

استفاده از روش تزریق طاق چتری در حفاری تونل های متروی

تهران

ناصر تالی^۱

عباس قلندرزاده^۲

عبدالرحیم صالحی دزفولی^۳

علی اکبر حسین پور^۴

چکیده

امروزه با توجه به پیشرفت علم و دانش و به دنبال آن توسعه فن آوری و تکنولوژی، حفاری و استفاده از فضاهای زیرزمینی گسترش زیادی پیدا نموده است. در محیط های شهری و بخصوص در کلان شهرها بدلیل افزایش تعداد وسایل نقلیه و ایجاد معضل ترافیک، ساخت تونل های مترو و تونل های شهری در اولویت های نخست توسعه قرار گرفته است. از سوی دیگر به دلیل قرار گرفتن ابنیه ها و بارهای ترافیکی در بالای محل حفر تونل ها، ناپایداری این فضاهای زیرزمینی می تواند عواقب ناگواری به دنبال داشته باشد. با توجه به تغییر خصوصیات ژئوتکنیکی آبرفت های گستره شهر تهران، شناخت مناطق ناپایدار و استفاده از روش تزریق طاق چتری (Fore Polling) به منظور جلوگیری از ناپایداری ضروری به نظر می رسد. لذا در این مطالعه مناطقی از تونل های شهری تهران که در آن تزریق طاق چتری صورت پذیرفته است مورد بررسی قرار گرفته و مشخصات خاک در هر منطقه و روش اجرا شده در هر مورد معرفی شده اند و میزان موفقیت این روش در آواربرداری ریزش های رخ داده و نیز پایدارسازی نقاط مستعد ریزش مورد بحث قرار گرفته است. در انتها این روش به عنوان نیمه پنهان حفاری تونل در مناطق ضعیف معرفی شده است.

واژگان کلیدی: تونل های شهری - تزریق طاق چتری - پایدارسازی

^۱ - دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۰۹۱۲۲۷۸۳۶۵۲، ۰۸۱۴۸۵۸۹۶

nasertali@yahoo.com

^۲ - عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، ۰۹۱۲۳۵۹۰۸۱۴، ۰۶۶۴۶۲۶۱۶

aghaland@ut.ac.ir

^۳ - مدیر عامل شرکت فنی و مهندسی ساروج پی زمین، ۰۹۱۲۲۰۱۰۳۴۷، ۰۶۶۵۵۸۴۵۳، adezfuli@ut.ac.ir

^۴ - معاونت اجرایی شرکت فنی و مهندسی ساروج پی زمین، ۰۹۱۲۷۱۸۴۷۸۷، ۰۶۶۵۵۸۴۵۴، hp.aliakbar@yahoo.com

۱- مقدمه

۱-۲- معرفی روش طاق چتری

عملیات حفاری و تزریق طاق چتری (Umbrella Arch) که با نام هایی چون Fore poling، چتر مسلح محافظ (Reinforced Protective arch) و طاق لوله ای (Pipe roofing) نیز معروف است روشی برای تقویت و مسلح سازی زمین های نرم و ضعیف در بالای جبهه حفاری به منظور حفاری ایمن است (شکل ۱).

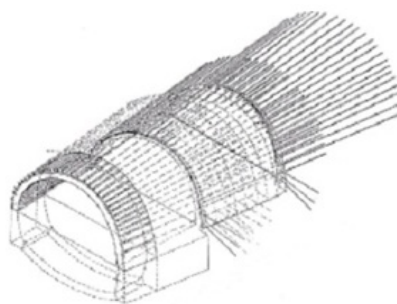


شکل ۱- انجام عملیات حفاری و تزریق طاق چتری در ورودی تونل

این روش در مصالح سست و با سیمان شدگی کم و یا مصالح ریزشی که زمان ایستایی پایینی پس از حفاری دارند کاربرد دارد. بعلاوه این روش در ورودی تونل ها که ضخامت سربار کم می باشد و همچنین به منظور ایجاد یک منطقه نفوذناپذیر در اطراف تونل های با زهکشی بالا مورد استفاده قرار می گیرد.

