مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۳- شماره ۶ - سال ۱۳۹۷

www.ElitesJournal.ir

بررسی عددی تاثیر حفاری تونل خط ۲ متروی تبریز بر ساختمان بیمارستان امیر المومنین

سیاوش پیرعلیلو [۱]، جواد غفاری [۲*]

۱- کارشناس ارشد ژئوتکنیک داشگاه آزاد واحد مرند

۲- استادیار گروه عمران دانشگاه تبریز

* j.ghaffari@tabrizu.ac.ir

ارسال: دی ماه ۹۷ پذیرش: بهمن ماه ۹۷

چکیده

در مناطق پر جمعیت شهری مسیر تونلهای مترو به ناچار از زیر و یا از جوار ساختمانهای موجود عبور می کند که در بعضی موارد فاصله بین تاج تونل و پی ساختمان بسیار کم می باشد و ساختمانها قبلا بدون پیش بینی های لازم جهت احداث خط مترو و امثال آن احداث شده ا ست. در صورتی که حفاری تونل با کنترل و پیش بینی های لازم انجام نگیرد باعث ایجاد جابجاییها و تغییر شکلهایی در سطح زمین شده و آسیبهای سازه ای بر ساختمانهای اطراف وارد می کند. در این تحقیق پس از برر سی نشست سطح زمین نا شی از احداث ساختمان قبل و بعد از احداث تونل مترو با استفاده از روش تحلیل عددی و محاسبه میزان جابجاییها ناشی از نشست و آسیب های احتمالی مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعه موردی بررسی عددی حفاری تونل خط ۲ تبریز بر ساختمان بیمارستان امیر المومنین در نظر گرفته شده است . برای انجام تحلیلهای عددی از نرم افزار PLAXIS 3D TUNNEL استفاده شده است. نتایج حاصل از مدل سازی عددی نشان می دهد که با افزایش سطح مقطع پی ساختمان های که بعدا احداث می شوند نشست پی آن ها کمتر و یکنواخت تر خواهد بود ,و بررسی های نشست سطحی نشان می دهد که با افزایش عمق تونل نیز ، نشست های محاسبه شده به روش عددی نیز کاهش پیدا می کند و محدوده کانتور های تاثیر حفاری نیز بیشتر می شود ودر ضمن میزان نشست ناشی از حفاری تونل محدوده مورد مطالعه تاثیر قابل ملاحظه ای بر ساختمان بیمارستان ندارد.

کلمات کلیدی: حفاری تونل مترو، نشست سطحی، نرم افزار Plaxis 3D Tunnel، متروی تبریز.

۱- مقدمه

حفاری تونل با توجه به نیاز زندگی امروزی شهری و احداث ساختمان های بلند مرتبه در اطراف تونل و موجود بودن ساختمان ها با درحه اهمیت بالا از قبل از جمله موانعی می باشد ولی این امر مهم و قابل صرف نظر نمی باشد . با توجه به ضرورت موضوع و حرکت در روند توسعه شهری و اهمیت ابنیه تاریخی و بافت قدیمی شهر تبریز ، توجه به تاثیر حفاری این فضاری زیر زمینی بر محیط اطراف منجمله نشت سطح زمین خیلی مهم و ضروری است . ضرورت بررسی پدیده نشست سطح زمین در اثر حفاری مترو و تأثیر این پدیده بر روی این سازه های سطحی تکلیف و مسئولیت مجری این پروژه است . به طور کلی راه های محاسبه برآورد

نشست زمین و محیط اطراف تونل را در سه گروه تجربی، تحلیلی و عددی به شرح ذیل پیش بینی کرده ایم. روش های تجربی و تحلیلی برای تخمین نشست در زمین سطح آزاد ارائه و بررسی شده اند.

