



سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت آموزش و ترویج

تعیین میزان فشردگی خاک با استفاده از نفوذسنج مخروطی



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

استان فارس

۱۴۰۴

نشریه ترویجی

۱۵۰۶

بسم الله الرحمن الرحيم



تعیین میزان فشردگی خاک با استفاده از نفوذسنج مخروطی

نویسندگان:

محمدعلی رستمی - احمد صادقی

۱۴۰۴



عنوان: تعیین میزان فشردگی خاک با استفاده از نفوذسنج مخروطی

نویسنده: محمدعلی رستمی - احمد صادقی

مدیر داخلی: فتح‌اله بهرامی

ویراستار ترویجی: نوشین رضانی

تهیه شده در: معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی

ناشر: نشر آموزش کشاورزی

صفحه آرایی: نادیا اکبریه

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول، ۱۴۰۴

مسئولیت درستی مطالب با نویسندگان است.

شماره ثبت در مرکز فن‌آوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی ۶۸۲۸۳ به تاریخ ۱۴۰۴/۰۸/۱۷ است.

نشانی: تهران، خیابان آزادی، بین نواب و رودکی، پلاک ۲۰۵، معاونت آموزش و ترویج کشاورزی

تلفن: ۶۶۴۳۰۴۶۵ | تلفکس: ۶۶۴۳۰۴۶۴ | کد پستی: ۱۴۵۷۸۹۶۶۸۱

مخاطبان نشریه

* کارشناسان و مروجین

اهداف آموزشی

* در این نشریه با موارد زیر آشنا خواهید شد:

- ۱- تشخیص محل و میزان فشردگی خاک.
- ۲- چگونگی اندازه‌گیری تراکم خاک با دستگاه نفوذسنج مخروطی.

فهرست

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۷
تأثیر تردد ماشین‌های کشاورزی.....	۹
علائم و نشانه‌های فشردگی خاک.....	۱۰
۱- محدودیت رشد ریشه.....	۱۰
۲- محدودیت حرکت آب.....	۱۱
روش‌های شناسایی تراکم سطحی و زیرسطحی خاک.....	۱۲
روش‌های اندازه‌گیری تراکم خاک.....	۱۲
نفوذسنج مخروطی (فرو سنج مخروطی).....	۱۳
روش کار با نفوذسنج مخروطی دیجیتالی دستی.....	۱۶
استاندارد دستگاه نفوذسنج مخروطی خاک.....	۱۷
استاندارد دستگاه و روش تست آن.....	۱۸
معرفی برخی انواع نفوذسنج مخروطی موجود در بازار.....	۲۰
نمونه ۱.....	۲۰
نمونه ۲.....	۲۲
نمونه ۳.....	۲۴
تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نفوذسنج مخروطی در امور زراعی و باغی.....	۲۶
نتیجه‌گیری.....	۲۷



مقدمه

فشردگی یا تراکم خاک به صورت فضای منافذ، نسبت خالی یا وزن حجم خشک بیان و به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای منفی تأثیرگذار بر عملکرد محصولات زراعی محسوب می‌شود. فشردگی در بسیاری از مناطق، به عنوان عامل اصلی و مؤثر بر محدودیت رشد ریشه گیاه گزارش شده است. تراکم می‌تواند تقریباً بر تمام خصوصیات و عملکردهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر بگذارد.

تراکم همراه با فرسایش خاک، از پرهزینه‌ترین و جدی‌ترین مشکلات زیست محیطی تحت تأثیر کشاورزی قلمداد می‌شوند. در کشاورزی، تراکم خاک یک مشکل پیچیده است که موجب درهم تنیده شدن آب، خاک و هوای خاک ناشی از تردد ماشین‌های کشاورزی می‌شوند. با مدیریت صحیح و بکارگیری روش‌های اندازه‌گیری فشردگی خاک می‌توان این مشکل را براحتی حل کرد.

تأثیر تردد ماشین‌های کشاورزی

تردد ماشین‌های کشاورزی، خاک‌ورزی و ته‌نشین شدن ذرات ریز می‌تواند باعث شود که ذرات خاک در کنار هم قرار گیرند و فضاهای خالی را در خاک پر کنند و در زیر ناحیه ریشه یک لایه سخت ایجاد کنند. هنگامی که این اتفاق می‌افتد، یک لایه سخت تشکیل می‌شود که نفوذ رطوبت و ریشه‌ها به داخل خاک را دشوار می‌کند. برخی از انواع خاک نسبت به سایرین مستعد تراکم هستند. اما هنگامی که یک لایه تراکم تشکیل می‌شود و رطوبت و ترافیک ادامه می‌یابد، لایه تراکم متراکم‌تر و ضخیم‌تر می‌شود.

