها و در نتیجه تحلیل و تفسیر اشتباه می‌شود.

در زیر به بررسی و مقدار عددی این خطا پرداخته شد و نتایج در جدول‌های (۲۵ و ۲۶) و نمودارهای (۱۵ تا ۱۸) نشان داده شده است (بخشی‌پور ۱۳۹۲).

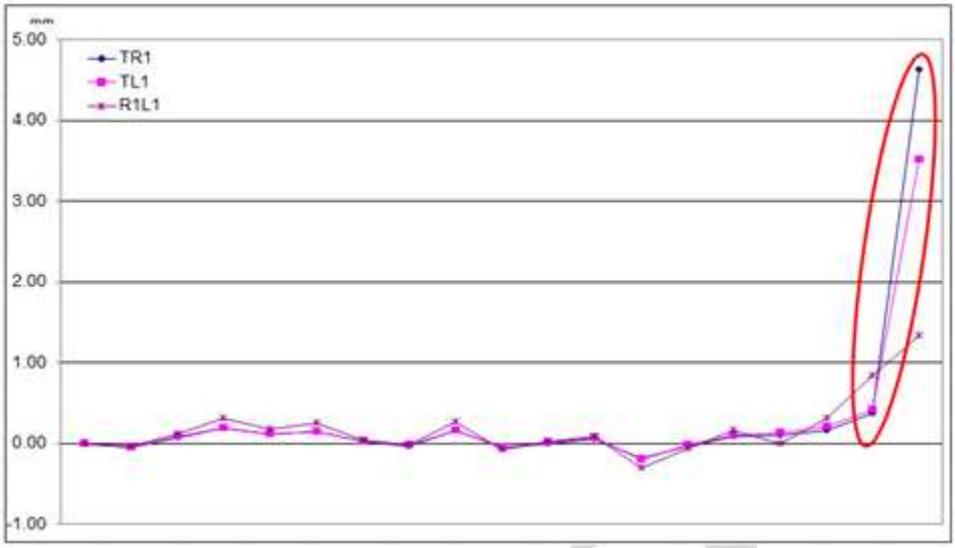
جدول ۲۵. مقایسه داده‌ها در تک فشاره و دو فشاره

PUSH METER (1 OR 2) – KM : 00+015			
شرح	TR1	TL1	R1L1
قرائت تک فشاره	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۸۳
قرائت دو فشاره	۴/۶۴	۳/۵۲	۱/۳۴
نوع جابه‌جایی	همگرایی	همگرایی	همگرایی
اختلاف جابه‌جایی	۴/۲۷	۳/۱۰	۰/۵۱
بطور میانگین ۲.۶۳ میلیمتر کلی تأثیر داشته است.			

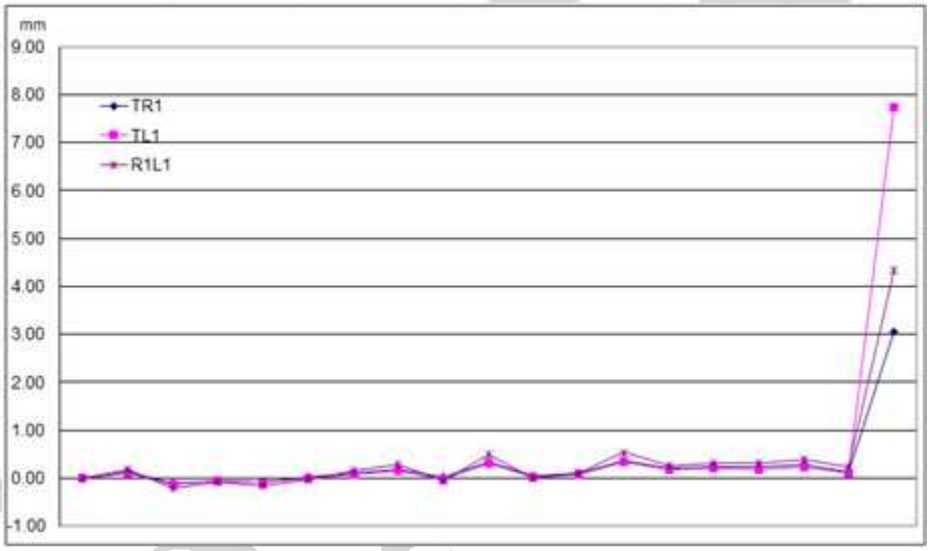
جدول ۲۶. مقایسه داده‌ها در تک فشاره و دو فشاره

