

## بررسی معضلات انتقال قطعات دستگاه TBM قطار شهری مشهد، از درون فضای شهری و ارائه راهکار اجرایی آن با رویکرد مهندسی سازه

مصطفی قلیچی<sup>۱\*</sup>، محمد مهدی سروش<sup>۲</sup>، علی جلیلی<sup>۳</sup>، سید مهدی رسولی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، سازه، موسسه مهندسی رهاب، گروه تخصصی قائم (Mostafa.ghelichi@gmail.com)

۲- کارشناسی ارشد، عمران، موسسه مهندسی رهاب، گروه تخصصی قائم

۳- کارشناسی ارشد، مکانیک سنگ، موسسه مهندسی رهاب، گروه تخصصی قائم

۴- کارشناسی ارشد، عمران، موسسه مهندسی رهاب، گروه تخصصی قائم

### چکیده

استفاده از تجهیزات مدرن در ساخت و سازه‌های شهری در کنار مزایایی همچون افزایش کیفیت کار، کاهش آسیب‌ها و خسارات وارده و افزایش سرعت کار معایبی نیز خواهد داشت. عمده تاسیسات زیربنایی شهری یا به دلیل عمر زیاد و یا عدم پیش بینی آینده توسط طراحان، در تعامل با این تجهیزات مدرن دارای نواقصی می‌باشند. در تحقیق پیش رو به بررسی مسائل و مشکلات مطرح شده حین عملیات انتقال قطعات دستگاه TBM قطار شهری مشهد از مسیر خط ۲ به مسیر خط ۳ پرداخته شده است. یافتن مسیر بهینه و دارای کمترین موانع یکی از مهمترین دغدغه‌های تیم فنی می‌باشد. همچنین در این مسیر سازه‌هایی همچون تونل انتقال انرژی شهری، سازه لینک ارتباطی خط ۲ به ۳ قطار شهری، عرصه میدان شهدا و همچنین کانال جمع آوری آبهای سطحی و لوله گاز وجود داشت که در این تحقیق کلیه سازه‌های مذکور از جهت توانایی در باربری سازه‌ای با نرم افزارهای SAP2000، PLAXIS2D و ETABS کنترل گردید و راهکارهای لازم جهت تقویت این سازه‌ها به منظور عبور سنگین‌ترین قطعات دستگاه ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: انتقال قطعات دستگاه TBM، قطار شهری مشهد، ETABS, SAP2000, PLAXIS2D.

### ۱- مقدمه

با پیشرفت علم مهندسی هر روزه با مسایل و مشکلات جدید روبرو می‌گردند. دستگاه حفاری TBM قطار شهری مشهد پس از اتمام حفاری ۱۴,۵ کیلومتری مسیر خط ۲ برای شروع حفاری در مسیر خط ۳ می‌بایست به نقطه شروع منتقل گردد. قطعات دستگاه پس از دمونتاز با طی مسافتی نسبتاً طولانی به نقطه شروع منتقل می‌شوند. در این مسیر با توجه به وجود سازه‌های مختلف زیرزمینی می‌بایست از نظر باربری و انتقال نیرو به سازه‌ها کنترل‌های لازم انجام گردد [۲،۱].

مهمترین معارض موجود در مسیر که نیاز به کنترل داشتند به شرح زیر می‌باشد [۳]:

- ۱- کانال انرژی
- ۲- سازه سه راهی خط ۲ و خط ۳
- ۳- عرصه میدان شهدا
- ۴- کانال جمع آوری آبهای سطحی

## ۵- لوله گاز فشار قوی

جهت انتقال دستگاه TBM به خط ۳ قطار شهری نیاز می‌باشد با استفاده از یک دستگاه بوژی قطعات TBM حمل گردد. ابعاد بوژی برابر ۳\*۱۵ متر می‌باشد که دارای ۱۰ محور و هر محور نیز دارای ۴ جفت چرخ است. در مجموع وزن بوژی برابر ۵۰ تن می‌باشد [۴]. همچنین مشخصات و وزن قسمت‌های مختلف دستگاه به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۱: مشخصات وزنی دستگاه TBM

نام قطعه	وزن (تن)	طول (متر)	عرض (متر)	ارتفاع (متر)
یونیت درایو (سیستم محرکه)	۱۱۰	۵,۳۵	۵,۵	۲,۲۳
کاترهد	۱۵۰	۱۰,۱	۱۰,۱	۲
شیلد بالایی جلو	۷۰	۹,۳۶	۴,۷	۳,۴
شیلد پایینی جلو	۷۶	۹,۳۶	۵,۳	۳,۴
شیلد بالایی میانی	۸۰	۹,۳۵	۴,۳۷	۳,۸
شیلد پایینی میانی	۹۱	۹,۳۶	۵,۶۱	۳,۸

بنابراین حداکثر باری که بر روی سازه لینک قرار می‌گیرد برابر مجموع وزن کاترهد و بوژی می‌باشد. وزن کاترهد برابر ۱۵۰ و وزن بوژی برابر ۵۰ تن می‌باشد.

## ۲- نوع خاک

گزارش مکانیک خاک منطقه طبق گزارش ارائه شده توسط آزمایشگاه ژئوتکنیک به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۲: نمایش پارامترهای مهندسی لایه‌های خاک

Layer No.	Description	Depth (m)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\omega$ (%)	$N_{SPT}$	$C'$ (kg/cm <sup>2</sup> )		$\varphi'$ (deg.)	$C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )		$\phi_v$ (deg.)
0	Over Burden	0-3	--	--	--	--	--	--	--	--	--
I	CL-ML	3-10	16.5	18	20	0.35		25	0.75	18	
II	SC-SM	10-14.5	16.8	0-15m	10	0	32				
				15-25m	17						
				40-45m	26						
III	CL-ML	14.5-40	16.5	14.5-32m	20	14.5-18m	0.65	25	14.5-18m	1	18
				32-40m	13	18-40m	0.20		18-40m	0.45	

