

## مدلسازی عددی اثرات گسلش معکوس بر شریان‌های حیاتی

اردشیر نوری کجوریان

کارشناس ارشد عمران- ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات همدان، همدان، ایران  
*E.ardeshir.noori@gmail.com*

سید مجتبی موسوی

استادیار مهندسی عمران-ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین‌المللی مهندسی زلزله شناسی و مهندسی زلزله تهران، تهران، ایران  
*Smojtabamosavi@yahoo.com*

سلمان نوری کجوریان

کارشناس ارشد عمران- ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات همدان، همدان، ایران  
*E.a\_noori@yahoo.com*

کلید واژه‌ها: گسلش معکوس قائم، شریان‌های حیاتی، مدلسازی عددی

### چکیده

سامانه خطوط لوله مدفون (شریان‌های حیاتی) به علت گستردگی و استفاده وسیع از آن‌ها در خدمت‌رسانی به بشر از طریق انتقال آب، نفت و گاز و دیگر سیالات لزوم بررسی رفتار اینگونه سازه‌ها در برابر تحریکات زمین مانند زمین‌لرزه بخصوص جابجایی‌های ماندگار زمین در محل گسل‌های فعال ضروری بنظر می‌رسد. در تحقیق حاضر اقدام به مدلسازی عددی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود PLAXIS شده و با نتایج مدلسازی فیزیکی انجام شده در این زمینه مقایسه شده و نتایج آنها بحث و بررسی شده است.

### مقدمه

شبکه‌های توزیع انتقال آب، گاز، نفت و دیگر سیالات مورد لزوم شهری، از شریان‌های حیاتی جامعه بشری می‌باشند که بروز خسارات در آن‌ها ضمن ایجاد لطمه اقتصادی قابل توجه، موجب صدمات و خسارات گسترده‌ای می‌شود. از آنجایی که یک سیستم خطوط لوله مدفون عمدتاً از یک منطقه جغرافیایی وسیع عبور می‌نماید ممکن است با خطرات لرزه‌ای و شرایط خاک بسیار متنوع مواجه باشد. به ویژه در محل‌های برخورد خطوط لوله مدفون با گسل آسیب‌پذیری قابل توجهی خطرات لوله را تهدید می‌نماید که ممکن است در هنگام زلزله، دچار کمناش یا شکستگی شوند. آمار و گزارشات متعددی از سراسر دنیا در خصوص خسارات شدیدی که بر روی خطوط لوله مدفون بعد از زمین‌لرزه با شدت بالا وجود دارد منجمله زمین‌لرزه‌های ۱۹۶۴ آلاسکا با بیش از ۲۰۰ شکست در خط لوله گاز و ۱۰۰ شکست در خطوط توزیع آب آشامیدنی، ۱۹۷۱ سان‌فرانسیسکو با بیش از ۱۴۰۰ مورد شکست در سیستم خطوط لوله مختلف و قطع شدن سرویس‌های آب، گاز و فاضلاب شهری، ۱۹۸۵ مکزیک با قطع آب بیش از ۵ میلیون نفر از مردم، ۱۹۸۷ اکوادور با آسیب‌دیدگی جدی در خطوط لوله آب و نفت با قطرهای بزرگ، ۱۹۸۹ لوماپریتا با ۴۰۰ مورد خرابی در لوله‌های آبرسانی و همچنین خسارات مشابه در زلزله‌های دیگر شامل زلزله ۱۹۹۴ نورتریج، ۱۹۹۵ ژاپن، ۱۹۹۹ چی چی تایوان، ۱۹۹۹ زمیت ترکیه و ۲۰۰۸ چین گزارش شده است (American Lifeline Alliance, 2001). (American Society of Civil Engineers, 1984). (برهمن و همکاران، ۱۳۸۳).

