

## پیشرفت‌های اخیر

# نقشه‌برداری کنترلی ژئودتیک جهت احداث تونل‌های بزرگ

نویسندگان : Mr. W.J. Trevor Greening, Measurement Science, Inc. and  
Professor Adam Chrzanowski, عضو هیئت علمی دانشگاه New Brunswick کشور کانادا<sup>۱</sup>  
مترجم : مهندس عباسعلی صالح‌آبادی (کارشناس ارشد ژئودزی)

ماشینهای جدید حفاری تونل<sup>۲</sup> (TBMs) همراه با دستگاههای تمام‌خودکار جهت‌یاب مانند سیستم‌های Leica, ZED یا DYWIDAG و همراه با سیستم‌های خودکار مسیر تونل (شامل سیستم‌های تهویه هوا و حفاری و تخلیه خاک و سنگهای حفاری شده) دارای توانایی احداث تونل با نرخهای بالا بوده و هدایت و حفر آنها را با دقت زیادی امکان‌پذیر ساخته است. برای رسیدن به چنین تواناییهایی ضریب اطمینان دقت در نقشه‌برداری برای جلوگیری از انحراف مسیر تونل و جهت‌یابی آنها بسیار دقیق‌تر خواهد شد. این اطمینان به وسیله دقتهای بسیار بالایی که در هنگام طراحی و اجرای نقشه‌برداری کنترل پروژه رعایت می‌گردد ارایه خواهد شد. فن‌آوری جدید علم نقشه‌برداری همانند سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای GPS، ژئو-تئودولیت‌های با دقت بالا و وسایل الکترونیکی برای اندازه‌گیریهای زاویه و مسافت (فاصله یابهای الکترونیکی و زاویه سنجهای رومی و الکترونیکی) به ما کمک می‌کنند تا بتوانیم در حال حاضر هم‌پای تکنیکهای مدرن حفاری تونل حرکت نماییم. به‌هرحال علیرغم افزایش دقت در اندازه‌گیریهای نقشه‌برداری، کاربری بسیاری از جنبه‌های علوم ژئودتیک همراه با مسائل مطرحه با آن در نقشه‌برداری زیرزمینی بیشتر بحرانی بنظر می‌رسد.

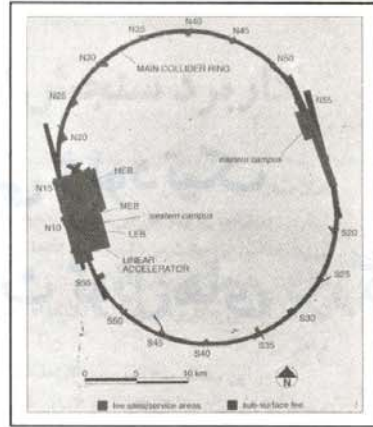
این مقاله پس از مرور مختصر روی فن‌آوری جدید مور: استفاده در نقشه‌برداری و منابع خطاهای موجود نقشه‌برداری مسیریابی و هدایت

### چکیده

روشهای جدید احداث تونل و کاربرد آن به‌ویژه در زمینه هدایت و کنترل، اغلب نیازمند به دقت کافی در مورد جهت‌یابی تونل است. ابزار و فن‌آوریهای جدید علم نقشه‌برداری مانند GPS و رقیب دیرینه آن ژئو-تئودولیت (Gyro-theodolite) (ژئروسکوپ به همراه تئودولیت به نام ژئو-تئودولیت) قادر هستند نیاز فوق را برآورده نمایند. به هر حال، افزایش دقت اندازه‌گیریها لزوم داشتن توجه خاص به سختی کار نقشه‌برداری زیرزمینی را بیشتر نمایان می‌سازد.



