دستگاه مطالعه رفتار تك شمعها در آزمایشگاه

سید مجدالدین میرمحمدحسینی

استادیار دانشکده عمران، دانشگاه امیرکبیر

محمد تقی عبادی

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد خاك و پی

محمد رضا صبور

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد خاك و پی

چکیده:

در این مقاله اصول طراحی و ساخت دستگاهی جهت بررسی و مطالعه رفتار یك شمع تحت اثر بار افقی و عمودی مورد بررسی قرار می گیرد. دستگاه ساخته شده دارای سه قسمت اصلی: تانك آزمایش، سیستم بارگذاری و سیستم کامپیوتری قرائت و ضبط داده ها می باشد. تانك آزمایش، استوانه ای است با شعاع ۱ متر و ارتفاع ۱ متر که ماسه یا خاك مورد آزمایش در آن ریخته می‌شود. پس از قرارگیری مدل شمع (فلزی یا بتنی) در وسط آن از خاك مورد آزمایش پر شده و توسط یك سیستم بارگذاری مکانیکی به صورت افقی یا عمودی بر روی کلاهك شمع بار مربوطه اعمال می شود. میزان بار و تغییر مکان سر شمع توسط سنسورهای حساس اندازه گیری و قرائت گردیده و سپس این نتایج به صورت اتوماتیك توسط سیستم کامپیوتری ثبت داده ها ضبط می گردد. قطر، طول و جنس شمع، نوع، تراکم و تعداد لایه های خاك و همچنین سرعت بارگذاری روی شمع پارامترهایی هستند که با کمك دستگاه طراحی شده فوق قابل بررسی و مطالعه می باشند.

The Apparatus For Studying The Behaviour of a single pile

S. M. Mir Mohammad Hosseini, Ph. D.

Assistant Prof. of Civil Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Technology

M.T. Ebadi, M. Sc.

Civil Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Technology

M. R. Saboor, M. Sc.

Civil Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Technology

Abstract:

The principles of design and construction of an apparatus capable of studying the behaviour of a single pile under vertical and horizontal loads are presented. The developed apparatus consists of three main parts: Soil tank, loading system and data acquisition system. The soil tank is a cylindrical container by 1m. diameter and 1 m. height.The pile's models are first installed in the centre of the tank and then the tank is filled with sand after which the vertical or lateral loads are applied on the top of the pile.

The amount of the applied load and the subsequent settlement of the pile are measured by load cells and L.V.D.T. The data obtained from tests are read and recorded by a computrized data acquisition system developed for this apparatus.

The diameter, length and kind of the piles as well as the density, grain size, number of layers and the type of the soil and also the rate of loading can be changed and controlled independently , for studying the main parameters affecting the pile behaviour by the developed apparatus.

مقدمه

استفاده از مدلهای آزمایشگاهی شمعها به دلیل پر هزینه بودن مدلهای واقعی جهت آزمایشات و بررسی رفتار آنها، بخصوص در دهه اخیر در مراکز مختلف تحقیقاتی جهان رایج گردیده است. چرا که با صرف هزینهٔ نه چندان زیاد و توانایی کنترل پارامترهای مختلف خاک و شرایط آزمایش و بخصوص استفاده از ابزارهای دقیق اندازه گیری حتی در درون خاک و با یک تحلیل نسبتاً منطقی می توان اطلاعات دقیقتری را از رفتار شمعها به دست آورد.

در این راستا محققین بسیاری توانسته اند با ساخت دستگاههای متنّوعی در آزمایشگاهها نظریات و مدلهای مناسبی ارائه دهند.

Tschebotarioff (1953) از اولین کسانی بود که آزمایشات بارگذاری افقی را پایه گذاری نمود. آزمایشات وی بر روی شمعهایی با طول ۲۹ اینچ در ماسه با دانه بندی متوسط تا ریز دانه در شرایط شل (Loose) که بر روی یک لایه رس پیش تحکیم یافته قرار داشت، صورت پذیرفت و با عکسبرداری از مدلها در قبل و بعد از آزمایش نشان داد که جابجایی در شمعها فقط در اثر چرخش شمع می باشد با استفاده از گروه شمع ۳ و ۵ و ۷ شمعی وی نشان داد که شمعهای مختلف در هرگروه شمع در بارهای مختلفی منهدم می گردند.

Prakash(1962) آزمایش بار افقی برای گروه شمع مدل شده قائم و انعطاف پذیر را به کار برد. هدف اصلی وی بررسی میزان قابلیت معادله پیشنهاد شده توسط Reese و MatlocK(1956) (بر اساس مدل خاک Winkler) بود. آزمایشات او بر روی شمعهایی باقطر $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{4}$ و ۱ اینچ صورت گرفت. پروفیل تغییر شکل و ممانهای هرشمع که به وسیله قرائت اطلاعات اخذ شده از گیجهای الکتریکی جاگذاری شده در طول شمع به دست آمده به خوبی پیش بینیهای تحلیلی Winkler را تأیید می کند.