با توجه به بررسی‌ها و مطالعات صورت گرفته توسط محافل علمی و تحقیقاتی، مطالعات عددی و آزمایشگاهی قابل توجهی در سالیان اخیر به منظور پیش‌بینی رفتار دقیق و کاهش خسارات وارده بر روی لوله‌ها در برابر مخاطرات گسلش سطحی صورت گرفته که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعات انجام شده توسط (Hsu, 1998)، (El Hmadi and O'Rourke, 1998)، (Takada et al, 1998)، (Yoshizaki and Sakanoue, )،

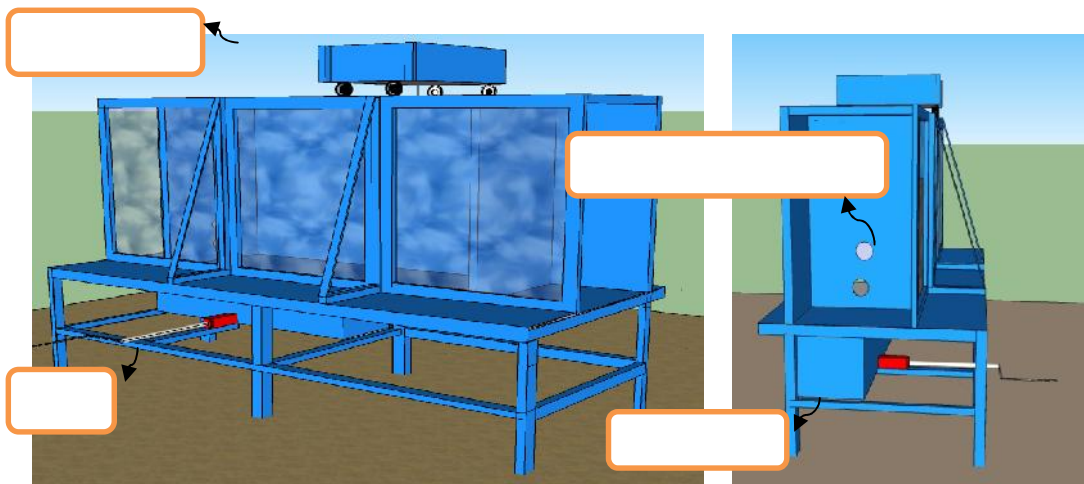


Rojhani et al, 2008), (Xie, 2008), (Karimian, 2006), (Lee, 2005), (O'Rourke et al, 2005), (Shakib and Zia-Tohid, 2004), (2004). اشاره نمود.

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار المان محدود PLAXIS به مدلسازی عددی گسلش معکوس قائم پرداخته شد و به منظور صحت سنجی، نتایج حاصل از این مدلسازی با نتایج مدلسازی فیزیکی صورت گرفته با استفاده از دستگاه شبیه ساز گسلش معکوس مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

## مدلسازی فیزیکی

به منظور انجام مدلسازی فیزیکی، دستگاهی مطابق شکل ۱ ساخته شده است. این دستگاه دارای دو قسمت متحرک<sup>۱</sup> و ثابت<sup>۲</sup> می باشد که اعمال نیرو در قسمت متحرک توسط جک تعبیه شده در زیر دستگاه فراهم گشته است. با استفاده از این مدلسازی آزمایشاتی جهت ارزیابی اثرات سر بار (عمق دفن لوله ها)، طول مقید لوله ها، نسبت قطر به ضخامت و سختی لوله ها صورت گرفت. از آنجایی که بیشتر نتایج مدلسازی های عددی در این تحقیق مورد توجه بوده است، نتایج یک نمونه از مدلسازی فیزیکی (آزمایش اول) در این بخش در اشکال ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر شماتیک از دستگاه شبیه ساز گسلش معکوس