PUSH METER (1 OR 2) – KM : 00+030			
شرح	TR1	TL1	R1L1
قرائت تک فشاره	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۲۴
قرائت دو فشاره	۳/۰۷	۷/۷۵	۴/۳۳
نوع جابه‌جایی	همگرایی	همگرایی	همگرایی
اختلاف جابه‌جایی	۲/۹۴	۷/۶۶	۴/۰۹
بطور میانگین ۵ میلیمتر کلی تأثیر داشته است.			

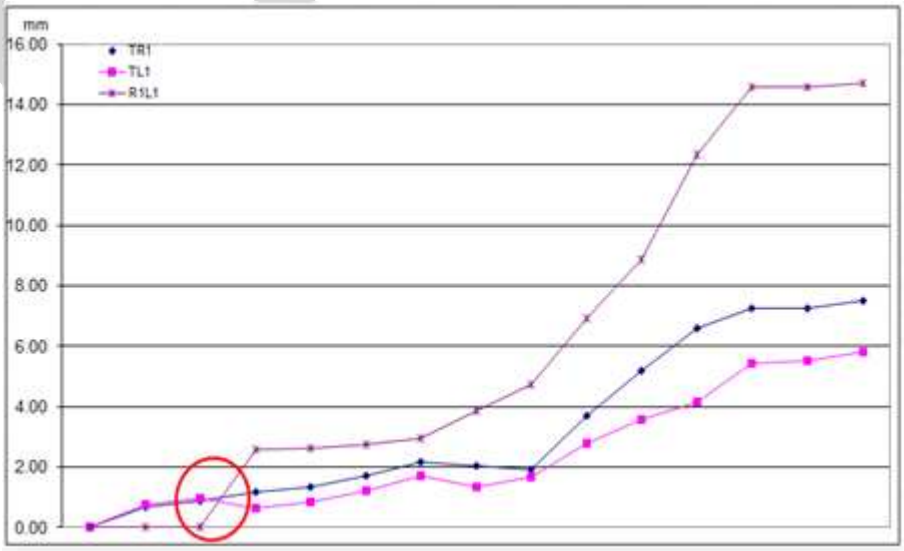
All rights reserved for GRIB



شکل۱۵. نمودار تغییر رفتار ایستگاه متراژ ۱۵ بعد از فشار دوم

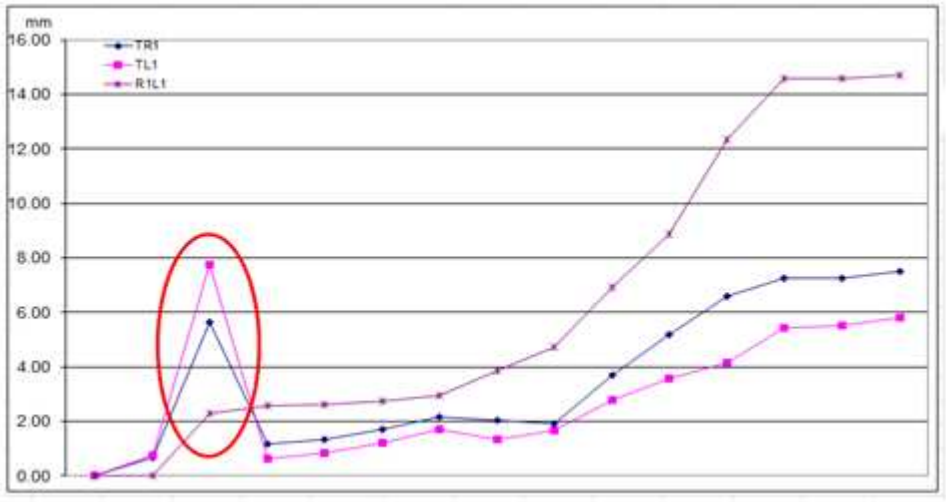


شکل ۱۶. نمودار تغییر رفتار ایستگاه متراژ ۳۰ بعد از فشار دوم



شکل ۱۷. نمودار تغییر رفتار ایستگاه متراژ ۶۳۵ بعد از فشاراول

All rights reserved for GRIB



شکل ۱۸. نمودار تغییر رفتار ایستگاه متراژ ۶۳۵ بعد از فشار دوم

اختلاف بین شکل ۱۷ و ۱۸ به طور کامل گویای این مطلب می‌باشد که اگر در روال قرائت یک بار به صورت دو فشاره اندازه‌گیری کنیم در نمودار رفتارها دچار پرش و جابه‌جایی می‌شویم که در شکل ۱۷ و ۱۸ نقطه مورد نظر در قرائت سوم کاملاً قابل قیاس با هم می‌باشند و در شکل ۱۸ که به صورت دو فشاره می‌باشد دچار برهم زدن نظم و روال طبیعی حرکات شده که اگر به این موارد توجه و دقت نشود، دچار خطای تفسیر اشتباه شده و رفتار واقعی تونل نشان داده نمی‌شود.

جدول ۲۷. مقایسه داده‌ها در تک فشاره و دو فشاره

