

تحلیل عددی عوامل موثر بر روانگرایی ناشی از زلزله بر ساختگاه لوله های مدفون

حسن شرفی^{*}، پیام پارسا^۲

۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اراک

h_sharafi@iust.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۵/۱۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۲/۱۱]

چکیده - خاک های ماسه ای اشباع در حین زلزله به دلیل بارگذاری سریع و بدون مهلت زهکشی به دلیل تشکیل اضافه فشار آب حفره ای ممکن است دچار روانگرایی گردند. در اثر وقوع روانگرایی در خاک، نیروهایی به وجود می آید که سازه های مدفون از جمله لوله ها را تحت تاثیر قرار می دهد. در تحقیق حاضر مدل سازی لوله مدفون در فضای نرم افزار FLAC 2D، صحت سنجی مدل طی فرآیند مقایسه ای با تحقیق آزمایشگاهی انجام گرفته از سوی سازمان ASCE و بررسی پارامترهای مختلف شامل تاثیر زاویه اتساع و اصطکاک خاک، میزان تراکم نسبی خاکریز اطراف و روی لوله، حضور خاک های غیر روانگرا در اطراف لوله مدفون، قطر و عمق دفن لوله و نیز تراز آب زیر زمینی پیرامونی انجام گرفته است. نتایج نشان می دهد که افزایش زاویه اصطکاک و اتساع در تراکم نسبی ثابت از آسیب های وارد بر لوله می کاهد. در تراکم نسبی بیش از ۷۰٪ با افزایش زاویه اصطکاک، میزان برخاستگی و تبعاً آسیب پذیری لوله در حین بارگذاری زلزله، همواره سیر نزولی دارد. همچنین دفن لوله در عمق زیاد و نیز استفاده از لوله های با قطر کمتر، میزان آسیب پذیری لوله ها در حین وقوع روانگرایی را به طور چشمگیری کاهش می دهد. از دیگر نتایج این تحقیق، کاهش میزان خطرپذیری لوله های مدفون با استفاده از خاکریزهایی با پتانسیل روانگرایی پایین و نیز پایین انداختن تراز آب زیر زمینی می باشد.

واژگان کلیدی: روانگرایی، لوله های مدفون، FLAC، روش تفاضل محدود صریح، مدل فین.

۱- مقدمه

مهار آتش سوزی های ناشی از زلزله خواهد شد [۱].

زلزله نیگاتا- کن چتسو^۱ ژاپن در ۲۳ اکتبر ۲۰۰۴ ($M_w=6/6$) مهمترین زلزله پس از زلزله ۱۹۹۵ هیوجوکن- نامبو^۲ بود که منجر به ۴۸ نفر کشته و ۴۱۶۰ مصدوم گردید. در این زلزله صدمات عمده ای به شبکه جمع آوری فاضلاب شهری وارد گردید. بیش از ۱۴۵۰ سازه زیرزمینی مربوط به تاسیسات فاضلاب از جمله منهول ها تخریب گردیدند. بالازدگی منهول ها از سطح خیابان ها و معابر عمومی شهر تا ۱/۵ متر هم اندازه گیری شده بود. موضوع مذکور علاوه بر ایجاد اختلال در سیستم فاضلاب، منجر به انسداد ترافیک شهری گردید که مانع از تردد ماشین

شریان های حیاتی متعددی در نواحی شهری و غیر شهری وجود دارد که در اثر زلزله های مهیب ممکن است تحت آسیب دیدگی شدید قرار گیرند. خطوط انتقال گاز و نفت، شبکه های توزیع آب و جمع آوری فاضلاب و نیز تونل های حمل و نقل جاده ای و ریلی شهری نمونه هایی از این شریان های حیاتی هستند که گسیختگی آنها می تواند خسارت ناشی از زلزله را تشدید کند. آسیب دیدگی لوله های انتقال مواد نفتی صرفنظر از زیان های اقتصادی و آلودگی محیط زیست، منجر به وقوع آتش سوزی های مهیب خواهد گردید. علاوه بر این شکست شبکه های آب شهری و قطعی جریان آب، سبب اختلال در کار آتش نشانان در

۱ - Niigata- Ken Chuetsu

۲ - Hyogoken-Nambu

سائتریفیوژ جهت بررسی تاثیر سطح زهکش شنی در کاهش میزان برخاستگی لوله های مدفون انجام دادند. نتیجه این روش کاهش ۱۰٪ میزان جا به جایی لوله بود. همین محققین [۶] یک تحلیل عددی از آزمایش مذکور در نرم افزار المان محدود DIANA-SWANDYNE ترتیب دادند که با مقایسه نتایج مدل های آزمایشگاهی و عددی مطابقت خوبی مشاهده گردید.

آزادی و میرمحمدحسینی [۷] در یک تحلیل عددی در نرم افزار تفاضل محدود FLAC 2D، تاثیر خصوصیات فیزیکی خاک های دانه ای، نظیر زاویه اصطکاک، نسبت میرایی و نیز خصوصیات هندسی تونل از قبیل قطر و مکان حفاری از دیدگاه مقدار سربار روی پرتال ورودی را بر ایجاد اضافه فشار آب حفره ای و وقوع پدیده روانگرایی برای تونل ها و فضاهای زیر زمینی مورد بحث و بررسی قرار داده اند.

سعید زاده و هاتف [۸] در یک تحلیل عددی در نرم افزار المان محدود PLAXIS تاثیر پارامترهای مختلف را بر جا به جایی قائم^۲ لوله های مدفون در خاک غیرچسبنده طی پدیده روانگرایی مورد بررسی قرار داده اند.

جی- چان کانگ^۳ و همکارانش [۲] یک تحقیق میدانی در خصوص ارتباط بین میزان جا به جایی قائم منهول های فاضلاب و خاک بستر منهول پس از وقوع زلزله ۲۰۰۴ نیگاتا- کن چتسو ژاپن انجام دادند. اطلاعات پایه این محققین طبق اندازه گیری های میزان بلندشدگی منهول های آسیب دیده و نتایج آزمایش SPT که به صورت گسترده ای در سطح شهر توسط سازمان مدیریت شهری انجام گرفته بود، به دست آمد. با استفاده از این اطلاعات تاثیر پارامترهای سطح آب زیرزمینی، ضخامت لایه رس، عدد SPT در لایه های ماسه ای و ضخامت خاک سطحی بر میزان برخاستگی لوله مورد بررسی قرار گرفته است. مکانیسم برخاستگی لوله در مدل آزمایشگاهی دستگاه سائتریفیوژ نیز توسط همین محققین انجام گردید و این یافته ها با نتایج حاصل از تحلیل و ارتباط بین داده های جمع آوری شده توسط سازمان مدیریت شهری مورد قیاس واقع گردید.