نگاره (۲)



نگاره (۱)

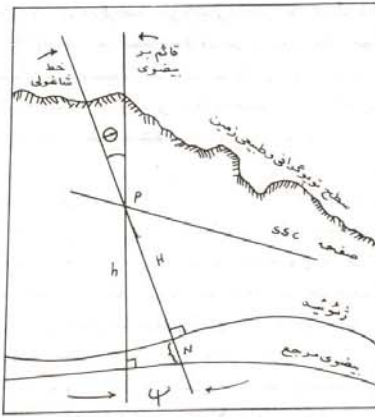
تونل، به بحث در زمینه انواع مسائل ژئودتیکی موجود در مثال عملی از اجرای یکی از بزرگترین پروژه‌های احداث تونل در آمریکای شمالی می‌پردازد. این تونل حلقه‌ای شکل ۸۷ کیلومتر طول دارد که جدیدالاحداث بوده و به نام پروژه SSC<sup>۳</sup> (تونل تصادمگر ذرات آب رسانا) نامیده می‌شود. این تونل در نزدیکی شهر Dallas، در ایالت Texas واقع شده است. نویسندگان این مقاله در طراحی و اجرای نقشه‌برداری کنترل این پروژه و دیگر پروژه‌های مشابه همکاری و مشارکت داشته‌اند.

#### دقت‌های قابل دسترس در نقشه‌برداری کنترل هدایت حفر تونل

مدلهای جدید دستگاههای زاویه‌یاب الکترونیکی<sup>۴</sup> و فاصله‌یاب الکترو مغناطیسی<sup>۵</sup> چنانچه به‌طور مناسب هم سو و کالیبره (Calibrate) شده باشند، می‌توانند دقت‌های زیر ثانیه‌گمانی (از دقیقه و درجه ۶۰ قسمتی) و زیر میلی‌متر را برای اندازه‌گیریهای زاویه و فاصله فراهم نمایند. تغییرات ضریب شکست محیط و خطاهای اتفاقی و سیستماتیک (Systematic) ناشی از اتمسفر زمین اولین عوامل محدود کننده دقت در اندازه‌گیریهای زاویه و فاصله به‌وسیله دستگاههای Total station, EDM و اندازه‌گیریهای زاویه هستند.

به عنوان مثال، برای دستگاههای الکترواپتیکال EDM (Electro - optical)، تنها خطای فقط یک درجه سانتی‌گراد (1°C) در تعیین اندازه درجه حرارت متوسط محیط در حین مشاهده فاصله می‌تواند خطای 1ppm (حدود یک میلی‌متر در یک کیلومتر طول) را در طول اندازه‌گیری شده ایجاد نماید. تأثیر انکسازات بعدی به‌خوبی مشخص و معلوم خواهد شد ولی هنوز یک مسئله مهم داخلی

طراحی، ثبات و حفاظت شبکه نقاط کنترل GPS که در بردارنده ساختارهای فیزیکی مناسبی نیز هستند نیازمند به ملاحظه‌ها و توجه‌های بسیار دقیق دارد. مضافاً جهت احداث پروژه‌هایی که دارای دوره زمانی طولانی هستند، نسل جدید دستگاههای زیرو - تئودولیت‌ها مانند GYROMAT 2000 (ساخت کمپانی DMT آلمان) که قادر به اندازه‌گیری آزیموت نجومی با دقت و انحراف معیار حدود ۳ ثانیه‌گمانی از دقیقه و درجه ۶۰ قسمتی) هستند. همانگونه که در مثال‌ها نشان داده شده است، زیرو-آزیمونها (Gyro-azimuths) در مقام مقایسه با



نگاره (۳)

