

شرح نقشه برداری بنیادین پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد

مقدمه:

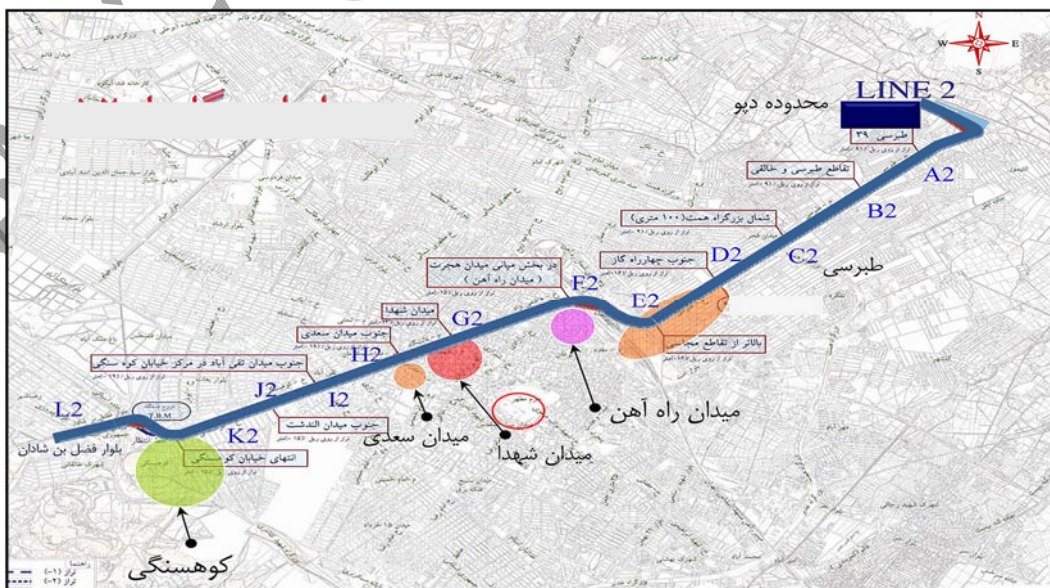
خط ۲ قطار شهری مشهد به طول تقریبی ۱۴ کیلومتر و از طول جغرافیائی $59^{\circ} 32' 27''$ شرقی و عرض جغرافیائی $36^{\circ} 16' 56''$ شمالی (شفت جنوبی) تا طول جغرافیائی $59^{\circ} 40' 52''$ شرقی و عرض جغرافیائی $36^{\circ} 19' 50''$ شمالی (شفت شمالی) در حال احداث می‌باشد (شکل (۱)).

عملیات حفاری تونل پروژه بصورت مکانیزه (توسط دو دستگاه TBM) انجام می‌گردد، دستگاه TBM اول از شفت شمالی و TBM دوم از شفت جنوبی حفاری و ساخت تونل را آغاز نموده اند و مقرر است در موقعیت ایستگاه F2 (میدان راه آهن مشهد) تمام کار هر دو دستگاه باشد. هر TBM حدود ۷ کیلومتر را حفاری خواهد نمود.

در طول حفاری، دو TBM در دو جهت مخالف از ایستگاه‌های مختلف خط ۲ عبور مینمایند، بنا بر اهمیت کنترل هدایت مسیر حفاری و لزوم رعایت موقعیتهای دقیق احداث تونل و سازه‌های مرتبط، در این پروژه موضوع نقشه‌برداری بنیادین در دو مرحله اصلی ذیل مورد پیگیری و توجه قرار گرفته است.

(۱) ارزیابی نقشه‌برداری اولیه (در مرحله مطالعات یا فاز اول پروژه) و کفایت دقت و کیفیت آن برای عملیات اجرایی دقیق پروژه از جمله هدایت حفاری مکانیزه و ساخت سازه‌های اصلی

(۲) طراحی و اجراء نقشه‌برداری بنیادین تکمیلی براساس نیازهای پروژه و استفاده از نتایج آن برای هدایت TBM ها، ساخت سازه‌ها و ... (در این خصوص رعایت آخرین استانداردهای بین‌المللی و روشهای مدرن مورد توجه اکید قرار گرفته است).



