اندازه گیری مقاومت مکانیکی خاک(آزمایش پنترومتری)

مقدمه:

یکی از خصوصیات مهم خاک که در بحث رابطه بین خاک، گیاه و همچنین مطالعه اثر متقابل خاک- ماشین مطرح می با شد، ا ستحکام خاک یا به عبارت دیگر مقاومت مکانیکی خاک می با شد. مقاومت مکانیکی خاک به صورت مقاومت در برابر تغییر شکل خاک توصیف می گردد . حفظ نسبت های مناسب بین فازهای جامد، مایع و گاز خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار اســـت. زیرا افزایش فاز جامد (کاهش فاز مایع و گاز)، باعث افزایش مقاومت مکانیکی خاک شده و به دنبال آن ر شد و تو سعه ریـشه گیاهان در داخل خاک کاهش می یابد. تراکم خاک از جمله شاخص های نـشان دهنده تخریب ساختمان فیزیکی خاک میبا شد که به صورت افزایش در جرم مخصوص ظاهری یا کاهش تخلخل تعریف می شود. مهم ترین اثرات تراکم خاک بر محصول را می توان به صورت ح سا سیت بیش از حد گیاه به خ شکی، تهویه ناکافی، کاهش جذب آب تو سط گیاه، کاهش بازده عناصر غذایی، رشد غیر یکنواخت گیاهان، کند شدن جوانه زنی، سیستم ریشه ای بد شکل و در نهایت کاهش محصـــول بیان کرد. نتایج تحقیقات نشـــان میدهد مقاومت خاک در برابر نفوذ تابعی از میزان فشـــردگی، مقدار رس، مقدار ماده آلی و رطوبت خاک اســـت. هرچه فشـــردگی خاک بیشـــتر باشـــد، مقاومت فروروی خاک افزایش می یابد و هر چه رطوبت بیشتر با شد، مقاومت کمتر ا ست. مقاومت خاک به نفوذ یکی از عوامل اصلی محدود کننده رشد ریشه است. نتایج نشان داده که مقاومت فروروی بیش از ۲,۵ مگاپاسکال رشد ریشه را با محدودیت مواجهه می کند.

از دیدگاه مهندســـین ماشـــین های کشـــاورزی، تراکم خاک باعث افزایش مقاومت مکانیکی خاک شـــده و به دنبال آن افزایش نیروی مقاوم کـشـشی، افزایش م صرف سوخت، افزایش زمان انجام کار و افزایش سائیدگی ادوات کشـــاورزی را به دنبال خواهد داشـــت. بر طبق پژوهش های انجام شـــده در حدود ۶۰ درصـــد از انرژی مکانیکی مورد مصرف در کشاورزی مکانیزه صرف عملیات خاک ورزی و تهیه بستر بذر می گردد.

از دیدگاه مهندسی ژئوتکنیک فشردگی خاک باعث افزایش مقاومت برشی خاک و در نتیجه پایداری سدها و سازه ها می شود. در این مورد، بر خلاف دیدگاه های کشاورزی، افزایش تراکم و افزایش مقاومت برشی خاک مطلوب است.

معادلات مقاومت خاک در برابر نفوذ

معادلات زیادی توسط محققان برای برآورد مقاومت مکانیکی خاک اراده شده است. به عنوان مثال، ولز و بیرد (۱۹۸۷) با استفاده از نتایج به دست آمده از آزمایش های نفوذ در سه نوع خاک مختلف (سیلتی لومی، سیلتی رسی لومی و لومی شنی) با ۲ چگالی و ۴ سطح رطوبتی، رابطه ای تجربی برای تخمین شاخص مخروطی پیشنهاد کردند.

$$CI = K0 + K1\,[(BD)] + K2\,[(PCL)] + K3\,[(POM)] + K4\,[Log(MC)]^2 + K5\,[Log(MC)]^3$$

که در آن CI شاخص مخروطی (مقاومت مکانیکی خاک)، BD وزن مخصوص ظاهری، PCL درصد رس، POM مقدار ماده آلی، MC مقدار رطوبت و K1 تا K5 ضرایب تجربی مدل هستند.