اندازه‌گیریهای ساده زاویه و آزیموت از نظر توزیع خطاها در نقشه‌برداری کنترل در زیرزمین (شبکه‌های پیمایش گسترش داده شده) مناسب‌تر هستند زیرا اندازه‌گیریهای زاویه از بابت تأثیرپذیری انواع خطاهای اتفاقی و سیستماتیک مساعدتر می‌باشند. به عبارتی اندازه‌گیریهای زاویه نسبت به اندازه‌گیریهای آزیموت (توسط ژیرو-تئودولیت‌ها) دارای خطای بیشتری هستند. ژیرو-تئودولیت‌ها تأثیرات مضر ناشی از خطاهای سانتراژ<sup>۷</sup> بی‌ثباتی نقاط استقرار را به حداقل می‌رسانند. مسائلی در نقشه‌برداری هدایت تونلها به ویژه سخت می‌تواند باشد یا در مواردی در جایی است که انتقال مختصات با خطوط شکسته پی‌درپی منجر به تغییر شکلها و جابه‌جایی نقاط می‌شوند و بسیار سخت و با اهمیت جلوه می‌نمایند. به هر حال، ژیرو-تئودولیت‌ها می‌توانند انحرافات جغتی بسیار مهمی را نسبت به زمان نشان دهند. به همین علت قبل و بعد از انجام هر جلسه اندازه‌گیری و مشاهده در داخل تونل می‌بایستی این دستگاهها را هم سو و کالیبره نمود. این هم سوئی و کالیبراسیون (Calibration) بر روی طولهایی انجام می‌گیرد که دارای آزیموت نجومی<sup>۸</sup> معلوم اند.

### ملاحظات ژئودتیکی

از آنجاییکه مشاهدات GPS نسبت به یک سیستم مرجع کارتریجی سه بُعدی که منطبق بر مرکز ثقل زمین است و جهانی و ژئوستاتیک نیز می‌باشد<sup>۹</sup>، انجام می‌پذیرد. بنابراین امری منطقی خواهد بود، چنانچه تمامی مشاهدات ژئودتیکی در پروژه‌های بزرگ مهندسی حاصل از سیستم GPS را نسبت به یک بیضوی مرجع جهانی ژئوستاتیک همانند (WGS84)<sup>۱۰</sup> که در اکثر کشورهای دنیا به‌عنوان یک سیستم مرجع ژئودتیکی جهانی برای همه مشاهدات ژئودتیکی پذیرفته شده است، بیان نماییم. بنابراین مشاهدات زوایا، طولها، ژیرو - آزیموت‌ها و ترازهایی ژئودتیک که بر مبنای خطوط شاغولی محلی (قائم بر سطوح تراز) به مرجع ژئوئید اندازه‌گیری می‌شوند می‌بایستی برای محاسبه و تعیین مختصات ژئودتیکی به مرجع قائم بر بیضوی اندازه‌گیری و تبدیل شوند. این عمل از طریق اعمال جدایی قائم بر ژئوئید و قائم بر بیضوی در ایستگاه‌های مشاهده‌ای یا جدایی ژئوئید از بیضوی (N) که نیز به نوبه خود ناشی از تغییرات حوزه میدان ثقل در نقاط مختلف زمین می‌باشد انجام می‌گیرد. این جداییها به مشاهدات و اندازه‌گیریهای زمینی انجام شده در نقطه مورد نظر به‌عنوان تصحیحات فیزیکی اعمال می‌شود (به نگاره ۳ رجوع شود). این مقادیر تصحیح، به‌وسیله انجام مشاهدات ژئودتیکی و / یا نجومی اضافی قابل تعیین است و این مشاهدات ژئودتیکی و نجومی بر روی نقاط لاپلاس که می‌توان در اطراف پروژه در نظر گرفت، حاصل می‌شوند. چنانچه منابع حاوی پتانسیل خطا به‌درستی تعیین و تصحیح نشوند سهم افزوده‌ای را در کاهش دقت داده‌های نقشه‌برداری کنترل تونل ایجاد می‌کنند. بنابراین انکسارات افقی و خطاهای ناشی از آن در تصحیحات ژئودتیکی جزو ابتدایی‌ترین خطاها و بی‌اعتمادیهای ناشی اندازه‌بزرگی این نوع از خطاها و تأثیرات آنها بر روی

هدایت و نقشه‌برداری کنترل تونل در نمونه‌های آزمایشی ذیل به تفصیل آورده شده است.