در این روش لوله گذاری به شکل مخروط ناقص صورت می گیرد که زاویه انحراف گمانه ها نسبت به افق از 5° تا 10° تغییر می کند و معمولا این گمانه ها غیر موازی با محور تونل می باشد و طول آن ها از ۵ تا ۱۰ متر و میزان هم پوشانی آن ها از $1/5$ تا ۵ متر متفاوت می باشد. در این روش با توجه به وضعیت پایداری و نوع مصالح فاصله گمانه ها می تواند در جاهای مختلف مقطع تونل کم یا زیاد باشد (شکل ۲).

توالی انجام عملیات حفاری و تزریق طاق چتری شامل حفاری گمانه، لوله گذاری و تزریق می باشد. پس از تزریق و گیرش دوغاب عملیات حفاری تونل صورت می گیرد. انعطاف پذیری این روش به دلیل قابلیت تغییر در طول لوله ها، ضخامت لوله ها، فاصله قرارگیری، قطر آن ها، میزان شیب شان و تعداد ردیف لوله ها زیاد می باشد.



شکل ۲- الگوی گمانه ها و هم پوشانی مراحل مختلف تزریق طاق چتری

۱-۳- پیشینه و مطالعات صورت گرفته در مورد روش طاق چتری

شروع استفاده از این روش بهسازی و تقویت زمین، به اواسط دهه ۱۹۷۰ بر می گردد زمانی که توسط پاستور و فاسولی مورد استفاده واقع گردید. پایپول خط راه آهن برنادی را که از ژنو به وینتی میگلیا بود با این روش طراحی نمود. توسعه این روش بوسیله باریسون در ایتالیا صورت گرفت زمانی که استفاده از این روش برای ساخت فضاهای زیرزمینی در خاک های نابرجا توصیه گردید. این روش علاوه بر اینکه در تقویت تونل های با سطح مقطع کوچک در مناطق هوازده و خرد شده مورد استفاده قرار گرفت در فضاهای زیرزمینی عریض نیز به کار گرفته شد. این روش برای کاهش خطر ریزش فضاهای زیرزمینی و همچنین بصورت دو لایه با تزریق اورتان برای آب بند کردن تونل مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس نتایج لی و چو زمانی که فاصله مرکز تا مرکز لوله های فورپولینگ بیشتر از حباب تزریق باشد این روش مناسب نخواهد بود [1].

تقویت و بهسازی و کاهش تغییر شکل توده خاک اطراف تونل و نائل شدن به جبهه کاری پایدار و کاهش نشست زمین و جلوگیری از اثرات پیش رونده و مخرب بر روی ساختمان های اطراف از اهمیت خاصی برخوردار می باشد که دو روش فورپولینگ و نصب بولت دو روش رایج برای این کار می باشند. روش فورپولینگ بیشتر در کشورهای اروپایی و روش نصب بولت در کشورهای آسیایی کاربرد دارند. به هر حال به کارگیری هر کدام از این روش ها به طراحی صورت گرفته و یا تجربیات قبلی موجود در شرایط مشابه بستگی دارد [2].

روش تزریق فورپولینگ در سنگ های خیلی ضعیف (نسبت توده سنگ (RMR) کمتر از ۲۰) و به شدت خرد شده و درزه دار و با خاصیت لهیدگی (Squeezing) بالا کاربرد دارد [3].

تعدادی از محققین اثر تقویت تونل ها را بوسیله تزریق طاق چتری و بولت های نصب شده در سینه کار را در دستگاه سانتریفوژ مدل نموده اند و مدهای شکست آن ها را مورد

بررسی قراردادده اند و عنوان شده است که تزریق لوله های فورپولینگ و بولت های نصب شده در سینه کار تونل ها باعث افزایش مقاومت و سختی توده خاک و سنگ شده و سبب کاهش بیرون زدگی سینه کار می گردند [4,5,6].