بوسچر (۱۹۹۰) بر اساس مقدار رطوبت و چگالی ظاهری خاک مدلی برای تعیین مقاومت فروروی خاک ارائه داده که به شرح زیر است:

$$SR = d\theta^e D_b^f$$

فرم خطی مدل به شکل زیر تغییر می کند.

$$\ln SR = ln\, d + e\, ln\, \theta + f\, ln\, D_b \qquad [۲۹-۲]$$

D_b: چگالی ظاهری خاک ($Mg\ m^{-3}$) SR: مقاومت فروروی خاک (Mpa) و θ: رطوبت حجمی خاک ($cm^3\ cm^{-3}$) و e، f و d ضرایب مدل می‌باشند که به نوع خاک بستگی دارند. چنانچه ضرایب مدل معلوم باشند با استفاده از معادله فوق می توان مقاومت فروروی خاک را برآورد کرد. برای بدست آوردن ضرایب لازم است که مقادیر مقاومت را در رطوبت ها و چگالی های ظاهری مختلف بدست آورد.

نکته: توجه شود در یک خاک معین با بافت، ماده آلی و وزن مخصوص ظاهری ثابت، مقدار مقاومت مکانیکی خاک تنها تابع رطوبت خاک است. برای فراهم کردن امکان مقایسه مقاومت خاکهای مختلف، برای حذف اثر رطوبت، اندازه گیری ها در رطوبت یکسان (رطوبت ظرفیت زراعی) انجام می شود.

وسایل اندازه گیری مقاومت مکانیکی خاک

معیارها و روش های مختلفی به منظور مشـــخص نمودن تراکم یا فشـــردگی خاک در داخل یک زمین زراعی وجود دارد و پژوهش گران مختلف، شاخص ها و روش های متفاوتی را برای این کار ارایه کرده اند که از آن جمله می توان به شـــاخص رنگ خاک (تشـــخیص فشـــردگی از طریق مشـــاهده)، اندازه گیری جرم مخصـــوص ظاهری، رادارهای نفوذکننده در داخل زمین (GPR) و اندازه گیری شـــاخص مخروطی (Cone Index) خاک را نام برد. در بین این روش ها از آن جا که نفوذســـنج های مخروطی داده های به نســـبت دقیق‌تری را برا ساس فـ شردگی خاک ارایه می کنند و همچنین کارکردن با آن ها راحت و سریع می با شد، بیش تر مورد پذیرش می باشند. به علاوه با استفاده از این روش می توان تغییرات مقاومت مکانیکی خاک را در ارتباط با عمق در مقایســـه با ســـایر روش ها در اختیار بگذارد (مولکوئین و همکاران، ۱۹۷۷ ؛ کلارک، ۱۹۹۹). ولی باید توجه نمود یافتن روش هایی که بتواند با کم ترین هزینه و با اســـتفاده از داده های قابل دسترس مانند جرم مخصوص ظاهری، رطوبت خاک و... مناسب ترین تابع را برای تخمین شاخص مخروطی خاک ایجاد کند، بسیار دارای اهمیت می باشد (مانند مدل بوسچر).

شاخص مخروطی خاک

یکی از ســاده ترین و پرکاربردترین و در عن حال ســریعترین روش ها در تعیین مقاومت خاک در ســرتاســر جهان آزمایش نفوذســنج مخروطی (Cone penetration test) CTP می باشــد که میتواند شــاخص مقاومت خاک را تعیین کند. به مقدار نیرو در واحد سطح که برای فـ شردن نفوذ سنج در خاک لازم ا ست، شاخص مخروط (CI) گفته شود. مقدار مقاومت اندازه گیری شده به مشخصه های دستگاه فروسنج شامل زاویه نوک، قطر قاعده مخروط آن و سرعت فرو کردن د ستگاه در خاک بـ ستگی دارد. زاویه نوک مخروط ها معمولا ۳۰ درجه می با شد. سرعت تو صیه شده برای مطالعات خاک در نوع صحرایی ۲ سانتی متر در ثانیه ا ست. قطر مخروط بـ ستگی به نوع خاک و دامنه د ستگاه متفاوت ا ست. بر ا ساس تق سیم بندی صورت گرفته تو سط استاندارد ASAE فروسنج های مخروطی به دو دسته تقسیم می شوند:

فرو سنج مخروطی دستی: این نوع فروسنج ها توسط کاربر به درون خاک هدایت می شوند. این نوع فروسنج ها خود بر اساس نحوه ثبت داده ها به دو نوع دیجیتال و ثبات و نوع غیر ثبات. در نوع ثبات، داده ها شامل نیرو و فشار توسط دیتا لاگر ثبت می شود و کاربر فقط وظیفه هدایت مخروط به داخل خاک را دارد. در نوع دوم داده ها توسط کاربرد یادداشت و ثبت می شوند. به لحاظ ابعاد نیز به سه نوع صحرایی، آزمایشگاهی و جیبی تقسیم می شوند. نکته مهم در این نوع پنترومترها این است که کنترل سرعت نفوذ دشوار است. دقت شود در نوع جیبی، برای تعیین مقدار مقاومت خاک، لازم است با استفاده از دفترچه راهنما و ضرایب دستگاه قرائت ها را به مقاومت تبدیل کرد.

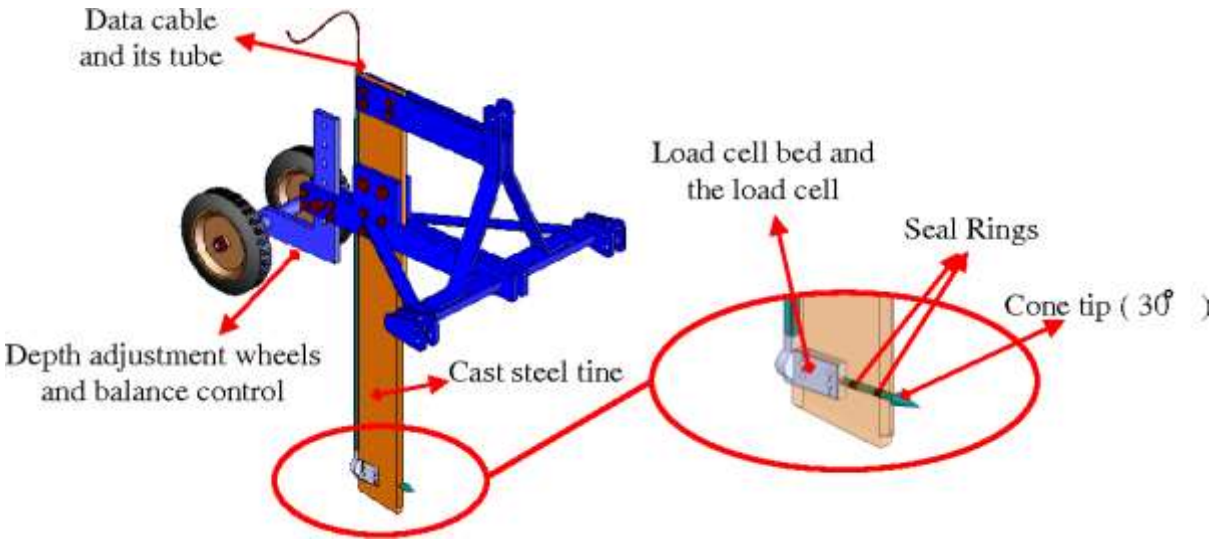
شکل ۱- پنترومتر دیجیتال-اتومات آزمایشگاهی

شکل ۲ – پنترومتر دستی

فروسنج مخروطی مکانیکی: این نوع فروسنج ها معمولا توسط نیروی مکانیکی، هیدرولیکی و الکتریکی انواع وسایل نقلیه مانند تراکتور یا هر وسیله نقلیه دیگر به داخل خاک هدایت می شود. مقدار نیرو و جابجایی توسط ابزار دقیق سنجده شده و توسط یارانه ثبت می شود. نفوذسنج مخروطی مکانیکی امکان جمع آوری اطلاعات با سرعت نفوذ ثابت را فراهم می کند. به همین دلیل، نتایج دقیق تری را ارائه می دهند. این نوع فروسنج ها برای خاک های سخت تا اعماق زیاد استفاده می شوند.

