



## پاسخ استاتیکی و دینامیکی منهول های شبکه جمع آوری فاضلاب با توجه به

### جنس خاک

فهامه صالحیان متی کلایی

Email: salehian81@yahoo.com

مرتضی حسن علی بیگی

حسن امینی راد

حسن گلماهی

زهرا تبریزیان

Email: m.beygi@nit.ac.ir

Email: h.a.rad@nit.ac.ir

Email: sgolmai@yahoo.com

Email: zahra\_tabrizian@yahoo.com

### چکیده

حدود ۲۵ درصد از هزینه های احداث شبکه های جمع آوری فاضلاب مربوط به منهول ها می باشد. و از سویی دیگر عملکرد صحیح شبکه های جمع آوری فاضلاب به کارایی مناسب اجزای آن به خصوص منهول ها وابسته است. به علت مدفون بودن منهول ها و گستردگی مسایل مربوط به سازه های محصور شده در خاک، در این مطالعه رفتار سازه تحت تاثیر بارهای استاتیکی و لرزه ای، در اثر نوع خاک و عمق منهول ها با فرض رفتار غیر خطی برای خاک مورد بررسی قرار گرفته است. در مرزهای خاک، به علت مسایل مربوط به اندرکنش خاک و سازه از مرزهای جاذب در مکان های مناسب استفاده شده است. در این مطالعه، مدل سه بعدی از منهول به همراه خاک اطراف آن توسط نرم افزار ANSYS با توجه به تنوع المان های آن ایجاد گردید. نتایج تحلیل ها نشان می دهد، نوع خاک یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر فشار جانبی وارده بر منهول و جابه جایی سازه و خاک خواهد بود.

### کلمات کلیدی

پاسخ استاتیکی، پاسخ دینامیکی، خاک، منهول، عمق



## ۱. مقدمه

امروزه در بسیاری از کشورها احداث سازه های زیرزمینی به علت محدودیت های مکانی، مسائل اقتصادی و سیاسی و مهمتر از آن ارتقا تکنولوژی های نوین، روند رو به رشدی را طی نموده است. از جمله این تاسیسات زیربنایی، شبکه های جمع آوری فاضلاب می باشد که در سطح وسیعی گسترده شده است. از سویی دیگر با توجه به فعال بودن بسیاری از گسل ها در ایران، تاثیر و توسعه مجاورت شبکه های آب و فاضلاب با گسل ها و از بین رفتن مسیرهای فاضلاب، نشت و... می تواند به طور چشمگیری ایمنی و سلامتی محیط را به مخاطره اندازد. در این میان شناخت وضعیت و رفتار لرزه ای منهول های فاضلاب به عنوان جزء لاینفک شبکه های فاضلاب امری ضروری به شمار می آید. در خصوص رفتار سازه ای منهول ها مطالعات خاصی صورت نگرفته است و زمینه های تحقیقاتی در این مورد در کشور و خارج از کشور محدود می باشد. توبیتا روشی جهت تخمین ماکزیمم تغییر مکان رو به بالای منهول ها تحت روانگرایی بیان نمود [8]. شمسی نیز به منظور مقاوم سازی لرزه ای منهول های فاضلاب راهکارهایی از جمله تهیه مفصل پلاستیکی در ابتدا و انتهای هر منهول ارائه نموده است [2]. هدف از انجام این مطالعه بررسی رفتار استاتیکی و دینامیکی منهول های بتنی شبکه جمع آوری فاضلاب در خاک می باشد. بدین منظور از نرم افزار ANSYS [7] با توجه به قابلیت های بالای آن استفاده شده است.

