

پیشرفتهای اخیر مهندسی نقشه برداری در ساخت خطوط مترو

محمدرضا ایزدی رقیچه-کارشناس ارشد عمران-نقشه

بررداری(فتوگرامتری) از دانشگاه تهران

عضو هیئت علمی گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه آزاد

اسلامی واحد اسلامشهر

پست الکترونیک : MRIZADI@YAHOO.COM تلفن همراه : ۰۹۱۲۳۳۹۰۶۷۰

چکیده :

استفاده از علوم مهندسی نقشه برداری در ساخت خطوط مترو که یکی از دقیقترین پروژه های عمرانی جدید و فعال کشور محسوب میشود، در سالهای اخیر پیشرفتهای زیادی داشته است. کاربرد این علم در مطالعات، مسیریابی، هدایت حفاری و ساخت تونل در مراحل حفاظ موقت و لاینینگ از مواردی است که تاکنون بسیار درمورد آن بحث شده است. لیکن استفاده از این علوم در تایید ایمنی حرکت قطارها داخل تونل تاکنون توسط شرکتهای خارجی انجام میشده که هم اکنون این امر در خط چهار متروی تهران توسط کارشناسان داخلی درحال انجام است. این مقاله بااستفاده از برداشتهای انجام شده قسمتی از تونل مسیر فوق حدفاصل ایستگاههای دروازه شمیران و میدان شهدا گردآوری گردیده که دارای شرایط هندسی محدودتری نسبت به بقیه مسیر است. بررسی فاصله بدنه واگن تا دیواره تونل که در این قسمت از مسیر مورد بررسی واقع گردیده، نشان میدهد میانگین داخل زدگی دیواره تونل نسبت به مقطع استاندارد سازه تونل ۵۸ میلیمتر و میانگین بیرون زدگی آن ۷۸ میلیمتر بوده است. همچنین حداکثر داخل زدگی ۱۳۸ میلیمتر و حداکثر بیرون

زدگی ۱۷۱ میلیمتر بوده است. باتوجه به جهت قوس افقی این محدوده و اعمال شیب عرضی و روش اعمال آن در این محدوده مشکلی جهت تردد قطار ایجاد نخواهد گردید.

مقدمه :

استفاده از علوم مهندسی نقشه برداری در ساخت خطوط مترو یکی از کاربردهای نوین این علم در یکی از جدیدترین پروژه های دردست انجام در کشور است. قسمتهای مختلف مطالعه و ساخت و کنترل خطوط مترو اعم از انجام

- مطالعات مسیریابی
- پیاده کردن مسیر
- انجام پیمایشهای زمینی
- مشخص کردن رمپهای دسترسی به تونل
- حفاری تونل و گسترش پیمایش داخل تونل
- انجام حفاظ موقت تونل
- لاینینگ تونل
- نصب و اجرای روسازی
- و

نیازمند استفاده از شاخه های متفاوت علوم مهندسی نقشه برداری است. ازبین مراحل یاشده مواردیکه تاکنون در کشور ما بیشتر به آن پرداخته شده را میتوان

- مطالعات مسیر
- پیمایش زمینی
- پیاده کردن رمپهای دسترسی
- حفاری تونل و پیمایشهای لازم

دانست. در صورتیکه کنترل حفاظ موقت، لاینینگ و نصب خطوط ریل از جمله دقیقترین و ظریفترین کاربردهای مهندسی نقشه

بررداری در ساخت خطوط مترو بشمار می‌آید. ذکر این نکته ضروری است که از بین خطوط در دست بهره برداری متروی تهران (خط یک، دو و چهار) فعالیتهای اخیر توسط شرکتهای خارجی و با صرف هزینه های بسیار گزاف انجام میشده که با همت متخصصان داخلی هم اکنون این کارها بومی شده و توسط مهندسين داخلی در خط چهار متروی تهران در دست انجام است. اهمیت این عملیات در این نکته مشخص تر میشود که پس از ساخت و تحویل تونل و باتوجه به ابعاد واگن و شرایط هندسی مسیر، میبایست امکان حرکت قطار با سرعت تعیین شده بصورت ایمن داخل تونل فراهم آید. نصب تجهیزات و تاسیسات متفاوت برقی و مکانیکی و عمرانی در قسمتهای مختلف تونل، اهمیت این امر را بیشتر روشن میسازد. در این مقاله توصیفی هدف این بوده که مراحل نقشه برداری پس از حفاری در قسمتهایی از خط چهار متروی تهران حداقل ایستگاه دروازه شمیران (K4) و میدان شهدا (M4) تشریح گردد تا در سایر خطوط متروی تهران و یا سایر شهرهای کشور مورد استفاده قرار گیرد.