### پروژه احداث تونل SSC<sup>۱۱</sup>

تونل SSC با پروژه تونل تصادم گر ذرات فوق هادی به ارزش تقریبی ۸/۵ بیلیون (billion) دلار، یکی از بزرگترین شتاب دهندگان ذرات ریز اتمی در جهان می‌باشد که توسط سازمان انرژی اتمی آمریکا ساخته شده است.

وظیفه اصلی این پروژه شتاب دادن به پرتوهای دورانی متضاد از پروتونها (Protons) (ذرات سنگین مرکز هسته اتم‌های سبک) جهت رسیدن به انرژی‌های بسیار بالا است. این عمل باعث می‌شود که پرتوهای پرا انرژی پروتونها صد میلیون (Million) بار در ثانیه به یک دالان بزرگ، یابنده ذرات پرا انرژی برخورد نموده، آن را بمباران نمایند تا بدین وسیله بتوانیم مشاهدات مستقیمی از تئوری ذرات اتمی که در عمل تا به حال قابل رؤیت نبوده‌اند داشته باشیم.

این رویدادهای تجربی، درک و فهم ما را از خواص بنیادی انرژی و ماده، فضا و زمان گسترش می‌دهد. دالان اصلی حلقوی تصادم گر در پروژه SSC به‌صورت یک تونل زیرزمینی به قطر ۴ متر، طول ۸۷ کیلومتر، در جنوب شهر Dallas، واقع شده (به نگاره ۲ رجوع شود). به همراه ۲۷ کیلومتر تونل‌های اضافی جهت فرارگیری بوسترها<sup>۱۱</sup> (Boosters) و دستگاههای تزریق کننده ذرات است. به‌وسیله حفر جاهای قائم واقع در مناطق مورد نظر به فواصل ۴/۳ کیلومتری در طول دالان اصلی حلقوی و تصادم گر اصلی، تونل مزبور به سطح زمین متصل شده است. برای آنکه



بلکه بر روی یک سطح کاملاً هندسی قرار بگیرند. شبکه هندسی به شکل مختصات کارترین<sup>۱۵</sup> در یک سیستم مختصات مرجع قراردادی به نام سیستم مختصات کارترین مکانی<sup>۱۶</sup> که یک سطح مبنای<sup>۱۷</sup> قراردادی است، قرار دارد. موقعیت فیزیکی و نهایی این سیستم مختصات در فضای فیزیکی و قرارگیری آن روی توپوگرافی محل در واقع یک نوع رقابتی بود که بین تعدادی عوامل مقایسه‌ای، شامل شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی (Geotechnical) و خصوصیات می‌نیم تقارب تابش و تشعشع وجود دارد.

برای انتقال از این سیستم مختصات به سیستم مختصات ژئودینامیک سودمند مورد نیاز، نیازمند به مشخصاتی هستیم که به وسیله تعریف مختصات ژئودینامیکی مبدا، استحکام و عمق صفحه XY و آزیموت محور Y سیستم SCCS تعیین می‌گردد. به علاوه از آنجاییکه ژئوئید یک سطح فیزیکی مرجع ظاهری می‌باشد، برای عملیات ترازیبانی ژئودینامیک است. لذا می‌بایستی تصحیحات جدایی ژئوئید از بیضی (N) را به ارتفاعات انتقال داده شده بیضوی (h) اعمال نمود تا ارتفاعات ارتومتریک (H) نشانده شده در نگاره<sup>۳</sup> بدست آیند. این انتقال یک میکروژئوئید بکار می‌گیرد که تخمین و حدس زده شده از نتیجه ترکیب داده‌های GPS با داده‌های بدست آمده از ترازیبانی ژئودینامیک دقیق حاصل شده را ارائه می‌دهد.