## ۲. اندرکنش خاک و سازه

امروزه با گسترش صنایع و تکنولوژی، ساخت سازه های مهندسی در خاک رایج شده است. خاک به همراه سازه احداث شده در آن، تحت تاثیر بارهای استاتیکی و دینامیکی قرار می گیرد. از سویی دیگر پاسخ لرزه ای سازه های مهندسی متاثر از محیطی است که سازه در آن احداث شده است [5]. لذا در تحلیل های دینامیکی جهت رسیدن به جواب واقعی سازه، بایستی اندرکنش خاک - سازه مورد بررسی قرار گیرد [6]. به طور معمول سه روش در تحلیل اندر-کنش خاک - سازه وجود دارد: ۱- روش مستقیم ۲- روش زیر سازه ۳- روش مختلط. در این مطالعه از روش مستقیم استفاده شده است. این روش بر مبنای فرمول بندی اجزاء محدود استوار است. بدین معنا که سازه و قسمتی از خاک اطراف آن به وسیله اجزای محدود و در یک مرحله مدل می شوند و از مرزهای مصنوعی در مکان مناسبی از مرز خاک - سازه استفاده می شود. لذا در این روش به کارگیری نوعی المان مرزی که از انعکاس امواج جلوگیری نماید، الزامی است.

در این مطالعه نیز به منظور دستیابی به خواص المان مرزی از روش لایزمر و کوله مایر استفاده شده است [4].

$$\sigma = b \cdot \rho \cdot v_p \cdot w \quad (1)$$

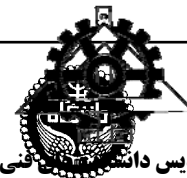
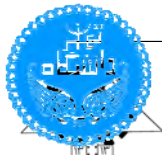
$$\tau = b \cdot \rho \cdot v_s \cdot u \quad (2)$$

که بر اساس آن دو میراگر با ضرایب میرایی:

$$c_p = a \cdot \rho \cdot v_p \cdot A \quad (3)$$

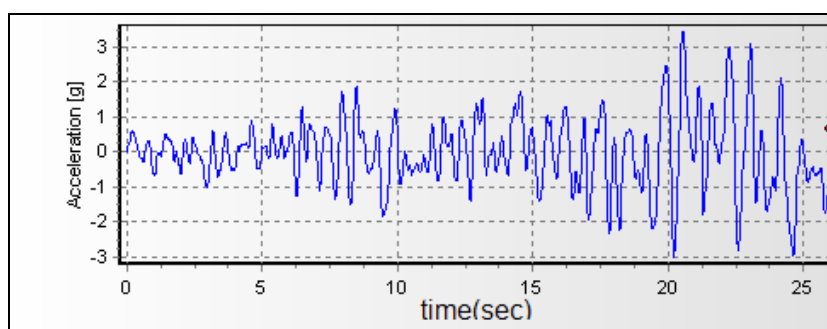
$$C_s = b \cdot \rho \cdot v_s \cdot A \quad (4)$$

به دست می آید. در معادله بالا  $v_p$  و  $v_s$  به ترتیب سرعت موج فشاری و برشی،  $\rho$  دانسیته مصالح،  $A$  سطح موثر هر المان،  $a$ ,  $b$  ضرایب میرایی می باشند. با در نظر گرفتن  $a=b=1$  مقدار جذب انرژی حدکثر است [1].



### ۳. مدل خاک - سازه

در این تحقیق مدل اجزای محدود خاک - سازه با استفاده از نرم افزار ANSYS ایجاد گردید. از المان SOLID65 برای مدل نمودن بتن و المان SOLID65 برای مدلسازی خاک استفاده شده است. برای مدلسازی مرزهای میراگر در فاصله مناسب از منهول به منظور جذب انرژی انعکاسی، از المان COMBIN14 استفاده شده است. ضرایب این المان در سه جهت X,Y,Z با توجه به نوع خاک در ارتفاعات مختلف متفاوت می باشد. جهت ارزیابی رفتار لرزه ای سازه، از رکورد ۲۶ ثانیه اول زلزله منجیل استفاده گردید، که به صورت تاریخچه زمانی شتاب بر مدل اعمال شده است. رکورد زلزله به گونه ای مقیاس شده که شتاب حاصل در سطح زمین  $0.35g$  باشد. تاریخچه زمانی شتاب فوق در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- تاریخچه زمانی شتاب

برای مدلسازی منهول، از تیپ نقشه های سازمان مدیریت برنامه ریزی با عنوان منهول کم عمق بتنی درجا به شماره نقشه MH/S/7-1 استفاده شده است.