در تحقیق حاضر مشخصات فیزیکی خاک و نیز برخی از

های اورژانس، آتش نشانی و ... شد که آمار تلفات انسانی را تشدید نمود [۲].

زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا [۲]، زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج [۱] و زلزله ۱۹۹۵ کوبه نمونه های بارزی از گسیختگی خطوط لوله هستند که توجه محققین زیادی را به سمت خود معطوف ساخت تا عوامل شکست آن لوله ها شناسایی گردند. تونل های زیرزمینی که عملکردی مشابه لوله های با قطر بالا دارند نیز از چنین آسیب هایی مصون نمی مانند. سیستم قطار شهری تاپیه در زلزله ۱۹۹۹ چی چی طبق گزارش چاو و همکاران دچار آسیب دیدگی شدید شد [۴].

مکانیسم بلند شدگی سازه های مدفون در خاک در حین وقوع زلزله بدین شرح است که خاک های دانه ای با پتانسیل روانگرایی در شرایط اشباع، تحت بارگذاری بسیار سریع زلزله که مهلت زهکشی نمی یابند، با تولید اضافه فشار آب حفره ای مواجه شده که افزایش ناگهانی آن منجر به کاهش تنش موثر و تنش برشی خاک می گردد. چنانچه اضافه فشار آب حفره ای با تنش کل برابر گردد، تنش موثر به سمت صفر میل کرده و باربری خاک کاملاً از دست می رود و پدیده ای به نام روانگرایی^۱ حادث می شود. در این گونه خاک های غیر چسبنده اضافه فشار آب حفره ای تولید شده طی پدیده مذکور، سبب شناوری لوله های مدفون، منهول ها و سایر تاسیسات زیرزمینی خواهد گردید. برخاستگی این سازه ها تا زمانی که مجموع وزن سازه و نیروی اصطکاک بین جداره و خاک با نیروی به وجود آمده متوازن نگردد، ادامه می یابد [۲].

کوزوکی و همکارانش (۱۹۹۷) و توییتا و همکارانش (۲۰۱۱) رفتار برخاستگی لوله را با مطالعه تغییرات سطح آب زیرزمینی، نسبت فشار آب حفره ای و تراکم نسبی خاکریز روی لوله مورد بررسی قرار داده اند. تحقیقات آنان نشان داد که هرچه سطح آب زیرزمینی بالاتر باشد، تراکم نسبی خاکریز کم باشد یا خاک طبیعی محل شامل درصد زیادی از مواد آلی و لایه های رس باشد میزان جا به جایی قائم لوله های مدفون بیشتر است. لینگ و همکارانش [۵] مطالعات آزمایشگاهی خود را در دستگاه

۲ - Uplift

3 - Gi- Chun Kang

۱ -Liquefaction

استفاده واقع می گردد.

۳- تحلیل عددی و نتایج آن

جهت بررسی عوامل موثر بر شناوری لوله های مدفون، پارامترهای زاویه اتساع خاک و نسبت تراکم خاکریز اطراف لوله، استفاده از مصالح غیر روانگرا در اطراف لوله، زاویه اصطکاک داخلی خاک، قطر و عمق دفن لوله و تراز آب زیرزمینی مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد. مدل مذکور تحت چند رکورد مختلف از جمله یک موج سینوسی هارمونیک با شتاب 0/6g و فرکانس ۳ هرتز به مدت ارتعاش ۱۰ ثانیه و نیز رکورد زلزله های طبس و نقان که مشخصات آنها مطابق پیوست الف می باشد، تحت بارگذاری دینامیکی قرار می گیرد. در گام نخست مدل نرم افزاری باید صحت سنجی^۲ شود. بدین منظور نتایج مدل عددی حاضر با نتایج مدل آزمایشگاهی ساخته شده در دستگاه سانتریفیوژ توسط لینگ و همکاران [۵] و همچنین مدل عددی المان محدود همان محققان [۶] مورد قیاس قرار می گیرد. یک نمای شماتیک از مدل عددی در شکل (۱) به نمایش گذاشته شده است.

شکل ۱ مدل لوله مدفون در ماسه نوادا در نرم افزار FLAC 2D

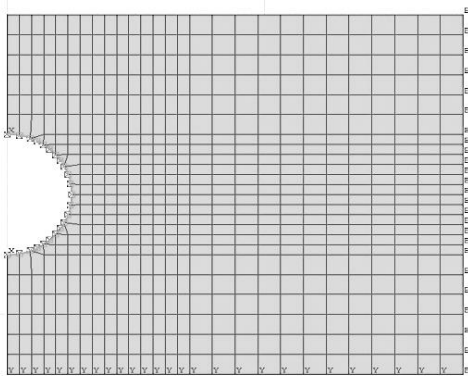


Fig. 1. Buried pipe in Nevada sand modeling in FLAC 2D Software

شرایط مرزی مدل بدین شرح است که دیواره های جانبی در هر دو راستای جانبی و قائم مقید گردیده ولی قسمت تحتانی مدل فقط در راستای قائم مقید است تا مدل بتواند متناسب با ارتعاشات وارده در راستای افق عملکرد مناسب داشته باشد. لازم

مشخصات هندسی لوله بر اضافه فشار آب حفره ای که مهمترین عامل ایجاد روانگرایی و ایجاد نیروی شناوری در لوله ها می باشد، مورد تحلیل عددی قرار خواهند گرفت. بر اساس اصول حاکم بر روابط تنش موثر، رابطه زیر همواره برقرار است:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (1)$$

که در آن σ' تنش موثر خاک، σ تنش کل وارد بر خاک و u اضافه فشار آب حفره ای می باشد. کاساگرانده (۱۹۳۶) تمایل خاک های دانه ای اشباع با تخلخل بیش از حد بحرانی را به کاهش حجم تحت بارهای لرزه ای را تشریح کرد. چنانچه در این شرایط امکان زهکشی فراهم نباشد، اضافه فشار آب حفره ای تا جایی افزایش می یابد که کل تنش وارده بر خاک، بر ذرات آب تحمیل می گردد ($\sigma = u$). طبق معادله (۱) در این لحظه تنش موثر خاک برابر صفر گردیده و مقاومت برشی خاک از بین می رود که این پدیده موسوم به پدیده روانگرایی است. در این تحقیق معادله (۱) معیار پدیده روانگرایی واقع خواهد گردید. به همین منظور یک مدل عددی از لوله های مدفون در نرم افزار تفاضل محدود FLAC 2D ساخته می شود و به بررسی تاثیر عوامل مذکور بر افزایش اضافه فشار آب حفره ای و تبعاً وقوع روانگرایی پرداخته خواهد شد.