شکل ۳ – پنترومتر صحرایی با گیج نیروسنج (غیر دیجیتال)

نوع دیگری پنترومتر ساخته شده ا ست که به شکل افقی در خاک نفوذ می کند. در این نوع، سنسورهای اندازه گیری نیرو یا فشار روی یک تیغه فلزی در فواصل مختلف نصب می شوند. این تیغه که قابل اتصال به تراکتور است می تواند به صورت افقی در خاک کشیده شود و مقاومت مکانیکی خاک را پیوسته اندازه گیری کند.



اندازه گیری مقاومت خاک با دستگاه فروسنج دیجیتال صحرایی

اجزا دستگاه فروسنج دیجیتال-دستی به شرح زیر است:

۱. جعبه مجموعه ابزار
۲. میله یا پروب (دو بخشی)
۳. مخروطی
۴. صفحه مرجع عمق
۵. دیتا لاگر
۶. کنترل کننده مخروط
۷. کابل های اتصال به کامپیوتر

روش کار

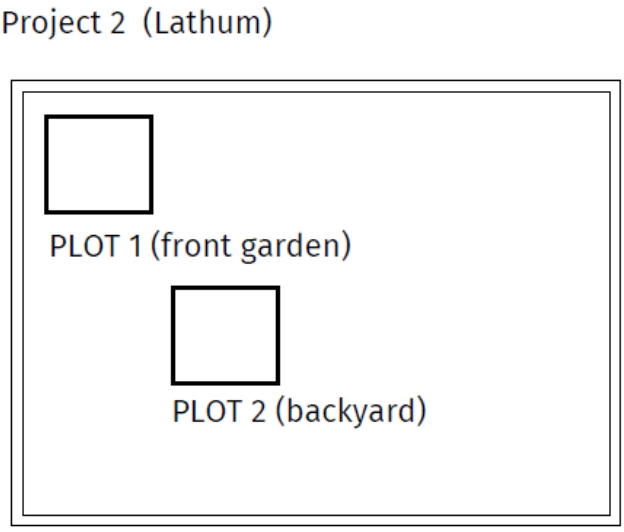
قبل از انجام هرگونه اندازه گیری با ا ستفاده از د ستگاه فرو سنج، باید یک طرح کار میدانی آماده کنید (نگاه کنید به شکل ۵ برنامه کار میدانی). یک طرح میدانی شامل تعریف کرتهای آزمایشی، تعداد اندازه گیری ها در هر کرت و تنظیمات د ستگاه فرو سنج (مانند نوع مخروط و سرعت نفوذ) ا ست. می توان برنامه را بر روی فروسنج ایجاد و یا برنامه ریزی کرد (نگاه کنید به ۶. استفاده از فروسنج برای برنامه ریزی برنامه)، اما استفاده از رایانه راحت تر است (نگاه کنید به ۷. برنامه ریزی مبتنی بر رایانه). ابتدا با استفاده از دکمه‌های تعبیه شده

اقدام به تنظیماتی مثل، نام پروژه، ابعاد مخروط، سرعت نفوذ، مشخصات محل (نام محل، طول و عرض جغرافیایی)، تعداد پلات و تعداد قرائت در هر پلات و عمق مورد نظر می نمائیم.

No.	Base area (cm^2)	Nominal diameter (mm)	Reject diameter (mm)
1	1	11.28	11.00
2	2	15.96	15.55
3	3.33	20.60	20.08
4	5	25.23	24.59