خاک نیز تا عرض ۳m از مرکز منهول و تا ۲m از کف منهول مدل گردیده است. در این مطالعه نسبت میرایی ۵ درصد انتخاب گردید. مشخصات بتن، فولاد و خاک مورد استفاده در مدل به شرح جدول ۱ و ۲ می باشد.

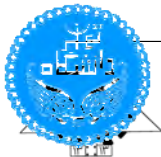
جدول ۱- پارامترهای خاک مورد استفاده در مدل

نوع خاک	$\rho(kg/m^3)$	$\nu$	$E(MPa)$	$\phi$	$C(N/m^2)$
خاک نرم (۱)	۱۸۰۰	۰.۴	۳.۵	۱۵	۲۳۰۰۰
خاک متوسط (۲)	۱۸۰۰	۰.۳۵	۱۹	۲۵	۲۰۰۰۰
خاک سخت (۳)	۱۸۰۰	۰.۳	۹۰	۳۵	۱۰۰۰۰

جدول ۲- مشخصات بتن مورد استفاده در مدل

بتن		فولاد	
جرم حجمی	مدول الاستیسیته	ضریب پواسون	مدول الاستیسیته
$2400 kg/m^3$	۲۰ GPa	۰.۱۸	۲۰۰ GPa
		۰.۲۵	

اندازه مشها با انجام آنالیز حساسیت انتخاب گردید و مدلسازی به نحوی صورت گرفته که مش بندی روی آن متقارن باشد.



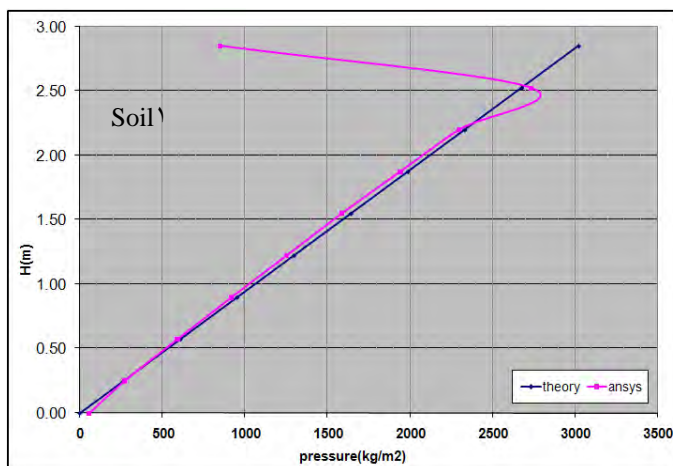
برای ارزیابی و بررسی تأثیرات غیرخطی خاک در پاسخ سازه، از معیار گسیختگی دراکر - پراگر به عنوان شاخصی برای کنترل حد غیر خطی خاک استفاده شده است. پارامترهای معیار دراکر - پراگر بر اساس مقادیر زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) و چسبندگی خاک (C) محاسبه شده است.