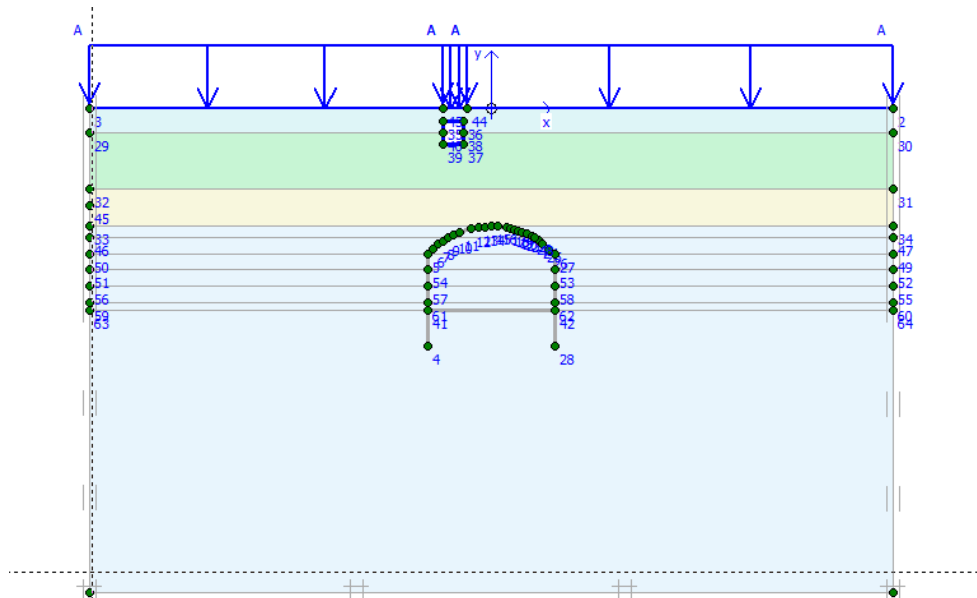
  

Layer No.	Description	Depth (m)	$E_{proposed}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$C_c$	$C_s$	$e_0$	K (cm/s)	$\nu$	$\psi$ (deg.)	$K_h$ (kg/cm <sup>3</sup> )
I	CL-ML	3-10	120	0.09	0.016	0.70	$5 \times 10^{-6}$	0.35	0	4.4
II	SC-SM	10-14.5	10-14.5m	700	--	--	--	0.30	2	--
			33-45m	600						
III	CL-ML	14.5-40	15-25m	200	0.11	0.019	0.67	$5 \times 10^{-6}$	0.35	0
			25-33m	120						

### ۳- مدل سازی

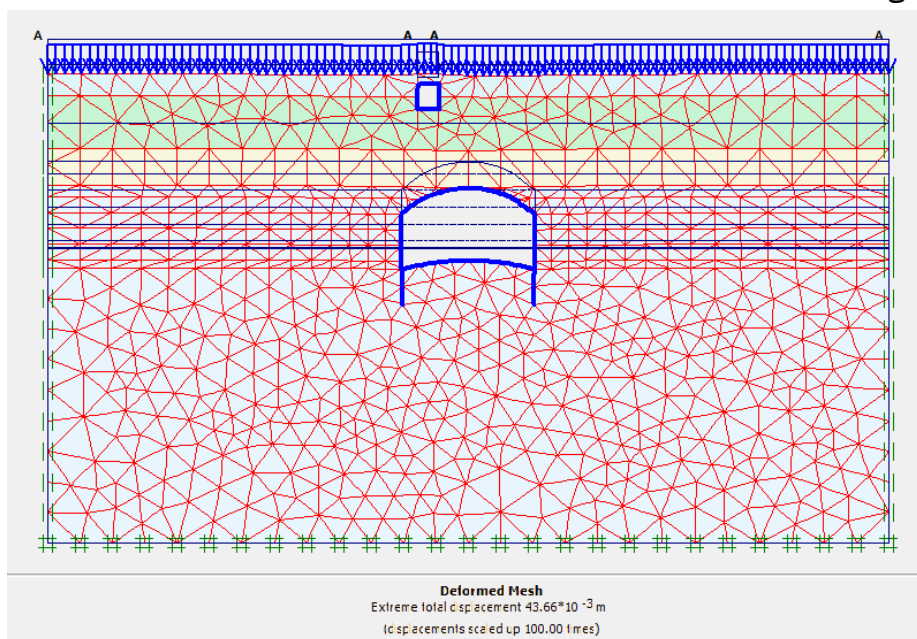
#### ۳-۱- سازه سه راهی بین خط ۲ و ۳

جهت تعیین اثرات گذشتن از سطح خیابانی که بر روی سازه سه راهی قرار گرفته است ابتدا مدل سازی در نرم افزار PLAXIS صورت می‌پذیرد. اعضای سازه‌ای بتنی با المانهای پلیت مدل شدند و مشخصات خاک طبق گزارش موجود وارد گردید. در شکل (۱) مدل ایجاد شده نمایش داده شده است.



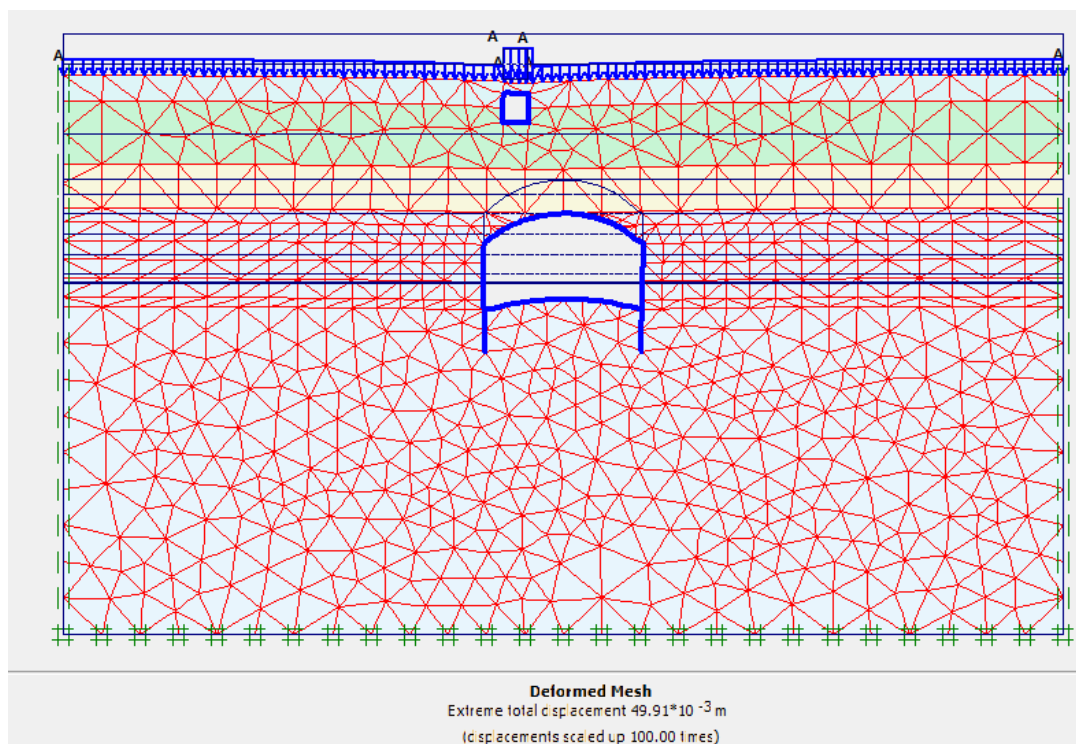
شکل ۱: نمایش مدل ساخته در نرم افزار Plaxis