۴-۱- مبانی محاسباتی روش طاق چتری

از جمله محققینی که بر روی مبانی محاسباتی روش طاق چتری مطالعه نموده است آقای اسپروپولوس می باشد. که ایشان بر اساس کاربردهای عملی این روش یک سری روابط تجربی و نمودارهایی (شکل ۳ و ۴) را ارائه نموده اند. روابط تجربی این پژوهشگر به صورت روابط زیر می باشند:

$$M_s = \frac{E}{1000 \gamma H^{0.9} D^{0.1}} \quad (1)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4) \quad (2)$$

$$f_{F1} = \frac{I}{S} \quad (3)$$

که در این روابط:

M_s : پاسخ خالص الاستیک

E : ضریب سختی الاستیک

γ : جرم حجمی مصالح سربار تونل

H : ضخامت خاک سربار

D : قطر تونل

I : ممان اینرسی لوله های فورپولینگ

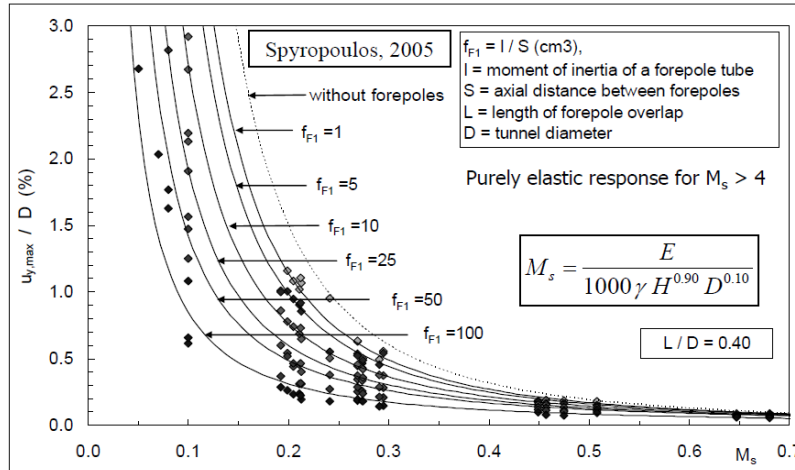
d_o : میزان نفوذ دوغاب

d_i : قطر لوله فورپولینگ

S : فاصله محور تا محور لوله های فورپولینگ

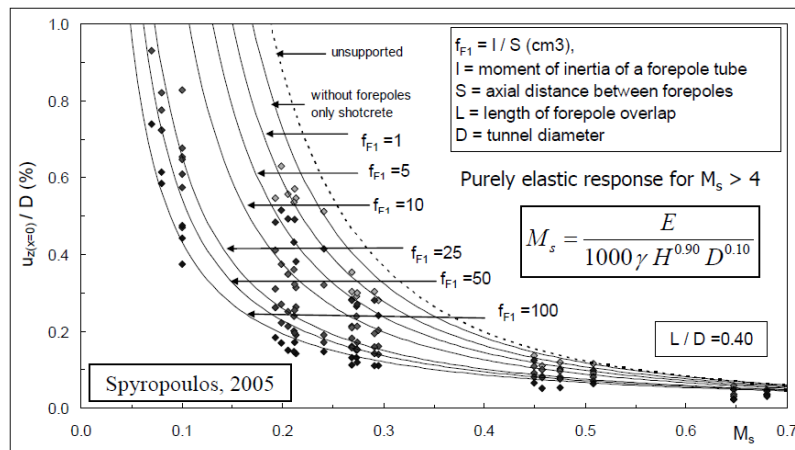
این روابط موقعی کاربرد دارند که نسبت میزان هم پوشانی لوله های فورپولینگ به قطر تونل برابر ۰/۴ باشد ($L/D=0.4$).

پس از محاسبه مقادیر M_s و f_{F1} با مراجعه به نمودار ۱ مقدار تغییر شکل جبهه کار (□ □ □ □) و با توجه به نمودار ۲ مقدار جابجایی قائم سربار تونل بدست خواهد آمد. سپس بر اساس نتایج حاصله، در مورد میزان پایداری تونل تحلیل صورت می گیرد [7].