به طور معمول، تراکم نتیجه‌ی عبور ماشین‌های سنگین است که خاک را فشرده می‌کنند. همچنین می‌تواند در اثر عبور حیوانات نیز رخ دهد. از نظر علم خاک و زراعت، تراکم خاک ممکن است به دلیل کمبود آب در خاک رخ دهد. در صورتی که خاک به علت عبور و مرور ادوات یا دلایل دیگر متراکم شده باشد قادر به جذب آب باران نیست، بنابراین عدم نفوذ آب در خاک، باعث افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود. گیاهان در خاک فشرده برای رشد و ریشه دوانی مشکل دارند زیرا دانه‌های معدنی به هم فشرده می‌شوند و فضای کمی برای هوا و آب باقی می‌گذارند که برای رشد ریشه ضروری است. فشار خارجی به خاک سطحی (به دلیل استفاده از ماشین‌های سنگین) و مدیریت نامناسب خاک می‌تواند به تراکم لایه‌های زیرین خاک منجر شود. لایه‌هایی غیرقابل نفوذ در داخل خاک ایجاد شده و چرخه آب و مواد مغذی را محدود می‌کند. این فرآیند می‌تواند باعث اثراتی از قبیل کاهش رشد محصول، کاهش عملکرد و کیفیت محصول و همچنین اثراتی مانند افزایش رواناب و فرسایش خاک شود.

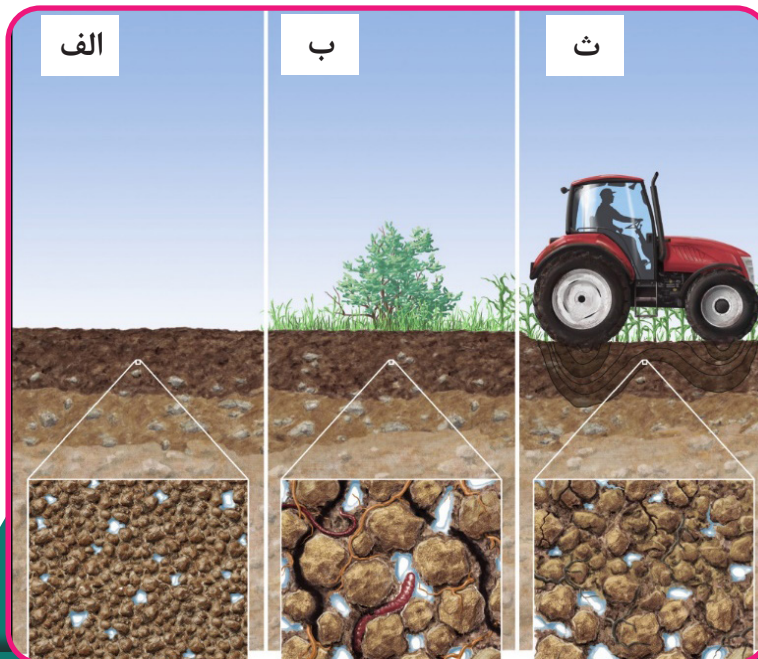
علائم و نشانه‌های فشردگی خاک

در یک خاک فشرده شده علائم و نشانه‌های زیر قابل مشاهده است:

۱- محدودیت رشد ریشه

یکی از علائم و نشانه‌های فشردگی خاک محدود شدن رشد ریشه است. تراکم خاک منجر به محدود شدن رشد ریشه می‌شود و از دو طریق، مقاومت مکانیکی در برابر رشد ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد:

- کاهش تعداد و اندازه منافذ بزرگ خاک: در نتیجه منافذ کمتری وجود دارد که در آن ریشه‌ها بتوانند آزادانه و بدون مقاومت مکانیکی رشد کنند (شکل ۱).
- افزایش مقاومت مکانیکی خاک با نزدیک کردن ذرات خاک به هم