۲- مدل سازی عددی به روش تفاضل محدود

FLAC به عنوان یک برنامه تفاضل محدود صریح شناخته شده است که بر پایه تحلیل لاگرانژی عمل می کند. روش تفاضل محدود، تقریباً قدیمی ترین روش تحلیل عددی است که بر پایه معادلات دیفرانسیل عمل کرده و در آن مقادیر اولیه و مرزی به مدل معرفی می گردد. در روش مذکور، هر یک از مشتقات معادلات حاکم با یک توصیف جبری بر حسب متغییرات مدل (مانند تنش یا جا به جایی) در نقاط مجزای هندسه مدل، تعریف می شود. این تحلیل در فضای دوبعدی نرم افزار مذکور انجام می گیرد و شرایط لحاظ کرنش صفحه ای مهیا می باشد. در این مدل ماسه نوادا^۱ با مشخصات مندرج در جدول (ب-۱) در پیوست ب در چهار تراکم نسبی ۰.۴۰٪، ۰.۵۰٪، ۰.۶۰٪ و ۰.۷۰٪ مورد

۲ - Validate

۱ -Nevada sand

پذیرد و بر اساس مطالعات پشنگ پیشه [۱۰] اعداد ۰/۷۹، ۰/۵۲، ۰/۲ و ۰/۵ به ترتیب مقادیری برای ثابت های فوق در نظر گرفته می شوند. ضمناً شبیه سازی لوله در نرم افزار، با تخصیص المان سازه ای تیر به آن انجام گردیده است. المان مذکور یک المان دو بعدی است که دارای مقاومت خمشی بوده و در هر نقطه گره ای، دارای سه درجه آزادی شامل جابجایی در جهت x، جابجایی در جهت y و دوران می باشد.

۳-۱- صحت سنجی مدل

به دلیل برخی از ویژگی های نامشخص دخیل در اندرکنش بین خاک و لوله ضریب کاهش مقاومت سطح مشترک را می توان تغییر داد تا به بهترین هماهنگی بین نتایج تحلیل عددی و آزمایشگاهی رسید [۸]. در این تحقیق نیز پنج مقدار برای ضریب مذکور در نظر گرفته شد و اضافه فشار آب حفره ای در نقاط P_1 و P_3 در نتایج هر دو تحلیل عددی و آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه گردیدند. بهترین تطابق به ازای ضریب مذکور برابر ۰/۳۸ حاصل شد.

شکل ۲ نمای شماتیک از مدل آزمایشگاهی لوله مدفون در ماسه نوادا در

دستگاه سانتریفیوژ [۵]

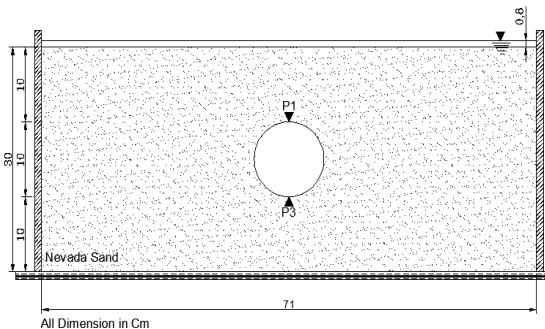


Fig 2. Schematic View of Buried pipe in Nevada sand experimental modeling in centrifuge apparatus

شکل ۳ اضافه فشار آب حفره ای در نقطه P_3 در مدل آزمایشگاهی و مدل های عددی

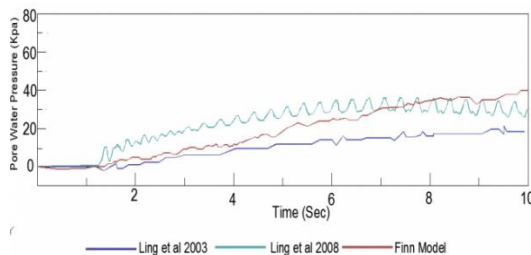


Fig 3. Excess pore water pressure in P1 point in experimental and numerical models.

به ذکر است به دلیل تقارن شکل هندسی لوله نسبت به محور عمودی و همگن بودن خاک مدل، جهت کاهش زمان آنالیز، نصف شکل لوله و خاک مدل سازی گردیده است. ضمناً به منظور اجتناب از آنالیز دقیق نواحی کم اهمیت که مستلزم صرف زمان است و همچنین افزایش تمرکز بر نواحی نزدیک تر به لوله، تراکم شبکه بندی در حاشیه مدل کمتر و در پیرامون لوله بیشتر است.

در بارگذارهای دوره ای محیط های متخلخل، چنانچه فضای خالی بین ذرات با ماده سیال اشباع شده باشد، آنگاه فشار سیال افزایش یافته و تنش های موثر وارده بر دانه های جامد کاهش می یابد. به بیان دیگر در حین روانگرایی، فشارهای وارد شده بر دانه های جامد، به سیال موجود در فضای خالی بین دانه ها انتقال می یابد. مکانیسم مذکور در سال ۱۹۷۵ توسط مارتین و همکاران^۱ به خوبی فرمول بندی شده است. آنها رابطه تجربی زیر را برای ارتباط بین کاهش حجم توده ($\Delta \varepsilon_{vd}$) و میزان بزرگی کرنش های برشی متناوب (γ) به شرح ذیل به دست آوردند:

$$\Delta \varepsilon_{vd} = C_1 (\gamma - C_2 \varepsilon_{vd}) + \frac{C_3 \varepsilon_{vd}^2}{\gamma + C_4 \varepsilon_{vd}} \quad (2)$$