Meyerhof (1985) با مطالعه بر روی شمع منفرد که در خاک رس فرورفته و به ماسه شل (Loose) رسیده و تحت بار مایل وارد بر مرکز شمع قرار گرفته، توانست دیاگرامهای مربوطه را رسم و به یک رابطه خطی بین بار و فشار افقی خاک دست یابد. در این آزمایش از شمعهایی با طول ۱۱۰ سانتیمتر و قطر ۷۴ میلیمتر که تعداد ۱۸ عدد گیج الکتریکی در طول آن نصب گردیده بود استفاده گردید. قطر تانک اصلی یک متر و بلندی آن نیز ۱/۶ متر و تانک فرعی به صورت دو طرف باز و با قطر ۴۸ سانتیمتر بوده که بر روی تانک اصلی قرار گرفته است.

موارد فوق گوشه ای از تحقیقات آزمایشی در رابطه با مطالعه رفتار شمعها به منظور دستیابی به روشهای دقیقتر جهت طراحی و استفاده از شمع در پروژه های عملی می باشد. گر چه در این زمینه مطالعات تئوریک و تجربی فراوان دیگری نیز صورت گرفته است، لیکن هنوز ابعاد دقیق رفتاری شمعها روشن نبوده و ابهاماتی که در تعیین عکس العمل واقعی بین شمع و خاک به عنوان یک محیط نامتجانس وجود دارد به نحو گویایی مرتفع نگردیده است در نتیجه تحقیقات بیشتر و عمیقتری در این زمینه مورد نیاز می باشد.

در همین رابطه در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر دستگاهی طراحی و ساخته

شده است که با آن می توان مطالعات نسبتاً دقیقی جهت شناخت رفتاری شمعها انجام داده و پارامترهای مؤثر در این رفتار را به صورت مجزّا و انتخابی مورد کنترل و بررسی قرار داد. ذیلاً بخشهای مختلف این دستگاه مورد اشاره قرار خواهد گرفت.

اصول طراحی دستگاه آزمایش

الف) تانک آزمایش

تانک آزمایش شکل (۱) از استوانه ای با قطر ۱ متر و ارتفاع ۱ متر و از جنس ورق فولاد با ضخامت ۲ میلیمتر ساخته شده، که در ۳ ردیف با نبشی نمره ۳، بدنه آن تقویت گردیده و کف آن نیز از ورق با ضخامت ۴ میلیمتر که با پروفیل قوطی ۱۰× ۵ تقویت شده، ساخته شده است. ارتفاع کف تانک از سطح زمین ۵۰ سانتیمتر می باشد که در پایین آن دریچه ای جهت خروج ماسه تعبیه شده است. در طراحی ابعاد تانک پارامترهای زیر در نظر گرفته شده است:

۱ ـ خطوط گسیختگی مربوط به خاک زیر شمع با توجه به نظریه تزراقی هیچگاه از کف تانک عبور نکند.

۲ ـ تنشهای حاصله بر جداره و کف تانک ناشی از بار افقی یا عمودی در حد قابل قبولی پایین نگاه داشته شود.

با به دست آوردن حداقل فاصله کف تانک تا نوک شمع (۲۰ سانتیمتر) و انتخاب طول ماکزیمم شمع (۸۰ سانتیمتر)، ارتفاع تانک محاسبه و در حدود یک متر به دست آمده است. ضخامت ورق و ابعاد نبشیهای تقویتی و پایه ها با توجه به وزن و فشار خاک و نیروهای اعمال شده طراحی و محاسبه گردیده است.

ب) سیستم بارگذاری

جهت اعمال بارهای قائم و یا افقی بر شمعهای تحت آزمایش از یک سیستم بارگذاری مکانیکی استفاده شده است، بدین ترتیب که با جابجائی و حرکت محور بارگذاری که به وسیله دوران آن در داخل یک سیستم تکیه گاه پیچی صورت می گیرد به مقدار مورد نظر تغییر مکان و در نتیجه نیرو بر سر شمع از طریق کلاهک مربوطه اعمال می گردد، این نیرو توسط لودسل های تعبیه شده در سر شمع دقیقاً اندازه گیری می شود.