### طراحی نقشه برداری کنترل

سطح کنترل به وسیله یک شبکه ژئودزی ماهواره‌ای (شبکه نقاط کنترل GPS) ایجاد گردید. تمامی مشاهدات این شبکه توسط تجهیزات دو فرکانسه سیستم GPS اندازه‌گیری شدند. نظر به اینکه به وسیله GPS نمی‌توان یک چهارچوب شبکه‌ای مرجع و مستحکم برای مدت طولانی ایجاد نمود، دیتم یا سطح مبنای مسطحانی مرجع را توسط یک شبکه ثابت<sup>۱۸</sup> از سازه‌های بتونی حجیم که با پوشش یکپارچه با یک بستر سنگی دارای استحکام و مقاومت کافی در برابر فشار و مناسب برای کاربردهای زیرزمینی نمایان شده‌اند در عمل ایجاد نمودیم.

شبکه کنترل اصلی نقشه برداری شامل ۱۸ ایستگاه ثابت و چند ایستگاه کمکی دیگر است. این ایستگاه‌های خارجی اضافه برای کنترل کالیبراسیون و هم سویی اسبابهای الکترونیکی EDM با تئودولیت‌های مجهز به ژیروسکوپ (ژیرو-تئودولیت‌ها) ایجاد شده است.  $\theta$  عدد از این نقاط به پاندول‌های (Pendula) وارونه مجهز هستند تا بتوانند به طور مستقل ثبات و پایداری ایستگاهها را نسبت به زمان، کنترل نمایند. شبکه به گونه‌ای طراحی شده بود تا دقت مسطحانی و افقی ۱۵ میلی‌متر را برای موقعیتهای نسبی در سراسر حلقه تونل SSC (به طول تقریبی ۳۰ کیلومتر) جهت سطح اطمینان ۹۹ درصد فراهم سازد.

شبکه کنترلی قائم درجه یک نقشه برداری شامل ۱۳۰ پنج مارک مشاهداتی ریشه‌دار عمیق است که به وسیله روشهای ترازیبانی هندسی

شتاب دهنده دژات دارای کارایی مؤثری باشد آهن ربا‌های بسیار قوی موجود در دالان تصادم گر اصلی می‌بایستی با دقتی بهتر از یک میلی‌متر در یکلو متر (1ppm) در یک سطح کاملاً هندسی تراز و از لحاظ جهت توجیه باشند. بنابراین این سطح از دقت نیاز به یک رو در رویی بی‌سابقه با مشکلات و مسائل ژئودینامیکی دارد که همواره در طراحی و اجرای نقشه برداری کنترل، مطرح هستند.

### نیازمندیهای طراحی

حَقّاری تونل اصلی تصادم گر دژات و استقرار بوسترها از لحاظ موقعیت‌یابی، حدود ۲۰۰ میلی‌متر نسبت به موقعیتهای طراحی شده برای آنان، اختلاف دارد. دامنه تغییرات حدود ۷۶ میلی‌متر است که برای خطاهای افقی و قائم در نقشه برداری کنترل تونل، همراه با بخش دیگری از دامنه تغییرات باقیمانده است که برای تطبیق انحرافات ناشی از هدایت ماشین حَقّاری تونل با خطای ساختمان تونل در نظر گرفته شده است.

از آنجاییکه توجیه هندسی دو قطب آهن ربا‌های قوی موجود در تونل به‌عنوان ایجاد یک شبکه ثابت<sup>۱۹</sup> در این پروژه مطرح است، بنابراین تونل‌ها می‌بایستی با دقت بسیار بالایی طبق مشخصات و دستورالعملهای معلوم حَقّاری و یا احیاناً دوباره با هزینه‌های بسیار سنگین استخراج شوند. به‌واسطه وجود این دقت‌های بسیار بالا در مسیر یابی و هدایت تونل‌ها، دامنه تغییرات در حدود  $\pm 76$  میلی‌متر برای نقشه برداری کنترل در نظر گرفته شده است. این میزان دقت حداکثر خطای مجاز در سطح اطمینان ۹۹ درصد در مقایسه با سطح اطمینان ۹۵ درصد است. خطای موقعیتی ۷۶ میلی‌متر در داخل ماکزیمم خطای موقعیتی نسبی هر دو نقطه‌ای که در داخل تونل قرار دارند واقع می‌شود. به‌عبارتی  $76 \times \sqrt{2} \times 0.8$  میلی‌متر ماکزیمم خطای نسبی موقعیتی نقاط ایجاد شده در تونل است.