#### ۴. نتایج تحلیل استاتیکی

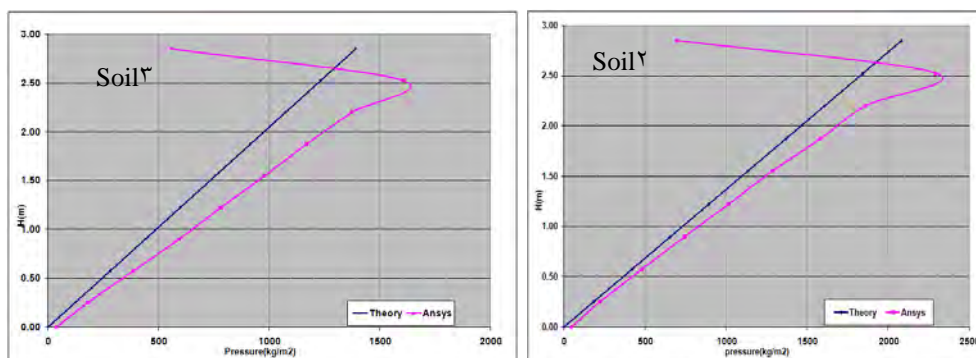
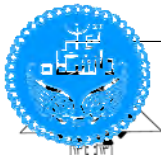
هدف از انجام این آنالیز محاسبه رفتار مستقل از زمان سازه در برابر بارگذاری‌های مختلف می‌باشد [3]. لذا پیش از ارزیابی سازه در مقابل بارهای دینامیکی، بایستی از پایداری سازه در مقابل بارهای استاتیکی اطمینان حاصل نمود.

در مدل مورد مطالعه درجات آزادی قائم و افقی بخش تحتانی و درجه آزادی افقی در مرزهای خاک مقید شده‌اند. در مرز بین خاک-سازه از گره‌های هم‌مکان (coincident node) استفاده شده که در جهت مناسب با یکدیگر کوپله شده‌اند.

میزان فشار جانبی خاک بر منهول در سه نوع خاک نرم، متوسط و سخت و مقایسه آن با روابط تئوری در نمودارهایی در ادامه آورده شده است (شکل ۲، ۳). دقت نتایج با تغییر نوع خاک متفاوت بوده است. نتایج در خاک نرم دارای دقت بیشتری است و مطابقت بیشتری با روابط تئوری دارد (شکل ۲). البته این اختلاف به دلیل آن که مدلسازی به روش اجزای محدود انجام گردیده و از سویی دیگر روابط تئوری عملاً یک فرمول کلی و تحلیلی است قابل توجیه می‌باشد. اختلاف نتایج در خاک سخت را نیز می‌توان ناشی از تأثیر اصطکاک بین خاک و دیواره با افزایش سختی در خاک و عدم تأثیر آن در این مطالعه دانست (شکل ۳).

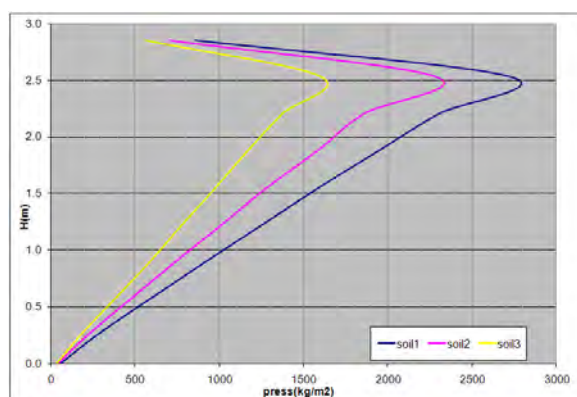


شکل ۲- نمودار مقایسه فشار جانبی در خاک نرم تئوری و اجزای محدود

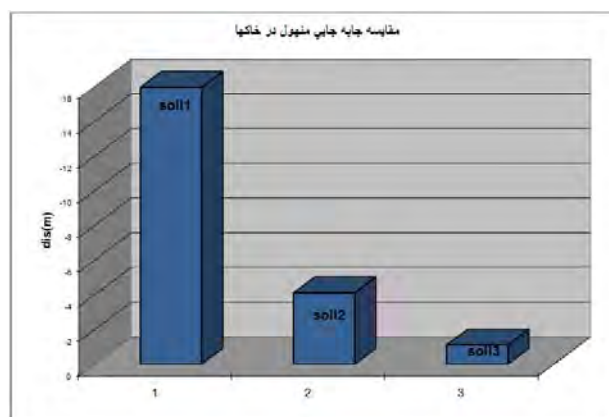


شکل ۳- نمودار مقایسه فشار جانبی تئوری و اجزای محدود در خاک متوسط (خاک ۲) و سخت (خاک ۳)