در حالت معمول بار سطح خیابان معادل ۲ تن بر متر مربع در نظر گرفته شده است که این بار در حالت گذر دستگاه به ۵ تن بر متر مربع در محدوده گذر بوژی افزایش داده شده است. شکل (۲) میزان جابجایی حداکثر ایجاد شده قبل از عملیات انتقال را نمایش می‌دهد.



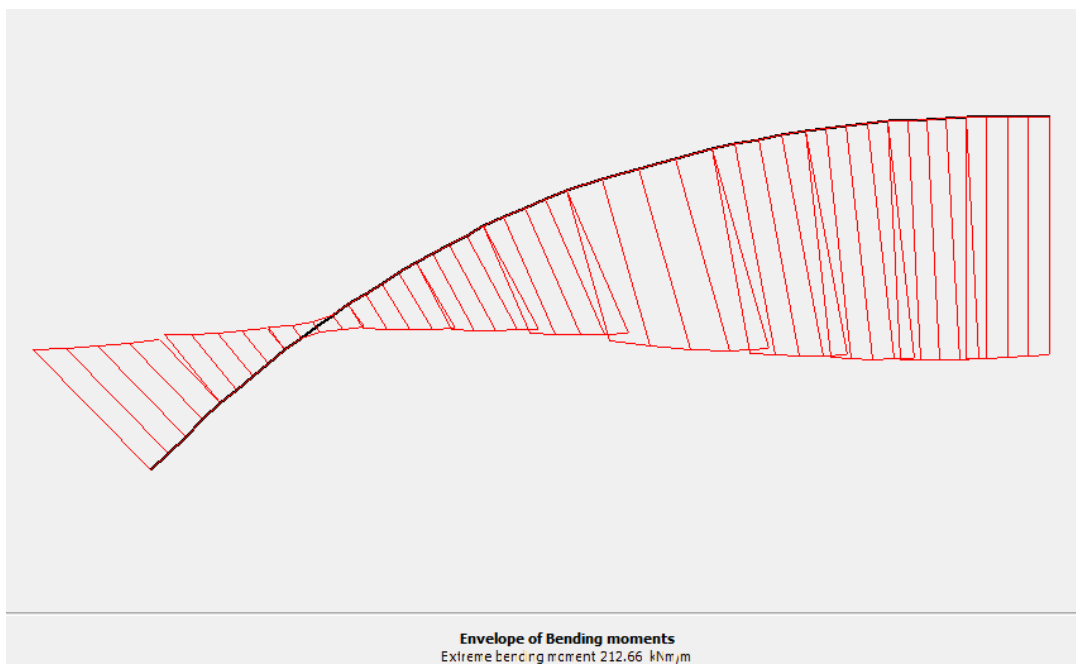
شکل ۲: نمایش میزان جابجایی حداکثر (۴,۳ سانتی متر)

در مورد مشابه شکل (۳) میزان جابجایی حداکثر را در زمان انتقال دستگاه و گذر از سطح خیابان نمایش می‌دهد.



شکل ۳: نمایش میزان جابجایی حداکثر در زمان انتقال دستگاه از سطح خیابان (۴,۹ سانتی‌متر)

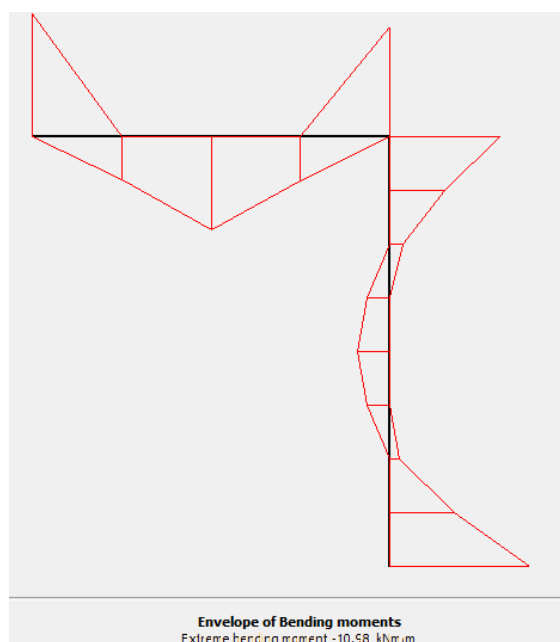
بنابراین مشاهده می‌شود پارامتر میزان نشست تهدیدی برای سازه لینک ارتباطی محسوب نمی‌شود. میزان لنگر خمشی وارده بر ریب قبل از انجام عملیات انتقال در شکل (۴) نمایش داده شده است. بنابراین مشاهده می‌شود پارامتر میزان لنگر خمشی نیز تهدیدی برای سازه لینک ارتباطی محسوب نمی‌شود.