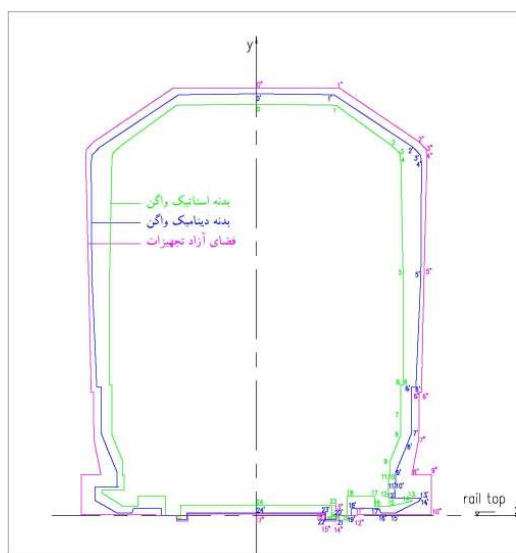
مواد و روشها :

این مقاله یک مطالعه توصیفی-تحلیلی جهت ارائه اهمیت عملیات نقشه برداری در ایمنی حرکت قطار داخل تونلهای مترو از نظر شرایط هندسی است. منطقه مورد بحث حداقل ایستگاههای دروازه شمیران و میدان شهدا در خط چهار

متروی تهران انتخاب شده است. علت استفاده از این محدوده وجود قوسهای با شعاع ۴۰۰ متر و لزوم در نظر گرفتن کلیه تمهیدات خاص جهت عبور ایمن قطار در تونلهای قوسی بوده است. در قوسهای مسیر جهت حذف نیروی جانب مرکز، شیب عرضی (دور) به روسازی اعمال میگردد. بدین صورت که ریل داخلی قوس بسمت پائین و ریل خارجی بسمت بالا میل میکنند. نسبت این جابجائی در دوریل یک خط با یکدیگر برابر است. بعنوان مثال برای اعمال شیب عرضی ۱۰۰ میلیمتر ریل داخلی قوس ۵۰ میلیمتر پائینتر از محور خط و ریل بیرونی ۵۰ میلیمتر بالاتر آورده میشود.

ابعاد واگنهای در نظر گرفته شده این خط که توسط یک شرکت چینی ارائه میگردد در شکل (۱) ارائه گردیده است. همچنین جدول (۱) مختصات نقاط مختلف بدنه واگن در حالت استاتیک و جدول (۲) مختصات بدنه واگن در حالت دینامیک را نشان میدهد. در شکل ارائه گردیده سه سطح مشخص گردیده است که شامل بدنه استاتیک واگن، بدنه دینامیک واگن باتوجه به حرکتهای مختلف بدنه اصلی باتوجه به سیستم تعلیق و فنربندی واگن و فضای آزاد تجهیزات جهت جانمایی کلیه سازه ها در خارج از آن است. جهت برداشت و کنترل مختصات از دوربین Leica مدل 805Ultra ساخت کشور سوئیس استفاده شده است. که بزرگنمایی تلسکوپ آن ۳۰ برابر، دقت زاویه ای آن ۵ ثانیه و دقت اندازه گیری طول آن 5+2ppm میباشد. برای محاسبات و اندازه گیریهای لازم از نرم

افزار LandDesktop استفاده شده است. کلیه عملیات برداشت و محاسبات در سال ۱۳۸۸ انجام گرفته است. کلیه نقاط و اطلاعات برداشت شده داخل تونل براساس ابعاد واگن و نقاطی که کمترین فاصله بین بدنه تونل و قطار وجود داشته، با استفاده از دوربین فوق الذکر برداشت شده و با استفاده از تغییر سیستم مختصاتی پلان مسیر مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل (۱) واگنهای مورد استفاده در خط چهار متروی تهران