شکل (۱) - موقعیت پروژه

۱- نقشه برداری اولیه (فاز اول) پروژه

بطور کلی نقشه برداری فاز اول پروژه بر اساس قرارداد پیمانکار با شرکت مهندسین مشاور نقشه پردازان عمران و سازه و تحت نظارت سازمان نقشه برداری خراسان با اهداف تهیه نقشه های پایه در مقیاسهای $\frac{1}{500}$ و $\frac{1}{200}$ اجرا گردید. قبل از انجام برداشت جزئیات محدوده پروژه، شبکه نقاط پایه در ۲ بخش مسطحاتی (برای تعیین مختصات مسطحاتی شبکه نقاط پایه) و بخش ارتفاعی (برای تعیین ارتفاعات نقاط شبکه پایه) به شرح ذیل طراحی و مورد اندازه گیری قرار گرفت. در بخش مسطحاتی (ماهواره ای) یا فاز اول ۱۲۰ نقطه کنترل (ایستگاه نقشه برداری) در محدوده کRIDOR پروژه با استفاده از GPS مورد مشاهده قرار گرفته است. در این عملیات نقاط ذیل از سازمان نقشه برداری بعنوان نقاط مبناء مورد استفاده قرار گرفتند:

نقطه GPS5 - نقطه GPS6 - نقطه BM4 و ایستگاه GPS دائم مشهد (MSHN)

سپس برای تبدیل سیستم مختصات UTM به Local با استفاده از نقطه مبناء BM4 (نقطه معرفی شده از سوی سازمان نقشه برداری) و با انجام عملیات مجدد GPS بر روی ۱۴ نقطه با استفاده از ۴ گیرنده ماهواره ای مختصات Local کل شبکه پایه تهیه و برای انجام نقشه برداری زمینی (برداشت جزئیات نقشه های $\frac{1}{500}$ و $\frac{1}{200}$) مورد استفاده قرار گرفته است.

ارتفاعات نقاط مختلف شبکه های اصلی و فرعی به منظور کنترل ارتفاعی عوارض محدوده پروژه با عملیات ترازبایی مستقیم و با دقت درجه ۳ تعیین شده اند. لازم به ذکر است مبناء ارتفاعات، نقاط سازمان نقشه برداری بوده اند که جهت سرشکنی ارتفاعی شبکه بکار رفته اند.

۲- ارزیابی نقشه برداری اولیه (فاز اول)

از آنجائیکه دقت کنترل های نقشه برداری وابسته به دقت شبکه بندی نقاط پایه است، بالطبع نمی توان انتظار داشت نقشه برداری بنیادین فاز اول با هدف تهیه نقشه های $\frac{1}{500}$ و $\frac{1}{200}$ ، دقت های بالا در حد ژئودتیک را برآورده سازد. از سوی دیگر در پروژه های حساس صنعتی و فنی مثل احداث تونل و خطوط ریلی مترو و...، بخصوص هدایت حفاری مکانیزه، بکارگیری روش های دقیق نقشه برداری برای کسب دقت های میلیمتری ضروری است.

۱-۲- ارزیابی بخش مسطحاتی (GPS) نقشه برداری اولیه (فاز اول)

دقت‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های GPS و سپس برآورد مختصات Local نقاط شبکه‌های اصلی و فرعی برای تهیه نقشه‌های $\frac{1}{500}$ و $\frac{1}{200}$ کفایت می‌کند و حتی بیش از مقدار مورد نیاز است. ولی جهت استفاده در اندازه‌گیری و پیاده‌کردن‌های دقیق نقشه‌برداری لازم در بسیاری از زمینه‌های مهندسی و ساخت پروژه دارای نواقص و کمبودهایی بود که عبارتند از:

الف) بررسی‌های بعدی نشان داد Cycle slip یا قطع دریافت فاز امواج حامل در زمان اندازه‌گیری با گیرنده‌های GPS، بدلیل عدم انتخاب محل مناسب نقطه (محل قرارگیری آنتن)، به دفعات صورت گرفته و در مرحله Post-Processing و سرشکنی مشاهدات، حذف نشده‌اند. این نقص، دقت‌های نهایی در مختصات نقاط شبکه را بطور متوسط تا حدود ± 2 cm تحت تأثیر منفی قرار داده است. در موارد معدودی کنترل‌های بعدی خطای بیش از ± 5 cm (حداکثر ± 8 cm) را نیز نمایان ساخت.

ب) به منظور هدایت حفاری مکانیزه با TBM، دقت نقاط پایه بخصوص نقاط در محدوده شروع حفاری (شفت شمالی و شفت جنوبی) بدلیل حساسیت تعیین موقعیت TBM، بسیار مهم است. به همین دلیل ضروری است به منظور کاهش و یا حذف خطای استقرار (Centering) دوربین توتال استیشن در مرحله انتقال مختصات از شبکه پایه به نقاط TBM، از سه پایه استفاده نشود و از پیلار بتنی برای استقرار دوربین و Target بهره‌برد. در شبکه نقاط پایه اولیه بدلیل عدم پیش‌بینی استفاده از نقاط محدوده شفت شمالی و شفت جنوبی برای راهبری TBM، این نکته مهم در نظر گرفته نشده بود.

ج) عدم انتخاب محل مناسب و در نتیجه عدم استحکام بتن نقاط نقشه‌برداری در کارگاه‌های پروژه، منجر به تخریب و صدمه دیدن تعداد زیادی از نقاط در عملیات اجرایی ابتدای پروژه گردید. برای احیاء یا انتقال مختصات مجدد، بعضاً روش‌های زمینی کم دقتی اتخاذ گردیده که در کیفیت نقشه‌برداری کارها تأثیر منفی داشته است.

د) همانطور که قبلاً نیز ذکر شد یکی از کاربردهای مهم شبکه نقاط پایه، استفاده از آن در راهبری حفاری مکانیزه، ساخت تونل و سازه‌های مرتبط با آن است. لذا آگاهی از دقت‌های مختصات پایه و اعمال آنها در

اندازه‌گیری‌ها و پیاده‌سازی موضوعات مختلف کاری ضروری است. این دقتها با پارامترهایی نظیر انحراف معیار و واریانس مختصات و یا بشکل بیضی‌های خطا در محاسبات وارد می‌شوند. در نقشه‌برداری اولیه پروژه فقط به مقادیر مختصات در یک سیستم Local توجه شده بود. (بنابر کاربرد اصلی آنها که تهیه نقشه $\frac{1}{500}$ و $\frac{1}{200}$ بود) و پیش‌بینی لازم برای کنترل دقتها نشده بود.

۵) نظر به طول نسبتاً بلند پروژه (۱۴/۵ کیلومتر) و ارتباط نقاط ابتدا و انتهای آن از طریق تونل و خطوط ریلی، لزوم لحاظ نمودن انحناء یا کروییت سطح زمین و بعبارت دیگر مفاهیم ژئودزی اهمیت پیدا می‌کند. مسائل ژئودتیکی کار با بکارگیری مختصات UTM در نقشه‌برداری کارها دخالت پیدا می‌کند و استفاده از سیستم Local به نوعی از این حقیقت صرف‌نظر می‌نماید.

بطور کلی اختلافات قابل توجهی بین مختصات UTM و Local بکار رفته در کل مسیر (حداکثر ۱/۲ متر) وجود دارد که در وسعت‌های کم و طول‌های کوتاه مشکل ساز نیستند ولی به دلیل تفاوت Scale Factor در نقاط شبکه گسترش یافته در طول پروژه، بکارگیری مختصات در یک صفحه مستوی و عملیات زمینی نقشه‌برداری خطاهای غیرقابل کنترلی وارد موقعیتهای پیاده سازی شده می‌کنند که مغایر رواداریها و تولرانسهای ساخت پروژه می‌باشد.