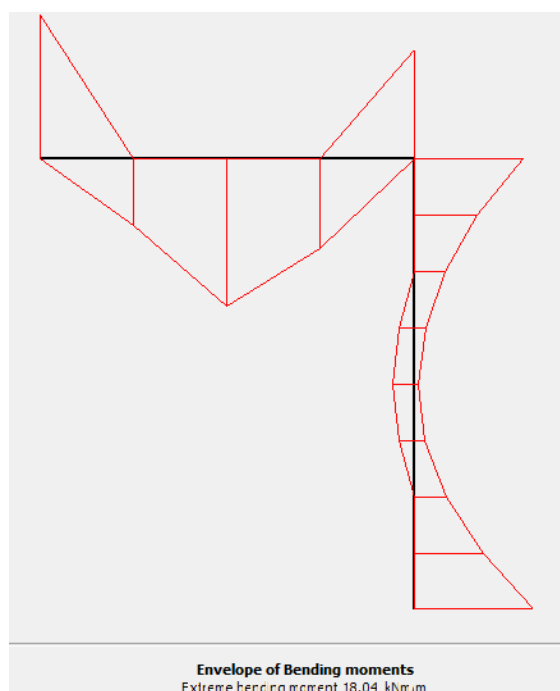
شکل ۴: نمایش میزان لنگر خمشی موجود در ریب قبل از انتقال (212 KNm/m)

### ۳-۲- کانال انرژی

کانال انرژی احداث شده از مقطع بتن مسلح با ضخامت ۳۰ سانتیمتر می‌باشد. سازه کانال نیز در نرم افزار مدل سازی شده و میزان جابجایی و تنش ایجاد شده در قسمت‌های مختلف کنترل می‌گردد. میزان لنگر موجود در جداره و سقف کانال انرژی قبل از عملیات انتقال در شکل (۵) نمایش داده شده است. همچنین میزان لنگر خمشی موجود در جداره و سقف کانال انرژی هنگام انجام عملیات انتقال در شکل (۶) نمایش داده شده است.

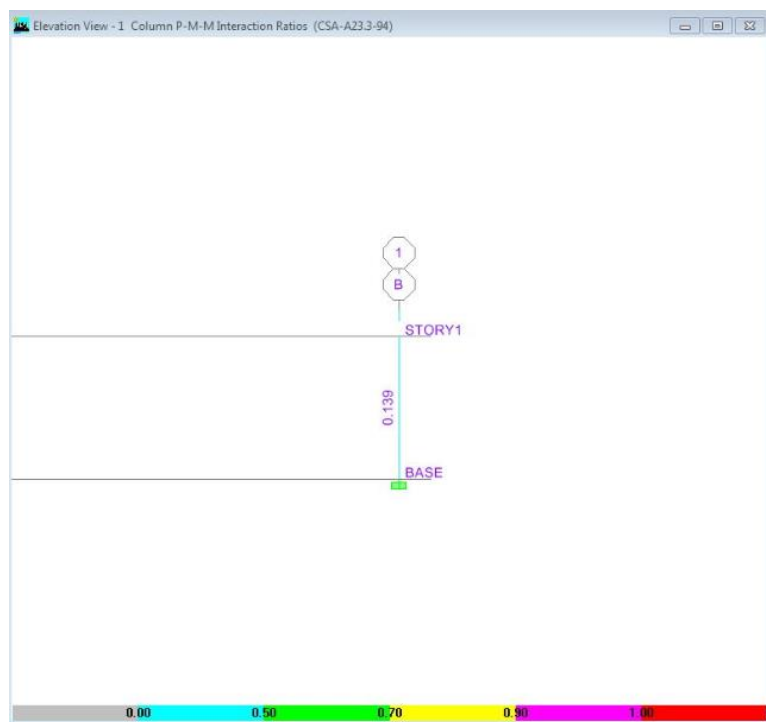


شکل ۵: نمایش لنگر خمشی موجود در جداره و سقف کانال انرژی قبل از انجام عملیات انتقال (10.98 KNm/m).



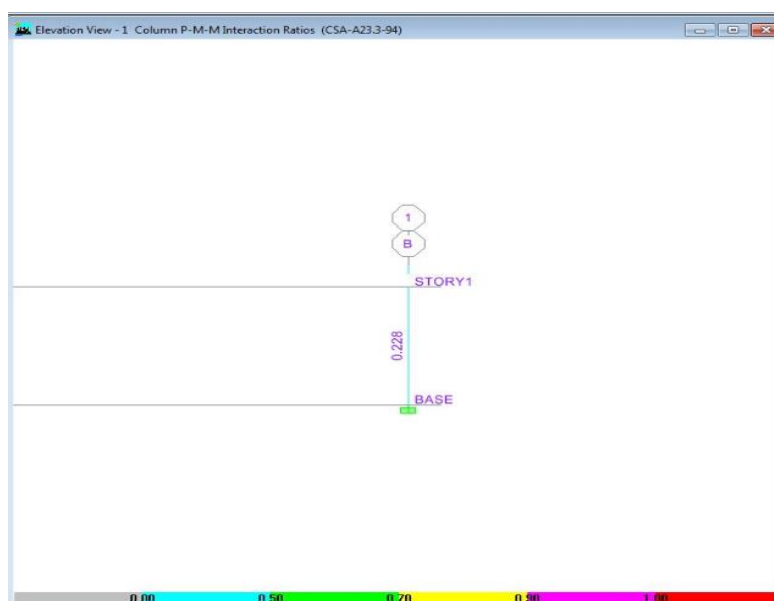
شکل ۶: نمایش لنگر خمشی موجود در جداره و سقف کانال انرژی قبل از انجام عملیات انتقال (18.04 KNm/m)

بنابراین مشاهده می‌شود میزان لنگر حداکثر در سازه کانال انرژی رشد قابل توجهی خواهد داشت. بنابراین نیاز می‌باشد ظرفیت مقطع سقف و دیوار کانال در اثر این افزایش بار کنترل گردد. لذا با مدل سازی مقطع در نرم افزار CSA Column این کنترل انجام گردید. شکل (۷) نمایش میزان ظرفیت مقطع قبل از انجام عملیات انتقال را نمایش می‌دهد.