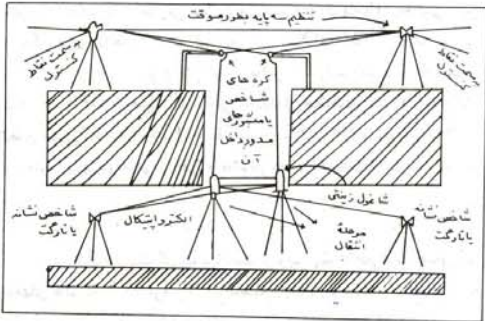
برای نقشه برداری کنترل جهت مؤلفه‌های قائم موقعیت (ارتفاع)، میزان خطا برای موقعیتهای نسبی حدود ۱۲ میلی‌متر بود. این میزان دقت جهت نصب آخرین قوس بتنی که قطبهای مغناطیسی آهن‌رباها بر روی آن قرار می‌گیرند، مورد احتیاج بود. سیستم نقشه برداری کنترل طراحی شده و تکنیک‌های آماری مشابه‌سازی به روش کمترین مربعات، برای انجام محاسبات تعدیل خطاها کاربرد داشتند. به واسطه وجود خطر خطاهای سیستماتیک بر روی مشاهدات فقط نیمی از کل خطای ۱۰۸ میلی‌متر (به عبارتی ۵۴ میلی‌متر) به‌عنوان معیار خطای نسبی تعیین موقعیت اختصاص یافت تا بتواند به راحتی با طبیعت انتشار خطاهای اتفاقی روی مشاهدات اندازه‌گیری شده سازگار باشد و مابقی خطا جهت انباشته شدن بی‌رویه تأثیرات سیستماتیک ممکن در نظر گرفته شده است.

### سیستم‌های مختصات و سطح مبنای مرجع<sup>۱۲</sup>

همانطور که قبلاً متذکر شدیم تونل حلقوی تصادم گر و مؤلفه‌های مختلف آن به‌گونه‌ای طراحی شده‌اندکه در فضا و نه بر روی یک سطح تراز،



پس کنترل‌های ژئودتیکی توسط چاههای قائم از سطح زمین به زیر زمین از طریق راهروهای ارتباطی به سیستم شبکه کنترل تونل هدایت و منتقل می‌شوند. حفر تعداد زیادی از این نوع چاههای قائم (بیش از چهل چاه) که دقتهای مورد نیاز را تأمین می‌کنند، ما را به سمت توسعه یک روش جدید در کنترل تونل هدایت می‌کنند. در این روش جدید، دستگاههای الکترواپتیکال (Total station) بسیار دقیق شاغولهای اپتیکی و تکنیک‌های اندازه‌گیری صنعتی بکار برده می‌شوند تا کنترل‌های قائم به کنترل‌های افقی منتقل و مرتبط شوند. (به نگاره ۴ رجوع شود). سهم خطای ناشی از فرآیند گسترش نقاط و انتقالهای کنترلی به نسبت کل خطاهای موجود در پروژه از میزان ۵ میلی‌متر چه در مؤلفه افقی و چه در مؤلفه قائم تجاوز نخواهد کرد.



نگاره (۴): ابداع تکنیک انتقال مختصات به وسیله چاههای قائم

#### کنترل‌های زیرزمینی

همانگونه که در فوق متذکر شدیم کنترل‌های زیرزمینی از طریق تعداد معدودی چاه قائم به کنترل‌های سطحی (روی زمین) مرتبط هستند، که به طور متوسط این دو می‌توانند حداکثر تا فاصله ۴/۳ کیلومتر از یکدیگر دور باشند. بنابراین ۴/۳ کیلومتر ماکزیمم طول یک پیمایش باز است. از طرح نهایی مشخص شد که می‌بایستی یک پیمایش رفت و برگشت زیگ زاگی ۲۰ که فاصله ایستگاههای آن بیش از ۲۰۰ متر نباشند با ژیرو-تئودولیت‌هایی که دارای دقت حدود ۳ ثانیه ( $\sigma = 3$ ) هستند، با اندازه‌گیریهای آزیموت ژيروسکوپی و طرفه روی هر یک از رئوس پیمایش زیگ زاگی مزبور در داخل تونل به اجرا درآید.

