



بررسی حفاری با استفاده از TBM و راهکارهایی از منظر پدافند غیرعامل (مطالعه موردی تونل نیایش تهران)

سید علیرضا آشفته^۱، احسان قدمی^۲

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد مهندسی معدن - اکتشاف

Email: St_a_ashofteh@azad.ac.ir

چکیده

تونل نیایش با طول بیش از ۱۰ کیلومتر در شهر تهران قرار دارد. این تونل شامل تونل‌های شمالی و جنوبی، تونل کردستان و تونل ۰۴ است. متراژ مجموع این تونل‌ها به همراه تونل‌های دسترسی و ارتباطی ۸۵۶۰ متر و با احتساب رمپ‌ها طول کلی پروژه احداث تونل نیایش به ۱۰۲۵۲ متر می‌رسد. این تونل با ۲ تونل رفت و برگشت با طول تقریبی ۷/۶ کیلومتر در بزرگراه نیایش از حدود ۷۰۰ متری غرب بزرگراه کردستان آغاز و تا حدود ۳۰۰ متری شرق بزرگراه مدرس ادامه دارد. در این مقاله به بررسی مشاهدات انجام شده و نکات اجرایی مورد بحث در مراحل مختلف اجرای تونل دسترسی می‌باشد. بدیهی است این مشاهدات همزمان با اجرای پروژه و در ابتدای مسیر عملیات مورد توجه قرار گرفته است و نکات ریز اجرایی بسیاری نیز وجود دارند که در مراحل مختلف عملیات و در سایت‌های مختلف اجرای پروژه نیایش - صدر، مورد توجه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: حفاری، TBM، پدافند غیرعامل، تونل نیایش

مقدمه

از جمله ویژگی‌های فنی این پروژه تقاطع تونل‌های مختلف با تونل‌های اصلی آن می‌باشد. دو تونل رفت و برگشت مجزا به عرض ۱۶ متر شامل تونل‌های اصلی و دسترسی و تونل عبور اضطراری (Cross Passages) می‌باشد. اینکه سطح مقطع تونل در محدوده دوراهی‌ها (Bifurcation) به ۴۴۷ مترمربع می‌رسد، تجربه‌ای کم‌نظیر در مقوله تونل‌سازی شهری محسوب می‌شود که متخصصان و کارشناسان داخلی و خارجی نیز بر آن اذعان دارند. تونل نیایش در شهری احداث می‌شود که خاک بستر آن آبرفتی بوده و بدین لحاظ عملیات حفاری پیچیدگی‌های خاص خود را به همراه دارد.

۱. روش اجرای حفاری

در هیچ مرحله‌ای حفاری Full Face انجام نمی‌شود و همیشه باید سکوی خاکی در قسمت مرکزی مقطع وجود داشته باشد. همانند شکل زیر اندازه قسمت a باید طوری باشد که اجازه کار برای یک کارگر به همراه نازل شاتکریت را بدهد. حداقل اندازه قسمت b باید طوری باشد که اجازه کار به دو تا سه نفر کارگر را برای کار در روی آن قسمت بدهد. در ایستگاه ملت طول حفاری در عمق به اندازه ۱ متر می‌باشد و بلافاصله پس از حفاری، مش‌گذاری، نصب Lattice Girder انجام شده و شاتکریت می‌شود. در مراحل ابتدایی تونل از هر نیم متر یک Lattice Girder قرار می‌گیرد. برای نصب Lattice Girder دو قسمت از آن را به صورت شل در کنار هم پیچ کرده و پس از انجام نقشه‌برداری و قرار دادن آنها در محل دقیق خود آنها