شکل ۱: الف) خاک همگن معمولی ب) خاک بهبودیافته از نظر بیولوژیکی

ث) خاک فشرده شده و آسیب دیده

۲- محدودیت حرکت آب

تراکم خاک همچنین حرکت آب از طریق خاک و نفوذ آب در خاک را محدود می‌کند. محدود شدن حرکت آب یکی دیگر از علائم و نشانه‌های فشردگی خاک محسوب می‌شود (شکل ۲). این امر باعث اشباع آب در لایه‌های فوقانی می‌شود که خود می‌تواند منجر به کمبود اکسیژن برای ریشه‌ها شود. علاوه بر این، وضعیت هوادهی خاک و دسترسی گیاهان به مواد غذایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شرایط بی‌هوازی، نیتروژن زدایی می‌تواند منجر به از دست رفتن شدید نیتروژن به صورت اکسید نیتروژن یا گاز نیتروژن به جو شود. در نتیجه تراکم خاک موجب می‌شود نیتروژن موجود در خاک کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۲: کاهش نفوذ آب در خاک به دلیل وجود لایه‌ی سخت در خاک

روش‌های شناسایی تراکم سطحی و زیرسطحی خاک

شناسایی تراکم خاک با استفاده از علائم بصری از ویژگی‌های گیاه، ریشه و خاک امکان‌پذیر است. عدم جوانه‌زنی گیاهان در محل گذر چرخ ماشین‌ها، یکی از علائم و نشانه‌های فشردگی خاک سطحی است. شناسایی فشردگی خاک عمقی اغلب دشوارتر از فشردگی خاک سطحی است. باوجود رطوبت در خاک عمقی، محصول دچار کم‌آبی می‌شود و محصول نسبتاً ضعیفی تولید می‌کند. این نشان می‌دهد که ریشه قدرت کافی برای استخراج آب را نداشته است. ریشه‌های تغییر شکل یافته و خمیده گیاهان، می‌تواند یکی از علائم و نشانه‌های فشردگی خاک زیرسطحی باشد. لایه‌های فشرده‌شده در زیر خاک را می‌توان با حفر گودال (پروفل) در خاک مشاهده کرد. لایه فشرده‌شده نسبت به خاک سطحی یا لایه زیرین آن، چگالی بیشتری دارد. اثر رشد آهسته و محدود ریشه با مشاهده رشد گیاهان قابل تشخیص است. تراکم ریشه و انشعاب ریشه در لایه فشرده کاهش می‌یابد.

روش‌های اندازه‌گیری تراکم خاک

به‌طور کلی، روش‌های اندازه‌گیری تراکم خاک را می‌توان به دو بخش آزمایشگاهی و رویکردهای میدانی تقسیم کرد. رویکردهای آزمایشگاهی شامل آزمون برشی مستقیم و آزمایش سه محوره است. رویکردهای میدانی سریع‌تر و ارزان‌تر از رویکردهای آزمایشگاهی هستند که با ابزارهای مختلف انجام می‌شوند. رویکردهای میدانی علیرغم محدودیت در تعداد پارامترهای اندازه‌گیری، نسبت به روش آزمایشگاهی اولویت دارند. همچنین یکی از خواص مکانیکی خاک که به‌طور معمول برای ارزیابی مقاومت خاک در مطالعات خاک‌ورزی استفاده می‌شود مقاومت در برابر نفوذ خاک^۱

۱- Soil penetration resistance

است. ابزار استاندارد اندازه‌گیری مقاومت نفوذ، نفوذسنج مخروطی^۱ نامیده می‌شود که به‌عنوان روشی استاندارد از روش‌های اندازه‌گیری فشردگی خاک پذیرفته شده است. (ASABE، 2006a). مقاومت در برابر نفوذ خاک اندازه‌گیری شده توسط یک نفوذسنج مخروطی نیز به‌عنوان شاخص مخروط خاک (CI) نامیده می‌شود. شاخص CI به‌عنوان یک شاخص مهم برای فشردگی (تراکم) خاک، توسعه ریشه گیاه، نفوذ آب خاک، نیروی کششی (مقاومت کششی^۲) ابزار خاک‌ورزی و عملکرد تراکتورها استفاده شده است.