کاربرد ژیرو-تئودولیت‌ها نه تنها تأثیرات خطای انکسار را کاهش خواهد داد بلکه همچنین مانع از انتشار خطاهای ناشی از بی‌ثباتی در مهلاهای (دو هلال مجاور دیواره) نقشه‌برداری شده دیواره تونل می‌شود.

درجه یک دقیق اندازه‌گیری شده‌اند. دستورالعمل این ترازبازی براساس استانداردهای ارایه شده توسط زیر کمیته فدرال کنترل اندازه‌گیریهای ژئودتیکی IAGCS<sup>۱۹</sup> برای عملیات ترازبازی دقیق است. مؤلفه قائم (گرادیانت) درجه حرارت محیط در پنج ارتفاع مختلف اندازه‌گیری و ثبت شده است.

دستگاهی که با طراحی خاص برای این پروژه ساخته شده بود به طور خودکار مؤلفه‌های قائم درجه حرارت را اندازه‌گیری و ثبت می‌نمود. تا بدین وسیله برآورد و تخمینی را برای تأثیرات انکسار قائم فراهم نماید. شبکه به گونه‌ای طراحی شده بود که دقت ارتفاعی اختلاف ارتفاعات نسبی

فواصل (کیلومتر)	خطاهای مقطع برداری در طول تونل		
	قائم (میلیمتر)	طول (میلیمتر)	عرض (میلیمتر)
۴/۳	۲	۱۱	۲۰
۴/۳	۵	۴	۱۷
۴/۳	۵	۵	۱۲
۴/۳	۲۴	۱۴	۲۳
۴/۳	۳	۱	۱۸
۸/۶	۴	۶	۲۴
۱۲/۹	۹	۳	۲۷
۱۷/۲	۱۸	۳۰	۴۵

جدول ۱: نتایج حاصل از مقطع برداری در پروژه تونل SSC

در طول تکثیر تراکمی نقاط شبکه و انتقال مختصات همراه با کنترل‌های قائم، بر روی زمین به میزانی که مورد نیاز است، گسترش یابد، به طوری که بتوان کنترل ژئودتیکی لازم را در هر همسایگی از چاههای قائم از گروه چاههای حفر شده در طول تونل برقرار نمود. وجود و کاربرد این گروه از چاههای قائم که از تونل به سطح زمین حفر و احداث می‌شود برای مشاهده و مدل‌کردن تغییر شکل‌هایی است که امکان دارد در شبکه ثابت بوجود آید است.



دستگاههای نقشه برداری جدید و تمام خودکار، قادر نخواهند بود که تمامی مسائل ژئودتیکی مربوط به نقشه برداری زیرزمینی را حل نمایند، بلکه بیشتر از همیشه بایستی توجه داشت که این چنین عملیات نقشه برداری نیازمند به دقت زیادی در طراحی و تجزیه و تحلیل اولیه ژئودتیکی مشاهدات<sup>۲۱</sup> و روش کار دارد. همچنین بایستی در این گونه کارها به مسائل ژئودتیکی، حمل و نقل و تدارکات گروههای نقشه برداری توجه خاص مبذول نمود. □

این بی ثباتی دوباره، ناشی از تغییر شکلهای ژئوتکنیکی و جابه جایی مقاطع لایه استحکامی تونل در بخشهای محافظت شده است. بایستی توجه داشت که دقت نقشه برداری کنترل از نوع درجه یک در داخل تونل را می توان به وسیله پیشرفت در رکورد سرعت شکستن صخره های سخت توسط ماشینهای حفاری (TBM) که تقریباً حدود ۱۴۰ متر در روز است، نگهداری و مراعات نمود.