به منظور جلوگیری از هرگونه گیرداری موضعی و انحراف جانبی محور بارگذاری، تکیه گاه ارتباطات اجزاء مختلف سیستم بارگذاری، بوسیله ساچمه و غیر گیردار طراحی و اجرا شده است. سیستم بارگذاری بر روی قابی که دارای دو بازی اصلی و قابل نصب بر روی تانک آزمایش می باشد قرار گرفته است. حداکثر بار قابل اعمال بر شمع توسط این سیستم ۱۰۰۰ کیلوگرم و اجزاء مختلف بارگذاری دارای ضریب اطمینان حداقل ۱/۲ می باشند. در شکل ۲ جزئیات مربوط به سیستم بارگذاری و نحوه قرار گرفتن آن بر روی تانک آزمایش نشان داده شده است.

ج) سیستم قرائت و ضبط داده ها: (Data acquisition system)

در این آزمایش به منظور بالا بردن دقت قرائت بار و تغییر مکان وارده بر سر شمع و همچنین امکان اندازه گیری باربری انتهایی شمع از یک سیستم الکترونیکی استفاده گردیده که ذیلاً بخشهای مختلف آن به صورت جداگانه توضیح داده می شود.

۱) سنسورهای بار و متغیر مکان (Load cells & LVDT)

جهت اندازه گیری بار کل در بالای شمع در حالت بارگذاری افقی و عمودی از لودسل رینگی استفاده گردیده شکل (۳) که طراحی آن بر اساس بار ۱۰۰۰ کیلوگرم و دقت ۱۰۰ گرم می باشد جنس آن از فولاد نسبتاً سختی است که مقاومت و رفتار آن در آزمایشگاه مقاومت مصالح کاملاً مورد بررسی قرار گرفته است تا از عدم وجود هرگونه خستگی و غیر خطی بودن رفتار آن اطمینان حاصل گردد. بار بر روی محور عمودی این لودسل وارد شده و تغییر شکلهای ماکزیمم در جداره داخلی و خارجی آن پدیدمی آید. چهار عدد گیج الکتریکی که دو عدد آن در جداره خارجی و دو عدد آن در جداره داخلی رینگ چسبانده شده است، تشکیل یک پل وتستون داده و در این پل تغییر شکلها به تغییر مقاومت الکتریکی تبدیل می شوند.

به منظور اندازه گیری بار انتهایی شمع از لودسل استوانه ای استفاده شده که گیجهای الکتریکی در جداره خارجی آن نصب گردیده اند که دو عدد آنها در راستای محور بارگذاری و دو عدد دیگر که نقش متعادل کننده مدار را دارند در جهت عمود بر محور بارگذاری نصب شده اند شکل (۴). جنس این لودسل از فولاد نسبتاً نرم انتخاب شده تا حساسیت بیشتری را دارا باشد و طراحی ابعاد آن بر اساس ماکزیمم بار ۵۰۰ کیلوگرم و دقت ۲۵۰ گرم صورت گرفته است.

اندازه گیری تغییر مکان سر شمعها نیز توسط سیستم الکتریکی انجام می گیرد. در این سیستم یک خط کش فلزی به طول ۲۰ سانتیمتر بر روی قاب اصلی نصب گردیده و

جابجایی سر شمع توسط یک سری میله رابط به انتهای دیگر خط کش منتقل می شود. دو گیج الکتریکی در بالا و ۲ گیج در پایین خط کش در مجاورت تکیه گاه نصب شده به گونه ای که تشکیل یک مدار پل وتستون را بدهند. تغییر مکان انتهای آزاد خط کش موجب تولید فشار در یک طرف و کشش در طرف دیگر آن در نقطه مجاور تکیه گاه و به تبع آن تغییر طول گیجها گردیده و این امر باعث تغییر مقاومت اجزاء پل خواهد شد. چنانچه در ازاء تغییر مکانهای مشخصی ضریب کالیبراسیون سیستم اندازه گیری و محاسبه شود، به سادگی می توان با قرائت تغییر مقاومتها توسط ولت متر مقادیر تغییر مکان ایجاد شده در سر شمع را محاسبه و اندازه گیری نمود. اندازه گیری تغییر مکان شمعها با سیستم فوق الذکر تا میزان ۰/۰۱ سانتیمتر امکان پذیر می باشد.

۲) واحد قرائت داده ها: (Data Logger)

این واحد یک دستگاه الکترونیکی است که تغییرات مقاومت گیج های الکتریکی را به صورت آنالوگ کسب نموده و تقویت می نماید سپس این جریان آنالوگ توسط یک واحد A/D تبدیل به دیجیتال (شکل ۵) شده و در نهایت با یک برد I/0 که در کامپیوتر نصب می گردد این اطلاعات به صورت ۱۲ بایتی توسط یک نرم افزار کنترلی قرائت و در یک فایل بر روی دیسکت ضبط گردیده و همزمان بر روی صفحه نمایش نیز نشان داده می شود.

