

دومین کنفرانس منطقه‌ای و یازدهمین کنفرانس تونل ایران

“تونل‌ها و آینده”

۱۱ تا ۱۴ آبان‌ماه ۱۳۹۴

ارزیابی روش‌های تعیین ریسک نشست ناشی از تونل‌سازی در محیط‌های شهری

حمیدرضا اشتری^۱، کامران گشتاسبی^۲، سید علیرضا آشفته^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی معدن مکانیک سنگ، شرکت خدمات مهندسی خط و ابنیه فنی راه‌آهن؛ hamid.as@outlook.com

^۲ دانشیار، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

^۳ دانشجوی دکترای مهندسی معدن و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران؛

st_a_ashofteh@azad.ac.ir

چکیده

گسترش روز افزون حفاری زیرسطحی در محیط‌های شهری به لحاظ محدودیت فضای کاربری و همچنین عدم نظارت کافی امکان ایجاد نشست و آسیب به سازه‌های سطحی می‌گردد که تاکنون این امر باعث ایجاد خسارات فراوانی گردیده است. در مطالعات پیش و حین ساخت در زمینه تحلیل ریسک نشست تاکنون روش‌های مختلفی از جمله استفاده از روش‌های دورسنجی و معیارهای تجزیه و تحلیل کیفی و کمی ریسک مورد بررسی قرار گرفته است. آنچه که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است مقایسه دو روش تحلیل ریسک نشست با استفاده از GIS و استفاده از روش محاسبات بر اساس مدل‌سازی عددی می‌باشد.

در استفاده از روش سیستم اطلاعات جغرافیایی، تشکیل بانک اطلاعاتی ساختمان‌ها و تعیین پروفیل در نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی و در محاسبات با استفاده از روش عددی با استفاده از نرم‌افزار Bentley Geostructural محاسبات مرتبط صورت پذیرفته است. اما تاکنون این دو روش مورد ارزیابی و مقایسه قرار نگرفته است و آنالیز نشست و رده‌بندی ریسک با این دو روش صورت پذیرفته است. پروفیل نشست در روش اول با استفاده از نرم‌افزار Plaxis محاسبه شده و سپس با استفاده از بانک اطلاعاتی در نرم‌افزار ARCGIS پیاده‌سازی شده است اما در روش دوم با استفاده از روش‌های تحلیلی مانند Ground loss و سپس آنالیز آن با تلفیق هندسه مشخصات ساختمان و تونل ریسک نشست مرتبط با ساختمان‌های پروژه مشخص گردیده است.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های عددی توصیف کمی و دقیق‌تری از تعیین ریسک نشست و در نتیجه کلاس آسیب به ساختمان مشخص می‌گردد همچنین می‌توان هر قسمت از ساختمان را که دچار آسیب می‌گردد طبقه‌بندی نمود.

واژه‌های کلیدی: ریسک نشست، سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش نیمه تجربی، محیط شهری، تونل‌سازی

تونل به دلیل قرارگیری در محیط خاکی و سنگی و ارتباط نزدیک سازه با زمین به عنوان محیط در برگیرنده بیش از سازه‌های دیگر به ویژگی زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی وابسته است همچنین خطرات ناشی از پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی و اثر آنها بر پیشروی تونل باید به دقت ارزیابی گردند و باید در زمینی مطمئن و مقاوم ایجاد شوند در حالی که شرایط درون زمین بسیار متغیر است و برخلاف سطح زمین امکان شناسایی و دسترسی به تمام نقاط آن نیز وجود ندارد. در بسیاری از موارد انتخاب زمین مناسب برای حفاری‌های زیرزمینی جهت احداث تونل فراهم نیست. در چنین شرایطی امکان ندارد که برای دستیابی به زمین مناسب‌تر مسیر آنها را به مقدار زیادی تغییر داد.

به طور کلی عامل‌های موثر در بروز نشست ناشی از تونل‌سازی عبارتند از:

۱- پارامترهای ژئوتکنیکی شامل مدول تغییر شکل زمین، زاویه اصطکاک داخلی، وزن مخصوص خاک، فشار پیش تحکیمی خاک در محل حفاری، نفوذپذیری زمین و ساختارهای زمین‌شناسی ساختمانی

۲- حضور سازه‌های سطحی و زیرزمینی و بارهای ناشی از ترافیک

۳- هندسه حفاری شامل ابعاد فضا، شکل حفاری و عمق حفاری

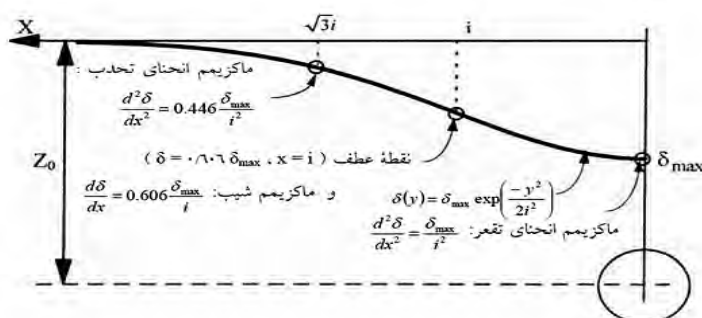
۴- پارامترهای مرتبط با نوع و چگونگی اجرای عملیات شامل فشار نگهدارنده جبهه کار، فشار تزریق، وزن تجهیزات پشت ماشین حفاری، وزن ماشین حفاری، نیروی اعمال شده به قسمت برش جهت پیشروی، سرعت حفاری، طول ماشین حفاری و شکل و ساختار سپر دستگاه حفاری.