Practical forepoling applications correspond to $f_{F1} < 20$

شکل ۳ - نمودار تخمین جابجایی حداکثر در جبهه حفاری [7]



شکل ۴ - نمودار تخمین جابجایی حداکثر در محل تاج تونل [7]

۲- مواردی از بکارگیری روش تزریق طاق چتری برای پایدارسازی سربار تونل

های متروی تهران

گستره شهر تهران از نظر خصوصیات مورفولوژی و رسوب شناسی بسیار متنوع می باشد. از شمال با کوهپایه رشته کوه البرز و با مصالح سنگی و رسوبات نامتجانس و مخروط افکنه های قدیمی برخورد می کنیم و در جنوب با دشت نسبتاً مسطح و با رسوبات دانه ریز سروکار داریم. در نتیجه عملیات حفر تونل در مناطق مختلف محدوده مورد مطالعه که از زیر دشت آبرفتی، تپه ها، رودخانه های فعال، رودخانه ها و مسیل های قدیمی، تاسیسات شهری و ابنیه های مختلف عبور می نماید با یک دستور و روش قابل اجرا نخواهد بود. همان طور که قبلاً ذکر شد یکی از راه های تقویت و مسلح سازی سربار تونل ها در مناطق دارای مصالح سست، ضعیف و ریزشی روش تزریق طاق چتری می باشد. از این رو در مناطق مختلف خطوط متروی تهران از

جمله در تونل دسترسی به قطعه T3-U3 خط سه متروی تهران، ایستگاه N3، تونل قطعه A4-B4 و... به منظور بهسازی و تقویت مصالح سربار فضای زیرزمینی از این روش استفاده شده است که در جدول ۱ جزئیات این روش در پروژه های مختلف آمده است.

جدول ۱- جزئیات روش تزریق طاق چتری در تونل های مختلف متروی تهران

ردیف	نام پروژه	دلیل استفاده	تعداد گام تزریق طاق چتری	تعداد لوله ها در هر مقطع	فاصله محور تا محور لوله ها (m)	متوسط جذب سیمان هر گمانه (تن)	طول گمانه ها (m)	زاویه شیب گمانه ها نسبت به شاقول	میزان همپوشانی لوله ها (m)
۱	تونل T3-U3	مصالح نابرجا	۵	۱۱-۲۳	۰,۵-۱	۰,۷۸	۶	-۱۰۰ ۹۵	۲-۳
۲	ایستگاه N3	مصالح نابرجا	۱	۲۸	۰,۵	۱۲,۴	۱۳	۹۰	-
۳	تونل R4	عبور از زیر کانال آب	۲	۱۵	۱	۰,۴۳	۶	-۱۰۰ ۹۵	۲
۴	تونل A4-B4	ریزش کل سربار تونل	۸	۱۲-۲۳	۰,۵-۱	۱,۰۳	۶	-۱۱۰ ۹۵	۲-۴
۵	تونل A4-2, A4-3	مصالح با سیمان شدگی کم	۱	۶	۱	۰,۶۵	۶	۹۵	-
۶	تونل O3-Q3	وجود تاسیسات شهری	۴	۶-۱۴	۰,۵-۱	۰,۴۳	۶	۹۵	۱-۲
۷	تونل W3-X3	ریزشی بودن مصالح	۱	۷	۱	۰,۵	۶	۹۵	-

در مورد جدول بالا توضیحات زیر لازم می باشد: ۱- در مورد ردیف یک، در مقطع اول تزریق طاق چتری، بدلیل ناپایداری صورت گرفته در آخرین گام حفاری تونل، تعداد گمانه ها دو برابر سایر مقاطع در نظر گرفته شده است. بعلاوه مقدار جذب سیمان این مقطع، بدلیل