^۱ سید علیرضا آشفته، تلفن ۰۹۱۲۱۳۴۱۸۵۷

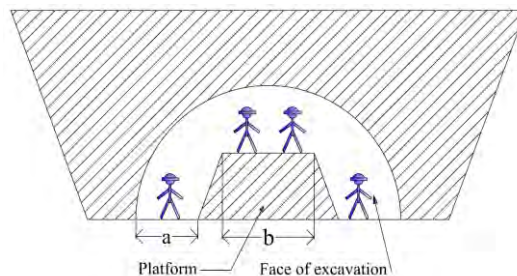
^۲ احسان قدمی، تلفن ۰۹۱۲۷۹۵۷۲۳۹



اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources

را فیکس نمود زیرا رعایت این مساله کار نصب را سریع تر می کند. دو تکه از Lattice را بر روی پاکت لودر قرار داده و به محل نصب منتقل می کنیم. انتهای هر کدام از دو قسمت را بر روی زمین قرار می دهیم و دو فلنج اتصالی را روبروی هم قرار داده و بر روی هم پیچ می کنیم ولی پیچها باید حالت شل داشته باشند. سپس دو انتهای دیگر را توسط دو عدد جک طبق دستور گروه نقشه برداری در جای خود قرار داده و بر روی صفحات چوبی قرار می دهیم و توسط گوه چوبی فیکس می کنیم. کلیه پیچهای اتصالی اعم از فلنجها و قسمتهای اتصال به Lattice قبل از فیکس می نماییم. در این روش ما از گوههای چوبی برای تنظیم ارتفاع Lattice استفاده می کنیم. اگر از بلوک بتنی برای این کار استفاده شود تنظیم ارتفاع زمان بر و مشکل خواهد بود. در صورت امکان استفاده از Lattice با مقطع مثلثی با سه میلگرد طولی در طراحی بیشتر مورد توجه قرار گیرد و در صورت اجبار در طراحی از مقاطع با چهار میلگرد استفاده شود. دلیل این امر این است که در Latticeهای با مقطع مثلثی به دلیل فاصله بیشتر آرماتورهای طولی و نیز تعداد کمتر آنها عملیات شاتکریت با سرعت بالاتر و کیفیت بهتر انجام می گیرد و از ایجاد حفره در پشت Lattice و همچنین فضای داخلی بین آرماتورهای طولی تا حد بسیار بالایی کاسته می شود. در حالیکه در Latticeهای با چهار آرماتور به علت بالا رفتن حجم آرماتور و تعدد میلگردهای طولی و فاصله کمتر بین آنها عملیات شاتکریت باید با دقت بیشتر و افزایش زمان بیشتری انجام شود و همچنین موجب افزایش پرت شاتکریت نیز خواهد بود. پس از اتمام نصب Lattice تا حدود ۳۰ سانتیمتر از دو قسمت انتهایی آن را با خاک می پوشانیم تا در مرحله بعدی حفاری خاک را برداشته و نصب قطعه بعدی بدون مشکل انجام شود. شروع شاتکریت را از ۳۰ سانتیمتری انتهای Lattice آغاز می کنیم و نازل را بر روی Lattice قطعه اول متمرکز می کنیم به طوری که پشت آن کاملاً پر شود و Lattice قطعه دوم بعدی را نیز به همین شکل شاتکریت می زنیم. نکته مهم اینجاست که در زمان انجام شاتکریت قطعه دوم شاتکریت قطعه اول خود را گرفته و دچار ریزش نمی شود. پس از آن شروع به انجام شاتکریت مش بندی لایه اول می نماییم و بدین ترتیب دیگر مشکل ریزش و نیز ایجاد حفره در پشت مش و Lattice را نخواهیم داشت. شاتکریت سقف تونل را به اتمام می رسانیم. لازم است همواره مواد زودگیراننده بتن حاضر باشد و به طور یکنواخت به شاتکریت اضافه شود. عدم اضافه نکردن یکنواخت زودگیر به شاتکریت به خصوص در مرحله شاتکریت سقف موجب عدم گیرایی بتن شده و ایجاد درز و شکاف و حتی ریزش و پرت بیش از اندازه شاتکریت خواهد شد. اگر مش بندی لایه اول و دوم همزمان زده شود در زمان پاشیدن شاتکریت، لایه اول سنگینی کرده و با وزن خودش پایین آمده و روی لایه دوم مش قرار می گیرد. بنابراین در پشت آن حفره ایجاد می شود و پشت شاتکریت خالی می ماند و شاتکریت پوک می شود. پس باید لایه اول جداگانه زده شود و در چند مرحله تکمیل شود.