۵- فشار یکی از عوامل موثر در نشست سطح زمین می‌باشد. انتظار می‌رود که استفاده از فشار کم منجر به نشست زیاد می‌شود. وجود سینه‌کار مختلط رس و ماسه، در بخش‌هایی که سینه‌کار از رسوبات دانه‌ریز رسی و آبرفت درشت‌دانه تشکیل شده به سبب تفاوتی که این دو لایه خاکی در نرخ نفوذ دارند، مقدار مصالح بیش تری از لایه رسی نسبت به لایه درشت‌دانه به ماشین کشیده می‌شود و چنین شرایطی لایه رسی در سقف باشد، می‌تواند سبب نشست زمین گردد. در محیط‌های شهری به دلیل وجود سازه‌های گوناگون از جمله ساختمان‌ها، تاسیسات و خیابان‌ها محدودیت‌های زیادی برای میزان نشست ناشی از ساخت تونل وجود دارد. اکثر این فضاها به علت نزدیک بودن به سطح زمین در بستر خاکی حفر می‌شوند. در چنین شرایطی پایداری جبهه کار یکی از مهم‌ترین و پرمخاطره‌ترین عوامل در حفاری تونل بوده و نیازمند بررسی و تحلیل دقیق است. [۱] [۴]

۲- بیان مسئله

۲-۱- محاسبات از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

خطوط تراز نشست برای همه مسیر نمی‌تواند فقط بر پایه مقاطع عرضی طراحی گردد. بنابراین برای پرکردن فضاهای خالی مناطق نشست در مقاطع عرضی محاسبه شده، محاسبات تجربی برای منحنی‌های نشست با استفاده از روش‌های کلاسیک مانند پک (۱۹۶۹) صورت می‌گیرد. برای بدست آمدن منحنی نشست با استفاده از محاسبات تجربی، ابتدا منحنی‌های نشست محاسبه شده با استفاده از نرم‌افزارهای عددی با منحنی‌های محاسبه شده تجربی مطابقت داده می‌شوند. در مرحله دوم، با استفاده از روش‌های این نتایج با گپ‌های بین مقاطع عرضی خطوط تراز نشست می‌تواند برای کل مسیر با استفاده از GIS ایجاد گردد. در هنگام درون یابی تکیه بر شرایط محلی خاک، عمق تونل و پارامترهای خاک و مسیر می‌باشد. در شکل زیر نقاط مهم در گودال نشست مشخص شده‌اند. در فاصله i تا محور تونل حداکثر شیب‌داری و در فاصله تقریبی $i\sqrt{3}$ نقطه حداکثر خمش قرار دارد. این نقاط برای ارزیابی تاثیر بر سازه‌های اطراف حائز اهمیت می‌باشند. [۲]



شکل (۱): گودال نشست گائوسی Peck (۱۹۶۹) [۲]

ارزیابی ریسک نشست برای هر سازه با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS صورت می‌پذیرد. پایگاه داده‌های کامل همه ساختمان‌ها شامل کلاس‌های سازه، رده‌های آسیب و کلاس ریسک در رابطه با نشست در سیستم اطلاعات جغرافیایی وجود دارد و کلیه ارزیابی‌های ریسک نشست با استفاده از این سیستم انجام می‌پذیرد. تمامی ساختمان‌ها در طول مسیر و در نزدیکی زون ریسک نشست درون تعدادی از کلاس‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. برای طبقه‌بندی هر ساختمان درون یک کلاس ساختمانی، اطلاعات فنی هر ساختمان باید به صورت جزئی برداری شده موجود باشد. کلاس

ساختمان می‌تواند براساس داده‌های موجود تعیین شود از قبیل: نوع سازه (استفاده) - نوع پی - عمق پی - تعداد طبقات زیرزمین - تعداد طبقات - نوع سازه - نوع دیواره - سن نسبی - وضعیت سازه

ترکیب اطلاعات فوق‌الذکر، کلاس ساختمان را بدست می‌دهد. تمایز کلاس ساختمان‌ها در ۵ دسته A تا E و از دامنه آسیب‌پذیری بسیار کم در اثر نشست منجر به آسیب در کلاس A تا آسیب‌پذیری شدید در اثر نشست منجر به آسیب در کلاس E می‌باشد. در جدول (۱) کلاس بندی ساختمان‌ها توصیف شده است.

جدول (۱): کلاس بندی ساختمان‌ها [3]

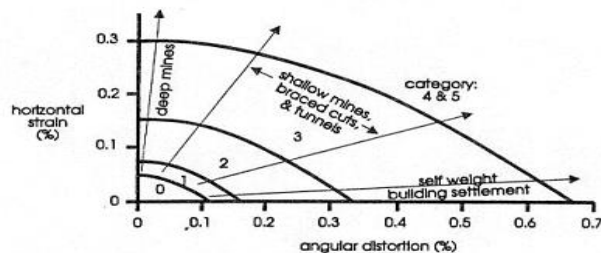
کلاس ساختمان	میزان شدت آسیب‌پذیری در مقابل نشست	توصیف
A	آسیب‌پذیری کم	ارتفاع ساختمان پایین (حداکثر یک طبقه) با یکپارچگی و پیوستگی بالای سازه‌ای و اهمیت کم
B	آسیب‌پذیری با مئدار ناچیز	ارتفاع ساختمان پایین (حداکثر یک طبقه) با یکپارچگی بالا و پیوستگی کم سازه‌ای و یا اهمیت بالا
C	آسیب‌پذیری متوسط	ارتفاع متوسط ساختمان (حداکثر سه طبقه) با یکپارچگی و پیوستگی بالای سازه‌ای و یا اهمیت کم
D	آسیب‌پذیری بالا	ساختمان (حداکثر سه طبقه) با یکپارچگی و پیوستگی کم و اهمیت بالا یا ساختمان‌های با بیش از ۴ طبقه با استحکام بالای سازه‌ای و اهمیت کم
E	آسیب‌پذیری خیلی زیاد	ساختمان با بیش از ۴ طبقه و یکپارچگی کم و اهمیا بالا و ساختمان‌های بسیار بلند با بیش از ۱۰ طبقه و ساختمان‌های با اهمیت خیلی بالا