شکل ۷: ظرفیت مقطع قبل از عملیات انتقال

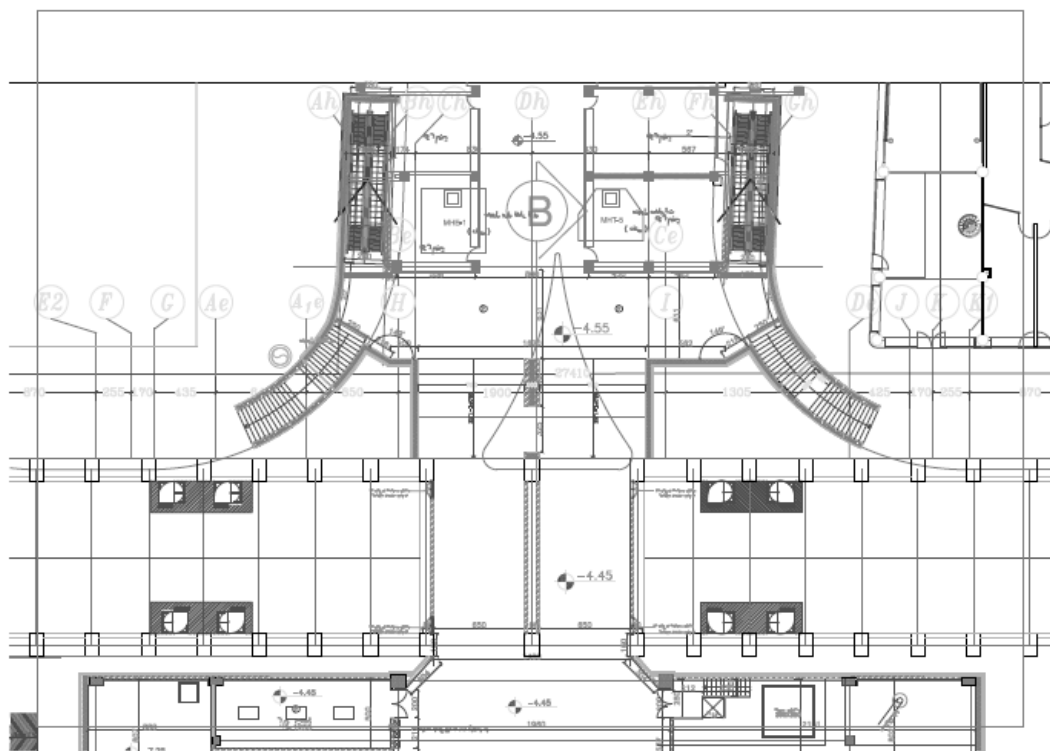
همچنین در شکل (۸) میزان ظرفیت مقطع در اثر افزایش بار نشان داده شده است. بنابراین با مقایسه دو شکل (۷) و (۸) مشاهده می‌گردد ظرفیت مقطع کفایت افزایش تنش ایجاد شده در آن را دارا می‌باشد.



شکل ۸: ظرفیت مقطع هنگام انجام عملیات انتقال

### ۳-۳- عرصه میدان شهدا

ورودی خیابان بین میدان توحید و میدان شهدا به دلیل احداث راه دسترسی از پیاده رو به فضای زیرین عرصه میدان شهدا، فضایی خالی می‌باشد که بوسیله سیستم سازه‌ای دال تیر نگهداری شده است. این سیستم می‌بایست جهت عبور دادن قطعات TBM کنترل گردد. تصاویر شکل‌های (۹) تا (۱۱) این موضوع را نشان می‌دهند.



شکل ۹: نمایش محدوده فضای خالی زیر عرصه که محل عبور TBM خواهد بود

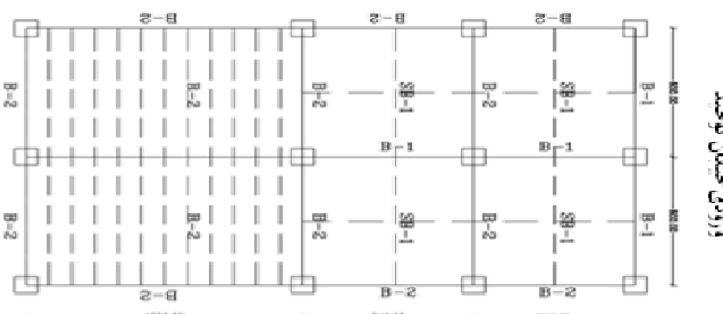
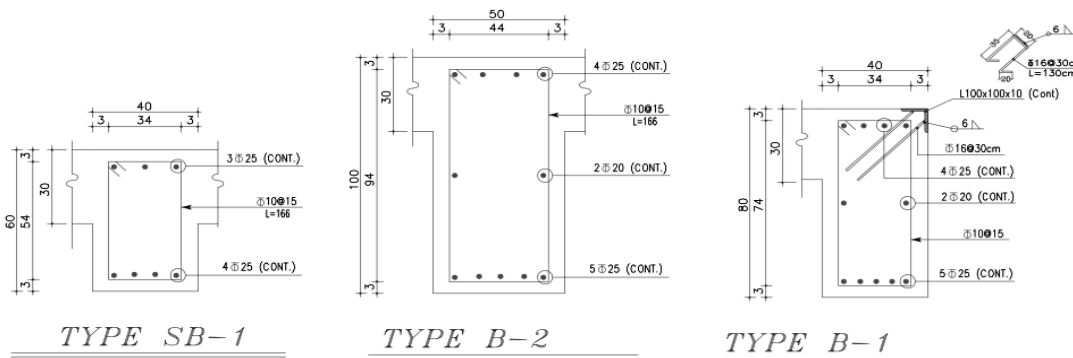