### نتایج نقشه برداری

شبکه نقشه برداری نقاط کنترل قائم (درجه یک) که تقریباً شامل ۶۸۰ کیلومتر ترازبای دقیق رفت و برگشت می باشد، دقت نسبی حدود ۵ میلی متر را برای سطح اطمینان ۹۹ درصد در طول حلقه تصادم گر اصلی تونل فراهم می سازد. پس از بکارگیری تجزیه و تحلیل ریاضی برای برآورد کمترین مربعات یا به عبارتی پس از می نیم نمودن فاصله تخمینی بین اندازه گیرهای مشاهدات از مقدار واقعی آنها (MINQE)<sup>۲۱</sup>، جهت بدست آوردن تخمینی از مقادیر وزن اولیه (عکس انحراف معیار اولیه) برای مشاهدات GPS در هنگام سرشکنی و تعدیل خطاهای شبکه، حداکثر خطای نسبی (البته در طول حلقه تونل SSC) ۵/۶ میلی متر و ۱۰/۴ میلی متر را برای موقعیتهای افقی و قائم در سطح اطمینان ۹۹ درصد حاصل گردید.

### پاورقی:

- 1) Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick
- 2) Tunnel Boring Machines: (TBM)
- 3) Superconducting Super Collider:(SSC)
- 4) Electronic theodolites
- 5) Electromagnetic Distance Measuring : (EDM)
- 6) Differential mode
- 7) Centring errors
- 8) Astronomic azimuth
- 9) Global geocentric reference frame
- 10) The World Geodetic System of 1984 : (WGS84)
- 11) The Superconducting Super Collider: (SSC)
- ۱۲) توضیح: به معنی تلمبه یا وسیله اذیاد کننده فشار و تراکم ذرات است.
- 13) Fix
- 14) Reference Datums
- 15) Cartesian coordinates
- 16) The Site cartesian coordinates system; (SCCS)
- 17) Datum
- توضیح: به معنی سطح مبنای شبکه است.
- 18) Fiducial
- 19) Federal Geodetic Control Subcommittee
- 20) Double zig-zag traverse
- 21) Minimum Norm Quadratic Estimation
- 22) Pre - analyses

در هنگام ایست کاری، برداشت از اولین پنج مقطع تونل اصلی بین چاههای قائم که ۴/۳ کیلومتر از هم فاصله دارند با موفقیت و نتایج عالی به اتمام رسید. در جدول ۱ نتایج مقاطع برداشت شده مزبور ارایه شده است. توجه این جدول به نتایج سه مقطع ترکیب شده است. این مقاطع در هر حالت به وسیله تغییر مکان اتصالات انتقال قائم (از طریق چاههای قائم) در میانه راه مناطق سرویس دهی تونل محاسبه شده اند. همانطور که در جدول مشاهده می نمایید تأثیر خطای مقطع برداری در جهت عرضی بعد از ۱۷/۲ کیلومتر حفاری تونل فقط در حدود ۴۵ میلی متر است. این نتایج فوق العاده با ارزش، مشوقی بر تأیید اساس طراحی، روش کار و صحت اجرای هر دو عملیات نقشه برداری کنترل در سطح و زیرزمین است.

### نتایج

وضعیت ارایه شده از فن آوری علم نقشه برداری، ممکن است این نتیجه را حاصل کند، که دقتهای بسیار بالا را می توان در عملیات نقشه برداری کنترل برای پروژه های همانند احداث تونل برقرار نمود. حتی برای پروژه هایی که با مسائل فوق العاده فنی ژئودتیکی گلاویز هستند، نیز می توان آنها را بکار گرفت.

به هر حال سادگی ظاهر مسائل فنی نقشه برداری نبایستی ما را به اشتباه بیاندازد که تصور کنیم داده های نقشه برداری جمع آوری شده از طریق