به منظور تعیین آسیب ممکن برای هر ساختمان، نشست باید برای تغییر شکل هر ساختمان مشخص شود. در این رابطه، کرنش‌ها و چرخش‌هایی که در هر ساختمان رخ می‌دهند می‌تواند محاسبه شود. متعاقباً، آسیب به هر سازه می‌تواند تخمین زده شده و در دسته‌بندی آسیب قرار گیرد. برای طبقه‌بندی آسیب، طبقه‌بندی بوسکاردین و کوردینگ (۱۹۸۹) انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. طبقه‌بندی آسیب می‌تواند به صورت جدول زیر تشریح گردد:

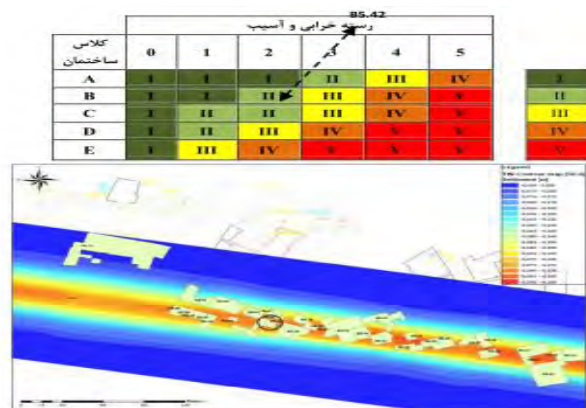
جدول (۲): دسته‌بندی آسیب برای طبقه‌بندی بعد از بوسکاردین و کوردینگ (۱۹۸۹) [۳]

دسته‌بندی آسیب	تشریح نوع آسیب	پهنای شکاف (mm)	Δ (cm)	ϵ_{lim} (%)	$\beta = \frac{\delta}{L}$
۰ قابل اغماض	ترک‌های مویی	۰/۱	۳ <	۰-۰/۰۵	$\frac{1}{300}$
۱ خیلی کم	ترک‌های ریز که به آسانی بابتونه کاری و رنگ‌آمیزی معمولی از بین می‌روند.	۱	۴ - ۳	۰/۰۵-۰/۰۷۵	$\frac{1}{240}$ تا $\frac{1}{300}$
۲ کم	ترک‌ها به آسانی پر می‌شود. احتمالاً به بتونه کاری و رنگ کاری نیاز می‌شود.	۳	۵ - ۴	۰/۰۷۵-۰/۱۵	$\frac{1}{175}$ تا $\frac{1}{240}$
۳ متوسط	بنامی‌تواند ترک‌ها را بازو تعمیر کند.	۵-۱۵ یا ۳ >	۸ - ۵	۰/۱۵-۰/۳	$\frac{1}{120}$ تا $\frac{1}{175}$
۴ شدید	به تعمیرات گسترده شامل برداشتن و جایگزینی بخش‌هایی از ساختمان	۲۵ - ۱۵	۱۳ - ۸	۰/۳ >	$\frac{1}{70}$ تا $\frac{1}{120}$
۵ خیلی شدید	کارهای تعمیراتی اساسی شامل ساخت مجدد بخشی از ساختمان یا کل ساختمان.	۵ >	۱۳ >	بیش از ۰/۳	$< \frac{1}{70}$

برای تعیین مقدار آسیب نشست برای هر ساختمان، هندسه و مکان ساختمان در طول (تفاضلی) نشست‌ها در محل ساختمان مربوطه مورد نیاز است. برای تعیین آسیب ممکن به سازه با توجه به جدول (۲)، کرنش‌های افقی و چرخش‌های نسبی ساختمان با توجه به نشست باید معلوم گردد. هنگامی که کرنش افقی و چرخش زاویه ای محاسبه گردید، دسته‌بندی آسیب با استفاده از نمودار شکل (۲) محاسبه شده و در انتها ماتریس ریسک تشکیل و با توجه به وضعیت آسیب و اهمیت آن، نوع ریسک مشخص می‌گردد و بصورت مناطق مشخص شده در شکل (۳) بصورت گرافیکی نمایش داده می‌شود.