شکل ۲: تصویر واقعی دستگاه شبیه ساز گسلش معکوس



ب-ب نمای لایه‌های لایه‌ای

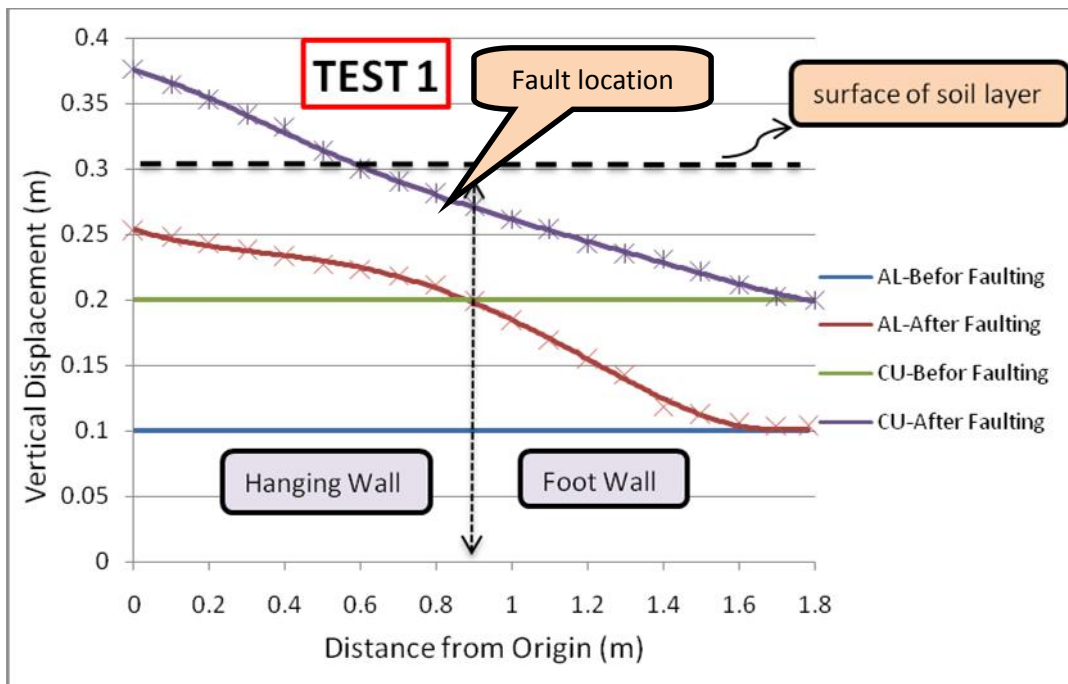


الف- نمای روبرویی

شکل ۳: تغییر شکل خاک بعد از اعمال گسلش در آزمایش اول



شکل ۴: تغییر شکل لوله‌ها در آزمایش اول بعد از اعمال گسلش



شکل ۵: تغییر شکل لوله‌های آلومینیومی و مسی در آزمایش اول

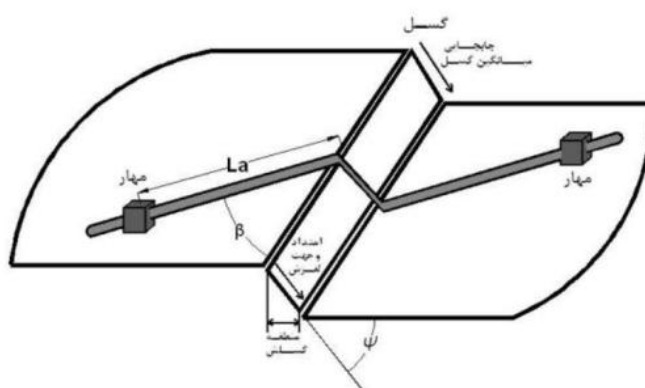


در این بخش با استفاده از نرم افزار المان محدود PLAXIS به مدلسازی عددی آزمایشات پرداخته شده است. برنامه انجام مدلسازی عددی آزمایشات مطابق جدول ۱ می باشد. لازم به ذکر است که در بخش مدلسازی فیزیکی از دو جنس لوله آلومینیومی و مسی در آزمایشات استفاده شده که در این بخش فقط به بررسی نتایج لوله آلومینیومی در دو مدلسازی پرداخته شده است. جداول ۲ و ۳ مشخصات لوله آلومینیومی و خاک مورد استفاده در مدلسازی عددی را نشان می دهد.