این دستگاه قادر است به طور همزمان از کمیّتهای فیزیکی مانند کشش، فشار، رطوبت، حرارت فلوی مغناطیسی، شدت نور و... نمونه برداری کرده و اطلاعات به دست آمده را به صورت اتوماتیک بر روی دیسکت ضبط نماید. روند قرائت و ضبط اطلاعات از سنسورها تا کامپیوتر در شکل (۶) نشان داده شده است.

سرعت نمونه گیری و همچنین دقت آن بستگی به طراحی دستگاه و همچنین قدرت تقویت کننده های آن دارد. واحد قرائت کننده ای که در این آزمایش از آن استفاده گردیده است دارای مشخصات ذیل می باشد:

امپدانس ورودی: 10^{12} *اهم*
دقت: 4096 تقسیم بندی باخطای ± 1
زمان نمونه گیری: (۳۰ نمونه درثانیه)
تعداد کانالها: ۵ کانال

هچنین در این آزمایش به منظورضبط داده ها از یک کامپیوتر PC/XT با 640 k حافظه و یک نرم افزار که به زبان Turbo Basic جهت کنترل خروجی کامپیوتر و چگونگی انتخاب سرعت نمونه گیری و فرمت قرائت و نمایش اطلاعات نوشته شده استفاده گردیده است.

۳) نحوه انجام آزمایشات

در مطالعه ای که جهت تعیین و بررسی ظرفیت باربری تک شمعها در آزمایشگاه انجام گرفت کلاً ۸۰ آزمایش با دستگاه فوق الذکر در شرایط مختلف بر روی شمعهای مدل شده صورت پذیرفت. در این آزمایشات پارامترهای اصلی مؤثر بر رفتار شمعها که عبارتند از نوع خاک، اندازه ذرات، طول شمع، قطر شمع و نحوه بارگذاری، به صورت جداگانه و کنترل شده مورد مطالعه قرار گرفت.

سه نوع ماسه در اندازه های ریز، متوسط و درشت دانه جهت تعیین ظرفیت باربری شمع هایی از جنس آلومینیوم با طولهای ۴۰، ۵۵ و ۸۵ سانتیمتر و قطرهای به ترتیب ۲۲، ۳۲، ۴۰ میلیمتر تحت بارگذاریهای قائم و افقی به طور جداگانه مورد استفاده قرار گرفت. سرعت بارگذاری در هر حالت ۱/۵ میلیمتر بر دقیقه در نظر گرفته شد که با قابلیتهای موجود سیستم اندازه گیری دستگاه به ازاء هر ۰/۴ میلیمتر جابجایی، یک قرائت صورت گرفته است. جهت انجام هر آزمایش ابتدا تانک کاملاً از ماسه تخلیه شده و سپس شمع توسط هادیهای مربوطه در وسط تانک قرار گرفته و ماسه به آرامی و در شرایط کاملاً شل (Loose) درون تانک ریخته می شود سپس کلاهک شمع و لودسل ها و خط کشهای اندازه گیری تغییر مکان در جای خود قرار گرفته و با انتخاب فایل مناسب بر روی صفحه کامپیوتر بارگذاری توسط یک اپراتور انجام می پذیرد و در زمانهای مناسب و تعیین شده بار و تغییر مکان سر شمع توسط کامپیوتر قرائت و مقادیر اندازه گیری شده بر روی دیسکت مربوطه جهت تجزیه و تحلیلهای بعدی ضبط می گردد.

گر چه نتایج حاصل از آزمایشات و مطالعات تجربی بر روی تک شمعها که توسط دستگاه فوق صورت گرفته است خود نیاز به شرح کامل و تجزیه و تحلیل جامعی داشته که از موضوع این مقاله خارج می باشد لیکن جهت مزید اطلاع و دستیابی به قابلیتها و تواناییهای دستگاه مذکور نمونه ای از آنها در این بخش (اشکال ۷ الی ۱۰) ارائه می گردد.

خلاصه و نتیجه گیری

به منظور مطالعه و بررسی ظرفیت و همچنین رفتار تک شمعها در آزمایشگاه دستگاهی در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر طراحی و ساخته شده است که توسط آن می توان شمعهای مدل شده را تحت شرایط دلخواه (نوع خاک، اندازه ذرات، ابعاد شمع، نحوه بارگذاری و ...) مورد مطالعه قرار داد.