خالی بودن فضای بالای تحکیمات اولیه حفاری آخرین گام، و پر شدن آن در حین تزریق گمانه های طاق چتری، بسیار بالا بوده است که باعث رسیدن میانگین جذب سیمان گمانه ها در این مقطع به یک تن شده است در نتیجه میانگین کلی جذب سیمان گمانه ها در این پروژه نیز افزایش یافته است. ۲- در پروژه ردیف دوم، عملیات تزریق طاق چتری در بالای ریب های ایستگاه و به منظور افزایش طول ایستگاه از قبل ساخته شده، صورت گرفته است. از خصوصیات این پروژه این بوده است که بدلیل وجود فضای کار لازم (هواساز ایستگاه) گمانه ها بصورت افقی و به طول ۱۳ متر و در یک مرحله حفاری گردیده است. بدلیل نابرجا بودن و متراکم نبودن خاک، مقادیر جذب سیمان بسیار بالا بوده است. ۳- پروژه ردیف سوم به منظور کاهش تغییر شکل قائم و نشست سربار تونل، به دلیل وجود کانال آب در بالای تونل و جلوگیری از ترک خوردگی و شکست آن و همچنین آب بندی این مقطع تونل به انجام رسیده است. ۴- پروژه ردیف چهارم عملیات تزریق طاق چتری در تونل کاملاً ریزش کرده انجام گرفته است که در ادامه در مورد آن بحث خواهد شد. ۵- تزریق طاق چتری در مورد تونل A4-3, A4-2 بدلیل تداخل کاری با عملیات حفاری تونل تنها در یک گام صورت پذیرفته است و ادامه مسیر از سطح خیابان بهسازی و تزریق شده است. ۶- در مورد ردیف ششم نیز عملیات تزریق طاق چتری بدلیل وجود خط انتقال آب در بالای تونل و حساسیت این لوله به نشست زمین انجام گرفته است. ۷- در تونل W3-X3 نیز بدلیل وجود آب زیرزمینی و سیمان شدگی ضعیف مصالح آبرفتی تزریق طاق چتری صورت گرفته است.

با توجه به مصالح در برگیرنده فضاهای زیر زمینی پیش بینی رفتار آن ها بر اساس مطالعات ژئوتکنیکی میسر می باشد. ولی گاهی عدم توجه به این مطالعات و یا نادیده گرفتن وضعیت پایداری خاک در حین حفر تونل ها و یا برخورد با شرایط ناشناخته (مانند فضاهای خالی، قنات، پناهگاه ها و ...) می تواند موجب ریزش سربار تونل و به تبع آن وارد شدن خسارات جانی و مالی گردد. لذا از این منظر موارد استفاده از روش طاق چتری دارای دو تیپ می باشند.

۲-۱- استفاده از تزریق طاق چتری در سربار تونل های ریزش نکرده

با توجه به مطالعات ژئوتکنیکی صورت گرفته در مسیر تونل ها، عمق و مسیر عبور آن ها، وضعیت آب زیرزمینی، ضخامت سربار و بارهای زنده، پیش بینی رفتار و زمان خود ایستایی سربار تونل ها امکان پذیر می باشد. از جمله تونل هایی که لزوم استفاده از روش طاق چتری با توجه به موارد اشاره شده احساس گردید، تونل دسترسی به تونل قطعه T3-U3 خط سه متروی تهران بود. در این پروژه پس از حفر رمپ روباز و شروع عملیات حفر تونل بدلیل عبور تونل از زیر رودخانه قدیمی و وجود مصالح نابرجا و لجن، مصالح به شدت ریزشی بوده و به دلیل نزدیکی آن به اتوبان شهید صیاد شیرازی احتمال تشدید خطر زیاد بود (شکل ۵). لذا

مطالعه در مورد تقویت و بهسازی سربار تونل مد نظر قرار گرفت که در زیر به تحلیل پایداری و محاسبات صورت گرفته جهت طراحی گمانه های فورپولینگ سربار این تونل اشاره شده است.

۲-۴-۱- تحلیل پایداری سربار تونل T3-U3 به کمک نرم افزار Plaxis

با بررسی نوع مصالح آبرفتی سربار تونل و در نظر گرفتن مشخصات خاک مطابق جدول ۲، به کمک تحلیل های صورت گرفته توسط نرم افزار Plaxis 8.5 (شکل ۶) میزان تغییر شکل های کل بیشتر از حد مجاز بوده و نیاز به تقویت و بهسازی سربار تونل می باشد.

جدول ۲- مشخصات فرض شده برای خاک پیرامون تونل

وزن واحد حجم $\gamma (KN/m^3)$	ν نسبت پواسون	ϕ درجه	C KPa	مدول الاستیسیته E	نوع خاک فرض شده
15	0.35	20	10	2000	خاک دستی
18.5	0.3	30	15	30000	خاک اطراف تونل
18	0.3	35	25	50000	خاک زیر تونل