شکل (۲): رابطه آسیب ساختمان‌ها با چرخش زاویه ای و کرنش افقی (بوسکار دین و همکاران ۱۹۸۹) [۳]



شکل (۳): زون‌های نشست در مجاورت ساختمان‌های مسیر احداث مسیر تونل در سیستم اطلاعات جغرافیایی [۲]

۲-۲- محاسبات از طریق روش‌های عددی

روش Ground Loss روشی نیمه تجربی بر پایه‌های نظری می‌باشد. این روش به صورت غیرمستقیم پارامترهای اولیه حفاری را در تحلیل (شامل سیستم نگهدارنده، پارامترهای مکانیکی تاثیرگذار بر حفاری) با استفاده از دو پارامتر جامع (ضریب k برای تعیین نقطه عطف و درصد افت حجم VL) معرفی می‌نماید. این پارامترها مستقلاً وضعیت گودال نشست را مشخص کرده و پس از سال‌ها تجربه بدست آمده‌اند. حداکثر میزان نشست (S_{max}) و محل نقطه عطف (L_{inf}) با عبارت زیر بیان می‌گردند:

$$L_{inf} = k \cdot Z \quad (1)$$

$$S_{max} = \frac{AVL}{100} \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot L_{inf}} \quad (2)$$

در اینجا A سطح مقطع ناحیه حفاری (مترمربع)، Z عمق نقطه مرکزی ناحیه حفاری (متر)، k ضریب برای محاسبه نقطه عطف (ثابت ماده) و VL درصد افت حجم می‌باشد. تعدادی از پارامترهای فوق مطابق با جداول (۴) و (۵) پیشنهاد گردیده‌اند:

جدول (۳): ضریب پیشنهادی جهت محاسبه نقطه عطف k [۵]

کوارتزیت	اسلیت رسی	رس بیش تحکیمی	رس تحکیم یافته عادی	خاک غیر چسبنده	خاک یا سنگ
۰/۸-۰/۹	۰/۶-۰/۸	۰/۶-۰/۷	۰/۵	۰/۳	مقدار k

جدول (۴): درصد افت حجم VL [۵]

روش حفاری متوالی	TBM	فناوری
۰/۸-۱/۵	۰/۵-۱	مقدار VL

براین اساس چهار نوع تحلیل در این روش می‌تواند جهت ساختمان ارائه گردد:

- (۱) تعیین ترک‌های کششی
- (۲) تعیین آسیب گرادسانی
- (۳) تعیین انحراف نسبی ساختمان‌ها (فرورفتگی و بالازدگی)
- (۴) تحلیل محدوده تعیین شده در ساختمان

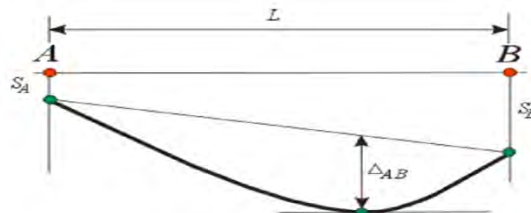
که مورد چهارم در این دسته می‌تواند به نوعی برتری در مقابل روش بیان شده در استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی داشته باشد. مقیاس محاسبه شده براساس جداول ذیل می‌باشد:

جدول (۵): مقیاس مورد استفاده در روش Ground Loss [۵]

دسته بندی آسیب	تشریح نوع آسیب	گرنش افقی (میلی متر)	شدت
ترک ریز	ترک ریز	۰/۲-۰/۵	۱:۱۲۰۰-۸۰۰
آسیب کم - ظاهری	ترک در گچ	۰/۵-۰/۷۵	۱:۸۰۰-۵۰۰
آسیب کم	ترک‌های ریز در دیوار	۰/۷۵-۱	۱:۵۰۰-۳۰۰
آسیب متوسط	ترک در دیوارها - آسیب به در و پنجره	۱-۱/۸	۱:۳۰۰-۱۵۰
آسیب زیاد	ترک‌های عریض در دیوارهای باربر و تیرها	۱/۸ >	۱:۱۵۰-۰

جدول (۶): مقیاس مورد استفاده در روش Ground Loss [۵]

انحراف نسبی نهایی				نوع آسیب	نوع سازه	
ESN 73 1001	Polshin a Tokar	Meyerhof	Burland and Wroth			
۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	برای طول به ارتفاع ۱-۰/۰۰۰۴ برای طول به ارتفاع ۵-۰/۰۰۰۸	ترک در دیوار	دیوار باربر غیر مسلح	
-	-	-	برای طول به ارتفاع ۱-۰/۰۰۰۲ برای طول به ارتفاع ۵-۰/۰۰۰۴	ترک در سازه‌های باربر		
شدت نسبی نهایی						
ESN 73 1001	Bjerrum	Polshin a Tokar	Meyerhof	Skempton		
	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{150}$	سازه‌های	سازه‌های قابدار و
$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{300}$	ترک در دیوار	دیوار باربر مسلح



شکل (۴): انحراف نسبی [۵]

در شکل (۴) S_A و S_B به ترتیب نشست در نقاط A و B می‌باشند و Δ_{AB} میزان انحراف نسبی بین نقاط A و B می‌باشد.