شکل ۴- مشخصات مخروط ها

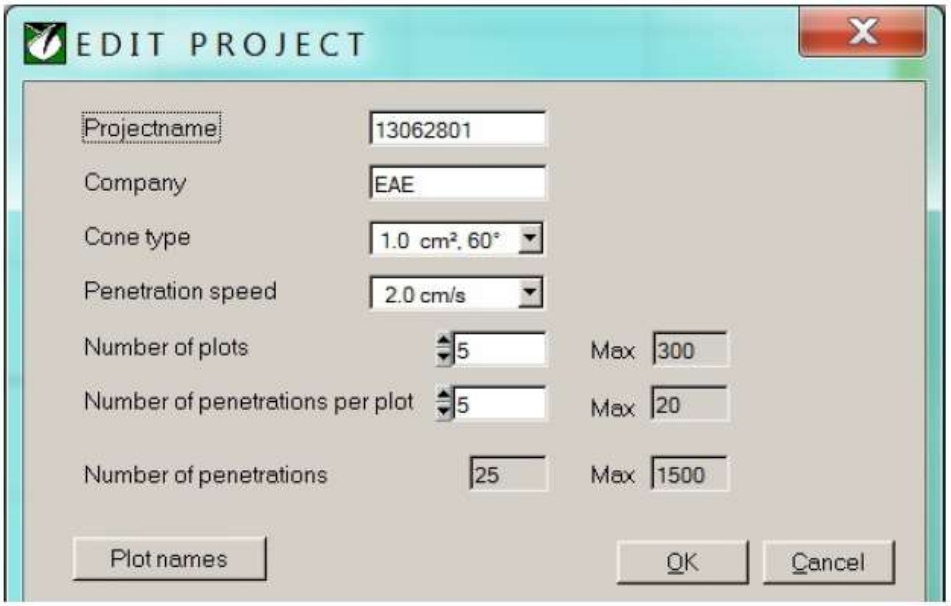
برای این منظور، لازم است نرم افزار دستگاه بر روی رایانه نصب شود. ارتباط کامپیوتر با فروسنج، با استفاده از یک کابل صورت می پذیرید که میتوان طرح ایجاد شده در کامپیوتر را به فروسنج انتقال داد و یا بر عکس قرائت های انجام شده را وارد کامپیوتر کرد. پس از ساخت پروژه و برنامه‌ریزی طرح، نفوذگر آماده خواندن مقاومت در برابر نفوذ است. تعداد لازم از اندازه گیری برای هر قطعه طبق طرح از قبل تعیین شده در مزرعه انجام می شود (نگاه کنید به ۸. اندازه گیری). داده ها، حداکثر ۵۰۰ اندازه گیری، به طور خودکار در حافظه logger ذخیره می شوند. در صورت لزوم، تنظیمات برنامه می تواند در محل انجام شود.



شکل ۵ – طراحی نقشه اندازه گیری

داده های اندازه گیری شـده را می توان در صـفحه نمایش دسـتگاه فروسـنج به صـورت گرافیکی یا عددی مشاهده کرد. نرم افزار امکان خواندن و پردازش داده ها را در رایانه و چاپ آنها روی چاپگر یا پلاتر فراهم می کند.

شکل ۶ – تعریف پروژه و طرح اندازه گیری توسط دستگاه فروسنج



شکل ۷ – تعریف پروژه و طرح اندازه گیری در رایانه و انتقال آن به پنترومتر

نحوه اندازه گیری

۱. بســته به نوع خاک مخروط مناســب را انتخاب کنید. به طور معمول در تحقیقات خاک از یک مخروط با سطح ۱ سانتیمتر مربع و زاویه ۶۰ درجه استفاده می شود. انتخاب مخروط بسیار بزرگ ممکن است نیرویی بیشــتر از دامنه دســتگاه را لازم داشــته باشــد و مخروط خیلی کوچک ممکن اســت داده های اندازه گیری نادرستی را ارائه دهد.