روش های عددی با توجه به استفاده از نرم افزار و روان بودن قضیه و راحت تر به نتیجه رسیدن و همچنین سرعت زیاد بودن روشهای محاسبه ، اثر بخشی بیشتری دارند. روش بررسی و تحلیل اجزا محدود(FEM) به عنوان یکی از بررسیهای عددی، این امکاه را به ما می دهد که پارامترها و عوامل مختلفی را درحفاری تونل که هیچ کدام از روش های تجربی و تحلیلی آن ها را در نظر نمی گیرند، بکار بگیریم .روش های عددی همچنین امکان تحلیل بررسی تأثیر متقابل حفاری تونل بر روی سازه های سطحی و زیرسطحی را برای تحلیل گر مهیا می سازد . برای تحلیل عددی در این تحقیق از مدل سازی سه بعدی با نرم افزار PLAXIS 3D TUNNEL استفاده شده است که بر اساس روش اجزا محدود بررسی می کند.

کاراکوس و فُول (۲۰۰۳) با در دست داشتن نشست های بر جای مشاهده شده در ایستگاه هیثرو واقع در لندن اثر حالت¬های مختلف حفاری تونل را بر نشست های سطحی زمین در حالت کرنش مسطح (دو بعدی) با نرم افزار ABAQUS مورد مطالعه قرار دادند. ایشان تاثیر روند سخت شدن لاینینگ بر نشست¬های سطحی زمین را ارزیابی نموده و نتایج را با نتایج عملی مقایسه کردند[۱].

حسنلو، (۱۳۹۲)، بررسی عددی تاثیر اجرای شمع های نگهبان در کاهش نشست های ناشی از حفاری تونل های متروی شهری تحقیقی انجام داده اند و مهمترین مشکل در این زمینه، تأثیر حفاری روی پی سازه های مجاور است.بر اساس نتایج این تحقیق برای کاهش نشست ساختمان های مجاور تونل از شمع های نگهبان استفاده شده است.در این روش شمع ها قبل از حفاری تونل و بین ساختمان های مجاور تونل و تونل اجرا می شوند. این تحقیق با استفاده از روش عددی اجزاء محدود وبا استفاده از نرم افزار PLAXIS 3D TUNNEL وبا در نظر گرفتن رفتار غیر خطی موهر کلمب برای خاک ، انجام شده است[۴].

قره داش و برزگر (۱۳۹۲) بررسی عددی تاثیر اندرکنش تونل- سازه‌ی سطحی بر نشست سطح زمین مورد تحقیق قرار داده اند و همچنین ضمن بررسی نمودارهای تغییرات فاصله‌ی جانبی بین تونل و ساختمان، مهم‌ترین نکته این است که افزایش فاصله‌ی جانبی، ابتدا افزایش نشست سطح زمین و سپس تاج تونل را به دنبال داشته و مکانیسم تغییر شکل تونل و تغییرات تنش قائم، با فاصله گرفتن از ساختمان، بر روند تغییرات موثر است. همچنین اثر لحاظ کردن این عوامل بر تغییر شکل نقاط متفاوت ساختمان و مقایسه‌ی آن با نتایج تحلیل‌های زمین بکر نیز ارائه شده است[۵].

بررسی های تجربی و تحلیلی پیش بینی نشستها در سطح زمین مربوط به تحلیل نشست در زمین دست نخورده می باشند. هرچند که در تحلیل های مهندسی، مسائل اغلب شامل اندر کنش بین ساخت حفاری تونل و دیگر سازه ها است. این قبیل شرایط شامل ساختمان های سطحی موجود (مانند ساختمان بیمارستان امیر المومنین)، سازه های زیرسطحی موجود (همانند کانل ها مخابراتی ، لوله کشیهای شهری) یا ساخت سازه های زیرزمینی پیچیده از قبیل ایستگاه های زیرزمینی مترو می باشند. واضح و نمایان است که بررسیهای تجربی و تحلیلی که ارائه شده در این گونه موارد دارای محدودیت هایی نیز هست .مدل سازی عددی امکان و بررسی تطبیق دادن اجزا مختلف مسائل تنش و کرنش در یک محیط تحلیل را فراهم می آورند .روش های عددی مختلفی بر اساس نظریه های محیط پیوسته و ناپیوسته ارائه گردیده اند. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در این تحقیق به صورت خاکی و ریزشی است محیط به صورت پیوسته فرض شده است؛ بنابراین روش عددی مورد استفاده روش اجزا محدود(FEM) است. Plaxis 3D Tunnel یک نرم افزاری قوی و اجزا محدود بوده و منحصرا به منظور تجزیه و تحلیل و محاسبه نشست و تغییر شکل و پایداری در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک مهیا ساخته است.