این محققین با توجه به معادله (۲) و نیز شرایط مرزی و ضرایب مشخص، اقدام به محاسبه تغییرات فشار سیال در محیط متخلخل کردند. در نرم افزار FLAC یک مدل رفتاری به نام مدل فین^۲ فرمول بندی شده که در آن، معادله (۲) با مدل پلاستیک موهر کولمب مرتبط می شود. لازم به ذکر است مدل های گوناگونی برای شبیه سازی روانگرایی وجود دارد اما مشکل اساسی این مدل ها، لزوم انجام برخی آزمایش های آزمایشگاهی یا محلی است. و این موضوع در ساخت یک مدل کامپیوتری به عنوان یک نقص عمده محسوب می گردد. لذا استفاده از مدل جامع و موثر فین این نقیصه را برطرف می سازد. در معادله (۲)، C_1 ، C_2 ، C_3 و C_4 ضرایبی هستند که از آزمایشات سه محوری به دست آمده و ثوابت معادله می باشند [۹]. در تحقیق حاضر، مدل سازی در مدل رفتاری فین تحت فرمولاسیون مارتین انجام می

1- Martin. etal
2- Finn model

مقدار بیشینه رسیده و به تدریج کاهش می یابد. این روند در دانسیته نسبی ۰.۴۰٪ نیز تا حدودی مشهود است اما منحنی مربوط به دانسیته نسبی ۰.۷۰٪ رفتاری متفاوت از خود نشان می دهد. ملاحظه می گردد در منحنی مذکور با افزایش زاویه اتساع، میزان برخاستگی لوله، همواره کم می شود. نتایج تحقیقات سعید زاده و هاتف [۸] نیز با این نتایج همپوشانی خوبی دارد.

شکل ۵ نمایش میزان برخاستگی لوله در برابر زوایای اتساع مختلف خاک

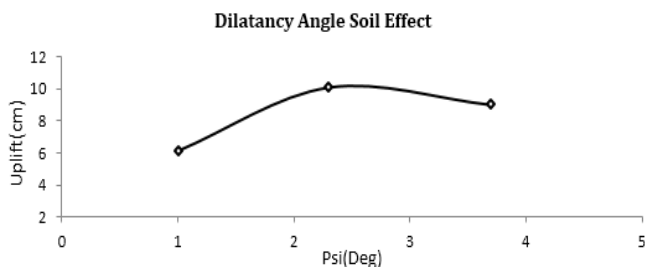


Fig 5. Uplift of buried pipe in different dilatancy angle of soil.

۳-۳- تاثیر مصالح غیر روانگرا

در این مرحله، مدل سازی خاک غیرروانگرا در اطراف لوله دفن شده انجام می گیرد. مشخصات مصالح خاکی در مدل نرم افزاری فقط در دو مورد با مدل قبل متفاوت است یکی افزایش زاویه اصطکاک به ۳۰ درجه و دیگری افزایش چسبندگی خاک به ۳۰ کیلوپاسکال. مدل عددی ساخته شده در نرم افزار FLAC 2D در شکل (۶) نمایش داده شده است که در آن جنس مصالح خاکی پیرامون لوله به تفکیک مشخص می باشد.

اگر ضخامت لایه خاک غیر روانگرا، از سطح زمین تا اندکی زیر لوله را H بنامیم چند تحلیل در اعماق مختلف از سطح زمین تا عمق H_1 انجام می دهیم. به عنوان مثال در عمق H_1 ($0 < H_1 < H$) اولین تحلیل انجام می گیرد. دومین تحلیل در عمق H_2 ($H_1 < H_2 < H$) انجام می گیرد و این روند تا عمق $H_n = H$ ادامه می یابد. نتیجه حاصل از تحلیل های مختلف در شکل (۷) نمایش داده شده است. در این شکل محور عمودی میزان برخاستگی لوله بر حسب سانتیمتر در برابر کمیت بدون بعد (H/D) بر حسب درصد نمایش داده شده است که D قطر لوله می باشد.

شکل ۴ اضافه فشار آب حفره ای در نقطه P_3 در مدل آزمایشگاهی و مدل های عددی

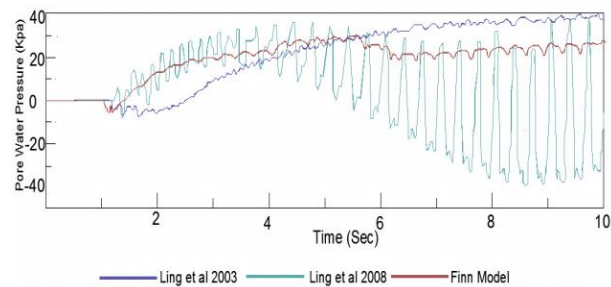


Fig 4. Excess pore water pressure in P3 point in experimental and numerical models.

۳-۲- تاثیر زاویه اتساع^۱ و دانسیته نسبی خاک

برای ارزیابی زاویه اتساع خاک بر ایجاد نیروی شناوری لوله، دوازده آنالیز دینامیکی شامل سه زاویه متفاوت برای هر دانسیته نسبی، بر روی یک لوله به قطر ۳ متر مدفون در عمق ۱/۵ متری از سطح زمین، انجام گرفت. مقادیر مختلف زاویه اتساع در تراکم های نسبی متفاوت برای خاک مورد نظر طبق جدول (۱) در نظر گرفته شده است. بار زلزله در این تحلیل، موج سینوسی با شتاب $0.7g$ و فرکانس ۳ هرتز به مدت ۱۰ ثانیه به مدل وارد گردیده است. در پایان بارگذاری مقادیر جا به جایی قائم لوله در برابر زوایای اتساع مختلف در شکل (۵) نمایش داده شده است.