سیستم بارگذاری این دستگاه مکانیکی و سیستم قرائت و ضبط اطلاعات آن اتوماتیک و کامپیوتری می باشد که همزمان با تغییرات رفتاری شمعها در زیر بار می توان تغییرات حاصله در پارامترهای مورد مطالعه را به دقت اندازه گیری و تعیین نمود. گرچه در آزمایشات نسبتاً گسترده ای که در اولین مرحله با این دستگاه صورت گرفت نحوه اثر گذاری پارامترهای مختلف بر ظرفیت باربری تک شمع ها مورد مطالعه قرار گرفته است، لیکن به دلیل پیش بینیهای لازم، طراحی دستگاه به گونه ای صورت گرفته است که با اندک اصلاحی در سیستم اندازه گیری می توان اندر کنش واقعی بین شمع و خاک را با تعیین دقیق پارامترهای مؤثر بین خاک و شمع در طول شمع و در شرایط مختلف مورد مطالعه قرار داد.

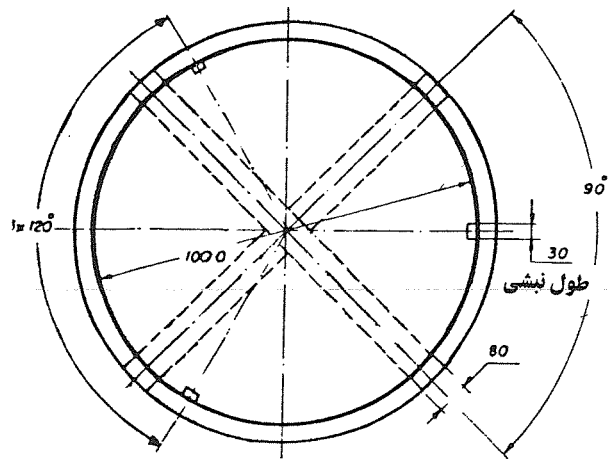
منابع:

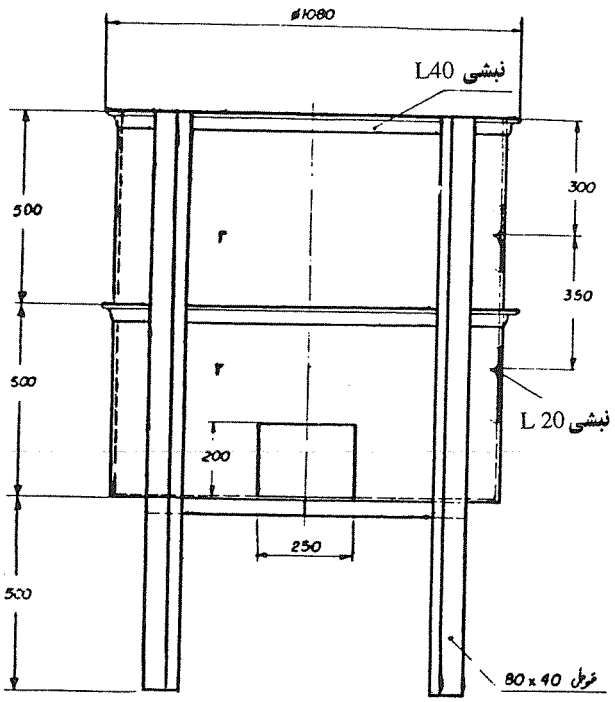
1-Tschebotarioff, G.P., 1953 , "The Resistance to Lateral Forces of single pile and pile groups." A. S. T. M., STP 154.38

2- Prakash, S. 1962 , "Behaviour of pile groups subjected to Lateral Load." Thesis in partial fullfillment for Ph.D. University of Illinois at Urbana.

3- Meyerhof , G. G.1976, "Bearing Capacity and settlement of pile Foundations."11th Terzaghi lectures, Journal of Geotechnical Eng. Division, A.S.C.E. Vol. 102, No. GT3, PP. 197-928