۲- معرفی پروژه خط دو متروی تبریز

خط ۲ قطار شهری از منطقه قراملک در غرب تبریز شروع شده و بعد از گذ شتن از خیابانهای قدس، قره‌آغاج، جمهوری، میدان دانشسرا، خیابان عباسی به شهرک باغمیشه می‌رسد. در ادامه به سمت شرق امتداد یافته و بعد از عبور از شهرک مرزداران در حوالی نمایشگاه بین المللی تبریز خاتمه می‌یابد. طول کلی این خط ۲۳ کیلومتر است[۶].

در مطالعات ژئوتکنیک تکمیلی، در محل هر ایستگاه یک یا دو گمانه دیگر نیز حفاری شده و نمونه‌های لازم برداشته شده است. به منظور مطالعات ژئوتکنیک تکمیلی خط ۲ قطار شهری تبریز، تعداد ۹۲ گمانه و ۳ چاهک حفاری شده است. در محل هر ایستگاه با احتساب گمانه مطالعات اول، به طور متوسط ۳ گمانه حفاری شده است. در این مقاله حد فاصل ایستگاه D2 واقع در خیابان قدس یا قره آغاج، ابتدای خیابان علامه امینی به طول ۶۰ متر از ایستگاه به طرف چهارراه قدس که نزدیک بیمارستان است انتخاب شده است. تراز تونل در عمق ۲۶/۶ متری قرار دارد.

۳- معرفی مقطع مدل سازی

در این بخش چگونگی تأثیر حفر تونل خط دو متروی تبریز بر ساختمان بیمارستان امیرالمومنین مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت ساختمان بیمارستان امیر المومنین در ایستگاه D2 را نشان می دهد.

شکل۱- موقعیت ساختمان بیمارستان نسبت به تونل مترو

جدول ۱- موقعیت مقطع مدل سازی شده نسبت به تونل

ساختمان	مساحت مقطع پی (m^2)	تعداد طبقه	کمینه فاصله بین محور تونل و ساختمان (m)	عمق تاج تونل از سطح زمین (m)
بیمارستان امیرالمومنین	۴۵۰۰	۵	۵۰	۲۰

۳-۱- خصوصیات لایه های خاک و مصالح مورد استفاده

پارامترهای ژئوتکنیکی لایه های خاک منطقه برای مدل رفتاری خاک سخت شونده، در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات مصالح لایه های خاک [۲]

پارامتر	واحد	مقادیر			
		لایه ۰-۶ متر	لایه ۶ -۱۴	لایه ۱۴ -۲۰	لایه ۲۰ <
مدل مصالح	-	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	**Hardening soil**
نوع رفتار مصالح	-	Drained	Drained	Drained	**Drained**
وزن مخصوص غیراشباع	kN/m^3	۱۷/۵	۱۷/۳	۱۶/۸	**۱۷**
وزن مخصوص اشباع	kN/m^3	۲۰	۱۹	۱۹	**۲۰**
E_{ur}	kN/m^2	۱۳۸۰۰۰	۵۵۵۰۰	۹۶۰۰۰	**۹۶۰۰۰**
E_{50}	kN/m^2	۴۶۰۰۰	۱۸۵۰۰	۳۲۰۰۰	**۲۰۰۰۰**
E_{oed}	KN/m^2	۴۶۰۰۰	۱۸۵۰۰	۳۲۰۰۰	**۲۰۰۰۰**
نسبت پواسون	-	۰/۳	۰/۳	۰/۳	**۰/۳**
زاویه اتساع	deg	۰	۰	۰	**۰**
چسبندگی	kN/m^2	۹۵	۳۳	۳۸	**۴۵**
زاویه اصطکاک	deg	۱۹	۲۳/۵	۲۲	**۲۵**

سگمنت توسط المان های حجمی معمولی مدل شده و پی ساختمان ها نیز با استفاده از المان صفحه ای مدل سازی شده است. خواص مورد نیاز برای تعریف سگمنت در حالت الاستیک، توسط پارامتر چگالی، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و ضخامت ارائه شده است (جدول ۳). در این مدل سازی پی ساختمان به صورت یک بار گسترده یکنواخت در نظر گرفته شده است. خواص بتن پی ساختمان ها نیز در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۳- خواص سگمنت های بتنی