شکل ۱۰: نمایش سیستم تیرریزی زیر سطح خیابان



شکل ۱۱: نمایش سیستم تیرریزی ورودی خیابان توحید

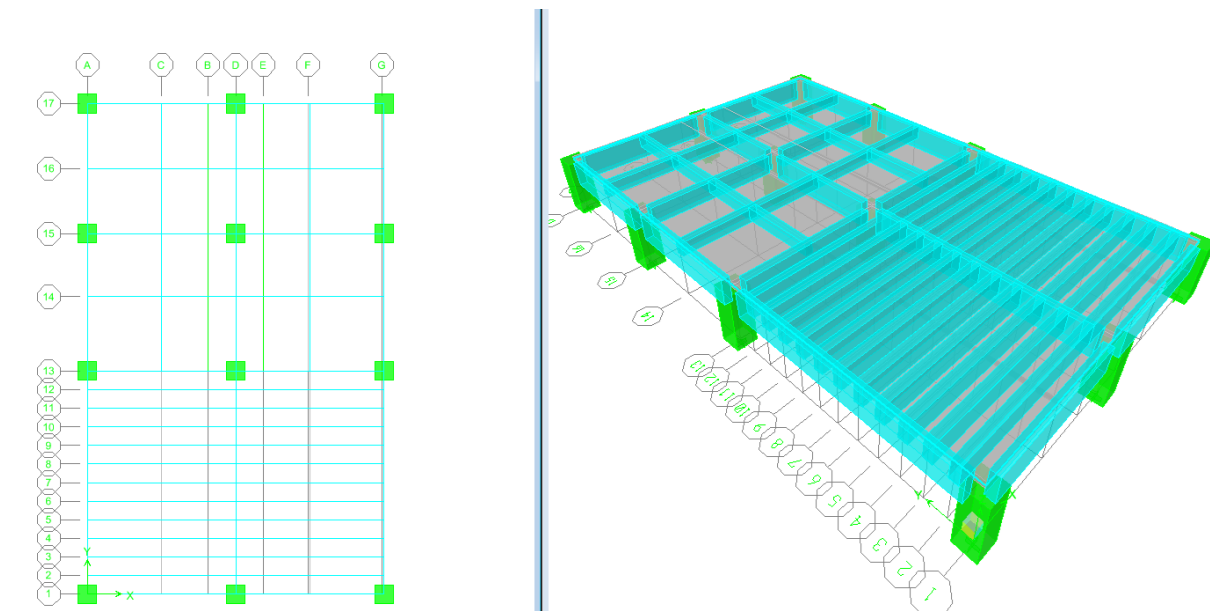
بار معادل کف سازی روی دال عرصه در جهت اطمینان  $1 \text{ ton/m}^2$  در نظر گرفته شد و به صورت گسترده بر روی کلیه دالها قرار گرفت. همچنین بار معادل قطعات TBM و بوژی  $200 \text{ Ton}$  فرض شد که بر روی یک مستطیل با ابعاد  $15 \times 3 \text{ m}$  به صورت گسترده قرار گرفت. با فرض بوژی  $10$  محور بار هر محور  $20$  تن و بار هر جفت چرخ  $5$  تن به دست خواهد آمد. در تحلیل انجام شده سعی شد تا با جابجایی بار مستطیلی بر روی نواحی ممکن عبور دستگاه، بدترین شرایط ملاک قضاوت قرار گیرد. مقاومت فشاری بتن  $250$  کیلوگرم بر سانتی متر مربع فرض شده است. ضخامت دال در کلیه پانل‌ها  $30$  سانتی متر در نظر گرفته شده است. همچنین مقطع در نظر گرفته شده برای تیرها نیز در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل ۱۲: پلان تیپ بندی تیرهای سقف

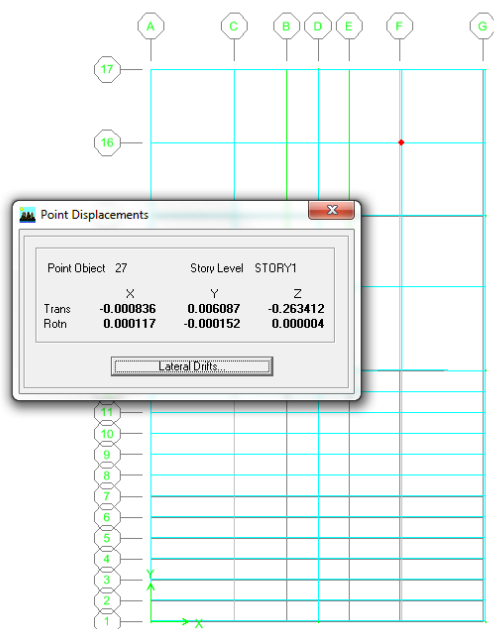


شکل (۱۳) نمایی از مدل ساخته شده در نرم افزار Etabs را نمایش می‌دهد.



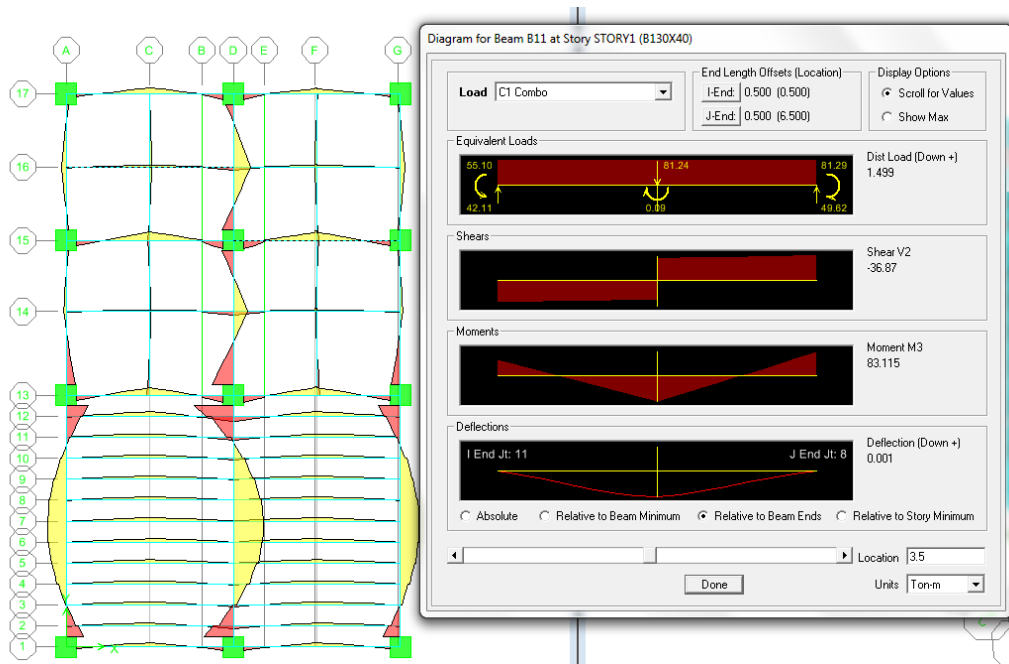
شکل ۱۳: مدل ایجاد شده سقف در نرم افزار ETABS

بیشترین جابجایی ایجاد شده در ترکیب بار مربوط به بار مرده و بار حمل قطعات در شکل (۱۴) نشان داده شده است.