۶) به منظور کاهش اختلاف بین مختصات UTM و Local بهتر بود بجای یک نقطه مبنا از نقاط مبنا متعدد در موقعیت ایستگاه‌های پروژه استفاده می‌شد زیرا با این کار میزان اعوجاجات طولی کاهش می‌یافت. نقطه مبنا BM4 (از نقاط سازمان نقشه‌برداری) تنها نقطه مورد استفاده در Local نمودن مختصات است و بدیهی است که با دور شدن از این نقطه که در محدوده ایستگاه G2 پروژه است، اعوجاجات طولی و در نتیجه اختلاف بین مختصات UTM و Local افزایش می‌یابد. متأسفانه طراحی موقعیت سازه‌های پروژه در سیستم Local مذکور صورت گرفته و نقشه‌ها نیز در این سیستم در حال تهیه و اجرا می‌باشند لذا تغییر یا اصلاح نقشه‌ها به سیستم UTM و یا Local با نقاط مبنا محلی در این مقطع پروژه امکان پذیر نبوده و یا حداقل مشکلات عمده اجرایی بوجود خواهد آورد.

۲-۲- ارزیابی بخش ارتفاعی نقشه‌برداری فاز اول

اهمیت کیفیت و دقت ارتفاعات شبکه نقاط پایه پروژه کمتر از بخش مسطحاتی نیست لذا با توجه به دقت‌های مورد نیاز برای کنترل ارتفاعی موضوعات مختلف پروژه، می‌توان کمبودها و نواقص ذیل را برای ارتفاعات نقشه‌برداری اولیه در کاربردهای دقیق برشمرد.

الف) ترازیبی انجام شده در حد دقت درجه ۳ است بنابراین در هر کیلومتر طول ترازیبی انتظار وجود خطای $\pm 12 \text{ mm}$ برای ارتفاعات وجود دارد که کفایت دقت لازم برای کنترل‌های ارتفاعی دقیق از جمله هدایت حفاری مکانیزه و ریل‌گذاری را در طول‌های بلند نمی‌کند.

ب) مشابه با بخش مسطحاتی، آگاهی از دقت ارتفاعات (انحراف معیار) نقاط شبکه ارتفاعی به منظور کنترل دقت اندازه‌گیری‌ها و پیاده‌سازی‌های ارتفاعی ضروری است. و این امر مستلزم انجام سرشکنی خطاها با متد «کمترین مربعات» (Least Squares) است. استخراج دقت‌های مذکور جهت بکارگیری در عملیات اجرایی و انتقال ارتفاعات، صورت نگرفته و مسائل و ابهاماتی را در مبحث ارتفاعات به بار می‌آورد. لذا تعیین مجدد ارتفاعات و دقت‌های مربوطه با کیفیتی بالاتر از نقشه‌برداری فاز اول مورد نیاز بود. در برآورد مجدد صورت گرفته، اختلافاتی تا میزان ۶ سانتیمتر در ارتفاعات مشاهده شد که در ساخت سازه‌های اصلی، تونل و ... غیرقابل صرف‌نظر کردن بود.