پارامتر	واحد	نماد	مقادیر
شناسه	-	-	**بتن**
مدل مصالح	-	مدل	**Linear-elastic**
نوع مصالح	-	نوع	**Non-porous**
وزن مخصوص	kN/m^3	γ_{unsat}	**۲۵**
مدول الاستیسیته	kN/m^2	E_{ref}	**۳/۴×۱۰^۷**
ضخامت	m	d	**۰/۳۵**
ضریب پواسون	-	v	**۰/۱**

جدول ۴- خواص بتن پی ساختمان بیمارستان

پارامتر	واحد	نماد	مقادیر
شناسه	-	-	**بتن**
مدل مصالح	-	مدل	**Linear-elastic**
نوع مصالح	-	نوع	**Non-porous**
سختی محوری	kN/m^3	γ_{unsat}	4/1×۱۰^۷
سختی خمشی	kN/m^2	E_{ref}	6/86×۱۰^۷
ضخامت	m	d	1/4
جرم حجمی	kN/m	w	38/4

ضریب پواسون	-	ν	0/1

۲-۳- هندسه مدل

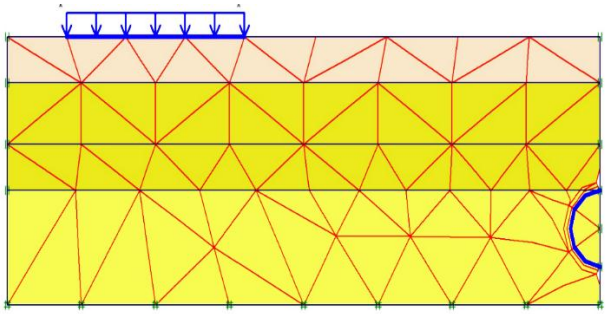
به منظور کاهش حجم مدل و کاهش زمان محاسبات از تقارن تونل استفاده شده و مدل به صورت نیمه، ساخته شده است .مدل سازی به صورت مقطع خاص برای ساختمان بیمارستان امیر المومنین در نظر گرفته شده و مدل سازی شده است. المان ۱۵ گرهی ایزو پارامتریک مورد استفاده برای ساخت مدل، شامل ۶ گره مثلثی در صفحه XY و ۹ گره در جهت Z است که قابلیت های بالایی در شبیه سازی پاسخ محیط های خاکی در مقابل تغییرات تنش دارد .المان های دیگر مورد استفاده در مدل، المان صفحه ای است که برای مدل کردن سپر دستگاه حفاری از آن استفاده شده است.

۳-۳- اعمال شرایط مرزی

برای اجتناب از تأثیر مرزهای مدل بر نتایج تحلیل، از یک شبکه اجزاء محدود با عرض ۱۰۰ متر و ارتفاع ۵۵ متر از تراز پائینی کف تونل از سطح زمین و فاصله اکس تونل از نزدیک ترین نقطه پی ساختمان بیمارستان ۶۰ متر می باشد استفاده شد. شرایط مرزی و اولیه که شامل کلیه بارها، نیروها و جابجایی های در محیط مدل است در هنگام مدل سازی باید به مدل اعمال گردد. به منظور اعمال شرایط مرزی نیز از مرزهای استاندارد موجود در نرم افزار استفاده شده است. در این نوع شرایط مرزی، جابجایی مرزهای کناری در جهت y آزاد بوده و در جهت x ثابت می شوند. مرز پایین نیز در همه جهات ثابت بوده و مرز بالایی آزاد گذاشته می شود. در این مدل سازی عددی حفاری تونل با استفاده از دستگاه TBM و مدل سازی تونل با استفاده از نرم افزار سه بعدی گرفته است ،پارامترهای زیر برای مدل سازی فازهای مختلف حفاری در نظر گرفته شده است.