PUSH METER (1 OR 2) – KM : 00+635			
شرح	TR1	TL1	R1L1
قرائت تک فشاره	۰/۶۸	۰/۷۷	۰/۰۲
قرائت دو فشاره	۵/۶۴	۷/۷۶	۲/۳۰
نوع جابه‌جایی	همگرایی	همگرایی	همگرایی
اختلاف جابه‌جایی	۴/۹۶	۶/۹۹	۲/۲۸
بطور میانگین ۴.۷۴ میلیمتر کلی تأثیر داشته است.			

۴. نتیجه‌گیری

– در هنگام وارد کردن اعداد خام قرائت در برنامه حتماً باید دمای واقعی محیط را همراه با کالیبراسیون وارد کرده تا اعداد به واقعیت نزدیک‌تر باشند.

– به هیچ عنوان در زمان فعالیت ماشین‌آلات سنگین حداقل تا فاصله ۵۰ متری آن نباید قرائت انجام شود چون در مقدار اعداد و نتایج تأثیرگذار می‌باشد.

– همیشه باید دقت داشت که در محل‌هایی که تزریق دوغاب سیمان بوده، بعد از تزریق و نیز در زمان تزریق (به علت فشار تزریق) تونل دچار حرکاتی می‌شود که نباید آن را به عنوان فشار زمین در نظر گرفت.

– بعد از کامل کردن مقطع و برداشتن محل پایه لتیس، تونل دچار حرکت می‌شود که در چنین شرایطی باید دقت داشت تا در زمان حفاری در روبروی محل برداشتن پایه لتیس مقدار حداقل ۲ متر پاشنه خاک در زیر لتیس باشد تا از حرکت احتمالی آن جلوگیری کند.

هیچ گاه در مقطعی از تونل که قرار است در آن محل پایه لتیس خاک‌برداری شود نباید دو ناحیه روبروی هم را با همدیگر خاکبرداری کرد و باید بعد از برداشتن خاک محل سریعاً پایه لتیس‌ها را زیر آن قرار داد تا جلوی حرکت را بگیرد.