۲-۴-۲- محاسبات دستی صورت گرفته جهت طراحی آرایش گمانه های فورپولینگ

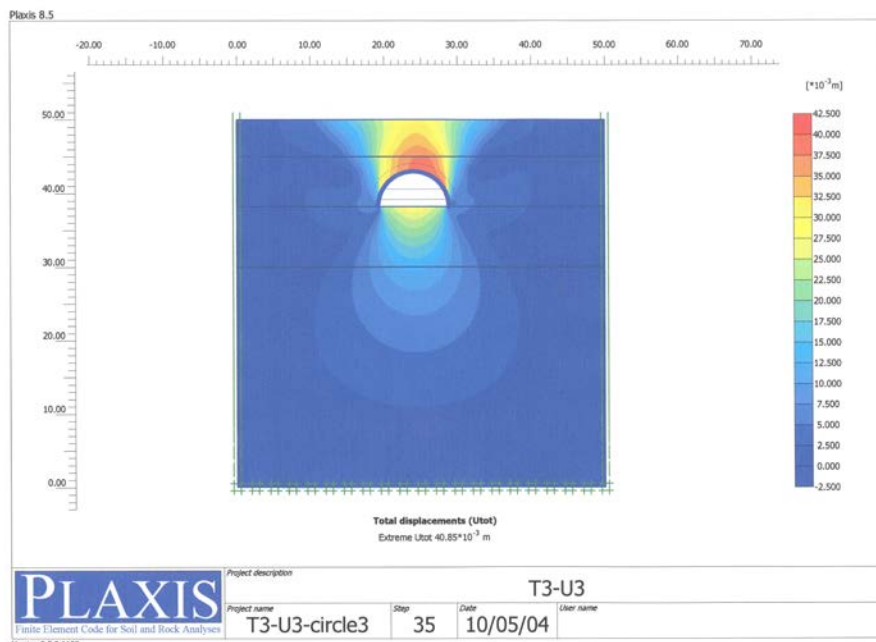
به منظور تعیین فاصله گمانه ها با محاسبات صورت گرفته به کمک فرمول های تجربی آقای اسپروپولوس و با فرض $D=9.69m, H=8m, \gamma=17KN/m^3, E=30MPa$ ، $f_{F1} = 9.2$ حاصل آمد که با $S=0.5m, d_i=5cm, d_o=5cm$ مقادیر $M_s = 0.21$ و $u_z = 1.75cm$ بدست آمد. لذا انتخاب فاصله محور تا محور لوله های انتقال این داده ها به نمودارهای مربوطه، مقادیر تغییر شکل های سینه کار $u_y = 4.2cm$ و تغییر مکان تاج تونل $u_z = 1.75cm$ بدست آمد. لذا انتخاب فاصله محور تا محور لوله های فورپولینگ که در محاسبات برابر نیم متر در نظر گرفته شده بود، مناسب می باشد. شکل ۷ نمایی از گمانه های تزریق طاق چتری مقطع اول را نشان می دهد.

بدلیل ریزش های صورت گرفته در تاج تونل در مراحل تونل زنی قبل از شروع عملیات تزریق طاق چتری، فضاهای خالی زیادی در بالای تحکیمات اولیه تونل ایجاد شده بود که در حین تزریق گمانه های مقطع اول پر گردید. به این دلیل میزان جذب سیمان این مقطع بسیار بالا بود و باعث افزایش میانگین جذب سیمان گمانه ها در این پروژه شد. با پر شدن این فضاها، با تزریق گمانه های مراحل بعد، مقادیر جذب سیمان به مقادیر واقعی جذب سیمان مصالح خاکی نزدیک تر شد. با پیشروی تونل و افزایش میزان سربار و رسیدن به مصالح آبرفتی با

شرایط مقاومتی بهتر، ابتدا تعداد گمانه ها کاهش یافت و پس از آن نیاز به تزریق طاق چتری مرتفع گردید.



شکل ۵- وجود لایه های لجنی، زباله و مصالح ناهرجا و ساختمانی در جبهه حفاری در تونل دسترسی به تونل قطعه T3-U3



شکل ۶- توزیع تغییر مکان های در اطراف تونل دسترسی به تونل قطعه T3-U3



شکل ۷- اجرای تزریق طاق چتری در تونل دسترسی به تونل قطعه T3-U3

۲-۲- استفاده از تزریق طاق چتری در سربار تونل های ریزش کرده

همانطور که قبلا اشاره شد گاهی بدلیل عدم توجه به خصوصیات خاک و میزان پایداری آن و یا برخورد با شرایط پیش بینی نشده مانند هر گونه فضای خالی (انباره، پناهگاه، قنات و ...) سربار تونل ریزش می کند که در ادامه مطالعه موردی این حالت آمده است.