جدول ۱: آزمایشات برنامه ریزی شده جهت بررسی رفتار لوله در مدلسازی عددی تحت اثر گسلش معکوس قائم

شماره آزمایش	ضخامت لایه خاک (cm)	طول مقید (cm)		عمق قرار گیری لوله آلومینیومی (cm)
		صفحه متحرک	صفحه ثابت	
۱	۳۰	۹۰	۹۰	۲۰
۲	۵۰	۹۰	۹۰	۴۰
۳	۳۰	۱	۱	۱۰

منظور از طول مقید در جدول فوق، وجود هرگونه زانو، خمیدگی تیز، سه راهی ها یا نقاط مهباری دیگر در طرفین گسل، طول مقید نامیده می شود.



شکل ۶: طول مقید در طرفین گسل

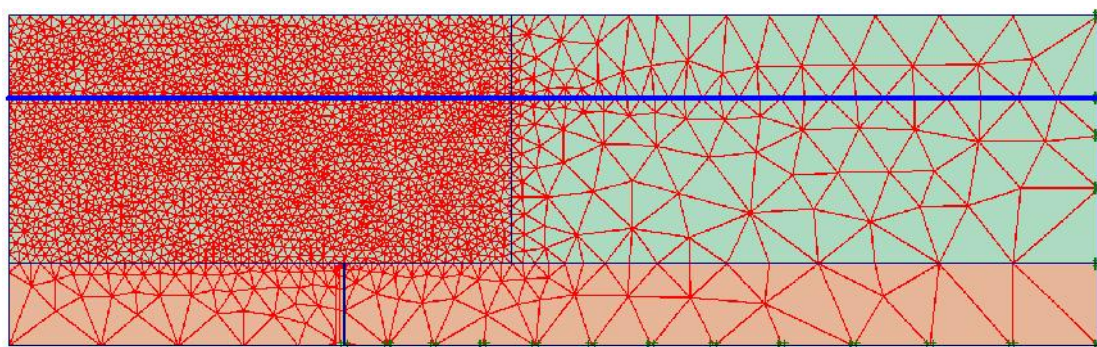
جدول ۲: مشخصات خاک مورد استفاده در مدلسازی عددی

جنس خاک	$C \left( \frac{KN}{m^2} \right)$	$\varphi$	$V_s \left( \frac{m}{s} \right)$	$V_p \left( \frac{m}{s} \right)$
ماسه بد دانه بندی (SP)	1	$33^\circ$	50	190

جدول ۳: مشخصات لوله مورد استفاده در مدلسازی عددی

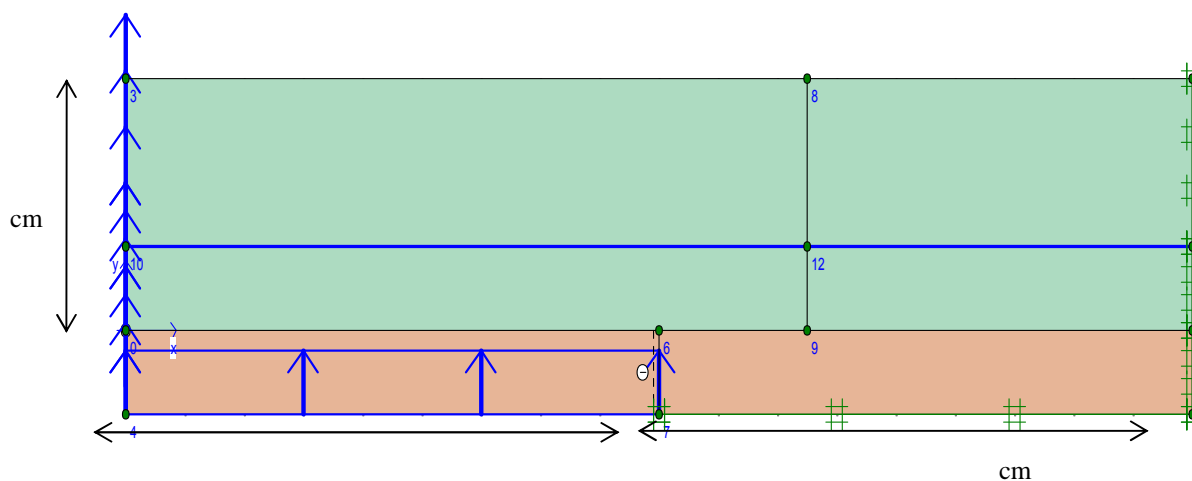
جنس لوله	$D_{out} (mm)$	$D_{int} (mm)$	$E \left( \frac{KN}{m^2} \right)$	$EI (KN.m^2)$	$EA (KN)$
آلومینیوم (AL)	19	17	$69 \times 10^9$	0.2	3109