جدول۵-مقادیر پارامتر های دستگاه TBM

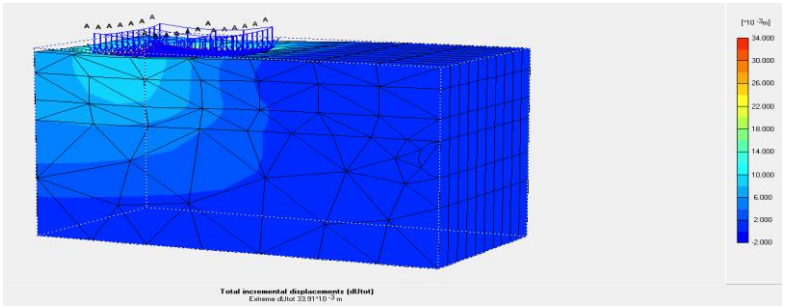
نام پارامتر	تاج تونل	کف تونل
فشار سینه کار	۳۵ کیلو پاسکال برمتر	۵ کیلو پاسکال بر متر
فشار تزریق	۳۵۰کیلو پاسکال بر متر	۳۸۰ کیلو پاسکل متر
فشار جک های پیشران	۵۸۵ کیلو پاسکال بر متر	----



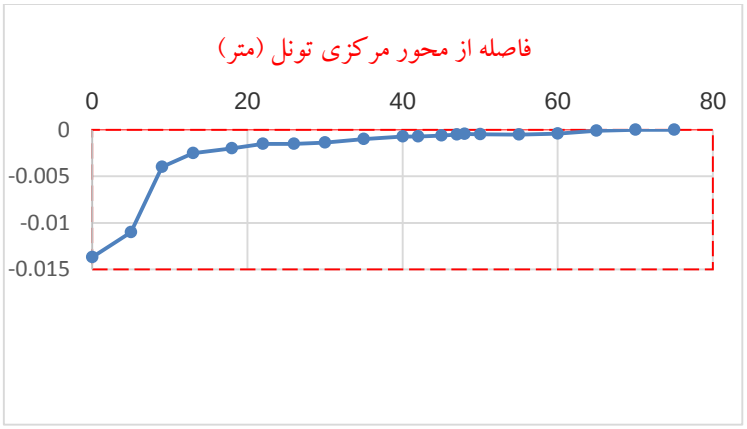
شکل ۲- شرایط مرزی اعمال شده به مدل ساختمان بیمارستان

۴- نتایج مدل سازی عددی

در شکل های ۴ و ۳ جهت نشان دادن تغییر میزان جابجایی و همچنین روند توزیع جابجایی در محل کنتورهای جابجایی حاصل از تحلیل توسط نرم افزار بعد از حفاری تونل و عبور از زیر ساختمان ها به صورت سه بعدی نشان داده شده است.



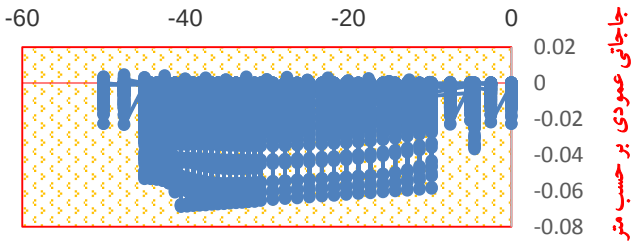
شکل ۳-کانتورهای جابجایی ساختمان بیمارستان قبل از حفاری (حداکثر جابجایی برابر ۳۳/۹۱ میلی متر)



شکل ۵- نشست عرضی ساختمان بیمارستان بعداز حفاری

۱-۴- تحلیل نشست عرضی سطح زمین

در شکل ۵ پروفیل نشست عرضی سطح زمین برای ساختمان بیمارستان در حضور سربار ناشی از ساختمان بیمارستان برای مقطع نشان داده شده است. شکل ۶ نشان می دهد که حداکثر نشست عرضی سطحی زمین در ناحیه میانی تونل اتفاق افتاده است و مقدار آن برابر ۳-۱۰×۶/۸۸ متر است. از آنجایی که موقعیت ساختمان در طول محور X ۳۰ متر است می توان گفت که ساختمان به صورت کامل در قسمت قوسی رو به پایین گودی نشست قرار گرفته است؛ بنابراین در صورت وارد آمدن خسارت ساختمان دچار کرنش کششی خواهد شد. در اینجا میتوان گفت که بیشتر بودن سطح مقطع ساختمان بیمارستان را و به دنبال آن صلبیت زیاد ساختمان بیمارستان را از دلایل کاهش نشست در شکل مدل سازی شماره ۶ است.