۲-۲-۱- استفاده از تزریق طاق چتری در سربار تونل قطعه A4-B4

تونل قطعه A4-B4 خط ۴ متروی تهران در شرق میدان آزادی واقع می باشد. در حالی که این تونل از حاشیه شمال شرق میدان در حدود ۲۰۰ متر به سمت شرق حفاری شده بود و کارگران در حال حفاری ادامه مسیر بودند صدای شکستگی تحکیمات اولیه (مش و شاتکریت) و جابجایی لاتیس ها شنیده شد. در نتیجه تونل به سرعت تخلیه گردید و متعاقب آن ۵۰ متر مانده به جبهه کاری، سربار تونل ریزش کرد و کل تحکیمات اولیه فرو ریخت و بخشی از مقطع تونل نیز تغییر شکل پیدا نمود و حفره بزرگی در سطح خیابان ظاهر گردید. متعاقب این حادثه بررسی ها به منظور حل مشکل آغاز گردید. با توجه به موقعیت حساس منطقه ریزش کرده، دستور پر کردن فضای خالی با مخلوط خاک - سیمان داده شد. در نتیجه تنها روش تقویت و بهسازی خاک از داخل تونل و روش تزریق طاق چتری بود. لذا در این تونل نیز مانند پروژه قبلی تحلیل ها و محاسبات صورت پذیرفت که حاصل آن به شرح زیر است:

- ۱- حفاری گمانه های فورپولینگ در مقطع تغییر شکل یافته، به فاصله یک متر از همدیگر و طول ۶ متر در موقعیت ۴ متر و ۲ متر مانده به مقطع ریزش کرده و با زاویه ۱۰ درجه بالای افق.
- ۲- حفاری گمانه های فورپولینگ به فاصله نیم متر و طول ۶ متر در کل طول مسیر ریزش و با هم پوشانی ۴ متر.

۳- حفاری گمانه های فورپولینگ در محدوده ریزش کرده به سمت دیواره های تونل به منظور تقویت پایه ها و انتقال بار قوس شکل گرفته به اطراف تونل. با توجه به دستورالعمل فوق عملیات تزریق طاق چتری، ابتدا در مقاطع تغییر شکل یافته و سپس مجاور محل ریزش مطابق شکل ۸ انجام گرفت و سپس با خاک برداری مرحله ای و انجام تزریق طاق چتری ریزش برداری به اتمام رسید. خوشبختانه این مقطع ریزشی که طولی حدود ۲۰ متر داشت به خوبی تقویت و بهسازی گردید و ادامه حفاری تونل با سلامت به انجام رسید. شکل ۹ اولین مرحله خاک برداری بخش ریزش کرده را نشان می دهد که همراه خاک، کابل، قطعات بتن، آجر و ... به چشم می خورد. شکل ۱۰ نیز پرشدن فضاهای خالی توسط دوغاب را در سمت راست تصویر و دیوارهای آجری سقوط کرده توسط سربار تونل را در سمت چپ تصویر نشان می دهد.



شکل ۸- نمایی از گمانه های تزریق طاق چتری در مقاطع تغییر شکل داده تونل قطعه A4-B4



شکل ۹- اولین مرحله خاک برداری بخش ریزش کرده تونل قطعه A4-B4



شکل ۱۰- نمایی از پرشدن فضاهای خالی توسط دوغاب در سمت راست تصویر و دیوار آجری ریزش کرده در سمت چپ تصویر در تونل قطعه A4-B4