نفوذسنج مخروطی (فرو سنج مخروطی)

یک نفوذسنج مخروطی خاک^۳ (فرو سنج مخروطی)، نیروی لازم برای فروکردن یک مخروط استاندارد به داخل خاک را اندازه‌گیری می‌کند. بدین‌صورت می‌توان تشخیص داد در چه عمقی از خاک باید نیروی غیرمتمعارفی برای نفوذ مخروط در خاک وارد نمود که معلوم می‌شود خاک در همان محل متراکم شده یا اصطلاحاً دارای لایه‌ی سخت است. ازجمله عوامل اصلی مؤثر بر تعیین مقادیر مقاومت به نفوذ خاک، زاویه مخروط، قطر و زبری، و سرعت حرکت نفوذسنج به داخل خاک را می‌توان ذکر کرد. علاوه بر این عوامل، تعیین مقادیر مقاومت به نفوذ خاک به چگالی ظاهری خاک، محتوای آب در خاک، فشار آب منفذ خاک، تراکم‌پذیری خاک و اصطکاک خاک و فلز بستگی دارد.

نفوذسنج مخروطی دستگاهی است که دارای مخروط، میله، دسته و یک لودسل

۱- Cone penetrometer

۲- Draft

۳- Soil Penetrometer

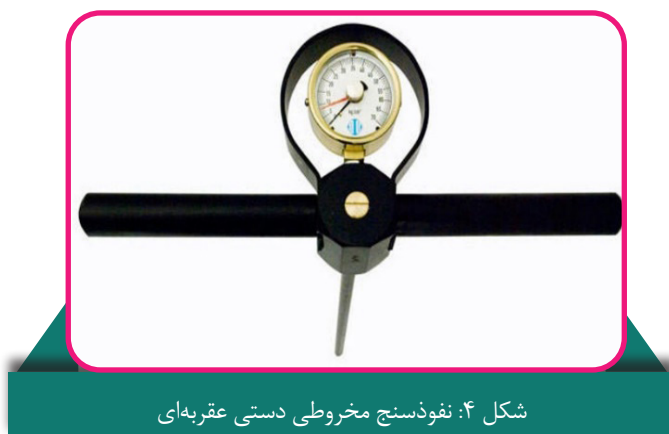
می‌باشد (شکل ۳). به کمک دسته و میله و با فشار دست مخروط به داخل خاک فرو می‌رود. میزان نیرویی که به دسته وارد می‌شود تا مخروط به داخل خاک فرو رود توسط لودسل اندازه‌گیری می‌شود. با در دست داشتن سطح مقطع مخروط و نیرو می‌توان فشار وارد شده بر مخروط برای فرورفتن در خاک را محاسبه نمود. این فشار همان مقاومت به نفوذ خاک است که نشان‌دهنده میزان تراکم یا فشردگی خاک است و به آن شاخص مخروطی خاک می‌گویند. شاخص مخروطی خاک را باید در اعماق مختلف اندازه‌گیری نمود تا بتوان تشخیص داد در چه عمقی از خاک لایه‌ی سخت تشکیل شده است. با در دست داشتن شاخص مخروطی خاک در اعماق مختلف می‌توان منحنی تراکم برای خاک رسم نمود. معمولاً دستگاه‌های نفوذسنج مخروطی دستی تا عمق حدود ۷۵ سانتیمتر قابلیت نفوذ در خاک را دارند. برای اعماق بیشتر از نفوذسنج‌های مخروطی تراکتوری که روی سه‌نقطه اتصال تراکتور سوار می‌شوند و با فشار هیدرولیک تراکتور به داخل خاک نفوذ می‌کنند استفاده می‌شود.



شکل ۳: نفوذسنج مخروطی

دستگاه‌های نفوذسنج مخروطی میزان شاخص مخروطی خاک (حاصل از اندازه‌گیری توسط لود سل دستگاه) را به دو صورت دیجیتال یا آنالوگ به کاربر نشان می‌دهند. انواع آنالوگ دارای یک عقربه شبیه فشارسنج‌های معمولی