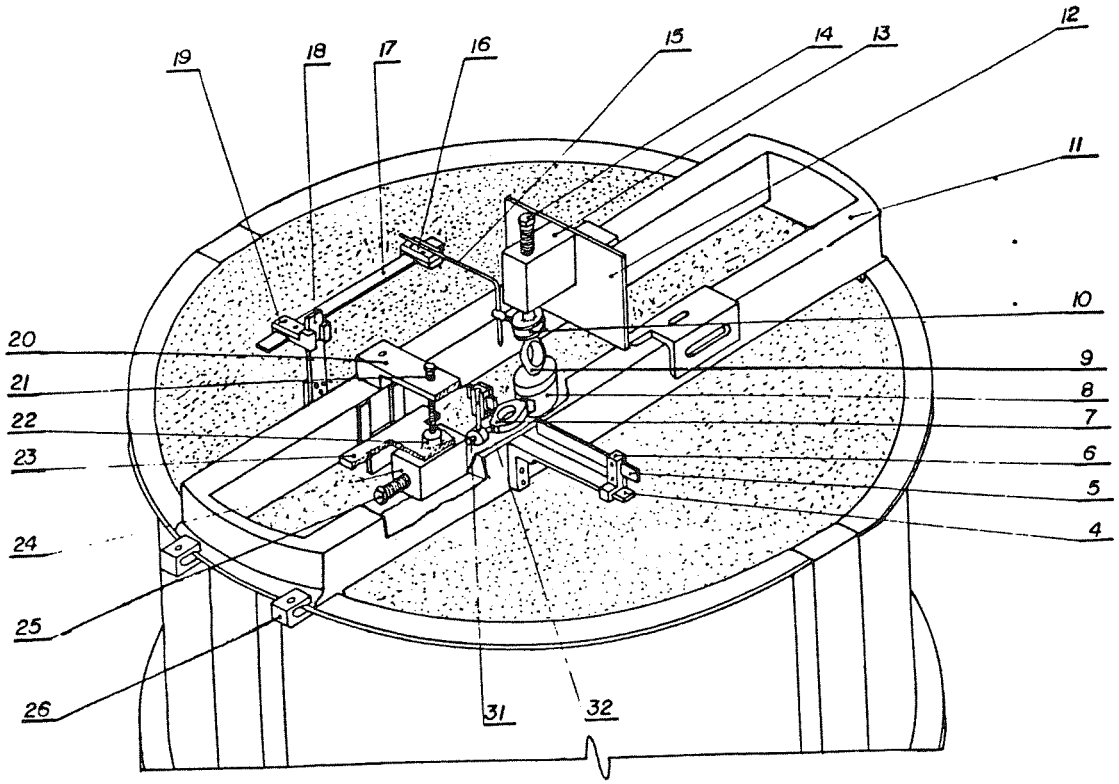
4- Meyerhof, G.G. Mathur, S. K. and Balsangkar, A. J. 1981 b.
"The Bearing Capacity of Rigid piles and pile groups under inclined loads in layered sand."
Canadian Geotechnical Journsal, Vol. 18,pp 514-519.





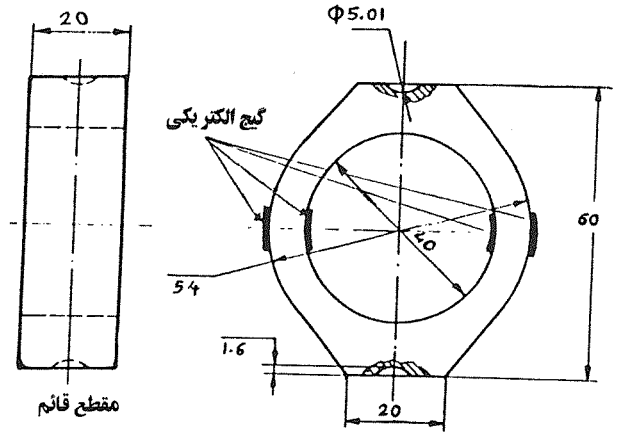
ضخامت ورق بدنه تانک: 2.5 mm
کلیه اتصالات جوش می باشد

شکل (۱) تانک آزمایش (تصاویر قائم وافقی)