۳- محاسبات گودال نشست

۳-۱- روش سیستم اطلاعات جغرافیایی

در ابتدای کار برای تعدادی از ساختمان‌ها که اطلاعات ارزیابی و شناسنامه تعدادی از آنها تکمیل گردید. اطلاعات این ساختمان‌ها منطبق بر ساختمان‌های بر روی تونل‌های مترو شهری خط ۲ قطارشهری مشهد می‌باشد. شکل پروفیل گودال نشست با استفاده از کد اجزای محدود

PLAXIS تحلیل و بدست آمد سپس با ارزیابی از معیار بوسکاردین و کوردینگ در جدول (۳) دسته آسیب مشخص و با تلفیق کلاس ساختمان بر روی نمودار منطبق با شکل (۲) کلاس ریسک ساختمان‌ها که مقطع عرضی آنها مورد تحلیل قرار گرفت مشخص گردید در جدول زیر این مشخصات به تفصیل بیان گردیده اند:

جدول (۷): مشخصات نشست و کلاس ریسک ساختمان‌های مورد بررسی [۵]

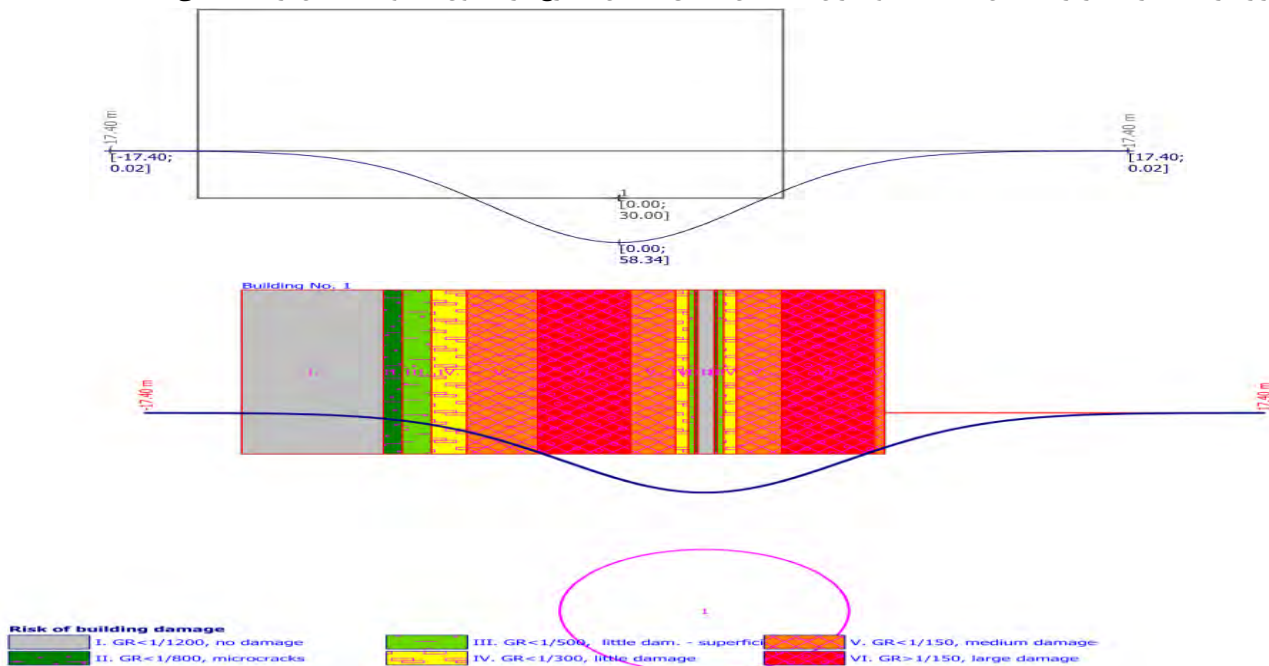
شماره	تعداد طبقات	حداکثر نشست در تراز پی (متر)	کلاس سازه	رسته آسیب	کلاس ریسک
۱	۵	۰/۰۶۵	D	۵	V
۲	۲	۰/۰۵۶	C	۴	IV
۳	۱	۰/۰۰۷	D	۳	III
۴	۴	۰/۰۵۱	D	۳	IV
۵	۲	۰/۰۴۸	A	۵	III/IV

۲-۳- روش عددی

جهت مقایسه و ارزیابی روش سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده از روش عددی و انجام محاسبات با ماژول Ground Loss می‌توان انواع نشست را محاسبه و پروفیل آنرا ترسیم نمود. آنچنان که در پیش ذکر گردید اطلاعات اولیه جمع‌آوری شده جهت تحلیل اطلاعات در ۵ ساختمان اصلی در مسیر احداث تونل شهری به نرم‌افزار داده شد که میزان نشست در هر ساختمان به همراه کلاس ریسک آن مشخص گردید. در روش Ground Loss با توجه به شکل گودال نشست می‌توان پروفیل عرضی ساختمان‌ها را منطقه بندی و تقسیم نمود و سپس کلاس ریسک را برای هر کدام از مناطق بطور مجزا محاسبه نمود. در این روش محاسبه براساس انحراف نسبی رخ داده در سازه انجام می‌گیرد بدینصورت که مناطقی از ساختمان با حداکثر انحراف نسبی در سمت رو به بالا و روبه پایین محاسبه شده و سپس از نقطه نظر آسیب سازه بحرانی‌ترین نقطه انحراف نسبی رو به بالا می‌باشد که به بازشدگی کششی ساختمان منجر می‌شود. شعاع تونل حفاری شده در حدود ۴/۵ متر بوده و فاصله مرکز تونل تا سطح زمین در حدود ۱۴/۵ متر بطور متوسط می‌باشد همچنین هیچ اثری از آب زیرزمینی در این محاسبات وجود ندارد.