مطابق با وضعیت آزمایشات مدلسازی فیزیکی، مدل‌های عددی صورت گرفته است. بدین منظور مدل خاک را بر روی لایه‌ای از سنگ بستر به ضخامت ۱۰ cm که دارای سرعت موج برشی  $\frac{71}{5}$  می‌باشد در نظر گرفته شده است. جهت مدلسازی لوله‌ها از المان دارای سختی خمشی که در برنامه‌ی عنوان Plate شناخته می‌شود استفاده شده است. در محل اعمال گسلش از المان درزه و همچنین مطابق با شکل ۷ به منظور تدقیق مدلسازی عددی در بخش انتشار گسلش از مش‌بندی ریزتر استفاده شده است. مشخصات لوله آلومینیومی مانند سطح مقطع، سختی خمشی، سختی محوری و همچنین موقعیت قرار گیری لوله‌ها، مطابق مدل فیزیکی بوده است. در ادامه نتایج مدلسازی عددی سه آزمایش مدل فیزیکی برای لوله آلومینیوم به قطر ۱۹ mm را نشان داده است.

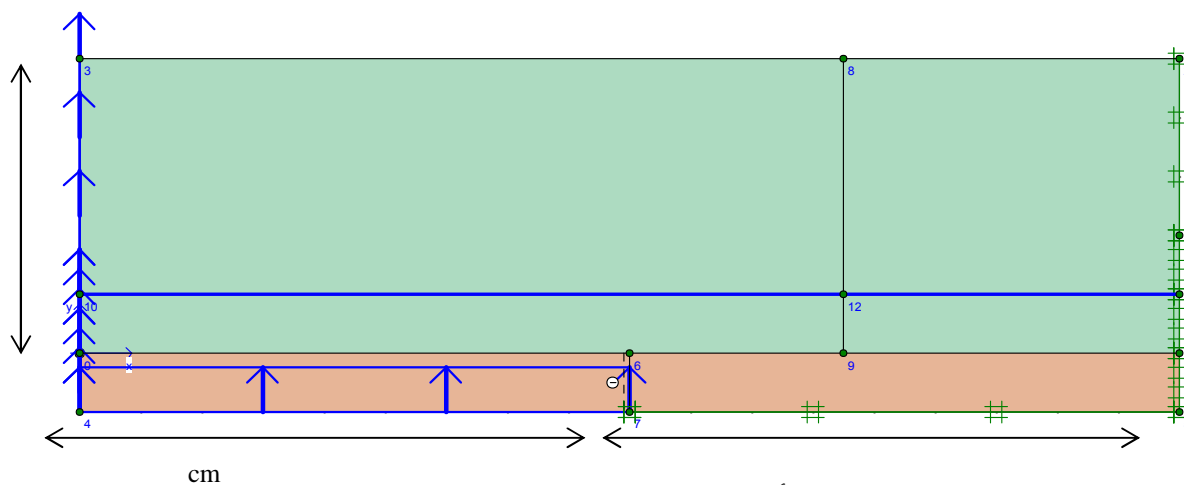


شکل ۷: مش‌بندی یک نمونه مدل (در بخش انتشار گسلش از مش‌بندی ریزتر استفاده شده است)

اشکال ۸ تا ۱۰ هندسه مسأله و رویه مدلسازی عددی در آزمایشات مذکور را نشان داده است.