۳- نقشه‌برداری بنیادین تکمیلی پروژه و لزوم اجرای آن

مسائل و ابهامات موجود در نقشه‌برداری اولیه که در بخش قبل به آنها پرداخته شد، نیاز به انجام نقشه‌برداری تکمیلی و برآورنده دقت‌های لازم در مراحل مختلف ساخت و حتی بعد از آن را مطرح نمود. بعلاوه، دقت‌های بالای مورد انتظار از نقاط پایه، نیاز به انجام طراحی و آنالیز اولیه (Pre Analyze) برای اندازه‌گیری‌ها را ضروری می‌ساخت. با طراحی و آنالیز اولیه، دقت‌های ضروری برای مشاهدات جهت دستیابی به دقت‌های پیش‌بینی شده برای مجهولات، ارزیابی می‌شوند و بالطبع پس از آن می‌توان در برنامه‌ریزی اندازه‌گیری‌ها و بخصوص نوع وسایل اندازه‌گیری و تعداد تکرار مشاهدات آگاهانه عمل کرد. بنابراین اولین اقدام طراحی و آنالیز اولیه شبکه‌های نقاط پایه (مسطحاتی و ارتفاعی) بود که در نقشه‌برداری اولیه انجام نشده بود. بر اساس نتایج مرحله طراحی و آنالیز اولیه در هر دو بخش مسطحاتی و ارتفاعی اندازه‌گیری‌های لازم صورت گرفت و نتایج پردازش و محاسبات سرشکنی و آنالیز خطاهای مربوطه (برآورد مختصات UTM و دقت‌های ذریبط) با کیفیت مطلوب و مورد انتظار در اختیار پروژه قرار گرفت.

در مرحله بعد با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و شرایط پروژه، مختصات سراسری (UTM) به مختصات محلی (Local) تبدیل گردید.

برای تعیین مختصات Local نقاط پایه، نقطه BM4 بعنوان نقطه مبنا در کل خطوط قطارشهری مشهد (2، 3، 4 و...)، مماس بر سطح زمین فرض گردیده و با استفاده از مختصات محلی این نقطه (از نقشه برداری فاز اول) و لحاظ نمودن ارتفاع متوسط ۹۸۰ متر از ژئوئید، مختصات محلی نقاط شبکه‌های اصلی و فرعی جدید محاسبه گردید. درخصوص ارتفاعات، ترازیبی بین تمام نقاط در قالب یک شبکه و متکی بر ۳ نقطه شبکه درجه ۲ سازمان نقشه برداری کشور انجام شده است. در مرحله پردازش، اختلاف مقادیر مشاهدات رفت و برگشت بین نقاط ارتفاعی با کنترل خطای مجاز $\pm 2\sqrt{K}$ (دقتی بهتر از دقت درجه ۱) صورت گرفت و بعد از کنترل مشاهدات، با میانگین گیری و بکارگیری وزن مناسب برای هر مشاهده، ارتفاعات نهایی و دقت‌های مربوطه حاصل گردید. طبق گزارش شرکت مهندسین مشاور ایستاسنج دقیق (مجری و پیمانکار نقشه برداری پایه تکمیلی) ارتفاع یکی از نقاط مبنا (از نقاط سازمان نقشه برداری) در فاصله زمانی ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۰ (زمان مشاهدات مربوط به پروژه خط ۲ قطارشهری مشهد)، ۳۴ سانتیمتر کاهش یافته که ظاهراً بدلیل نشست کلی منطقه بین سالهای مذکور بوده است. بنظر می‌رسد این مسئله باید در آینده مورد بررسی دقیق تری قرار گیرد.

۴- مقایسه نتایج نقشه برداری بنیادین تکمیلی با نقشه برداری اولیه پروژه

در بخش مسطحاتی (GPS) براساس مختصات نهایی شبکه نقاط اصلی و فرعی حاصل از نقشه برداری تکمیلی (جدید) مختصات Local شبکه‌های اصلی (۱۴ نقطه‌ای) و فرعی (۱۳۴ نقطه‌ای) نقشه برداری اولیه مجدداً محاسبه گردید که اختلافات حداکثر ۴ سانتیمتر در نقاط اصلی و ۹ سانتیمتر در نقاط فرعی رانشان داد.