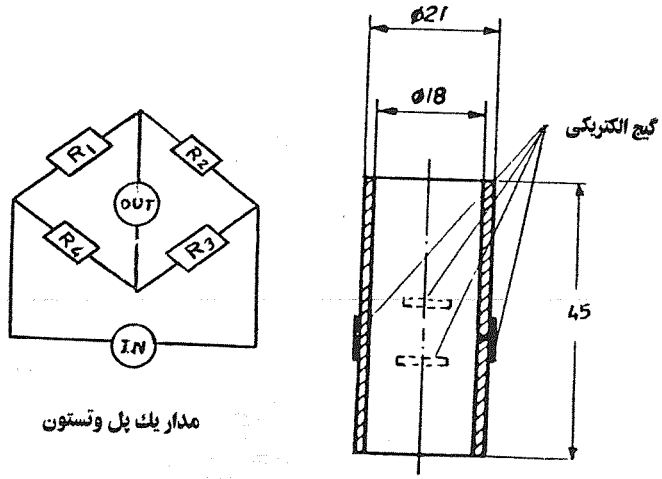


شماره قطعه	نام قطعه	جنس	تاریخ قطعه	تعداد	
1	مخزن		24	1	
2	کلاف مخزن		25		
3	پایه مخزن		26	4	
4	پایه نگهدارنده خط کش		27	1	
5	سنسور اندازه گیری جابجایی افقی		28	1	
6	نگهدارنده سنسور اندازه گیری جابجایی		29	1	
7	سنسور اندازه گیری بار افقی		30	1	
8	کلاف جک طبع		31	1	
9	سنسور اندازه گیری بار قائم		32	1	
10	رابط بارگذاری قائم			1	
11	قاب سیستم بار و جابجایی			1	
12	تکیه گاه بارگذاری قائم			1	
13	نگهدارنده پیچ بارگذاری قائم			1	
14	پیچ بارگذاری قائم			1	
15	سیستم انتقال حرکت قائم			1	
16	تکیه گاه سیستم انتقال حرکت قائم			1	
17	سنسور اندازه گیری جابجایی			1	
18	پایه نگهدارنده خط کش			1	
19	نگهدارنده سنسور اندازه گیری جابجایی			1	
20	تکیه گاه بارگذاری افقی			1	
21	پیچ تنظیم تراز بار افقی			1	
22	نگهدارنده پیچ تنظیم تراز افقی			1	
23	تکیه گاه تغییر تراز بار افقی			1	
24	نگهدارنده پیچ بارگذاری افقی			1	
25	پیچ بارگذاری افقی			1	
26	بست اتصال قاب به مخزن			2	
27	لولای دریچه تخلیه خاک			2	
28	دریچه تخلیه خاک			1	
29	تکیه گاه پیچ بست دریچه تخلیه			1	
30	پیچ بست دریچه تخلیه			1	
31	شفت انتقال بار افقی			1	
32	سیستم انتقال حرکت افقی			1	

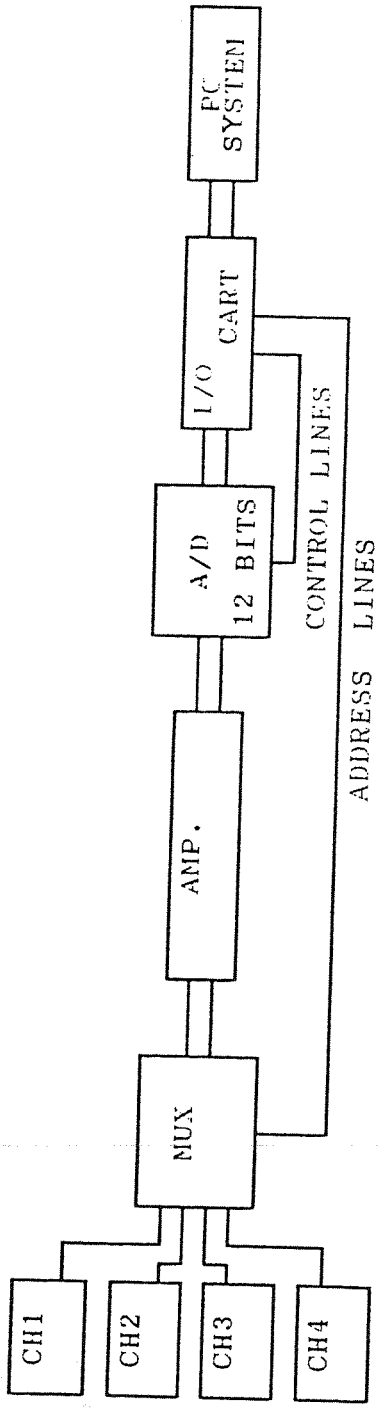
شکل (۲) جزئیات سیستم بارگذاری و نحوه قرار گرفتن آن بر روی تانک آزمایش



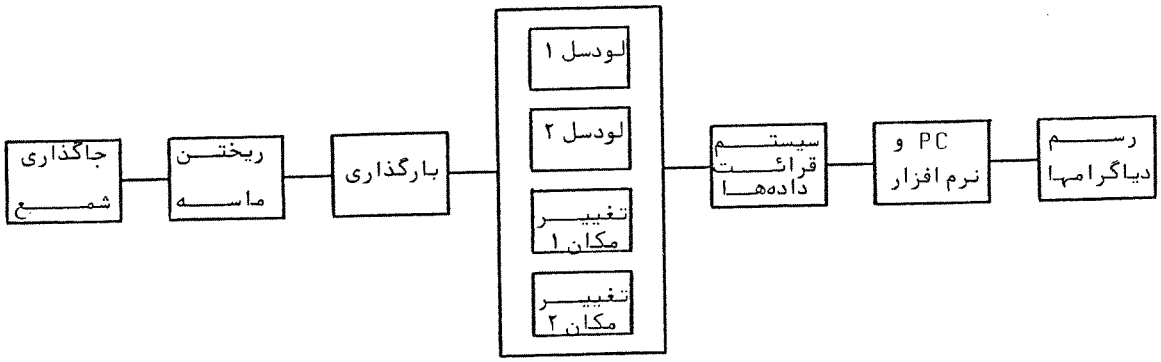
شکل (۳) لودسل رینگی (دو جهتی) قابل نصب در بالای شمع