شکل ۶- نشست طولی سطح زمین

با توجه به این شکل ،بیش ترین جابجایی عمودی برای ساختمان بیمارستان در قسمت میانی ساختمان به دلیل طول زیاد آن درمحور x اتفاق افتاده است. همچنین از شکل مربوط به بیمارستان می توان مقاومت آن در مقابل نشست به دلیل صلبیت بالا را استنباط کرد؛ و اما بـ یش ترین جابجایی عمودی برای ساختمان بیمارستان در قسمت انتهایی نزدیک به مرکزتونل اتفاق افتاده است. همچنین انتهای دیگر این سازه دچار نشست جزئی شده است. با توجه به این شکل می توان نتیجه گرفت که هرچه طول ساختمان و صلبیت آن افزایش یابد نشست کمتر و توزیع جابجایی عمودی در پی ساختمان یکنواخت تر خواهد شد.

۲-۴- تحلیل نشست طولی سطح زمین

شکل ۶ طولی جابجایی طولی سطح زمین را در موقعیت ساختمان بیمارستان را نشان می دهند. . حداکثر جابجایی عمودی برای ساختمان بیمارستان در فاصله ۲۰ متری از جبهه کار رخ داده است که این تغییرات ملایم نشست طولی ساختمان بیمارستان با شیب کمتر را می رساند. طبق پروتکل حفاری و داده های شرکت پیمانکار، در این قسمت از پروژه به خاطر اهمیت ساختمان بیمارستان از مقدار فشار ۰/۳۵ سینه کار استفاده شده است. مقادیر پارامترهای نشست طولی را برای ساختمان بیمارستان نشان می دهد. طبق این نتایج مشاهده می شود که پیش نشست رخ داده و همچنین میزان نشست در انتهای پی ساختمان بیمارستان است؛ که البته این افزایش جابجایی به خاطر زیاد شدن عمق ساختمان و همچنین افزایش گرادیان فشار در جبهه کار تونل قابل انتظار است. در واقع این نتایج اهمیت ایجاد فشار سینه کار توسط سپر EPB به جبهه کار حفاری را می رساند که اگر این پارامتر به درستی انتخاب شود می توان از افزایش نشست در جلوی جبهه کار و پی پیشگیری کرد که در نتیجه جابجایی زمین در امتداد پی نیز کاهش خواهد یافت که این منجر به محدود کردن نشست نهایی و در نتیجه پایداری بیشتر تونل خواهد شد؛ بنابراین یکی از دلایل زیاد بودن نشست طولی در ساختمان بیمارستان به علت داشتن عمق زیاد و عدم مهار کافی فشار جبهه کار توسط اپراتور با توجه به افزایش گرادیان فشار زمین می توان عنوان کرد.

۵- تحلیل تأثیر جابجایی زمین بر روی ساختمان بیمارستان امیر المومنین

در این قسمت به بررسی آسیب و خسارت های احتمالی وارد بر ساختمان های ۵ طبقه در محل مقاطع مدل سازی شده با استفاده از سه روش پرداخته می شود. در ادامه به بررسی میزان خسارت با استفاده از سه پارامتر نشست پرداخته شده است.

۱-۵- ارزیابی خسارت با استفاده از نشست پی سازه

جدول ۶ مقادیر حداکثر جابجایی پی ساختمان را در سه محور x،y و z نشان می دهد.

جدول۶- مقادیر حداکثر جابجایی ساختمان های مدل سازی شده در مقاطع بعد از حفاری

ساختمان	$U\ m_x$ (m)	$U\ m_z$ (m)	$U\ m_y$ (m)	$U\ m_{tot}$ (m)
بیمارستان امیرالمومنین	$6/88\times10^{-3}$	$7/41\times10^{-3}$	$26/28\times10^{-3}$	$27/3\times10^{-3}$

داده های جدول نشان می دهد که میزان جابجایی پی بیمارستان بیش ترین جابجایی را در جهت قائم داشته اند.
صلبیت ساختمان ها بیش ترین مقاومت خود را در برابر جابجایی افقی از خود نشان می دهند از این رو سازه در جهت افقی جابجایی کمتری را متحمل شده اند.