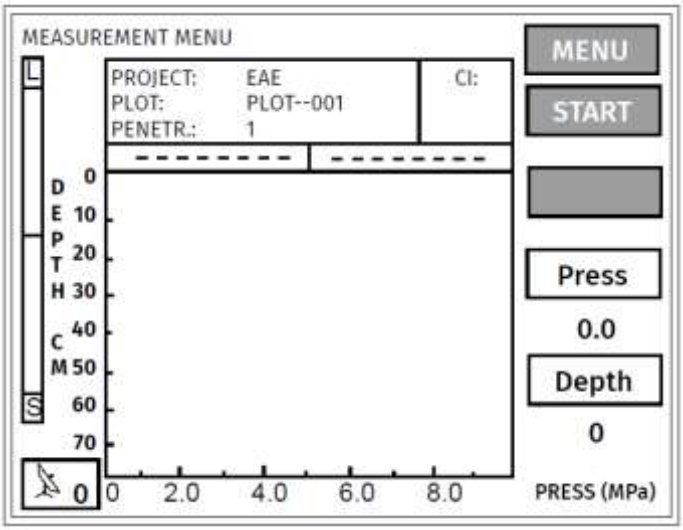
۲. میله کاوشگر را به هم وصل کرده و مخروط را در انتهای آن پیچ کنید. برای سفت و شل کردن قطعات از ابزار اســتفاده کنید. میله پروب را از طریق اتصــال ســریع به زیر دســتگاه فروســنج متصــل کنید. به دلیل فر سودگی مخروط ها، تو صیه می شود قبل از ا ستفاده ، ابعاد انها با کنترل کننده مخروطها کنترل برر سی شود. مخروطی هایی که نوک آنها خراب شده غیر قابل قبول است.

۳. سنسور رطوبت خاک (اختیاری) را به درگاه ارتباطی دستگاه متصل کنید.

۴- فروسنج را روشن کنید.

۵- گزینه MEASR را از منوی اصلی دستگاه انتخاب کنید. در پنجره بعدی پروژه مورد نظر را از MEASR MENU انتخاب کنید. تنظیمات پروژه نمایش داده می شود. (شکل زیر را ببینید).

پروژه را انتخاب و OK کنید.
پنجره اندازه گیری باز می شود. اولین اندازه گیری را در اولین کرت پروژه انتخاب شده انجام دهید.
کرت ها به ترتیب تعریف در پروژه قابل اندازه گیری هستند.



۶- صفحه مرجع عمق را روی سطح زمین قرار دهید. لبه‌های برجسته باید به سمت پایین باشد. مخروط را از طریق سوراخ صفحه روی سطح خاک قرار دهید. اطمینان حاصل کنید تا آنجا که ممکن است آن را عمودی نگه دارید تا: اولا از تماس و اصطکاک بین میله و خاک جلوگیری به عمل آید. و ثانیا عمق به طور صحیح ثبت شود. سنسور اولتراسونیک، عمق را اندازه گیری می‌کند. سیگنال‌های اولتراسونیک منتقل شده توسط سنسور از طریق صفحه مرجع عمق به سنسور منعکس می شوند.

- بنابراین، میزان انحراف میله مخروطی نباید بیش از ۳,۵ درجه نسبت به حالت عمودی منحرف شود.
- برای بررسی موقعیت عمودی فروسنج از تراز موجود روی دیتا لاگر استفاده کنید.
- برای اندازه گیری صحیح با سنسور اولتراسونیک، توصیه می شود در روزهای بادی پشت در برابر باد بایستید (باد می تواند در اندازه گیری اولتراسونیک اختلال ایجاد کند).

۷- برای شروع اندازه گیری، START را انتخاب کنید.

اگر گزینه سنسور رطوبت را روشن کرده اید (هنگام ساخت پروژه) ، فرورسنج از شما میخواهد: که Thetaprobe را قرار دهید و Start را فشار دهید. ابتدا درصد رطوبت خاک ظاهر می شود. از شما سوال پرسیده میشود آیا داده ذخیره شود؟ اگر مشکلی نیست، بله را فشار دهید (درصد رطوبت ذخیره می شود). با فشار مجدد بر روی شروع، اندازه گیری آغاز می شود.

در پاسخ به این سوال که آیا اندازه گیری ذخیره شود (اندازه گیری، مختصات GPS و درصد رطوبت خاک ذخیره می شود) گزینه بله YES را انتخاب کنید یا اگر نمی خواهید ذخیره شود و شما می خواهید آن را دوباره انجام دهید گزینه NO.

۸- فروسنج را به طور یکنواخت و تا حد امکان به صورت عمودی و با سرعت ثابت تنظیم شده در طرح وارد کنید. با سرعت توصیه شده (۲ سانتی متر بر ثانیه) زمان لازم برای رسیدن به عمق ۸۰ سانتی متر ۴۰ ثانیه خواهد بود.