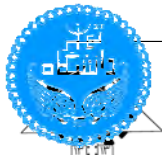
مقایسه فشار جانبی نیز در سه نوع خاک در شکل نشان می‌دهد با افزایش  $\phi$ ، فشار جانبی کاهش می‌یابد که با روابط تئوری نیز سازگاری دارد (شکل ۴). در ارتفاع ۲.۸۵ متر کاهش قابل توجهی در فشار جانبی مشاهده می‌شود. این کاهش فشار به دلیل وجود پاشنه منهول می‌باشد. لذا به منظور کاهش فشار جانبی خاک‌ها در مکان‌های خاص از سازه می‌توان از زائده رینگ مانند استفاده نمود. به طور کلی در این مساله خاص تغییر مکان بسیار ناچیز می‌باشد، با این وجود به منظور بررسی رفتار منهول‌ها در انواع خاک مقایسه‌ای بین جابه‌جایی انجام شده است. مقایسه جابه‌جایی منهول‌ها نشان می‌دهد که تغییر مکان همه نقاط بدنه منهول هم‌فاز بوده که از صلب فرض نمودن منهول ناشی می‌شود. اما با کاهش  $\phi$  بر میزان جابه‌جایی افزوده خواهد شد (شکل ۵).



شکل ۴- نمودار مقایسه فشار جانبی در خاک‌ها

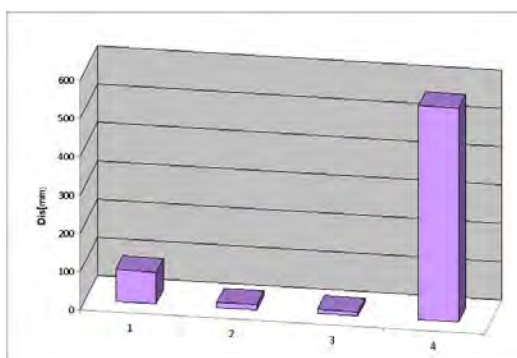


شکل ۵- نمودار مقایسه جابه‌جایی منهول در خاک‌ها



## ۵. نتایج تحلیل دینامیکی

مدل هندسی در تحلیل دینامیکی همان مدل تهیه شده در تحلیل استاتیکی می‌باشد، با این تفاوت که به جای استفاده از مرزهای ساده، از مرزهای میراگر به منظور حذف انرژی انعکاسی استفاده شده است. علاوه بر تحلیل و آنالیز سه خاک ذکر شده، خاک دیگری مشابه خاک نوع ۱ اما با زاویه اصطکاک داخلی صفر ( $\varphi=0$ ) نیز مورد تحلیل قرار گرفته است. مقایسه جابه‌جایی خاک‌ها در تحلیل دینامیکی نشان می‌دهد، با نرم شدن خاک (کاهش  $\varphi$ ، افزایش  $C$ ) بر میزان جابه‌جایی افزوده خواهد شد (شکل ۶).



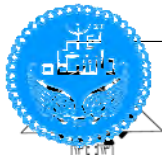
شکل ۶- نمودار مقایسه ماکزیمم جابه‌جایی خاک‌ها

لذا استفاده از خاک‌های ماسه‌ای به عنوان خاکریز هنگام احداث منهول‌ها منطقی به نظر می‌رسد. البته لازم به ذکر است در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست، احتمال روانگرایی در هنگام زلزله بایستی مورد بررسی قرار گیرد. مقایسه جابه‌جایی در چهار نوع خاک نشان می‌دهد (شکل ۶)، در شرایطی که امکان زهکشی فراهم نباشد، میزان جابه‌جایی خاک و حتی منهول اطراف آن به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت. به گونه‌ای که میزان جابه‌جایی خاک در شرایط زهکشی نشده به بیش از نیم‌متر نیز رسیده است. نمودارهای ارائه شده بر مبنای حداکثر مقادیر به دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی می‌باشد.