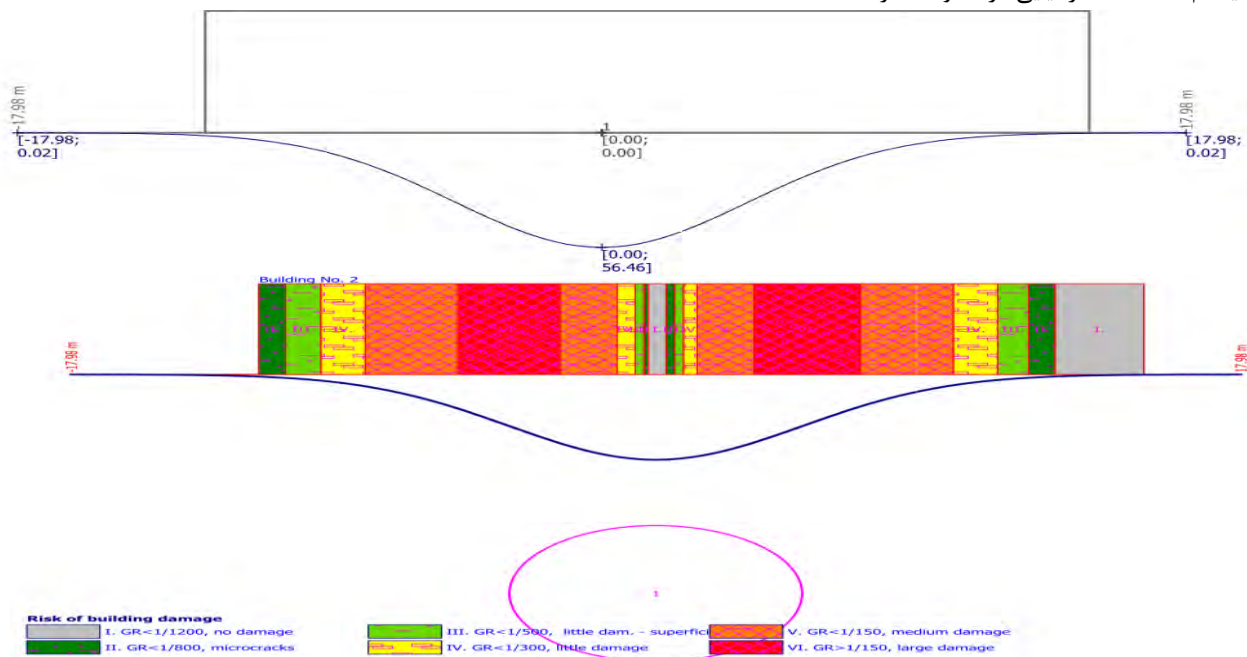
شکل پروفیل گودال نشست به همراه کلاس ریسک هر ساختمان که از طریق روش اخیر محاسبه شده است در شکل‌های (۵) تا (۹) نشان داده شده است.

الف) ساختمان شماره ۱: این ساختمان با توجه به محاسبات انجام شده نشست معادل ۵۸ میلی‌متر خواهد داشت که میزان اختلاف آن با روش سیستم اطلاعات جغرافیایی در حدود ۷ میلی‌متر است. این ساختمان دارای ۵ طبقه می‌باشد که دو منطقه از این ساختمان در معرض آسیب شدید قرار دارد که با رنگ قرمز مشخص شده است و میزان شدت آن مطابق مقیاس مندرج در جداول (۵) و (۶) بیش از ۱:۱۵۰ می‌باشد.



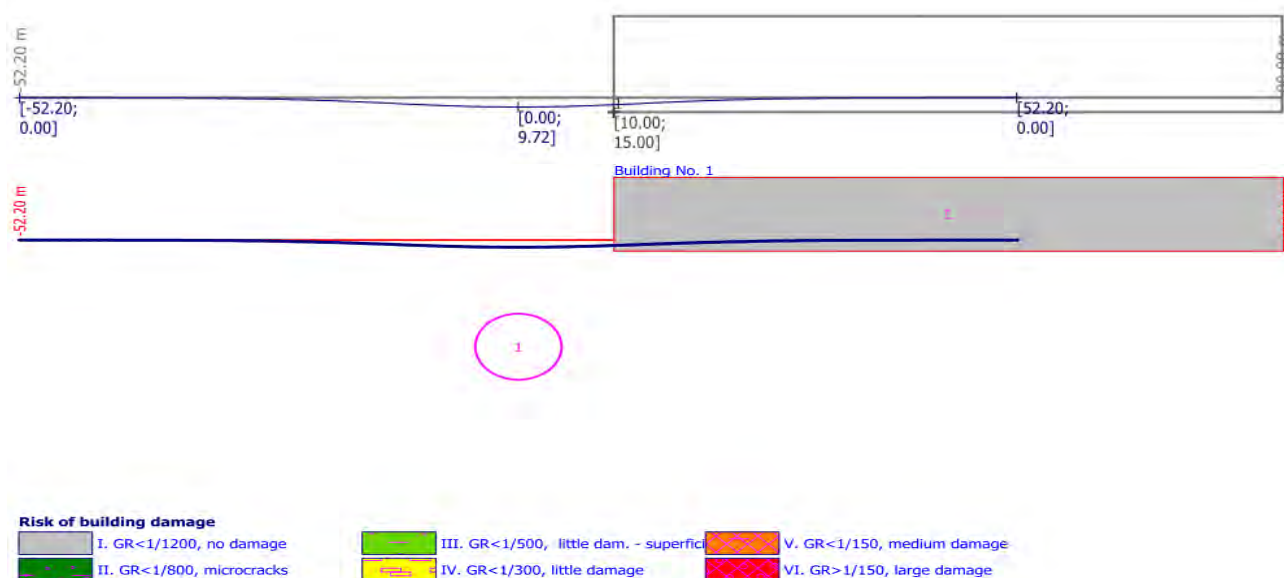
شکل (۵): منحنی گودال نشست در ساختمان شماره (۱) (بالا) کلاس ریسک ساختمان احداثی (پایین)

ب) ساختمان شماره ۲: این ساختمان با توجه به محاسبات انجام شده نشست معادل ۵۶ میلی‌متر خواهد داشت که میزان اختلاف آن با روش سیستم اطلاعات جغرافیایی در حدود صفر است.