لازم به توضیح است که بلافاصله پس از انجام حفاری عملیات حفاظ موقت بر روی بدنه تونل انجام میشود تا از ریزش آن جلوگیری بعمل آید. پس از این کار با بستن قالبهای لازم عملیات تزریق بتن بر روی دیواره تونل بعنوان آخرین مرحله پایداری تونل انجام میشود که به این عملیات اصطلاحاً لاینینگ اطلاق میگردد.

جدول (۱) ابعاد بدنه استاتیک واگنهای خط چهار متروی تهران براساس شکل (۱)

Point	0	1	2	3	4	5	6	6 ₁	7	8	9	10	11	12 ₁	12 ₂
x	0	718	1220	1290	1300	1320	1320	1300	1300	1300	1205	1205	1190	1190	1190
y	3705	3695	3330	3265	3200	2200	1175	1175	915	730	495	365	365	160	230

Point	13 ₁	13 ₂	14 ₁	14 ₂	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
x	1401	1389	1401	1389	1200	1065	1065	815	815	713.5	713.5	680	680	0	
y	160	230	130	205	85	85	175	175	0	0	-28	-28	95	95	

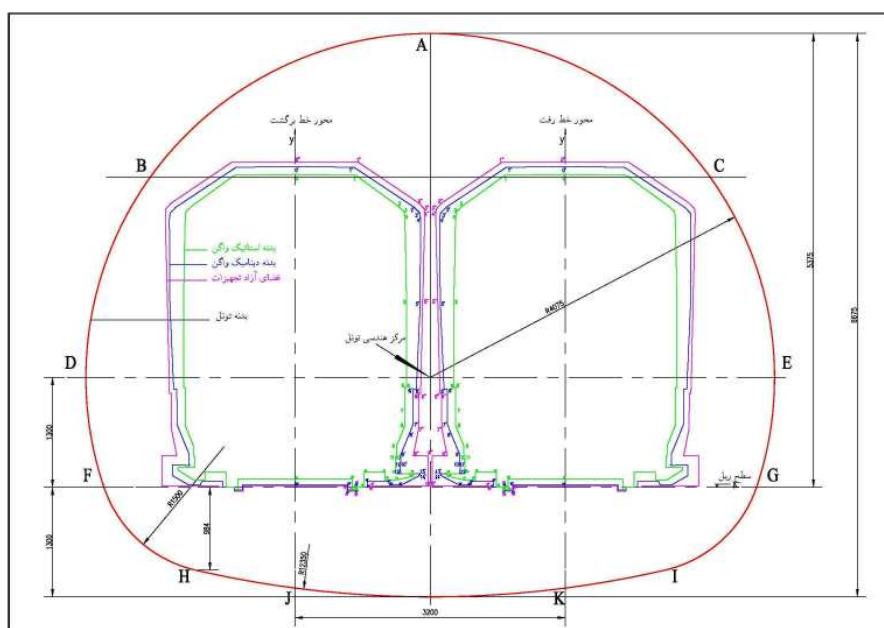
نقاط برداشت شده در هر مقطع باتوجه به شکل (۲) بگونه ای بوده که نقاط مهم آن از نظر فاصله با بدنه واگن را دربر بگیرد. این نقاط بصورت زیر انتخاب شده است :

- نقطه رأس تونل (نقطه A)
- دونقطه طرفین در ارتفاع ۱.۷ متر پائینتر از رأس تونل (نقطه B,C)
- دونقطه طرفین در ارتفاع مرکز تونل (نقطه D,E)
- دونقطه در ارتفاع سطح ریل (نقطه F,G)
- دونقطه در ارتفاع 0.985 متر پائینتر از سطح ریل (نقطه H,I)
- دونقطه بر روی کف در محور هرکدام از خطوط (نقطه J,K)