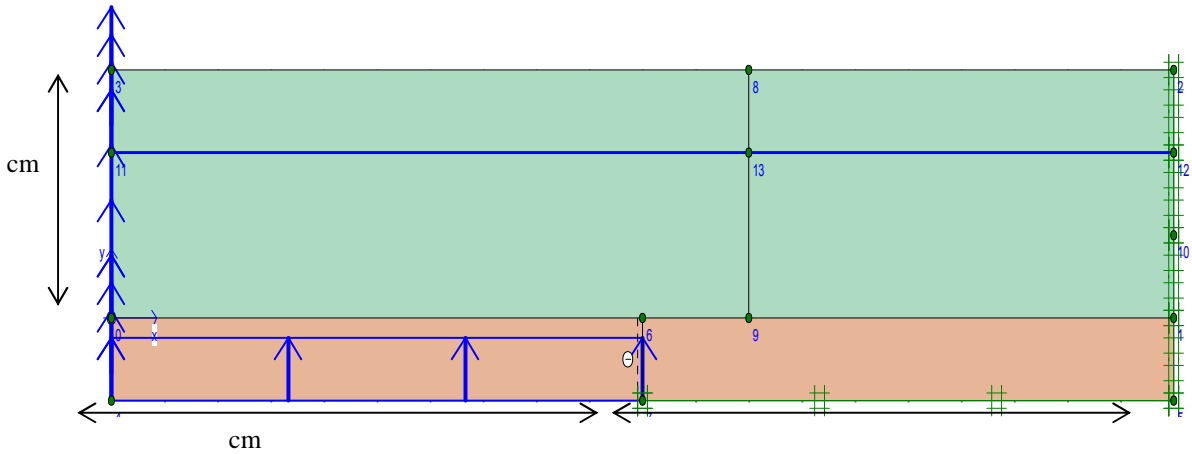
شکل ۸: هندسه مسأله و رویه انجام شده در مدلسازی عددی آزمایش اول