ران کین در سال ۱۹۹۸ طبق جدول ۷ شدت آسیب دیدگی سازه ها را بر پایه نشست قائم آن ها دسته بندی کرد. طبق توضیحات این جدول سازه هایی که جابجایی قائم پی آن ها کمتر از ۱۰ میلی متر باشد خسارتی به آن ها وارد نمی شود و در صورت وارد شدن خسارت، خیلی جزئی و قابل چشم پوشی خواهد بود. از آنجایی که نشست قائم پی بیمارستان برابر۲۶/۰۷ میلی متر بوده و مقدار آن کمتر از ۱۰ میلی متر است بنابراین طبق اظهارات ران کین (Rankin) می توان گفت خسارتی بر این سازه در اثر حفاری وارد نمی شود.

جدول ۷- طبقه بندی آسیب های وارد بر ساختمان [۴]

شماره	دسته بندی خطر آسیب دیدگی	شدت آسیب دیدگی	توصیف نوع خسارت	S_{max} (mm)
۱	نمای ساختمان	قابل چشم پوشی	آسیب های احتمالی ظاهر ساختمان قابل چشم پوشی است	>10
۲	نمای ساختمان	کم	امکان آسیب جزئی به نمای ساختمان ،درحالی که خسارت های ساختاری بعید به نظر می رسد	10-50
۳	اساسی	متوسط	امکان آسیب به دیوارهای ساختمان و ترک خوردن آن ها وجود دارد	50-75
۴	نیازمند تعمیرات ساختاری	شدید	احتمال آسیب و خسارت اساسی به کل ساختمان زیاد است	<75

۲-۵- ارزیابی خسارت با استفاده از شیب منحنی نشست

یکی دیگر از مهم ترین پارامترها در بررسی تأثیر نشست بر روی ساختمان ها و پل ها، شیب منحنی نشست است. از جمله معیارهای معروف در زمینه بررسی این تأثیرات معیار کرامر (Cramer) است. طبق این معیار بعد از محاسبه شیب منحنی منحنی نشست می توان میزان مخاطره آمیز بودن حفر تونل در منطقه مورد نظر را تعیین کرد .با توجه به این معیار حداکثر شیب منحنی نشست برای سازه هایی چون پل 1/800 و ساختمان 1/900 است. جدول ۸ دسته بندی خسارت وارد بر ساختمان را بر اساس شیب منحنی نشست نشان می دهد.

جدول ۸- تأثیر شیب منحنی نشست بر روی سازه های سطحی [۳]

شیب گودی نشست	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{1000}-\frac{1}{600}$	$\frac{1}{600}-\frac{1}{400}$	$\frac{1}{400}-\frac{1}{300}$
شدت خسارت	خسارتی ندارد	خسارت خیلی کم	خسارت معماری کم	خسارت معماری متوسط

با رسم شیب منحنی نشست عرضی برای مقطع مدل سازی شده می توان مقدار شیب نهایی را برای آن بدست آورد. از آنجایی که این مقدار برای مقطع مربوط ساختمان بیمارستان امیر المومنین $\frac{1}{10000}$ بدست آمد می توان با قاطعیت گفت که این سازه در اثر حفاری تونل دچار آسیب و خسارت نمی شود.

۵-۳- ارزیابی خسارت با استفاده از کرنش پی ها

سان و کوردینگ در سال ۲۰۰۵ جدول ۹ را برای پیش بینی پتانسیل آسیب ساختمان ها بر اساس مقادیر کرنش های کششی ارائه کردند. در این جدول شدت خسارت های وارد بر سازه های سطحی بر اساس کرنش کششی وارد شده بر سازه بیان شده است.

جدول ۹- دسته بندی آسیب بر اساس کرنش کششی [۲]

شدت آسیب	محدوده کرنش کششی
قابل چشم پوشی	۰/۰ - ۰/۰۵۰
بسیار کم	۰/۰۵۰ -- ۰/۰۷۵
کم	۰/۰۷۵۰ -- ۰/۱۶۷
متوسط	۰/۱۶۷ -- ۰/۳۳۳
شدید تا خیلی شدید	> ۰/۳۳۳

در جدول ۱۰ مقادیر کرنش های εyy، εxx و εzz برای ساختمان مدل سازی شده بیمارستان به روش عددی بد ست آمده است.