۳- میزان موفقیت تزریق طاق چتری در پایدارسازی سربار تونل

همانطور که اشاره شد عملیات تزریق طاق چتری یک روش تقویت مصالح سربار فضاهای زیرزمینی می باشد و چنانچه با آگاهی و شناخت از خصوصیات مصالح سربار، طراحی و اجرا گردد، عملیات تونل زنی با آرامش خاطر و کوچک ترین صدمه ای می تواند به انجام برسد در شکل ۱۱ و ۱۲ طراحی و اجرا به نحو احسن صورت گرفته و حباب های تزریق با یکدیگر هم پوشانی داشته است. در صورتی که چه در طراحی و چه در مرحله اجرا هر کدام از پارامترهای فاصله لوله ها، زاویه شیب و امتداد لوله ها، تعیین میزان جذب سیمان، فشار تزریق، نسبت اختلاط مصالح، میزان هم پوشانی لوله ها، عدم گیرش دوغاب تزریق و شروع حفر تونل و ... به درستی تعیین نگردد، ریزش تونل را به همراه خواهد داشت به عنوان مثال در شکل ۱۳ بدلیل تعیین فاصله زیاد لوله های فورپولینگ، ریزش خاک از بین لوله ها، بدلیل عدم هم پوشانی حباب های تزریق صورت گرفته است.



شکل ۱۱- نمایی از لوله های تزریق و رسیدن حباب های تزریق گمانه ها به همدیگر در تونل T3-U3



شکل ۱۲- نمایی از رگه های دوغاب تزریق شده در حین تزریق لوله های تزریق طاق چتری ایستگاه N3



شکل ۱۳- نمایی از ریزش مصالح سربرار بدلیل فاصله زیاد لوله های تزریق از همدیگر در تونل N3

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به گسترش استفاده از فضاهای زیرزمینی و به تبع آن لزوم حفاری به موقع، سریع و امن این فضاها و حساسیت بیشتر حفاری این فضاها در مناطق شهری، مطالعه دقیق خصوصیات ژئوتکنیکی، میزان پایداری و مدت زمان ایستایی سربار تونل ها از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. همانطور که عنوان شد استفاده از روش تزریق طاق چتری در تقویت و مسلح سازی سربار ناپایدار تونل های متروی تهران موفقیت آمیز می باشد که با برنامه ریزی مناسب می توان عملیات حفاری تونل ها را در مناطق ضعیف در کوتاه ترین زمان ممکن و با امنیت بالا به انجام رساند. قابل ذکر است که همواره هزینه های پیشگیری کمتر از درمان می باشد زیرا در حالتی که تونل ریزش می کند احجام کاری تقویت و پایدارسازی سربار تونل، هشت برابر حالت عادی می باشد که دلیل آن نیاز به تراکم لوله ها، هم پوشانی دوبرابری لوله ها نسبت به حالت عادی، ترمیم مناطق تغییر شکل یافته اطراف زون ریزش و افزایش دو برابری مقادیر جذب سیمان در گمانه ها می باشد. انجام تزریق طاق چتری در هر دو حالت فوق الذکر در چندین تونل شهری تهران مؤثر این موضوع می باشد.

تشکر و قدردانی

از کلیه افرادی که در انجام پروژه ها با نگرانندگان مساعدت و همکاری داشته اند تشکر و قدردانی به عمل می آورد.

مراجع

- [1]. Lee, I. M. & G.C. Cho, (2008), Underground construction in decomposed residual soils, Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Proceedings of the 6th international symposium, Shanghai, China, 10-12 April 2008, 45-63.
- [2]. Date, K., Mair, R.J. & K., Soga, (2008), Reinforcing effects of fore poling and face bolts in tunneling, Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Proceedings of the 6th international symposium, Shanghai, China, 10-12 April 2008, 635-641.
- [3] Singh, B & B. K. Goel, (2006), Tunnelling in Weak Rocks, Elsevier geo-engineering book series, Vol. 5, 509.
- [4] Sfriso, A., (2008), Case histories, Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Proceedings of the 6th international symposium, Shanghai, China, 10-12 April 2008, 121-129.
- [5] Pang, P. L. R., (2008), Physical and numerical modeling, Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Proceedings of the 6th international symposium, Shanghai, China, 10-12 April 2008, 109-119.
- [6] Eclaircy, S., Caudron, D., & R. Kastner, (2008), Displacements and stresses induced by a tunnel excavation: Case of Bois de Peu (France), Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Proceedings of the 6th international symposium, Shanghai, China, 10-12 April 2008, 373-379.
- [7] Kavvas, M., (2005), Numerical Analysis in the Design of Urban Tunnels, Keynote Lecture, Torino, 19-24 June.