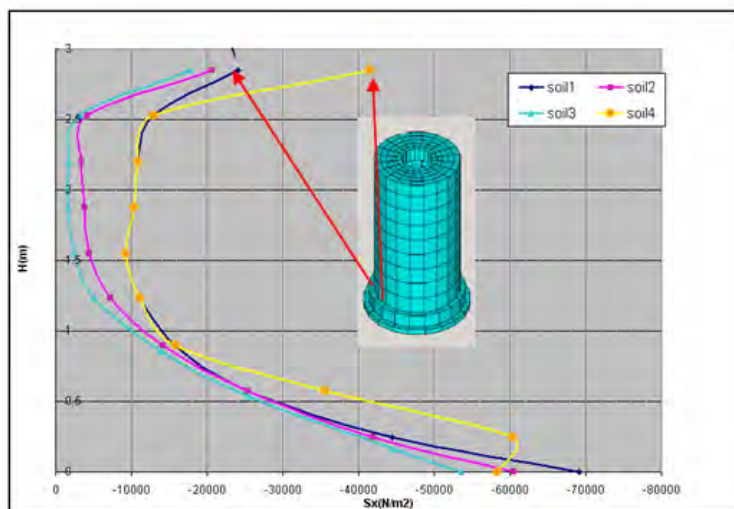
مقایسه تنش‌های فشاری در شکل ۷ نشان می‌دهد، با کاهش  $\varphi$  تنش فشاری افزایش می‌یابد. مشاهده می‌گردد، تنش فشاری حداکثر در سطح خاک اتفاق می‌افتد و با حرکت به سمت پاشنه منهول تنش فشاری کاهش می‌یابد. اما در نقطه ۱ مطابق شکل به علت وجود پاشنه، بر میزان تنش فشاری افزوده خواهد شد.

مقایسه تنش‌های کششی در شکل ۸ نشان می‌دهد، در نزدیکی سطح خاک تنش کششی در خاک‌های سخت بیش از خاک نرم می‌باشد و به تدریج با حرکت به سمت پاشنه، میزان تنش کششی در خاک‌های نرم بیش از خاک‌های سخت خواهد شد. به طور نمونه مقایسه تنش کششی بین خاک ۱ و ۲ در شکل ۸ نشان داده شده است. همچنین مشاهده می‌شود حداکثر تنش کششی در نزدیکی پاشنه‌های منهول اتفاق می‌افتد و با نزدیک شدن به پاشنه از میزان این تنش کاسته خواهد شد، به گونه‌ای که در نقطه ۱ مطابق شکل (پاشنه) تنش همواره به صورت فشاری خواهد بود.