شکل (۱) حداقل ابعاد مورد نیاز هسته مرکزی تونل

نکته اینجاست که چون در ابتدای حفاری از مسائلی که در انتظار است بی خبر هستیم تا جای ممکن نیاز به احتیاط در کار حفاری خواهیم داشت. توصیه می شود در شروع حفاری تمامی امکانات جهت انجام سریع شاتکریت در محل آماده باشد. رمپ



اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources

تونل کاملاً برای رفت و آمد وسایل نقلیه و ماشین آلات حفاری، خاکبرداری و شاتکریت کاملاً محیا باشد. بدیهی است که در صورت بروز هر گونه حادثه پیش‌بینی نشده می‌توان اقدامات سریع و عاجل را جهت مقابله به این موارد انجام داد. عدم رعایت این نکته بارها منجر به ایجاد خطر در پروژه‌های مختلف شده است. برای شروع بهتر است کار را از گوشه پایینی تونل آغاز نمود و پس از رسیدن به عمق مورد نیاز جهت مش‌گذاری (در حدود یک متر و با توجه به شرایط حفاری در هر نوع خاک) آرام آرام و با دقت طوریکه حداقل آسیب به مش مرحله قبل وارد شود به طرف بالا حرکت نمود. پس از رسیدن به قسمت مرکزی حفاری کار را متوقف کرده و همین روش را از گوشه پایینی تونل تکرار می‌کنیم.



شکل (۲) روش صحیح حفاری و نحوه آغاز حفاری تونل امکان ایجاد همزمان موقعیت کار برای دو کارگر در دو طرف باعث سریع‌تر شدن کار می‌شود



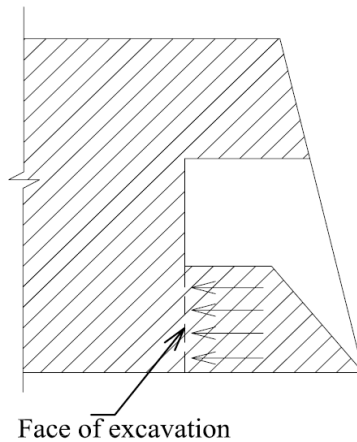
شکل (۳) تکمیل حفاری سطح تونل و ایجاد هسته مرکزی تونل

پس از انجام عملیات حفاری باید روی سکو و همچنین دو طرف سکو از مواد حفاری شده کاملاً تخلیه شود تا هیچ مانعی در برابر عملیات مش‌گذاری، Lattice و شاتکریت وجود نداشته باشد. وجود Platform در تونل‌های سنگی نیازی نیست ولی در تونل‌های خاکی (با خاک نرم) ایجاد Platform نقش نگهدارنده (Support) سطح حفاری (Face of Excavation) را مطابق شکل زیر بر عهده دارد.



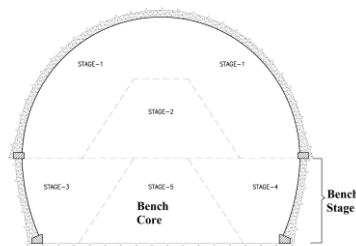
اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources

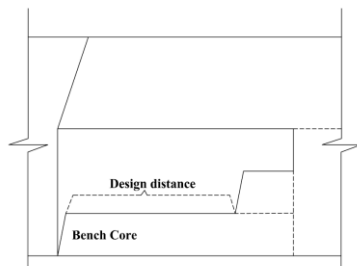


شکل (۴) کاربرد هسته مرکزی تونل

پس از انجام عملیات حفاری مرحله بعدی حفاری بنج می باشد که با رعایت حداقل فاصله طراحی شده از مرحله اول حفاری اجرا می گردد. شکل ۵ و ۶ نشان دهنده چگونگی در نظر گرفتن بنج و اجرای آن می باشد. حفاری بنج آغاز می شود و تا اینورت ادامه می یابد و لتیس ها نصب می شوند و تا جایی که کار برای ادامه حفاری سطح تونل مهیا شود ادامه یابد. بدین ترتیب همزمان کار حفاری و لتیس گذاری بنج نیز شروع شده و به موازات سطح تونل ادامه می یابد.