نکته مهم: تبدیل مختصات UTM به Local با عبور داده‌ها از معادلات تبدیل و بالطبع تأثیر تقریبهای بکار رفته در فرمولها در دقت مختصات محلی حاصله مؤثر بوده است و از آنجائیکه تعیین دقیق میزان این تأثیر و بطور کلی برآورد دقت مختصات Local بسیار پیچیده و تا حدی غیر ممکن است، ضروری است که برای هدایت حفاری و ساخت اجزاء سازه‌های مرتبط با تونل از مختصات UTM که دارای دقت‌های معین هستند استفاده گردد لذا برآورد موقعیتهای UTM مسیر حفاری (آکس TBM) و استفاده از آنها در سیستم هدایت حفاری TBM اکیدا توصیه می‌گردد

در بخش ارتفاعی از مقایسه ارتفاعات ترازیبی درجه ۳ نقشه برداری اولیه و ارتفاعات ترازیبی درجه یک نقشه برداری تکمیلی اختلاف حداکثر ۶ سانتیمتر مشاهده گردید که در عملیات اجرایی مربوط به ساخت سازه نگهبان مشکل ساز نمی‌باشد ولی در اجرای سازه‌های اصلی و تونل بدلیل وجود خطاهای فوق در ارتفاعات،

بخصوص حد فاصل ایستگاه D2 تا شفت شمالی، بهره‌برداری از ارتفاعات نقشه‌برداری اولیه شایسته دقت‌های موردنیاز پروژه نبود.

توجه: برای کسب اطلاعات و جزئیات بیشتر از نتایج محاسبات به گزارش تهیه شده توسط پژوهش - دفتر مشهد در شبکه اینترنت مراجعه گردد. همچنین دستورالعمل جامعی برای اجرای نقشه برداری بنیادین پروژه های طویل و وسیع مثل احداث مترو توسط پژوهش - دفتر مشهد تهیه شده که می تواند برای جلوگیری از بروز مشکلات نقشه برداری بسیار مفید واقع شود.

۵- کاربردهای شبکه نقاط (سطحاتی و ارتفاعی) نقشه‌برداری جدید در زمینه‌های مختلف پروژه

با توجه به دقت‌های خوب کسب شده از مشاهدات و محاسبات صورت گرفته در شبکه نقاط سطحاتی و ارتفاعی می‌توان از مختصات و ارتفاعات مربوطه در کلیه عملیات اجرایی که اهم آنها بشرح ذیل می‌باشند بهره برد.

الف) کلیه اندازه‌گیری‌ها (برداشتها) و پیاده کردنها، در مراحل مختلف ساخت ایستگاه‌های پروژه

ب) کلیه اندازه‌گیری‌ها (برداشتها) و کنترل‌های مربوط به راهبری حفاری مکانیزه (TBM) و ساخت تونل (بخش سطحاتی در سیستم UTM و بخش ارتفاعی با انجام ترازبایی دقیق

ج) کلیه اندازه‌گیری‌ها (مشاهدات) و کنترل‌های مرتبط با Structural Monitoring محدوده حفاری مکانیزه در طول مدت اجراء از جمله بررسی نشست ساختمانها و محدوده نزدیک حفاری در حین ساخت تونل و حتی پس از بهره‌برداری از پروژه

د) کلیه کنترل‌های سطحاتی و ارتفاعی مربوط به نصب تجهیزات و تأسیسات پروژه

۶- نتیجه گیری:

کیفیت و دقت مطلوب شبکه نقاط پایه نقشه برداری پروژه خط ۲ قطار شهری مشهد شرایط لازم اولیه را برای کسب دقت‌های بالا در پیاده سازی و اندازه گیری موقعیتهای مختلف بخصوص حفاری مکانیزه تونل فراهم نموده است. بدیهی است با اتخاذ روشهای صحیح نقشه برداری، بکارگیری تجهیزات مناسب و پرسنل معرب ذیربط می‌توان دقت‌های مطلوب و در خور پروژه را در کلیه امور نتیجه گرفت. خوشبختانه تاکنون انتظارات پیش بینی شده در مورد دقت حفاری ولاینینگ تونل خط ۲ بخوبی تحقق یافته و تاکنون در اجرای حدود ۹۰۰ متر حفاری (دو TBM) خط‌های ثبت شده در موقعیتهای AS-Built در حد رواداریهای مجاز ساخت تونل بوده اند.

منوچهر موسوی زاده

مهندسی مشاور پر و هس