ظاهر شدن "S" در صفحه نمایش نشان دهنده زیاد بودن سرعت است. باید سرعت را کاهش دهید.

ظاهر شدن حرف "L" صفحه نمایش به معنی پایین بودن سرعت نفوذ است. باید سرعت بیشتر کنید.

۹. زمانی که به عمق مورد نظر و یا به انتهای میله رسیدید STOP را انتخاب کنید برای تأیید ذخیره اندازه گیری ها (مقاومت، مختصات GPS و در نهایت در صد رطوبت خاک) YES را انتخاب کنید، در غیر صورت NO را انتخاب کنید.

۱۰. در صورت لزوم، اندازه گیری را در همان قطعه تکرار کنید (بسته به تعداد دفعات تعیین شده در هر قطعه در هنگام طراحی نقشه). برای جلوگیری از اندازه گیری های متأثر از یکدیگر، نقاط اندازه گیری حداقل ۱ متر از هم فاصله داشته باشند.

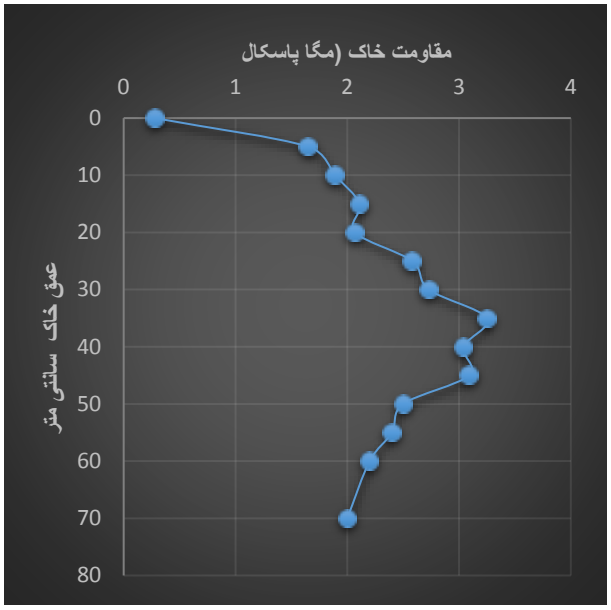
۱۱. فرایند اندازه گیری در سایر کرت ها را به شکل فوق ادامه دهید.

محاسبات:

$$\text{مقاومت خاک به نفوذ (مگا پاسکال MPa)} = \frac{\textbf{نیرو } (N)}{\textbf{مساحت قاعده مخروط } (mm2)}$$

نتایج:

- مخروط انتخاب شده در آزمایش شماره ۲ با قطر ۱۵,۹۶ و مساحت ۲ سانتی متر مربع است.
- ۲ سانتی متر مربع = ۲۰۰ میلی متر مربع
- مساحت دایره (قاعدع مخروط): πr^2



عمق cm	نیرو (نیوتن)	مقاومت KPa
0	56	0.28
5	330	1.65
10	378	1.89
15	422	2.11
20	414	2.07
25	516	2.58
30	546	2.73
35	650	3.25
40	608	3.04
45	618	3.09
50	500	2.5
55	480	2.4
60	440	2.2
70	400	2

تکلیف:

میانگین داده های فرو سنج برای یک مزرعه با ۲۰ تکرار به شرح جدول زیر ا ست. داده های نیرو بر ح سب کیلوگرم ه ستند. ابتدا کیلوگرم را به نیوتن تبدیل کنید و سپس با ا ستفاده از م شخ صات نوع مخروطی که استفاده شده است، مقاومت خاک را بر حسب مگا پاسکال محاسبه کنید.

قطر مخروط استفاده شده : ۱۱,۲۸ میلی متر

مساحت آن را بر حسب میلی متر مربع حساب کنید.

نمودار پروفیل عمقی مقاومت خاک را رسم کنید.

عمق cm	نیرو (کیلوگرم)	نیرو (نیوتن)	مقاومت KPa
0	5.04		
5	29.7		
10	34.02		
15	37.98		
20	37.26		
25	46.44		
30	49.14		
35	58.5		
40	54.72		
45	55.62		
50	58.64		

Copy protected with Online-PDF-No-Copy.com