جدول (۱) تحلیل زوایای اتساع مختلف در تراکم های نسبی متفاوت خاک [۶]

Dilatancy Angle (Deg)	Friction Angle (Deg)	Bulks moduli (Kpa)	Shear moduli (Kpa)	Adhesives (Kpa)	Density (kn/m^3)
0.45	25	770	1155	0.00	26.7

Table 1. Properties Of Nevada Sand [6]

در گراف نمایش داده شده در شکل (۵)، ملاحظه می گردد که برای دانسیته های نسبی متوسط نظیر ۰.۵۰٪ و ۰.۶۰٪ برخاستگی لوله متناسب با افزایش زاویه اتساع، طی یک سیر صعودی به یک

^۱ -Dilatancy angle

۴-۳- تاثیر زاویه اصطکاک خاک

یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر وقوع پدیده روانگرایی، زاویه اصطکاک خاک به نظر می رسد. شانتانو جوشی^۱ و همکاران [۱۲] در تحقیقات خود به تحلیل عددی لوله های مدفون واقع در مسیر گسل های معکوس پرداخته اند. یکی از پارامترهایی که در آن تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، تاثیر میزان جا به جایی گسل بر مجموع بیشینه کرنش فشاری لوله تحت خاکریزهایی^۲ با زوایای اصطکاک مختلف می باشد. این محققین دریافتند که در یک مقدار معین جا به جایی گسل، خاکریزهایی که زاویه اصطکاک بیشتری دارند، سبب ایجاد کرنش فشاری بیشتری در لوله می گردند. استدلال این محققین بر این بود که با افزایش ϕ ، نیروی اصطکاک داخلی خاک افزایش یافته و متناسب با آن، جا به جایی قائم لوله محدود می گردد که نتیجه این رویداد افزایش کرنش فشاری بیشینه در لوله است. در این تحقیق، میزان جا به جایی قائم لوله به ازای پنج زاویه اصطکاک داخلی متفاوت خاک در آنالیزهای جداگانه در مدل عددی شبیه سازی شده لوله مدفون تحت بارگذاری مذکور در قسمت های پیشین، مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه تحلیل در شکل (۸) به نمایش گذاشته شده است. همان گونه که در شکل نمایان است با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، میزان برخاستگی لوله کمتر می شود. این موضوع با نتایج تحقیق شانتانو جوشی و همکارانش مطابقت دارد. بنابراین با استفاده از خاک هایی با زاویه اصطکاک بالا در اطراف و روی لوله های مدفون می توان در کاهش میزان خسارات وارده ناشی از شکست لوله، دخیل بود.

شکل ۸ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر میزان برخاستگی لوله

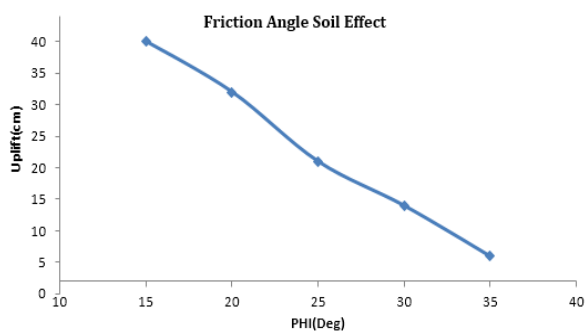


Fig. 8. Effect of internal friction angle of soil on uplift of buried pipe.

شکل ۶ نمایش مدل سازی خاک غیر روانگرا در اطراف لوله

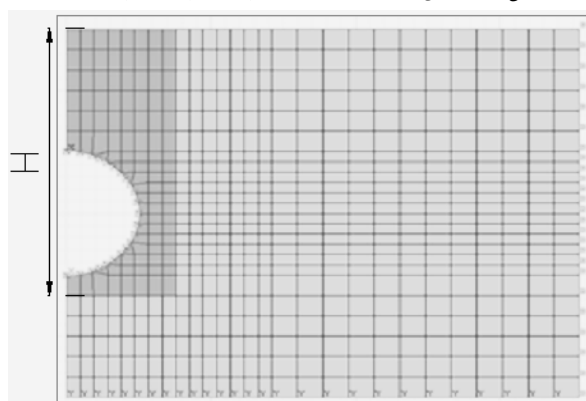


Fig. 6. Numerical modeling of non-liquefied soil around buried pipe.

شکل ۷ تاثیر حضور خاک غیر روانگرا بر میزان برخاستگی لوله

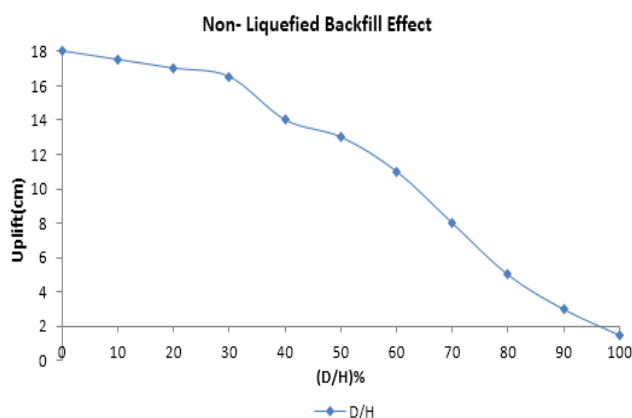


Fig. 7. Effect of non-liquefied soil on uplift of buried pipe.

مشاهده می گردد که با افزایش عمق خاکریز از جنس مصالح غیر روانگرا میزان بلندشدگی لوله کاهش می یابد. نتایج حاصل از تحلیل عددی آزادی و میرمحمدحسینی [۷] در رابطه با تاثیر همجواری لایه های غیر روانگرا با لایه های روانگرای خاک بر جا به جایی قائم تونل های لاینینگ شده، تأییدی بر نتیجه تحلیل اخیر می باشد. این روش در فاز اجرایی برای خطوط انتقال بین شهری با طول مسیر زیاد ممکن است مقرون به صرفه نباشد اما در محدوده سایت های صنعتی نظیر پالایشگاه ها می توان با انجام خاکریزی اطراف لوله ها با خاک هایی که قابلیت روانگرایی ندارند، از وقوع آسیب های احتمالی به خطوط لوله جلوگیری کرد.