هستند که با فشردن مخروط به داخل خاک میزان شاخص مخروطی را نشان می‌دهد (شکل ۴). انواع دیجیتال دارای یک مانیتور هستند که شاخص مخروطی خاک را به صورت یک عدد روی مانیتور نشان می‌دهند. بنابراین نفوذسنج‌ها به طور عمده به ۲ دسته دیجیتالی و مکانیکی تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از معایب نفوذسنج‌های دستی نایک‌نواختی سرعت نفوذ آن‌ها می‌باشد که دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد. نفوذسنج‌های دستی وجود دارند که یک سیگنال صوتی اخطاردهنده را در زمانی که سرعت نفوذ از حد استاندارد خارج می‌شود صادر می‌کنند. دستگاه‌های جدید دارای یک دیتالاگر یا ثبت‌کننده اطلاعات هستند که می‌توانند شاخص مخروطی خاک را در اعماق مختلف و با فواصل بسیار کم ثبت کنند و در انتها داده‌ها توسط کاربر تخلیه و روی کامپیوتر تحلیل شود و یا حتی یک منحنی از شاخص مخروطی خاک در اعماق مختلف خاک به کاربر نشان دهند. برای مثال می‌توان تنظیمات را به گونه‌ای انجام داد که هر ۱۰ میلی‌متر یک‌بار شاخص مخروطی قرائت‌شده و توسط دیتالاگر ثبت شود. بدین صورت می‌توان با دقت زیاد تعیین نمود که خاک در چه عمقی و با چه شدتی دچار تراکم شده است. نفوذسنج‌های مجهز به سیستم ثبت داده، ابزارهای متداول برای اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک و به دست آوردن پروفیل فشردگی خاک در مطالعات مربوط به خواص فیزیکی خاک و اثرات آن بر رشد گیاه می‌باشند.



شکل ۴: نفوذسنج مخروطی دستی عقربه‌ای

مخروط و میله‌های مورد استفاده در دستگاه نفوذسنج مخروطی دارای استاندارد جهانی هستند تا بتوان نتایج به دست آمده در سراسر دنیا را با هم مقایسه نمود. بنابراین شاخص مخروطی خاک که توسط دستگاه نفوذسنج مخروطی اندازه‌گیری می‌شود در هر کجای دنیا گزارش شود قابل مقایسه با سایر نقاط جهان است.

روش کار با نفوذسنج مخروطی دیجیتالی دستی

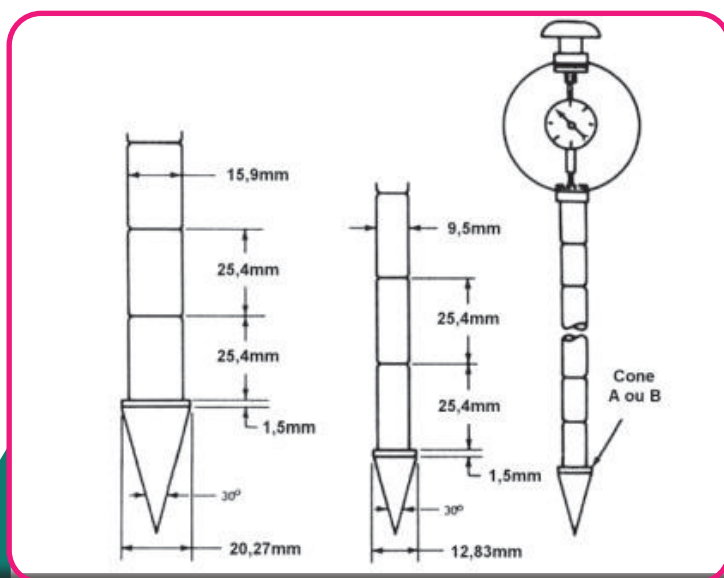
ابتدا با استفاده از دکمه‌های تعبیه شده میزان سرعت، تعداد نمونه و عمق مورد نظر مشخص شوند. سپس صفحه تشخیص سطح خاک را بر روی نقطه مورد نظر قرار داده و با سرعت تنظیم شده (مثلاً 3cm/s) نفوذسنج به داخل خاک فرو برده شود. پس از آن دستگاه به طور خودکار اقدام به اندازه‌گیری مقاومت خاک در عمق‌های مختلف می‌نماید. برای یک زمین زراعی با کشت‌های معمولی، باید حداقل سه نقطه و تا عمق ۴۵ سانتیمتری اندازه‌گیری شود. دستگاه قادر است به طور خودکار با میانگین‌گیری از داده‌های این سه نقطه، برای هر عمق از خاک یک عدد را به ما نشان دهد که نشان دهنده مقاومت خاک در آن نقطه بر حسب مگاپاسکال (Mpa) می‌باشد. جدول ۱ داده‌های به دست آمده در یک مزرعه تا عمق ۴۵ سانتیمتر و با فاصله ۵ سانتیمتر را نشان می‌دهد.