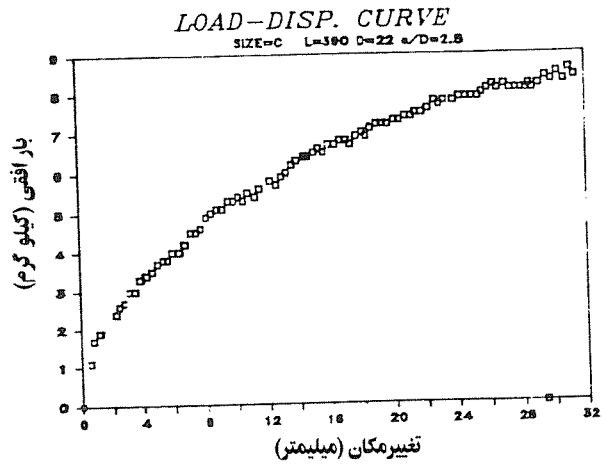
شکل (۴) لودسل لوله ای (یك جهتی) قابل نصب در انتهای شمع



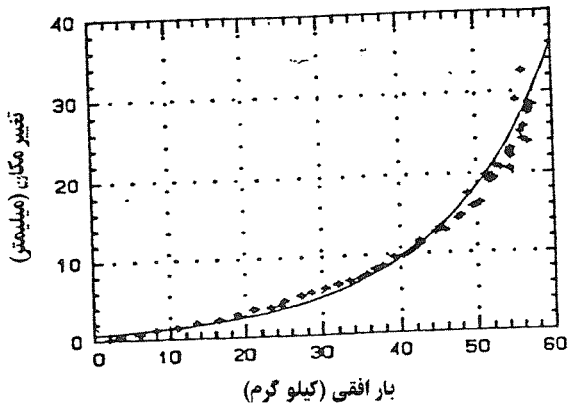
شکل (۵) سیستم قرائت و ضبط داده ها (Data Acquisition system)



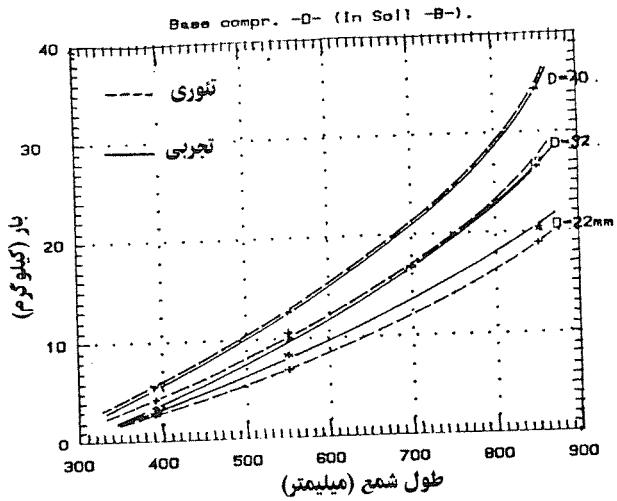
شکل (۶) مراحل انجام یك آزمایش و روند قرائت و ضبط داده ها



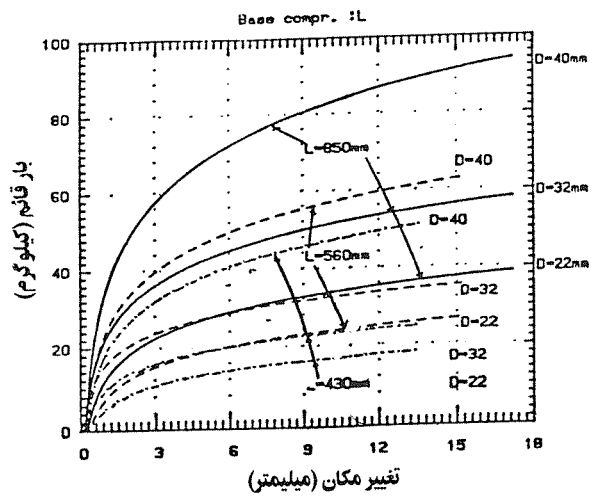
شکل (۷) یك نمونه از منحنی بار- نشست شمع (اطلاعات خام بدست آمده از سیستم)



شکل (۹) مطابقت منحنیهای خام با منحنی هذلولی



شکل (۸) مقایسه نتایج تئوری و تجربی به دست آمده



شکل (۱۰) منحنی تغییرات رفتاری شمع بر اساس پارامترهای متغیر (طول- قطر و سایز ذرات)