۱ - Shantanu Joshi

۲ - Backfills

۳-۵- تاثیر قطر لوله مدفون

متناسب با شرایط، منجر به حفر ترانشه های سطحی یا عمیق می گردد که دفن لوله در هر کدام از اعماق مذکور متناسباً دارای خاکریزی به همان نسبت می باشد. تاثیر بار مرده با چشم پوشی از بارهای زنده، می تواند عامل بعدی برای بررسی تاثیر آن بر مقدار برخاستگی لوله در خاک های دانه ای با پتانسیل روانگرایی تحت بار زلزله باشند. به همین منظور برای یک لوله با قطر یک متر، چند عمق دفن متفاوت در نظر گرفته می شود و تحت رکورد زلزله طیس مورد آنالیز قرار می گیرد که نتایج آن در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. نتایج کلی این تحلیل نشان می دهد که افزایش عمق دفن و سربار مرده روی لوله، در کاهش میزان برخاستگی لوله موثر است. در بررسی دقیق تر نتایج مشخص می گردد که در عمقی معادل قطر لوله ($H = D = 1m$) روند نزولی شکل (۱۰) تغییر کرده و آهنگ کاهش برخاستگی نسبت به اعماق سطحی تر، دارای روند کندتری می شود. لذا این عمق را می توان به عنوان یک عمق بهینه برای دفن لوله معرفی نمود. نتایج تحقیقات شانتانو جوشی و همکارانش [۱۲] نیز صحت این موضوع را تایید می نماید. این محققین تحقیقات خود را بر تاثیر عمق دفن لوله بر کرنش فشاری ماکزیمم لوله $\epsilon_{c, max}$ متمرکز ساخته بودند و به این نتیجه دست یافتند که افزایش عمق ترانشه و متناسب با آن افزایش سربار مرده روی لوله منجر به کاهش جا به جایی قائم و نهایتاً افزایش کرنش فشاری در لوله می گردد. موزر [۱۳] جهت ممانعت از افزایش میزان کرنش فشاری ماکزیمم میزان سربار خاک روی سطح لوله را به اندازه $(D/6)$ کافی دانست که D قطر لوله می باشد.

شکل ۱۰ تاثیر عمق دفن لوله بر میزان برخاستگی لوله

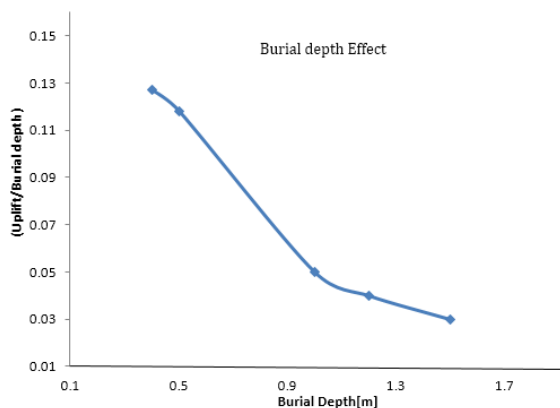


Fig. 10. Effect of buried depth on uplift of pipe.

در ادامه بررسی عوامل موثر بر میزان برخاستگی^۱ لوله، به بررسی تاثیر قطر لوله پرداخته می شود. لوله هایی با قطرهای مختلف و سایر مشخصات یکسان، در مدل شبیه سازی شده تحت بارگذاری موج سینوسی با مشخصاتی که در ابتدای بخش ۳ ذکر شد، آنالیز گردید. نتایج حاصل از این آنالیز در شکل (۹) نشان داده شده است. ملاحظه می گردد که با افزایش قطر لوله مدفون، به دلیل افزایش وزن متناسب با قطر، و تبعاً ازدیاد نیروی بویانسی^۲ وارده بر لوله، میزان برخاستگی لوله نیز افزایش می یابد. آهنگ افزایش میزان برخاستگی لوله در میان لوله های با قطر بیش از ۱/۸۰ متر، به طور مشهودی کاهش می یابد. مطابق شکل مذکور میزان برخاست لوله به ازای قطرهای بیش از ۱/۶۰ متر است. لذا با انتخاب این قطر به عنوان قطر مبنا، می توان گفت آهنگ افزایش برخاستگی لوله به ازای نسبت قطر ۱/۱۶ (حاصل تقسیم قطر ۱/۸۰ به قطر مبنا) به صورت چشمگیری کاهش می یابد.

شکل ۹ تاثیر قطر لوله مدفون بر میزان برخاستگی لوله

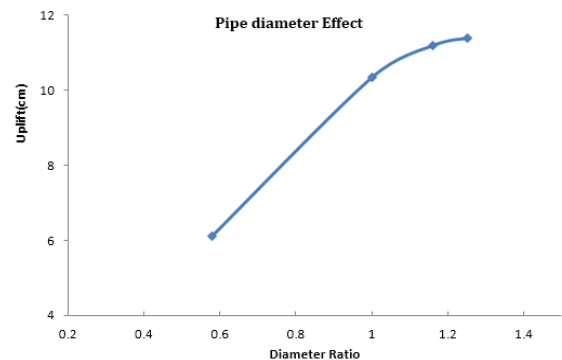


Fig. 9. Effect of pipe diameter on uplift of buried pipe.

۳-۶- تاثیر عمق دفن لوله

در بسیاری از خطوط انتقال به دلایلی از قبیل رعایت گرادیان هیدرولیکی جریان در انتقال های ثقلی سیال، تداخل با سایر سازه های مدفون از قبیل لوله، خطوط مخابرات، تونل های زیرزمینی، جنس غیر قابل حفاری بستر، بالا بودن تراز آب زیرزمینی و . . . رقم کف لوله اجباری می باشد. این موضوع

۱ - Uplift

۲ - buoyancy force

۳-۷- تاثیر سطح آب زیر زمینی

۴- نتیجه گیری

این تحقیق به منظور تشریح کامل و تفهیم واضحی از مکانیسم پدیده روانگرایی و بررسی برخی از عوامل موثر در وقوع این پدیده در ساختگاه لوله های مدفون، انجام گردید. نتایج این تحقیق به صورت مختصر در بندهای زیر ذکر می گردد:

استفاده از نرم افزار FLAC- 2D و مدل فین به عنوان یک روش عددی تفاضل محدود صریح، و نیز بهره گیری از مدل آزمایشگاهی لینگ و یانگ [۱۴] نتایج مطلوبی در شبیه سازی لوله های مدفون در خاک های مستعد روانگرایی تحت بارهای سیکلی زلزله و شناسایی عوامل موثر بر وقوع پدیده روانگرایی، به دست می دهد.

همواره افزایش زاویه اتساع در خاک های ماسه ای با تراکم نسبی ۷۰٪ و بیشتر، به منظور کاهش میزان جابجایی قائم لوله های مدفون در حین وقوع روانگرایی موثر است.