شکل ۹: هندسه مسأله و رویه انجام شده در مدلسازی عددی آزمایش دوم

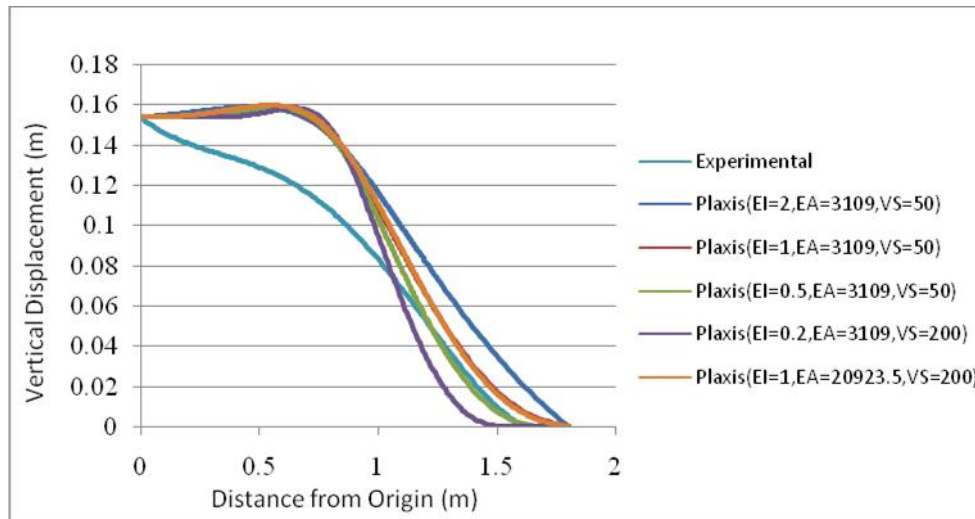




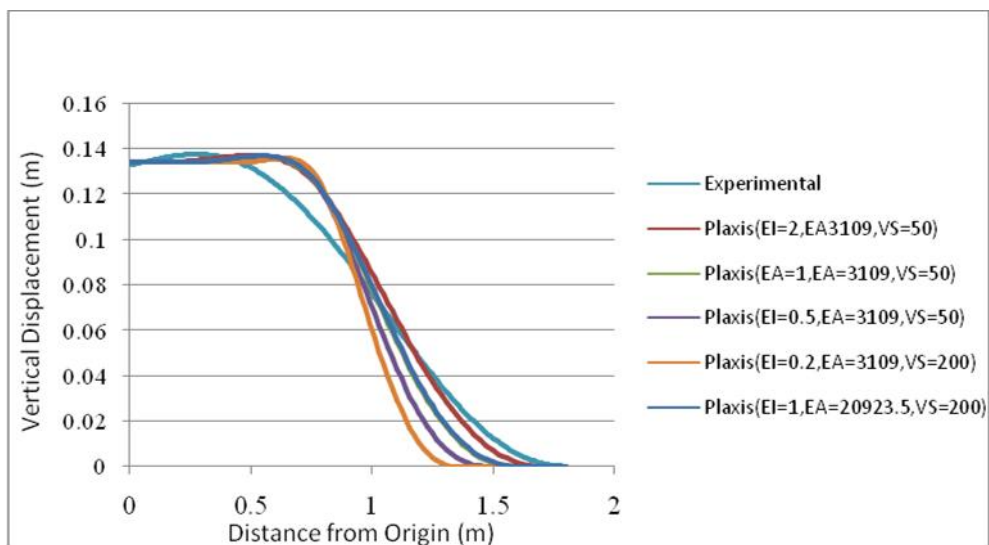


شکل ۱۰: هندسه مسأله و رویه انجام شده در مدلسازی عددی آزمایش سوم

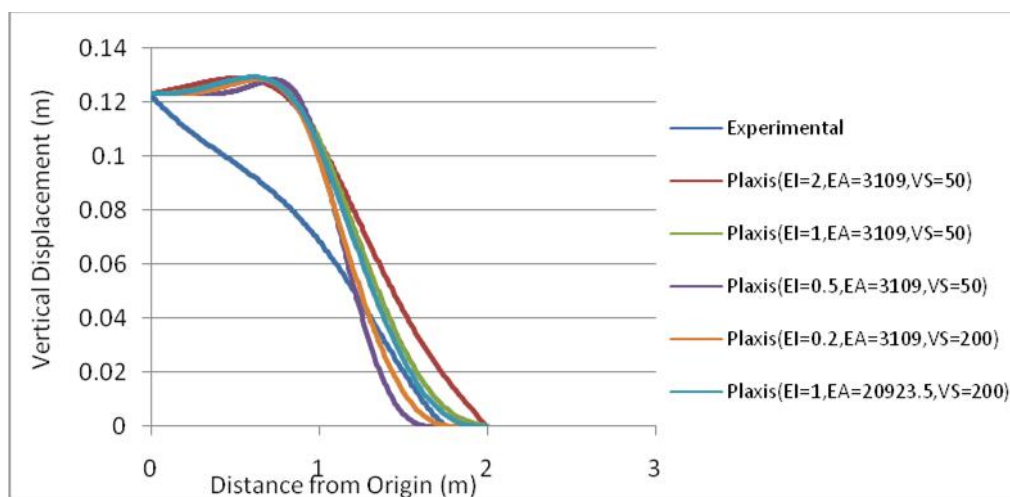
در اشکال ۱۱ تا ۱۳ نتایج مابین تغییرمکان‌های مدلسازی عددی و فیزیکی نشان داده شده است.



شکل ۱۱: مقایسه نتایج مدلسازی فیزیکی و عددی تغییرمکان لوله آلومینیوم در آزمایش اول



شکل ۱۲: مقایسه نتایج مدلسازی فیزیکی و عددی تغییرمکان لوله آلومینیوم در آزمایش دوم



شکل ۱۳: مقایسه نتایج مدلسازی فیزیکی و عددی تغییر مکان لوله آلومینیوم در آزمایش سوم

## نتیجه گیری

اگرچه رویکرد تحقیق حاضر بر مدلسازی‌های عددی گسترده نبوده است اما تعداد محدودی مدلسازی‌های عددی انجام شده در گستره‌ای از پارامترها حاوی نتایج ارزشمند است که در ادامه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