جدول۱۰ -مقادیر کرنش های کششی پی ساختمان در مدل سازی عددی

ساختمان	ε_{xx}	ε_{yy}	ε_{zz}
بیمارستان امیر المومنین	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴

با توجه به کرنش های بد ست آمده برای سازه مقادیر آن ها کمتر از محدوده مخاطره آمیز دسته بندی روش سان و کوردینگ است. و می توان گفت که با این روش نیز آسیب احتمالی وارد بر سازه های مدل سازی شده ناچیز و قابل چشم پوشی است.

۶- نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده در این تحقیق نشان داد که:

مقادیر پیش نشست در جلوی کاترهد سپر حفاری با مدل سازی عددی برای ساختمان بیمارستان امیر المومنین ۰/۲۵ مقدار حداکثر نشست حاصل شده است. همچنین در صورت افزایش پیش نشست رخ داده در جلوی سپر EPB، به علت کم بودن فشار سینه کار، نشست در طول سپر افزایش یافته در نتیجه میزان نشست نهایی بعد از سگمنت گذاری و تزریق افزایش خواهد یافت.

میزان حداکثر نشست رخ داده در ساختمان بیمارستان امیر المومنین ۲۷/۳ میلی متر بوده است .درحالی که عمق تونل ۲۰ متر است. ساختمان بیمارستان امیر المومنین با وجود سطح مقطع خیلی زیاد و صلبیت بیشتر تأثیر بیشتری در کاهش جابجایی های رخ داده در سطح زمین داشته است ..

هرچه سطح مقطع پی ساختمان ها بزرگ تر و دارای سختی بیشتری باشد نشست پی سازه یکنواخت تر بوده و مقاومت بیشتری در برابر جابجایی ها از خود نشان می دهد. میزان نشست و کرنش ها در زیر ساختمان بیمارستان امیرالمومنین اندکی بدست آمد و طبق تقسیم بندی خسارات و آسیب های وارد بر سازه های سطحی با چندین روش ذکرشده شدت آسیب وارده ناچیز و قابل چشم پوشی برآورد شد.

با مقایسه پروفیل های نشست سطحی می توان مشاهده کرد که با یکسان بودن عمق تونل از مقطع اول به مقطع دوم ،نشست برآورد شده با روش تحلیلی افزایش پیدا کرده و محدوده تأثیر حفاری بیشتر شده است .درحالی که این روند برای روش عددی حالت معکوس دارد. که دلیل این روند را می توان در نوع خاک مقطع در سطح زمین توجیه کرد.

۷- مراجع

1. Karakus, M., Fowell, R.J., 2003. Effects of different tunnel face advance excavation on the settlement by FEM. Tunnelling and Underground Space Technology. 18, 513-523.

2. Franzius J. N.;2003;Behaviour of buildings due to tunnel induced subsidence, PHD Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine ,

3. Guglielmetti V., Grasso P., Mahtab A., Xu Sh.;2008;Mechanized tunnellin in urban areas and construction control, Taylor and Francis Group.: Design methodology

۴. بیات, حمید؛ حسنلوراد. محمود و حسنلو محمدرضا ، بررسی عددی تاثیر اجرای شمع های نگهبان در کاهش نشست های ناشی از حفاری تونل های متروی شهری ،(۱۳۹۲)، اولین همایش بین المللی و چهارمین همایش ملی عمران شهری، سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج

۵. قره داش .صبا و برزگر .میلاد ، بررسی عددی تاثیر اندرکنش تونل – سازه ای سطحی بر نشت سطح زمین ، سال (۱۳۹۱) ، مقاله ۵، دوره ۳، شماره ۱، تابستان و پاییز ۱۳۹۳، صفحه ۴۹-۶۴ دانشکده‌ی مهندسی معدن و متالورژی؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۶. سازمان قطار شهری تبریز و حومه. گزارش نهایی مطالعات ژئوتکنیکی. (۱۳۸۷) ، خط ۲ مترو به طول۲۲ کیلومتر