Point	0'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'	11'	12'	12'	
x	0	699	1411	1478	1486	1481	1436	1398	1396	1349	1253	1253	1243	1251	1251
y	3799	3789	3316	3246	3181	2179	1160	1160	743	623	390	260	260	160	257

Point	13'	13'	14'	14'	15'	16'	17'	18'	19'	20'	21'	22'	23'	24'	
x	1482	1450	1462	1450	1255	1120	1105	854	854	717.5	717.5	625	625	0	
y	160	260	130	137	25	25	65	65	0	0	-36	-36	25	25	

جدول (۲) ابعاد بدنه دینامیک واگنهای خط چهار متروی تهران براساس شکل (۱)



شکل (2) نقاط برداشت شده مقاطع عرضی تونل

نتایج :

در این مقاله هدف برآورد میزان محدود شدن فضای داخلی تونل جهت عبور ایمن قطارهای مترو بود. بنابراین مراحل برداشت و کنترل دیواره تونل باتوجه به سطح مقطع تونل استاندارد در منطقه اشاره شده در قسمت موارد و روشها بررسی و نتیجه مقایسه ای بین این دو ارائه گردیده است. جدول (۳) میزان جابجائی نقاط در هشت مقطع برداشت شده حداقل کیلومتر ۱۳+۶۹۲ تا ۱۳+۷۶۸ را نشان میدهد. از بین این مقاطع حداکثر میزان داخل زدگی لاینینگ تونل ۱۳۸ میلیمتر در کیلومتر ۱۳+۷۱۰ و حداکثر میزان بیرون زدگی آن ۱۷۱ میلیمتر در کیلومتر ۱۳+۷۰۲ نسبت به مقطع استاندارد میباشد. باتوجه به اینکه این مقدار داخل زدگی در قسمت تحتانی تونل و پائینتر از سطح ریل اتفاق افتاده مشکلی در عبور قطار ایجاد نخواهد شد. لیکن حداکثر میزان داخل زدگی که در نقاط بحرانی یعنی مقابل گوشه های واگن در ارتفاع ۳.۲۵ متر از روی ریل مشاهده گردیده، معادل ۵۴ میلیمتر بوده که باتوجه به اینکه در قسمت بیرونی قوس اتفاق افتاده مشکلی برای عبور واگن ایجاد نخواهد شد.

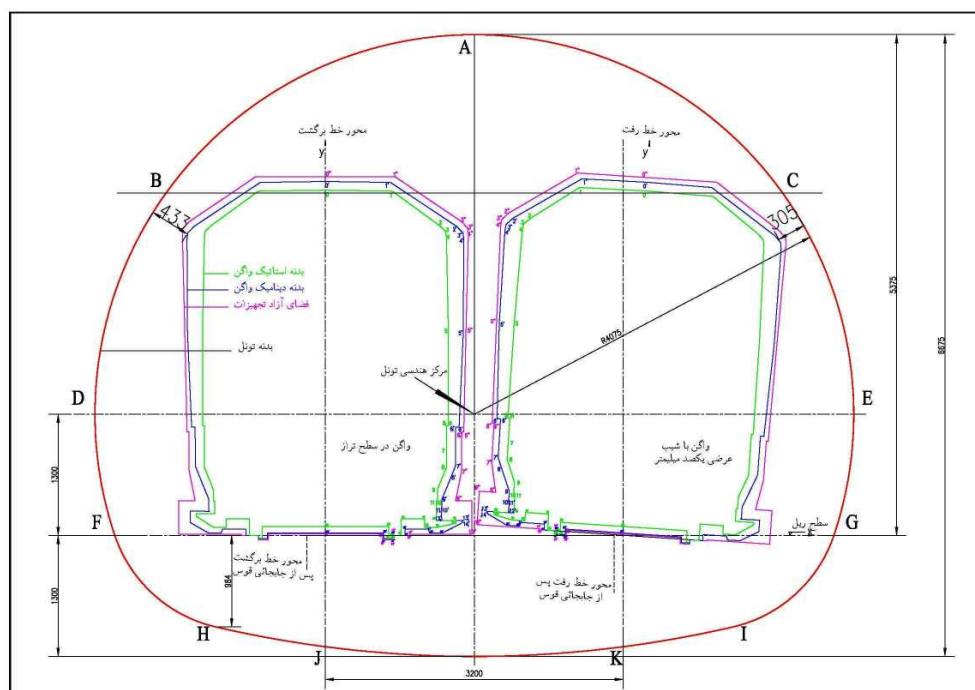
Section No.	Km	Inside(Mean) (m)	Outside(Mean) (m)
1	13+692.00	-0.040	0.078
2	13+702.50	-0.064	0.119
3	13+710.00	-0.074	0.078
4	13+719.00	-0.038	0.082
5	13+732.60	-0.096	0.090
6	13+749.00	-0.065	0.050