چنانچه نتایج تغییر مکان لوله آلومینیوم را در مقایسه مدلسازی عددی و نتایج آزمایشگاهی مدنظر قرار دهیم (به عنوان نمونه نتایج آزمایش اول) دیده می‌شود که لوله‌های آلومینیومی مطابق مشخصات واقعی خود و ضخامت و قطر اسمی آن‌ها چنانچه در مدلسازی‌های عددی به کار روند پاسخ نرم‌تری نسبت به نتایج آزمایش ارائه می‌نمایند و با فرض افزایش سختی خمشی آن‌ها پاسخ‌های مدل عددی تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی برقرار می‌سازد. بنابراین به نظر می‌رسد که سختی خمشی لوله‌های آلومینیومی می‌بایست بیشتر از مقادیر فرض اولیه بوده که چنانچه به این مسأله توجه نماییم که لوله‌های آلومینیومی موجود در بازار از مواد بازیافتی تولید می‌گردند و صددرصد خالص از جنس آلومینیوم نمی‌باشند از این رو بسته به مقادیر ناخالصی‌شان مقادیر مدول الاستیسیته آن‌ها افزایش می‌یابد از این رو به نظر می‌رسد که فرض سختی خمشی بیشتر در خصوص آن‌ها دور از واقعیت نبوده و محتمل می‌باشد. از سویی بررسی‌های انجام شده نشان داد که مقادیر اسمی مشخصات ضخامت و قطر لوله‌ها کاملاً دقیق نبوده و از همین رو در مجموع می‌توان گفت دستیابی به محدوده‌ای از مقادیر پارامترها که تطابق خوبی میان نتایج آزمایشگاهی و عددی را نشان دهد در جهت استفاده در مطالعات پارامتری گسترده در آینده پذیرفته می‌باشد. چنانچه دیده می‌شود به نظر می‌رسد در محل تکیه‌گاه سمت چپ لوله پاسخ سخت‌تری در مدل‌های عددی نسبت به نتایج آزمایشگاهی دیده می‌شود که این مسأله نیز با توجه به اینکه گیرداری اعمال شده در آزمایشگاه به صورت کاملاً گیردار نبوده است قابل توجیه می‌باشد این مطلب در مدل‌های با ضخامت خاک بیشتر که تطابق بهتری در نتایج این قسمت دیده می‌شود قابل پذیرش می‌باشد.

## مراجع

برهمن ف، منشوری م ر، نیک‌نهاد د (۱۳۸۳) گزارش خسارت لوله‌ها در زلزله‌های گذشته و بررسی مودهای خرابی لوله‌ها، وزارت نفت، گزارش ۸۳۰۰۵

American Lifeline Alliance (2001) Seismic Fragility Formulations for Water Systems

American Society of Civil Engineers (1984) Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, Reston

El HmadiK and O'Rourke MJ (1988) Soil Springs for Buried Pipeline Axial Motion, *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 114, no. 11, pp. 1335-1339, November

Hsu TW (1996) Soil restraint against oblique motion of pipelines in sand, *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 180-188



- Karimian SA (2006) Response of buried steel pipeline subjected to longitudinal and transverse ground movement, PhD Dissertation, University of British Columbia
- Lee JW (2005) Study on Earthquake Fault Rupture Propagation through Sandy Soil Deposit, PhD dissertation, Waseda University
- O'Rourke MJ, Gadicherla V and Abdoun T (2005) Centrifuge modeling of PGD response of buried pipe, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, vol. 4, no. 1, pp. 69-73, June
- Rojhani M, Moradi M, Ghalandarzadeh A and Takada S (2011) Centrifuge Modeling of Buried Pipelines Response Due to Reverse Faulting, in *5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Santiago, p. CMBRO
- Shakib H and Zia-Tohid R (2004) Response of steel buried pipelines to three-dimensional fault movements by considering material and geometrical non-linearities, 13th WCEE, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 694, August
- Takada S, Liang JW and Li T (1998) Shell-Mode Response of Buried Pipelines to Large Fault Movements, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 44A, pp. 1637-1646, March
- Xie X (2008) Numerical analysis and evaluation of buried pipelines response to earthquake induced ground fault rupture, PhD Dissertation, Rensselaer Polytechnic Institute
- Yoshizaki K and Sakanoue T (2004) Analytical study on soil-pipeline interaction due to large ground deformation, 13th WCEE, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1402, August