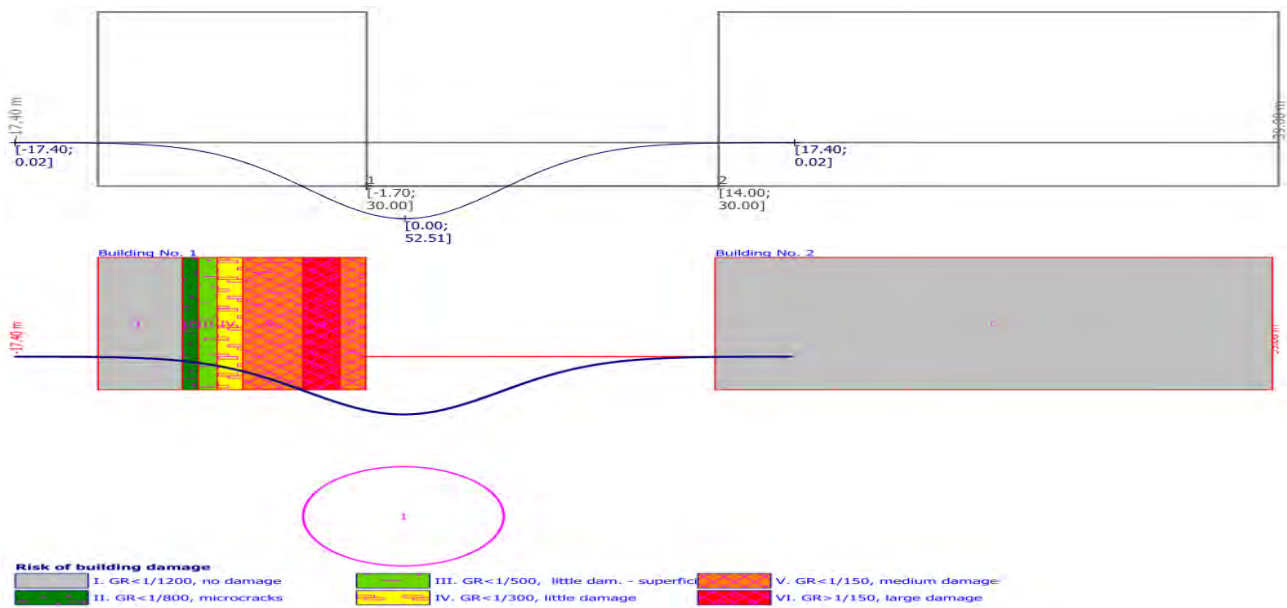
شکل (۶): منحنی گودال نشست در ساختمان شماره (۲) (بالا) کلاس ریسک ساختمان احداثی (پایین)

ج) ساختمان شماره ۳: این ساختمان با توجه به محاسبات انجام شده نشست معادل ۹/۷ میلی‌متر خواهد داشت که میزان اختلاف آن با روش سیستم اطلاعات جغرافیایی در حدود ۱/۳ میلی‌متر است. همانگونه که در شکل ذیل مشاهده می‌شود به این ساختمان هیچگونه آسیبی وارد نشده و کلاس ریسک آن در منطقه امن قرار دارد.



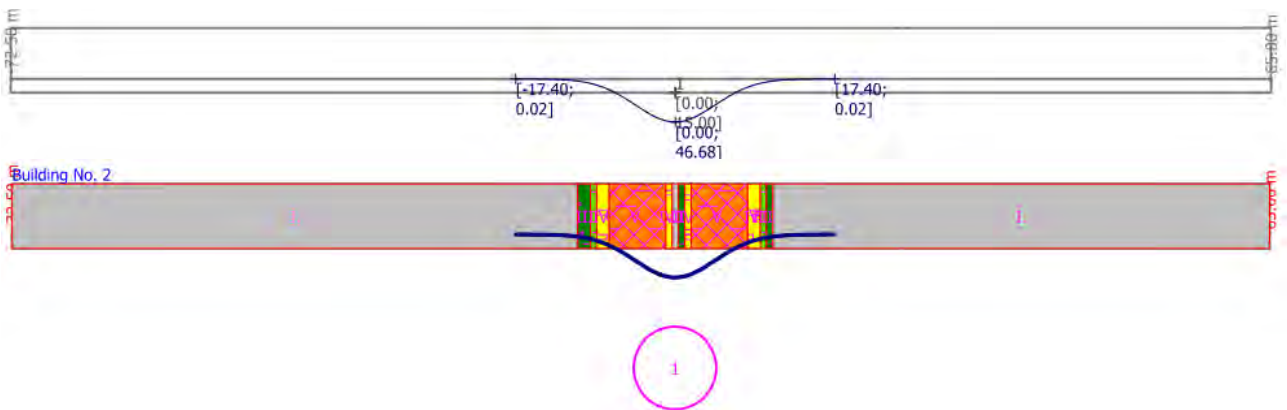
شکل (۷): منحنی گودال نشست در ساختمان شماره (۳) (بالا) کلاس ریسک ساختمان احداثی (پایین)

د) ساختمان شماره ۴: این ساختمان با توجه به محاسبات انجام شده نشست معادل ۵۲/۵ میلی‌متر خواهد داشت که میزان اختلاف آن با روش سیستم اطلاعات جغرافیایی در حدود ۱/۵ میلی‌متر است. همانگونه که مشاهده می‌شود در این شکل ساختمان سمت چپ در حداکثر میزان خود دچار آسیب خواهد گردید اما سازه سمت راست دچار آسیبی نخواهد گردید.