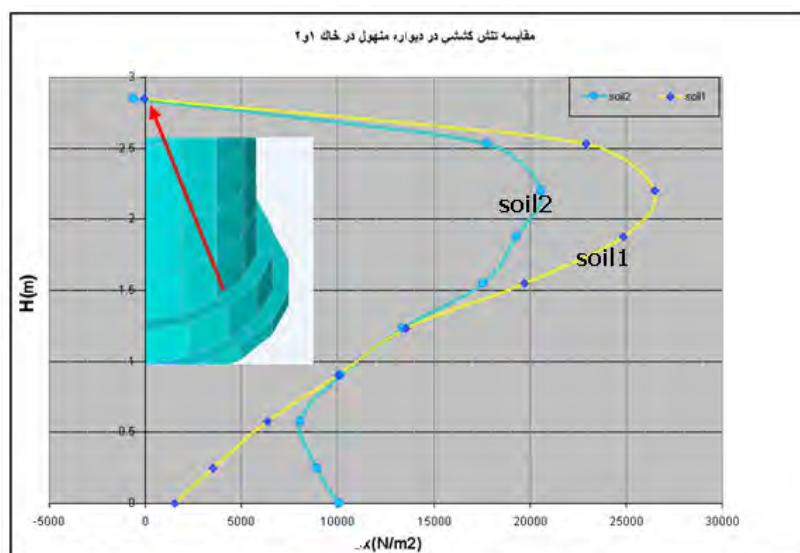
به طور کلی، در طراحی منهول‌ها به دلیل مسائل هیدرولیکی قادر به تغییرات زیاد در تعیین عمق نصب منهول نمی‌باشیم. لذا سعی شده است در این مطالعه نقش اختلاف ارتفاعات کم در تحلیل‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به طور نمونه در شکل ۹ جابه‌جایی در دو ارتفاع ۳.۲ و ۳.۰۵ متری در خاک ۱ نشان می‌دهد، با افزایش ارتفاع منهول، جابه‌جایی نیز افزوده خواهد شد. اما در تنش‌های فشاری مطابق شکل ۱۰ تغییری حاصل نخواهد شد. نتایج مشابهی در تحلیل‌های استاتیکی به دست خواهد آمد. لذا توصیه می‌گردد، زمانی که تعیین ارتفاع منهول‌ها، از لحاظ مسائل



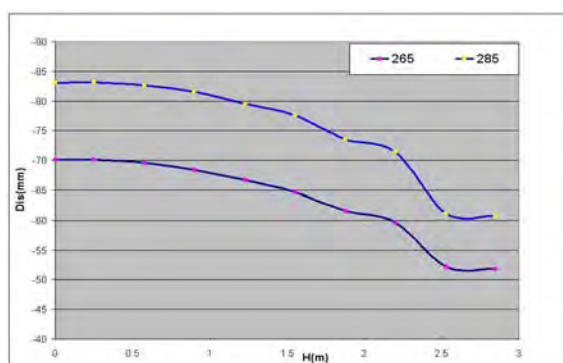
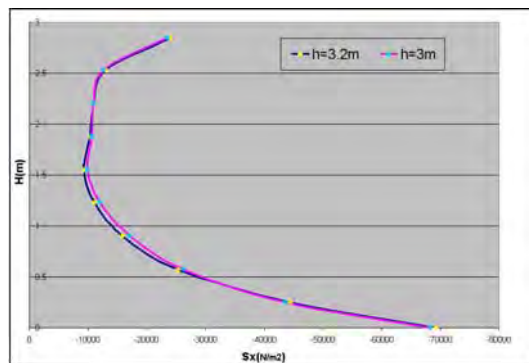
هیدرولیکی مشکلی را ایجاد نمی‌نماید، از ارتفاعات کم در طراحی‌ها استفاده شود.



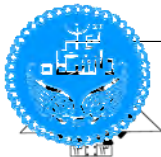
شکل ۷- مقایسه تنش‌های فشاری در انواع خاک مورد استفاده



شکل ۸- مقایسه تنش‌های کششی در دیواره منهول در خاک نرم و متوسط



شکل ۹- مقایسه جابه‌جایی در دو ارتفاع در خاک نرم  
شکل ۱۰- مقایسه تنش‌های فشاری در دو ارتفاع در خاک نرم