– بهترین روش نصب پین همگرایی‌سنجی، روش نصب قبل از شاتکریت و تحکیمات موقت می‌باشد چون هم بیشتر با زمین درگیر بوده و هم صلبیت بیشتری با شاتکریت دیواره و لتیس دارد و نصب آن نیز سریع‌تر می‌باشد و نتایج واقعی‌تری را به ما می‌دهد.

– در تونل‌هایی که به روش NATM حفاری می‌شوند معمولاً بعد از نصب کفبند از حرکات تونل بسیار کاسته می‌شود البته در شرایطی که اجرای آن درست باشد.

All rights reserved for GRIB

- باید دقت داشت که بعد از تعمیرات و بریدن متر، کالیبره دستگاه دچار تغییر شده و باید نتایج آن جداگانه مورد تحلیل قرا گیرد در غیر این صورت مقداری جابه‌جایی نشان می‌دهد که در واقعیت چنین نیست.

- همیشه باید دقت داشت که اگر در یک ایستگاه اعداد به صورت تک فشاره خوانده شدند، دیگر نباید آن را به صورت دوفشاره خواند چون اعداد با حالت تک فشاره متفاوت خواهد بود و نیز نباید جای سوراخ‌های متر را که در آن قفل دستگاه قرار می‌گیرد را تغییر داد چون باعث اختلاف حرکت در اعداد و نتایج می‌شود. در مجموع باید همیشه به یک روال ابزار را قرائت کرد.

- محل‌هایی از تونل که در آن سه راهی یا پارکینگ احداث می‌شود به علت تجمع تنش در آن ناحیه همیشه مقداری حرکت می‌باشد و باید حتما در ورودی چنین محل‌هایی ایستگاه رفتارسنجی نصب گردد.

- همیشه باید سوراخ‌های متر را چک کرد و در صورت خرابی و گشادی قسمتی از طول متر را کوتاه کرد تا دیگر نیاز به آن محل نباشد و یا اگر سوراخ دچار وضعیت خیلی بحرانی بود باید آن قسمت متر را برید. چون اگر تنها کمی‌سوراخ‌ها گشاد شوند تا چند میلی‌متر در حرکات تونل اختلاف می‌اندازند. معمولاً بعد از ۱ یا ۲ ماه (بسته به استفاده) به علت فشاری که گیره به سوراخ‌ها می‌آورد، سوراخ‌ها دچار مشکل می‌شوند.

- هرچند وقت یک‌بار باید پین‌ها و رزوه‌های آن را گیریس کاری کرد تا رابط دستگاه و پین نصب شده روان دور هم بچرخند، چون حتی اگر چند دور هم کمتر رابط دور رزوه‌ها بچرخد در نتایج اعداد دستگاه دچار خطا و اشتباه شده و اعداد کمتری را نشان می‌دهد.

- چون پین‌های ابزاردقیق بسیار به ضربه حساس بوده و حساسیت دستگاه نیز تا صدم میلی‌متر می‌باشد، حتماً باید به نیروهای اجرایی تذکر داده شود تا اگر به هر دلیلی به این پین‌ها ضربه وارد شد سریعاً اطلاع رسانی کرده تا از ثبت نتایج اشتباه جلوگیری شود چون ضربات به پین باعث ثبت حرکات مصنوعی می‌شود و مانع از ثبت نتایج طبیعی سازه می‌گردد.

منابع

معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ رفتارسنجی فضاهای زیرزمینی در حین اجراء (نشریه ۲۵۲)، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۱)

مطالعات مفهومی، (۱۳۸۹) پروژه خط A مترو قم.

بخشی پور صداپشته ، آ. (۱۳۹۲) *بررسی عوامل تأثیر گذار بر نتایج ابزاردقیق در تونل‌های غیره مکانیزه (NATM) مترو قم*، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی‌شبستر.

راهنمای استفاده از متر همگرایی‌سنج، (۱۳۹۰) شرکت مهندسین مشاور پایاب زمزم.

All rights reserved for GRIB