شکل (۵) مراحل مختلف حفاری به خصوص بنج



شکل (۶) پروفیل طولی از وضعیت مراحل حفاری بنج

اساس روش NATM بر مراحل حفاری، پایدارسازی و حفاری استوار است و از محتاطانه ترین روش های اجرای بناهای زیرزمینی به شمار می آید. بسیاری از حوادث همانند کلیس وقتی اتفاق می افتند که پیمانکار بدون توجه به پایدارسازی بنج بخواهد برای پیشبرد کارش و حفاری سریع تر سطح تونل بدون ساپرت به جلو حرکت نماید. در این صورت اساس این روش را کاملاً زیر سوال خواهد برد و این روش کارائی خود را از دست خواهد داد. اگر پیمانکار بدون توجه به سلسله مراتب انجام



اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources

کار روند درست را به اجرا در نیاورد و با اتکاء به شانس و اقبال پیشروی کند و همه چیز را به وضع ظاهری شرایط زمین واگذار کند و بدون داشتن ساپرت بنج و هسته مرکزی مربوط به بنج رو به جلو حرکت کند، با توجه به پیچیدگی‌هایی که ممکن است در شرایط محیط خاک در طول مسیر با آن مواجه شود، احتمال رویارویی با خطرات جبران‌ناپذیر در طول کار بسیار بالاست. شکل ۸ و ۷



شکل (۷) حفاری هسته بنج بدون ساپرت مناسب به دلیل نداشتن درام کاتر با اندازه مناسب تونل



شکل (۸) مشاهده می‌شود که پیمانکار بدون رعایت مراحل صحیح حفاری، هسته بنج را کاملاً تخریب نموده است

در این اشکال مسأله مورد بحث این است که پس از پیشروی به میزان ۵ متر در داخل تونل، ماشین حفار با مشکل ورود به تونل مواجه است زیرا ماشین در دسترس پیمانکار بزرگتر از میزان مورد نیاز جهت حفاری در تونل دسترسی ملت می‌باشد و برای حرکت به داخل و انجام حفاری با محدودیت بالایی مواجه است. پیمانکار جهت رفع این مشکل تا میزان ارتفاع ۱ تا ۱/۵ متر جلوی ورودی تونل را حفاری کرده تا ماشین حفار بتواند تا حدی کار حفاری داخل تونل را انجام دهد ولی مسأله اینجاست که بدون ساپرت نباید از این حد جلوتر رفت. خط نهایی مرحله اول حفاری زده شده است. بهتر است در زمان حفاری کمی پایین‌تر از خط پروژه حفاری شود تا در هنگام نصب مش دیواره، Overlap کافی جهت مش‌گذاری مرحله بعدی در نظر گرفته شود. محل اتصال دو مش بحرانی‌ترین قسمت است که در زمان اجرای پروژه با در نظر گرفتن فاصله مناسب جهت Overlap می‌توان این محل را تبدیل به نقطه قوت منطقه مش‌گذاری نمود.

روش مناسب جهت مش‌گذاری و شاتکریت:

۱. مش‌گذاری لایه اول



اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources

۲. نصب Lattice اول در مش لایه اول
۳. شاتکریت لایه اول
۴. حفاری نیم متر دوم
۵. مش گذاری لایه اول
۶. نصب Lattice دوم در مش لایه اول
۷. شاتکریت نیم متر دوم لایه اول
۸. تکرار مراحل فوق تا تکمیل نیم متر پنجم
۹. مش گذاری لایه دوم از Lattice اول تا چهارم توسط مش با عرض ۲ متری و شاتکریت لایه دوم
۱۰. مراحل بعدی نیز به همین صورت انجام شود

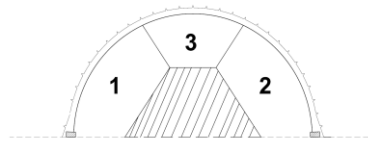


شکل (۹) شاتکریت لایه اول و دوم

در زمین‌هایی که دارای خاک نرم است و حفاری تونل با ریزش‌های زیاد همراه خواهد بود، توصیه می‌شود که پس از اتمام نیلینگ پیرامون دهانه تونل کار حفاری تونل در سه مرحله انجام شود. به این صورت که ابتدا از یک طرف شروع به حفاری نموده و مرحله ۱ را تمام کنند و سپس شاتکریت این قسمت را به ضخامت ۲ تا ۵ سانتیمتر به طور کامل انجام دهند. بدین صورت طرف دیگر دهانه را نیز حفاری نمایند و شاتکریت آن را کامل کنند. در قسمت آخر به سراغ سقف تونل رفته و کار حفاری و شاتکریت این بخش را نیز به اتمام برسانند.