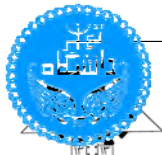


## ۶. نتایج و یافته‌ها

- ۱- نرم افزار ANSYS دارای قابلیت‌های فراوان در تحلیل‌های سازه‌ای می‌باشد.
- ۲- نتایج تحلیل استاتیکی نشان می‌دهد، با افزایش  $\phi$  فشار جانبی کاهش می‌یابد.
- ۳- وجود پاشنه در منهول سبب کاهش فشار وارده بر سازه از سمت خاک خواهد شد.
- ۴- نتایج فشار جانبی وارده بر منهول در تحلیل استاتیکی با روابط تئوری فشار محرک کاملاً سازگار می‌باشد. با سخت شدن خاک میزان این تفاوت افزایش خواهد یافت. لذا پیشنهاد می‌شود اصطکاک بین خاک-سازه در ارزیابی رفتار سازه‌ها در خاک سخت بررسی گردد.
- ۵- در منهول‌ها تمام نقاط جداره، به علت صلب فرض نمودن بدنه آن، با یکدیگر حرکت می‌نمایند.
- ۶- نتایج تحلیل دینامیکی نشان می‌دهد، با نرم شدن خاک (کاهش  $\phi$ ) میزان جابه‌جایی سازه و خاک افزوده می‌شود.
- ۷- نتایج تحلیل دینامیکی نشان می‌دهد در شرایط زهکشی نشده، جابه‌جایی خاک و منهول به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت.
- ۸- در تحلیل‌های دینامیکی، تنش‌های فشاری با نرم شدن خاک (کاهش  $\phi$ )، افزایش می‌یابد.
- ۹- تنش‌های فشاری در سطح خاک حداکثر بوده و با حرکت به سمت پایین کاهش می‌یابد.
- ۱۰- حداکثر تنش کششی در نزدیکی پاشنه منهول اتفاق می‌افتد.
- ۱۱- استفاده از خاکریز ماسه‌ای تا زمانی که احتمال روانگرایی وجود نداشته باشد، معقول به نظر می‌رسد.
- ۱۲- افزایش در عمق نصب منهول، سبب افزایش میزان جابه‌جایی خواهد شد. اما تغییری در میزان تنش به وجود نخواهد آورد.

## مراجع

- [1] خواجه احمد عطاری، نادر. تحلیل لرزه‌ای مخازن مدفون، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰.
- [2] شمسی، ا.ط، ح.ر. وثوقی فر و م. قائنی. ارائه راهکارهای لازم برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای منهول‌های فاضلاب. اولین همایش بین‌المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای. تهران. ۱۳۸۵. صفحه.
- [3] مطلق، جاهد، م.ر. نوبان و م.ا. اشراقی: اجزاء محدود ANSYS، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۵، صفحات ۱۴۱-۱۲۱
- [4] Lysmer, J. and Kuhlemeyer, R. "Finite Dynamic Model For Infinite Media", Eng. Mech. Div. ASCE, EM4, 1969, PP.859-877
- [5] Liu, H. and S. Erxiang. "Seismic Response of Large Underground Structures in Liquefiable Soils Subjected to Horizontal and Vertical Earthquake Excitations". Computers and Geotechnics, 32, 2005, pp. 223-244.
- [6] Mansoor Khani, M.H.B. "Dynamic Soil-Interaction Analysis Using the Scaled Boundary Finite-Element Method". Thesis of Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering. University of New South Wales. 2007. pp.269.
- [7] SAS.IP, INC., ANSYS release 10, Theory reference, 2006.
- [8] Tobita. T., S. Iai., G. Kang., S. Hazazono and Y. Konishi. "Estimation of the Displacement of a Sewage Manhole in Liquefied Ground" In: Siesmic Engineering conference commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria earthquake, American institute of physics, 2008.

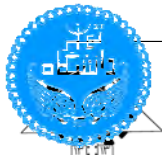


پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران  
مدیریت پژوهش و فناوری ساختها

مجموعه مقالات کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت ساختها  
دانشکده های فنی دانشگاه تهران - آبان ماه ۱۳۸۸  
پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران



پردیس دانشکده های فنی  
قطب فناوری مهندسی و مدیریت ساختها



پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران  
مدیریت پژوهش و فناوری ساختها

مجموعه مقالات کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت ساختها  
دانشکده های فنی دانشگاه تهران - آبان ماه ۱۳۸۸  
پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران



پردیس دانشکده های فنی  
قطران تکنولوژی و مهندسی و مدیریت ساختها