7	13+759.70	-0.056	0.071
8	13+768.80	-0.030	0.056

جدول (۳) میزان داخل زدگی و بیرون زدگی لاینینگ قوس باشعاع ۴۰۰ متر قبل از میدان

شهاد

شکل (۳) وضعیت قرارگیری بدنه واگنها را در قوس با شعاع ۴۰۰ متر قبل از ایستگاه میدان شهدا نشان میدهد. همانگونه که در شکل مشخص است در صورت قرارگیری محور خط در جای خود فاصله گوشه بدنه دینامیک بدون شیب عرضی ۴۳۳ میلیمتر خواهد بود که با اعمال شیب عرضی ۱۰۰ میلیمتر به روسازی این فاصله به ۳۰۵ میلیمتر کاهش خواهد یافت. بعبارت دیگر این فاصله ۱۲۸ میلیمتر کاهش یافته است.



شکل (۳) کاهش فاصله بدنه دینامیک واگن با دیواره تونل در قوس باشعاع ۴۰۰ متر علت تفاوت این مقدار با مقادیر محاسبه شده در قسمت بحث (یعنی ۲۱۶ میلیمتر) کاهش ارتفاع واگن بدلیل اعمال شیب عرضی و میل کردن گوشه های بحرانی آن بسمت عرض بیشتر تونل است.

بحث :

باتوجه به ابعاد متفاوت واگنهای مترو یکی از اساسی ترین مسائل عبور قطار از داخل تونل، بخصوص در قوسهای افقی مسیر است. علت اهمیت قوسهای افقی بدلیل اعمال شیب عرضی جهت خنثی کردن مقداری از نیروی جانب مرکز و راحتی مسافری است. اعمال شیب عرضی در خطوط باتوجه به شعاع قوس باعث میگردد بدنه واگنها در سمت داخلی قوس بسمت دیواره تونل نزدیکتر گردد. در صورتیکه احتمال خستگی فنرها و یا شکستگی آنها را نیز مدنظر قرار دهیم، در قوسهای باشعاع پائید احتمال برخورد گوشه داخلی واگن به دیواره تونل وجود خواهد داشت. بنابراین لازم است با استفاده از روشهای زیر این فاصله را بگونه ای افزایش داد تا عبور ایمن قطار تایید گردد:

- انتقال محور خطوط بسمت خارج قوس

- افزایش قطر داخلی تونل
- ساخت تونل با مقطع دوران یافته باندازه شیب عرضی

خط

روش دوم یعنی افزایش قطر داخلی تونل باعث افزایش هزینه های اجرایی ساخت تونل خواهد گردید. همچنین باتوجه به تغییر مقطع عرضی نیاز به تجهیزات خاص سازه ای در قوسهای افقی برای اجرای تونل میباشد. روش سوم نیز باعث ایجاد مشکلاتی در اجرای تاسیسات جانبی ریل از جمله داکتهای برق و محلهای عبور اضطراری افراد خواهد بود.