شکل (۸): منحنی گودال نشست در ساختمان شماره (۴) (بالا) کلاس ریسک ساختمان احداثی (پایین)

ه) ساختمان شماره ۵: این ساختمان با توجه به محاسبات انجام شده نشستی معادل ۴۶/۶۸ میلی متر خواهد داشت که میزان اختلاف آن با روش سیستم اطلاعات جغرافیایی در حدود ۱/۳۲ میلی متر است.



شکل (۹): منحنی گودال نشست در ساختمان شماره (۵) (بالا) کلاس ریسک ساختمان احداثی (پایین)

همانطور که در شکل های فوق مشاهده می شود بیشترین آسیب به سازه های موجود در مناطقی روی داده است که طبق تئوری Peck سازه روی سطح زمین و در فاصله بین i تا $i\sqrt{3}$ روی منحنی گودال نشست قرار گرفته باشند. بیشترین آسیب در نقطه مورد نظر به ساختمان های شماره ۱، ۲ و ۴ پیش بینی گردیده است. کمترین میزان آسیب نیز در ساختمان شماره ۳ محاسبه شده است که این رده بندی در بحرانی ترین مرحله محاسبات را انجام می دهد و بالاترین کلاس ریسک در ساختمان را مشخص می سازد.

جدول (۸): مشخصات نشست و کلاس ریسک ساختمان های مورد بررسی در روش Ground Loss

شماره	تعداد طبقات	حداکثر نشست در روش GIS (متر)	حداکثر نشست در روش Ground Loss (متر)	حداکثر کلاس ریسک
۱	۵	۰/۰۶۵	۰/۰۵۸	VI
۲	۲	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	VI
۳	۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	I
۴	۴	۰/۰۵۱	۰/۰۵۲	VI
۵	۲	۰/۰۴۸	۰/۰۴۶	V

۴- نتیجه گیری

همانطور که در دو روش فوق نشان داده شد استفاده از روش Ground Loss با توجه به تکیه بر دو فاکتور ضریب k برای تعیین نقطه عطف و درصد افت حجم VL می توان به صورت مستقل گودال نشست را محاسبه نمود در حالیکه در روش سیستم اطلاعات جغرافیایی هیچگونه بازخوردی از تحلیل گودال نشست در حین بررسی ریسک وجود ندارد و اطلاعات فقط براساس یک معیار نسبی و پارامترهای ظاهری محاسبه می گردد. همچنین میزان دقت محاسبات در هر دو روش بسیار بهم نزدیک بوده که استفاده از روش های کلاسیک نیز جهت کنترل بیشتر را نیز می توان توصیه نمود. اما استفاده از این روش زمان محاسبات را کوتاه و می تواند در عین سادگی نتایج قابل قبولی را بدست دهد. محاسبات در روش Ground Loss نشان می دهد بیشترین آسیب وارده به ساختمان های شماره ۱،۲ و ۴ می باشد که مطابق با روش سیستم اطلاعات جغرافیایی ساختمان های فوق نیز دارای بیشترین کلاس ریسک از لحاظ آسیب پذیری می باشند. بیشترین اختلاف در میزان نشست با مقایسه در دو روش در ساختمان شماره یک به میزان ۰/۰۷ متر می باشد که از لحاظ ارتفاع بلندترین سازه موجود نیز محسوب می گردد و این نشان دهنده اهمیت بیشتر این محاسبات در سازه های بلند می باشد.

۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از کلیه دست اندرکاران پروژه های قطار شهری علی الخصوص قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا که خالصانه در این راه اطلاعات خویش را در اختیار نویسندگان قرار دادند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین با توجه به فرصت محدود در انجام این پروژه از اساتیدی که به هر نحوی در این زمینه با ما همکاری نمودند سپاس گذاریم و بر تلاش این زحمت کشان ارج می نمایم.

مراجع

- [۱] اعطایی، محمد؛ روش های استخراج زیرزمینی (جلد سوم: مباحث ویژه)، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، چاپ سوم، ۱۳۹۰.
- [۲] عصمت خواه ایرانی، آرش - هشترودی، شهرام - کاشفی، احد؛ آنالیز ریسک نشست و تعیین کلاس ریسک برای ساختمان های مابین ایستگاه های شماره ۱۱ و ۱۲ خط یک تونل های دوقلوی قطار شهری تبریز، نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل، تهران، ۱۳۹۰
- [۳] Guglielmetti V., Grasso P. Xu Sh.; *Mechanized Tunneling in Urban Areas*, 1stEdition, Taylor & Francis/Balkema, London, 2007.
- [۴] Mair, R. J., Taylor, R. N, Burland, J. B.; " Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunneling" , PP 713-718, International Symposium on geotechnical aspects of underground construction in soft ground, Balkema, Rotterdam, 1996.
- Bucek, R.; "Theory of Ground Loss Prediction of Building Damage due to tunneling", <http://www.groundloss.com/theory/>, pp. 10, [۵] 2014.