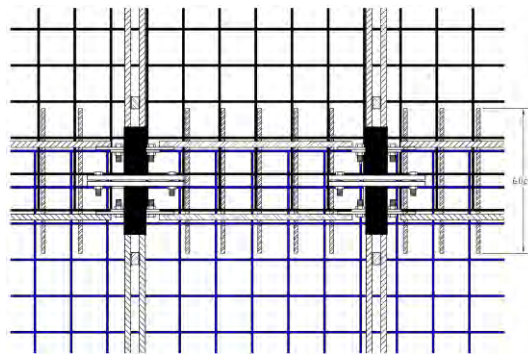


شکل (۱۰) حفاری بنج توسط درام کاتر



شکل (۱۱) مراحل حفاری و شاتکریت در زمین‌های بسیار نرم

در زمان نصب مش لایه اول و پیش از شاتکریت آن، میلگردهای انتظار (میلگرد شماره ۱۰ الی ۱۶ مناسب می‌باشد) به طول ۶۰ سانتیمتر که با زاویه ۹۰ درجه خم شده است را بین دو لتیس متوالی به ازای هر چشمه مش یک عدد قرار داده شود. بدین ترتیب در زمان مش‌بندی قسمت پنج میلگردهای انتظار را صاف نموده و همپوشانی مناسب بین دو قسمت به شکل مناسبی برقرار خواهد شد. جزئیات این مسائل در شکل زیر مشخص می‌باشد.



شکل (۱۲) موقعیت میلگردهای انتظار جهت اورلپ بین لتیس‌های تاپ و بنچ

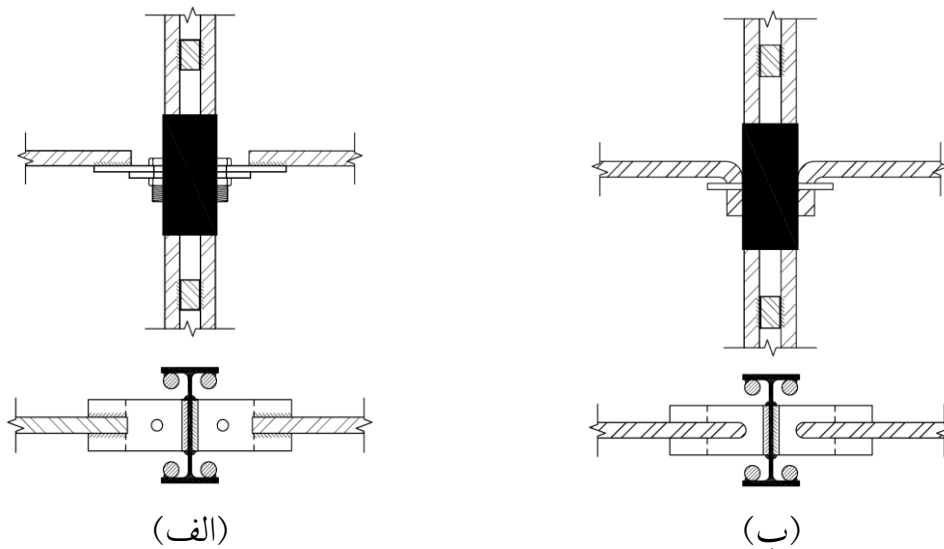


شکل (۱۳) نحوه قرار دادن میلگردهای انتظار بین دو لتیس



شکل (۱۴) عدم نصب میلگرد انتظار در مرحله تاپ و نصب این میلگردها در زمان نصب لتیس بنج

همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود عدم قرار دادن میلگرد انتظار در مش لایه اول مرحله قبل موجب سختی در مش‌بندی بنج شده است زیرا پیمانکار مجبور شده است که ابتدا شاتکریت محل را با هیلتی سوراخ نماید و پس از آن با سختی زیاد آرماتور را در آن قرار دهد که این کار زمان زیادی از کار را تلف کرده است. برای اتصال سریع‌تر لتیس‌ها به یکدیگر به جای تودلی‌های فعلی می‌توان از آرماتور دو سر خم استفاده نمود که این روش اتصال دو لتیس را در شیب‌های زیاد که بستن پیچ‌های تودلی مشکل است را راحت‌تر می‌کند. شکل زیر بیانگر این روش است استفاده از این نوع تودلی‌ها نیاز تکنیکی کار را فراهم می‌کند و نیازی به استفاده از پیچ نیست.