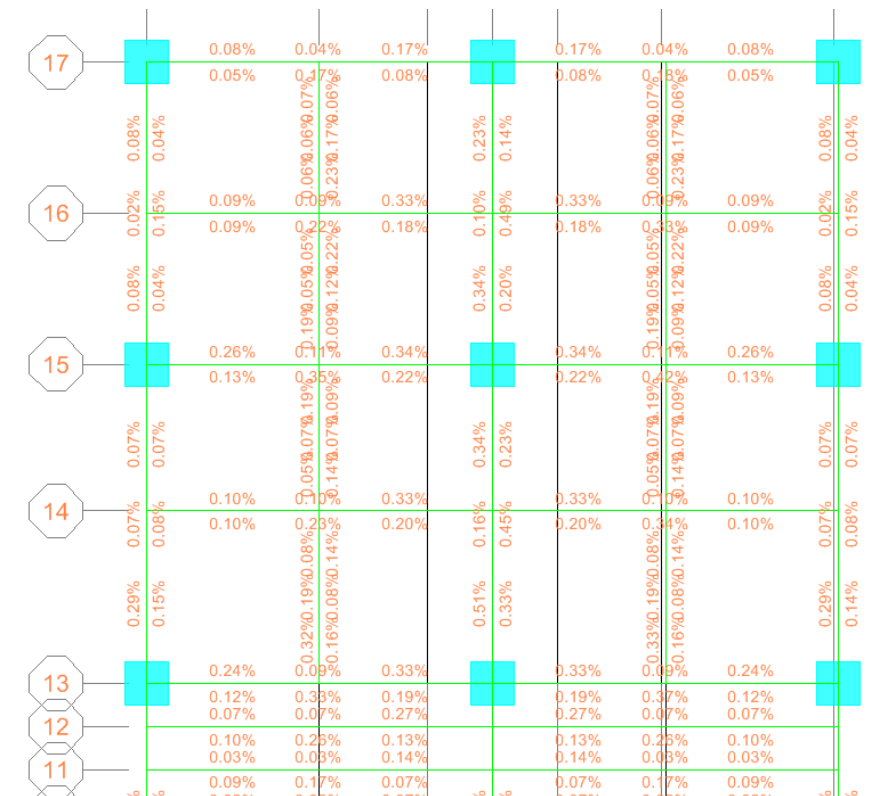
شکل ۱۴: نمایش بیشترین میزان جابجایی و مکان آن. (۰,۲۶ سانتی متر)

دیگرام لنگر در تیر سراسری وسط که بدترین وضعیت در آن دیده شد در شکل (۱۵) نمایش داده شده است.



شکل ۱۵: دیاگرام لنگر تیر سراسری وسط

درصد آرماتور مورد نیاز در تیرها در شکل زیر نمایش داده شده است. لازم به ذکر است با توجه به معلوم نبودن جزئیات آرماتور بندی تیرها، می‌توان با توجه به مقادیر کم درصد آرماتور مورد نیاز محاسبه شده قضاوت نمود که تیرهای اجرا شده دارای این درصد آرماتور بوده و تحمل اعمال این بار را خواهند داشت.



شکل ۱۶: نمایش درصد آرماتور مورد نیاز تیرها

میزان آرماتور سراسری در بالا و پایین دال سقف آرماتور ۱۶ با فواصل ۲۰ سانتی متر فرض شد که با این فرض همانطور که در شکل (۱۷) نشان داده شده است سقف نیاز به تقویت خواهد داشت. بنابراین جهت تقویت سازه عرصه طرح داربست بندی به شکل زیر پیشنهاد و اجرا گردید. شکل (۱۸) گذاشتن بوژی حامل کاترهد دستگاه از روی عرصه میدان شهدا را نمایش می‌دهد.



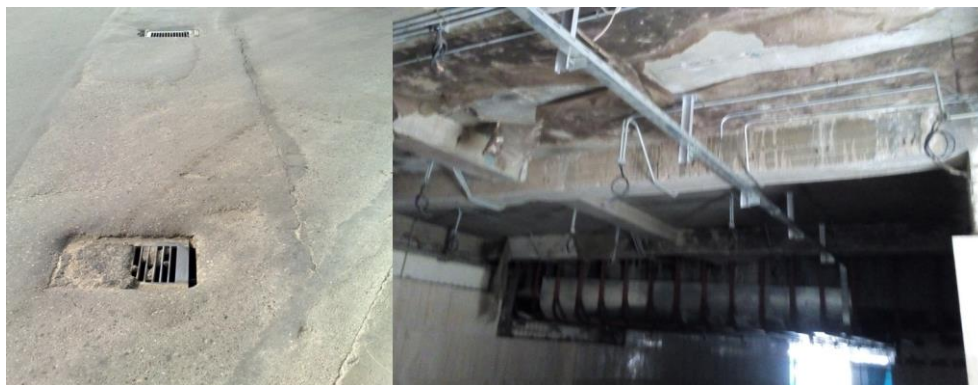
شکل ۱۷: داربست بندی زیر عرصه میدان به جهت تقویت سازه آن