افزایش عمق خاک غیر روانگرای اطراف لوله در داخل ترانشه حفاری شده، میزان برخاستگی لوله را کاهش می دهد. آهنگ کاهش میزان برخاستگی لوله در عمقی معادل $(\frac{D}{2})$ تا D مشهودتر می باشد (D قطر لوله است).

با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، نیروی اصطکاک مقاوم در برابر جا به جایی لوله افزایش یافته و میزان شناوری لوله را کاهش می دهد.

لوله های مدفون با قطر بزرگ در معرض شناوری بیشتری هستند. لوله هایی که قطر آنها در محدوده ۱/۶۰ تا ۱/۸۰ متر هستند بسیار آسیب پذیرترند. اما آهنگ افزایش برخاستگی لوله های مدفون با قطر بیش از ۱/۸۰ متر، بسیار کندتر است.

لوله های مدفون در ترانشه های عمیق دارای جا به جایی قائم کمتری نسبت به اعماق سطحی تر هستند. البته در اعماق نسبتاً زیاد این آهنگ کاهش، روند بسیار آرامی دارد. از نتایج این پژوهش تعیین عمق دفن لوله به اندازه قطر لوله مدفون است که با عنوان "عمق بهینه دفن" معرفی می گردد.

با پایین انداختن سطح آب زیرزمینی مجاور لوله های مدفون می توان در راستای تامین ایمنی بیشتر لوله های مدفون در خاک های مستعد روانگرایی، گام برداشت.

پارامتر بعدی که ممکن است بر میزان شناوری لوله های ناشی از وقوع پدیده روانگرایی مدفون موثر باشد، رقوم سطح آب زیرزمینی است. در بسیاری از مناطق خصوصاً مناطق ساحلی سطح آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین طبیعی می باشد که دفن لوله در این نواحی با صعوبت همراه است. به منظور بررسی آسیب پذیری این لوله ها به دلیل شناوری و پارگی های ناشی از آن، لوله موجود در مدل پایه به عمق دفن ۳ متر تحت رکورد زلزله نقان بارگذاری می گردد. متغیر این قسمت رقوم آب زیرزمینی است که از تراز زیر لوله شروع شده و به سمت بالا افزایش می یابد و در شش سطح، تحلیل های جداگانه ای انجام می پذیرد. نتایج حاصل از هر کدام از تحلیل ها در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. این نمودار میزان برخاستگی لوله را در برابر کمیت بدون بعد نسبت سطح آب زیرزمینی بر ارتفاع خاک مدل، نمایش می دهد. مشاهده می گردد که افزایش رقوم سطح آب زیر زمینی منجر به افزایش شناوری لوله می گردد. بنابراین یکی دیگر از راهکارهای مقابله با کاهش شناوری لوله های مدفون، پایین انداختن سطح آب زیرزمینی با روش هایی نظیر احداث چاه های زهکش می باشد. این پیشنهاد اگر چه در مسیرهای طولانی خطوط انتقال یک پیشنهاد اقتصادی نیست اما در سایت های محدود صنعتی می تواند فعالیتی کاملاً موثر در راستای حفاظت از لوله های مدفون در خاک های روانگرا باشد.

شکل ۱۱ تاثیر سطح آب زیرزمینی بر میزان برخاستگی لوله

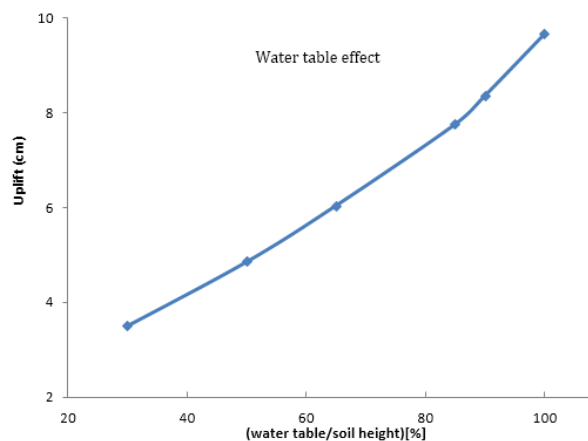


Fig. 11. Effect of underground water table depth on uplift of pipe.

پیوست الف

اشکال (الف-۱) و (الف-۲) را ببینید.

فهرست مراجع

References

- [1] Schiff AJ. Northridge earthquake: lifeline performance and post earthquake response. Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering ASCE; 1997.
- [2] Gi -Chun Kang, Tetsuo Tobita, Susumu Iai. Damage to sewerage systems during the 2004 Earthquake in Niigata-ken Chuetsu, Japan. Engineering Geology 2013;230:242-164.
- [3] O'Rourke TD, Gowdy TE, Stewart HE, Pease JW. Lifeline and geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta Earthquake. In: Proceedings of the 2nd international conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics, University of Missouri-Rolla, Rolla, Mo; 1991. p. 1601-12.
- [4] Chou HS, Yang CY, Hsieh BJ, Chang SS. A study of liquefaction related damages on shield tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology 2001;160:185-93.
- [5] Ling HI, Mohri Y, Kawabata T, Liu H, Burke C, Sun L. Centrifugal modeling of seismic behavior of large-diameter pipe in liquefiable soil. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE 2003;129(12): 1092-101.
- [6] Ling HI, Sun L, Liu H, Mohri Y, Kawabata T. Finite element analysis of pipe buried in saturated soil deposit subject to earthquake loading. Journal of Earthquake and Tsunami 2008;2(1):1-17.
- [7] M. Azadi, S.M. Mir Mohammad Hosseini, The Uplifting behavior of shallow tunnels within the liquefiable soils under cyclic loading. Tunnelling and Underground Space Technology 2010;25:158-167.
- [8] Reza Saeedzadeh, Nader Hataf., Uplift response of buried pipelines in saturated sand deposit under earthquake loading. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2011;31:1378-1384.
- [9] Flac: a finite difference program for soil and rock analysis. Manual. Version 7.
- [10] Pashangpishhe, Y., 2004. Mechanism of Soil Deformation Due to Double Lenses Liquefaction and Critical Depth Determination. M.Sc. Thesis Submitted in Civil Eng., Faculty of Amirkabir University of Technology, Iran.
- [11] Arulmoli K, Muraleetharan KK, Hossain MM, Fruth LS. VELACS: verification of liquefaction analyses by centrifuge studies— laboratory testing program. Soil data report. Earth Technology Corporation 1992
- [12] Shantanu Joshi, Amit Prashant, Arghya Deb, Sudhir K. Jain. Analysis of buried pipelines subjected to reverse fault motion. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 2011;31:930-940.
- [13] Moser AP. Buried pipe design. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 2001.
- [14] Ling HI, Yang S. Unified sand model based on the critical state and generalized plasticity. Journal of Engineering Mechanics ASCE 2006;132(12): 1380-91.