لذا تنها روش بهینه جابجای نمودن محور خطوط داخل تونل بسمت خارج قوس است. که میبایست باتوجه به شعاع قوس و

ارتفاع واگن و فاصله گوشه های واگن و بدنه

$$d = 11.8 * \frac{V^2}{R} - C$$
 تونل انجام شود. اعمال دور با استفاده از فرمول زیر انجام میشود :

که در آن V سرعت قطار برحسب Km/h و R شعاع قوس برحسب متر و C میزان کاهش شیب عرضی و یا شیب عرضی قابل تحمل برای مسافر با حداکثر ۸۰ میلیمتر است. حداکثر دور قابل

اجرا نیز ۱۰۰ میلیمتر در نظر گرفته میشود. بعنوان نمونه برای قوس با

$$d = 11.8 * \frac{80^2}{400} - C = 188.80 - C$$

شعاع ۴۰۰ متر مقدار شیب عرضی بصورت زیر محاسبه میشود :

از آنجائیکه حداکثر شیب عرضی قابل اجرای خطوط ۱۰۰ میلیمتر است، مشخص میگردد که این قوس توانایی عبور قطار با سرعت ۸۰ Km/h را ندارد. بنابراین با اعمال ۸۰ میلیمتر کسری شیب عرضی و حداکثر ۱۰۰ میلیمتر دور اجرایی، سرعت عبور قطار از روی این قوس با فرمول زیر بدست میآید :

$$V = \sqrt{\frac{(d+C)*R}{11.8}}$$

که با جایگذاری مقادیر فوق سرعت عبور از روی قوس با شعاع ۴۰۰ متر بصورت زیر محاسبه میشود :

$$V = \sqrt{\frac{(100+80)*300}{11.8}} = 78.1 \text{ Km/h}$$

در صورتیکه ارتفاع گوشه های واگن را ۱۱.۸۳ متر در نظر

بگیریم، مقدار جابجائی عرضی بر روی این قوس بصورت زیر محاسبه میشود :

$$\alpha = \text{Arctg}\left(\frac{50}{750}\right) = 3^\circ 48' 51''$$

$$L = 3.246 * \text{Sin}(\alpha) = 0.216^{\text{mm}}$$

بعبارت دیگر واگن بر روی قوسهای با شعاع ۴۰۰ متر حدود ۲۲ سانتیمتر به بدنه تونل نزدیکتر خواهد شد. فاصله حالت تراز بدنه دینامیک واگن تا دیواره تونل بر روی خط بدون شیب عرضی ۴۳.۳ سانتیمتر در نظر گرفته شده است (جدول (۱)).
باتوجه به اینکه در قوسهای افقی بدلیل نزدیک شدن واگنها به یکدیگر لازم است فاصله دو خط رفت و برگشت از یکدیگر افزایش یابد، بنابراین نیمی از این کاهش فاصله یعنی ۱۰ سانتیمتر به خط داخلی قوس اعمال میگردد. تا

$$a = \frac{L^2}{8R}$$

از طرف دیگر تونل امکان افزایش فاصله دو خط وجود داشته باشد. مقدار کاهش فاصله واگنهای دو خط رفت و برگشت بر روی قوس نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه میگردد :

که در آن L طول بین محور چرخهای واگن بر حسب متر و a طول وتر تا قوس (میزان کاهش فاصله بدنه واگنها) است. بنابراین بادر نظر گرفتن چرخهای واگن بعنوان تکیه گاه بر روی ریل میبایست حدود ۱۰ سانتیمتر بفاصله محورتامحور خطوط رفت و برگشت اضافه نمود. بعبارت دیگر فاصله محور خط داخلی قوس تا محور تونل ۱.۵ متر و محور خط خارجی قوس ۱.۸ متر خواهد بود.

تشکر و قدردانی :

در پایان لازم است از راهنمائیها و تلاشهای آقای مهندس خواجوی زاده جهت ارائه اطلاعات لازم و همچنین آقای مهندس پاکنهاد قدردانی بعمل آید.

مراجع :

۱. فیش UIC 703 اتحادیه بین المللی راه آهنهای دنیا.
مشخصات خطوط مسافربری سریع السیر

۲. فیش UIC779-9 اتحادیه بین‌المللی راه‌آهنهای

دنیا. ایمنی در تونلهای راه‌آهن

۳. آئین‌نامه راه‌آهن ایران (کامپساکس)

۴. ، مرحوم دکتر مهرآذین، هاشم. راه‌آهن ۱ روسازی و

برقی کردن. پائیز ۱۳۸۴ ص ۲۱۱-۲۰۷