شکل ۱۸: عبور بوژی حامل کاتر از روی عرصه میدان شهدا

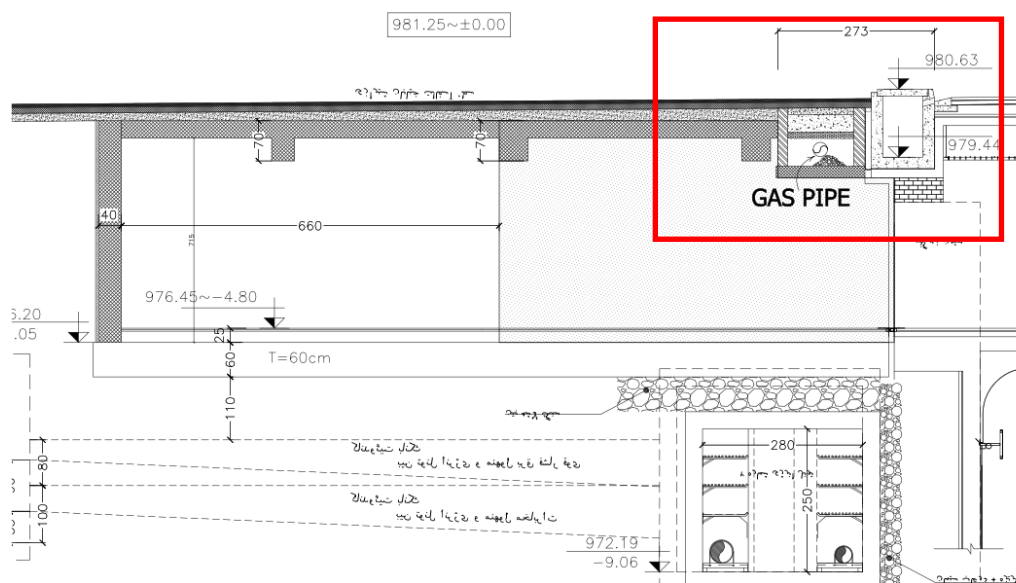
### ۳-۴- کانال جمع آوری آبهای سطحی

در ابتدای ورودی خیابان توحید یک کانال جمع آوری آبهای سطحی اجرا شده است که با رفتن به طبقه ۱- قابل مشاهده می‌باشد. شکل (۱۹) این کانال را از سطح خیابان و از طبقه زیرین آن نمایش می‌دهد.



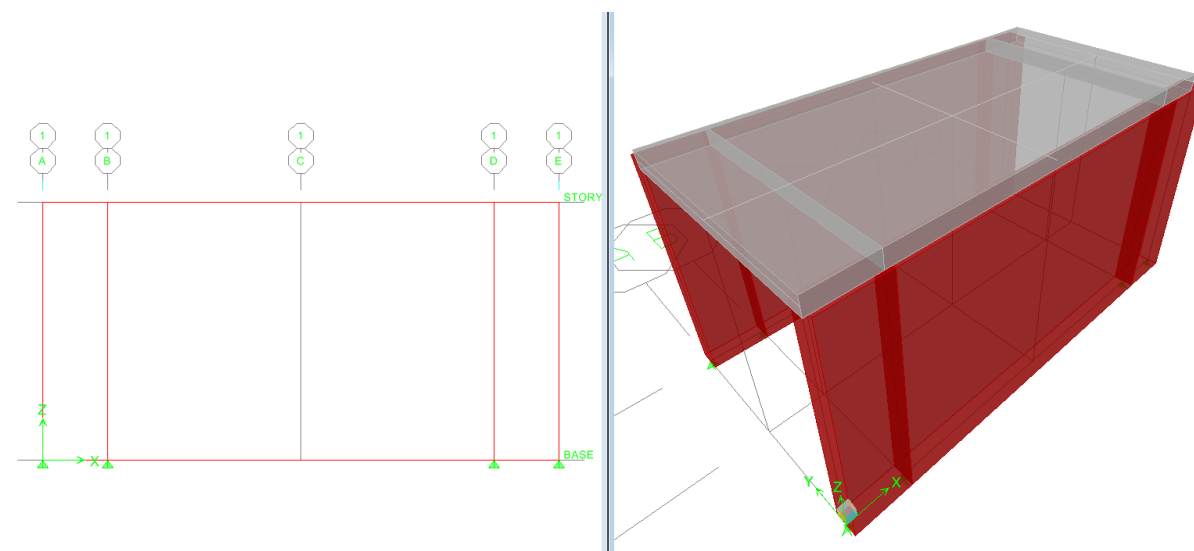
شکل ۱۹: نمایش کانال جمع آوری آبهای سطحی

مشخصات این کانال طبق نقشه شکل (۲۰) در نظر گرفته شده است.



شکل ۲۰: نمایش کانال جمع آوری آبهای سطحی (زیر خیابان)

جهت کنترل کانال آب مذکور مدل آن در نرم افزارهای ETABS و SAFE ایجاد و تحلیل گردید [۵]. شکل (۲۱) نحوه مدل سازی را نشان می دهد. لازم به ذکر است کنترل مقطع کانال با در نظر گرفتن ضخامت ۱۵ سانتی متر برای سقف و ۲۰ سانتی متر برای دیوارهای آن انجام شد. بنابراین گذر قطعات دستگاه از این کانال مشکلی ایجاد نمی نماید.



شکل ۲۱: مدل کانال آب ساخته شده در نرم افزار ETABS



#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه امکان عبور دادن قطعات سنگین دستگاه TBM قطار شهری مشهد از روی سازه‌های موجود شهری بررسی گردید. سازه‌ها در نرم افزارهای ETABS, PLAXIS, SAFE مدل سازی گردیدند و میزان جابجایی و تنش اضافه ایجاد شده در آنها کنترل گردید. نهایتاً سازه مربوط به عرصه میدان شهدا با در نظر گرفتن ضریب اطمینان لازم ضعیف تشخیص داده شد که با اجرای طرح تقویت عبور از آن با ایمنی کامل صورت پذیرفت.

#### مراجع

- [۱] م. وفائیان، پیش بینی رفتار زمین‌های خاکی در اثر حفر تونل کم عمق، مجموعه مقالات اولین سمینار بین المللی خاک و مهندسی پی ایران، ۱۳۶۹.
- [2] Mahmutoglu Y. Surface subsidence induced by twin subway tunneling in soft ground conditions in Istanbul. Bull Eng Geol Environ; 2010.
- [3] Ocak I., Environmental effects of tunnel excavation in soft and shallow ground with EPBM: the case of Istanbul. Environ Earth Sci, p.347-352; 2009.
- [4] Chen R.P, Liu J.Z.w, Tang X.W. Ground movement induced by parallel EPB tunnels in silty soils. Tunneling and Underground Technology; 2010.
- [5] Potts D.M, Zdravkovic L. Finite element analysis in geotechnical engineering- Volume 1: Theory. Published by Thomas Telford Publishing, Tomas Telford Ltd, Heron Quay, London ;1999.