شکل (شکل الف-۱). رکورد زلزله نقان

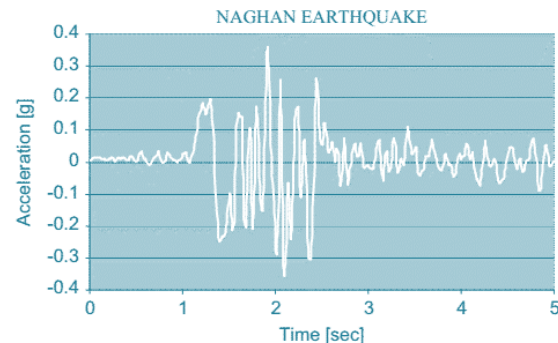


FIG a-1. NAGHAN EARTHQUAKE RECORD

شکل (الف-۲). رکورد زلزله طیس

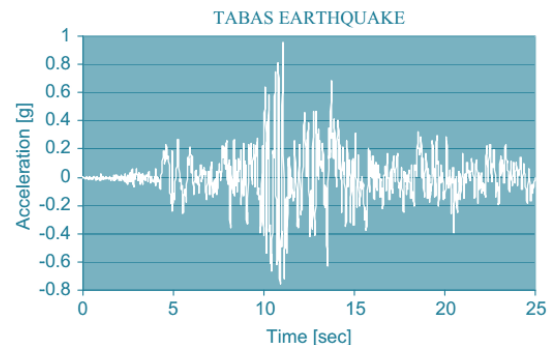


FIG a-2. TABAS EARTHQUAKE RECORD

پیوست ب

جدول (ب-۱) را ببینید.

[جدول ب-۱]. مشخصات مصالح به کار رفته در مدل سازی عددی [۶]

Table 1. Material parameters for the soil and pipe models.

(a) Soil: Pastor-Zienkiewicz Mark-III Model	
Slope of critical state line, M_g	1.15
Parameter determining loading surface size, M_f	1.03
Parameter for loading surface shape, α_f	0.45
Parameter related to soil dilatancy, α_g	0.45
Bulk modulus constant, K_{ev0c} (kPa)	770
Shear modulus constant, K_{es0c} (kPa)	1155
Deviatoric hardening parameter, β_0	4.2
Deviatoric hardening parameter, β_1	0.2
Mean initial stress, p_0' (kPa)	4.0
Plastic modulus parameter, H_0 (kPa)	600
Cyclic parameter, H_{u0} (kPa)	4000
Cyclic parameter, γ_{Hu}	2
Cyclic parameter, γ_{DM}	0
Specific gravity, G_s	2.67
Void ratio, e	0.736
Coefficient of hydraulic conductivity, k (m/s)	2.2×10^{-6}
(b) Pipe: Linear Elastic Model	
Young's modulus, E (kPa)	2.0×10^8
Poisson ratio, ν	0.286
Unit weight, γ (kN/m ³)	26.6

Numerical analysis of effective parameters on liquefaction occurrence result from earthquake on site of buried pipeline

Payam Parsafar¹, Hassan Sharafi^{*2}

1- M.Sc. Student of Geotechnic Engineering, Faculty of Eng., Arak Azad University

2- Assistance Prof., Faculty of Eng., Razi University

h_sharafi@iust.ac.ir

Abstract:

Saturated granular soils are possible liquefied when subjected to earthquake loading. This phenomenon is result from generation of excess water pore pressure because of non enough time to water drainage and govern non- Consolidated Condition.

When liquefaction is occurred, many forces are generated and undergrounds structures are affected. In this research numerical analysis on buried pipelines in FLAC 2D software are performed and verified duration a comparative process with experimental result from ASCE organization. In present research surveyed effects of various parameters on liquefaction occurrence and probable damages to buried pipelines as dilatancy and friction angle of soil, relative density of back fill around the pipe, diameter and buried depth of pipe and underground water level.

Results indicated that uplift of pipe decrease when dilatancy and friction angle of soil increased in constant relative density condition. This result is different for varied relative density. In low and medium relative density by increasing of dilatancy angle, uplift of pipe increase, reach to pick and decrease. But floating decrease with increasing dilatancy angle for high relative density always. Buried pipe in depth trench and increase of dead load result from back fill on pipeline and usage of pipes with small diameter, decrease uplift the pipe in liquefaction occurrence too. Of course don't expect perform this subjects in all conditions. for example conflict ion to other underground installation, necessary hydraulic gradient for fluids flow or excavation in region with up underground level, don't make to excavation of deep conduits. The analysis demonstrate that vertical displacement and damages to pipe is decrease if around installed pipe in conduit back fill with non- liquefied soils. In this new analysis all physical properties of soil and pipe in model are without any change except the cohesion and friction angle of soil around the pipe. Cohesion soils are low potential to liquefaction. For this reason we increase this coefficient from zero to 30 kpa and reach the friction angle to 30 degree. Results are demonstrated in a graph that show uplift versus thickness of non-liquefied soil normalized with diameter of pipe.

Final parameter that surveyed in this research is effect of underground water level on floating buried pipeline. Results show decrease of underground water level cause to decrease of floating and damages to pipeline. For this purpose add a new water level to base model and run the analysis. In next stepes the underground water level is lesser and results are show in a graph that explain variation of vertical displacement versus water level normalized by thickness of soil model. This work possible by excavation of drainage shaft and drop down water level nearby the pipeline. Of course, look this work isn't economical proposal for long transmission pipelines as petroleum or water conveyance. But in limit industrial sites as refineries this proposal is an improvement work to prevent any damage and and continual service of lifelines duration of unpredictable phenomenon.

Keywords: Liquefaction, buried pipelines, FLAC, finite difference method, Finn's model.