شکل (۱۵) نوعی تودلی که با پیچ فیکس می‌شود (الف) / استفاده از آرماتور دو سر خم به عنوان تودلی (ب)

در مورد اتصال مش‌بندی حول لتیس‌های بیرون از دهانه تونل مطابق شکل مش اورلپ حاشیه ورودی تونل پیش از قالب‌بندی لتیس‌های جلوی ورودی باید در محل کاملاً نصب شوند. پیش از انجام شاتکریت لایه ۱ در لتیس‌های خارجی تونل، مش لایه ۲ نیز باید کاملاً نصب شوند تا گیرایی شاتکریت ساده‌تر ایجاد گردد، لایه ۲ تا دهانه ورودی تونل قرار داده شود تا شاتکریت راحت‌تر و سریع‌تر انجام شود.



اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources



الف



ب



پ



ت



اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار

The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources

شکل (۱۶) نصب لئیس و بستن مش پشت آن (الف) / قالب‌بندی پشت مش (ب) / شاتکریت از داخل تونل و برداشتن قالب‌ها (پ) / شاتکریت پشت دیواره و سقف از بیرون (ت)

۲. نتایج

در صورتی که دسترسی به سطح تونل برای امکانات و ماشین‌های موجود حاصل نشد، بهتر است به جای پیشروی کورکورانه به عقب بازگشته و مرحله اجرای بنچ را آغاز کرده و تا حصول دسترسی بازوی ماشین‌آلات حفاری به سطح تونل ادامه داد. پس از رسیدن به نقطه مناسب بنچ را متوقف کرده و دوباره اجرای عملیات سطح تونل را با دستگاه‌های موجود ادامه داد. نکته حائز اهمیت این است که عملیات اجرای تونل بر اساس شانس و اقبال نخواهد بود و طبق اصول روش NATM خواهد بود.

پس از مش‌بندی لایه اول و نصب لئیس برای انجام شاتکریت توصیه می‌گردد ابتدا پمپ شاتکریت را با دور کند روشن نموده و پس از ۱۰ الی ۲۰ ثانیه دستگاه را با دور تند فعال نمایند و فشار هوا را تا حدود ۴ الی ۵ بار افزایش دهند. این روش باعث می‌شود ذرات شاتکریت با سرعت و شدتی که پیدا می‌کنند تا عمق مش‌بندی و داخل لئیس نفوذ کنند و میزان پرت شاتکریت تا حد زیادی کاهش پیدا می‌کند و شاتکریت سریع‌تر انجام می‌شود و همچنین شیلنگ حمل شاتکریت رسوب نکند و مدت طولانی‌تری عمر کند. در مورد شاتکریت تنظیم فشار دستگاه و حرکت آرام به بالا و پایین باید مد نظر قرار گیرد. فشار بالا و عدم رعایت سرعت و دقت کارگر موجب دوباره کاری می‌گردد.

پس از اتمام شاتکریت باید سر نازل را در سرایشی قرار داد زیرا در غیر اینصورت به دلیل بازگشت آب به داخل لوله و اختلاط آن با شاتکریت داخل لوله و سفت شدن شاتکریت در سر لوله و گرفتگی لوله یا موجب از کار افتادگی نازل می‌شود که این مساله موجب ایجاد فشار در سر نازل شده و خروج همراه با فشار شاتکریت ممکن است موجب ایجاد شوک یا پرتاب کارگر شاتکریت گردد. همچنین تعوض یا شستشوی نازل اتلاف وقت پروژه را به همراه دارد. شستشوی دستگاه‌های شاتکریت و تنظیم و چک نمودن تابلوی کنترل آن پس از هر عملیات عمر دستگاه را طولانی کرده و مانع تاخیرات ناشی از خرابی در زمان کار شاتکریت می‌گردد.

۳. مراجع

امین متوکل خسروشاهی، ابراهیم اصغری کلجاهی و محمدرضا مشرفی‌فر، ۱۳۹۱، بررسی زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک تونل نیایش تهران، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران و دانشگاه شیراز