جدول ۱: داده‌های حاصل از اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک در سه نقطه از یک مزرعه

مقاومت خاک (Mpa)	عمق خاک (cm)
۰/۲۸	۰
۱/۶۵	۵
۱/۸۹	۱۰
۲/۱۱	۱۵
۲/۰۷	۲۰
۲/۵۸	۲۵
۲/۷۳	۳۰
۳/۲۵	۳۵
۳/۰۴	۴۰
۳/۰۹	۴۵

استاندارد دستگاه نفوذسنج مخروطی خاک

استاندارد نفوذسنج مخروطی ASAE S313.3 FEB04 توسط انجمن مهندسين کشاورزي آمريکا^۱ در سال ۱۹۶۸ تدوين و تا سال ۲۰۰۴، ۸ بار تجديد نظر شده است. در اين استاندارد، نفوذسنج مخروطی خاک به عنوان یک دستگاه اندازه گيري، برای ارائه یک روش استاندارد تعيين مقاومت نفوذ خاک معرفی شده است (شکل ۵). مقاومت نفوذ خاک يعني نیروی مورد نیاز برای فشار دادن یک مخروط دایره ای با زاویه ۳۰ درجه در خاک، که بر حسب كيلو پاسکال یا مگا پاسکال بیان می شود و شاخصی از استحکام خاک است که به آن شاخص مخروطی می گویند.



شکل ۵: نفوذسنج مخروطی خاک، استاندارد انجمن مهندسين کشاورزي آمريکا

۱- ASAE (American Society of Agricultural Engineers)

این استاندارد برای اهداف زیر در نظر گرفته شده است:

- ارائه یک روش متداول برای ساخت دستگاهی با قابلیت اندازه‌گیری شرایط مکانیکی عمومی خاک که گزارش و تفسیر داده‌های خاک توسط محققان مختلف را تسهیل می‌کند.

- کمک به کسانی که با خاک‌ها و شرایط مختلف خاک کار می‌کنند و برای مقاصد مقایسه‌ای نیاز به اندازه‌گیری خواص مکانیکی خاک دارند.

- ارائه یک سیستم مشترک برای توصیف خصوصیات خاک که از طریق آن می‌توان روابط عملکرد و پیش‌بینی را توسعه داد.

استاندارد فقط به‌عنوان وسیله‌ای برای ساختن یک دستگاه عمل می‌کند و مقاومت خاک در برابر نفوذ را اندازه‌گیری می‌کند و مقادیر خاصی از خاک مانند چسبندگی، زاویه اصطکاک یا ضریب اصطکاک خاک و فلز را ارائه نمی‌دهد. از آنجایی که نتایج اندازه‌گیری شده تحت تأثیر روش استفاده قرار می‌گیرند، کاربران باید به ASAE EP542 مراجعه کنند.

در استاندارد یادشده نفوذسنج مخروطی، مخروط فولادی ضدزنگ دایره‌ای ۳۰ درجه با شفت محرک تعریف شده است. در اصطلاح رایج، اصطلاح نفوذسنج مخروطی اغلب برای اشاره به کل دستگاه آزمایش استفاده می‌شود.

استاندارد دستگاه و روش تست آن

نفوذسنج مخروط خاک نشان داده شده در شکل ۵ دارای یک مخروط و یک محور محرک مدرج است. این وسیله با دو مخروط استاندارد همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است توصیه می‌شود: الف) مخروط با مقطع ۳۲۳ میلی‌متر مربع، قطر ۲۰,۲۷ میلی‌متر و دارای محور با قطر ۱۵,۸۸ میلی‌متر برای خاک‌های نرم (شکل ۵-الف)، و مخروط با مقطع ۱۲۹ میلی‌متر مربع، ۱۲,۸۳ میلی‌متر قطر دارای

محور با قطر ۹,۵۳ میلی‌متر برای خاک‌های سخت (شکل ۵- ب). این مخروط‌ها توسط مؤسسه آهن و فولاد آمریکا، با فولاد ضدزنگ AISI ۴۱۶، ماشین‌کاری شده تا یک سطح صاف حداکثر ۱,۶ میکرومتر (۶۳ میکرون) داشته باشند. مخروط با سطح پایه ۱۲۹ میلی‌متر مربع برای استفاده در نفوذسنج‌های مخروطی دستی در خاک سخت مناسب است اگر طول محور از ۴۵۷ میلی‌متر تجاوز نکند. در خاک‌های بسیار سخت، یک مخروط با مساحت پایه ۳۲۳ میلی‌متر مربع با حرکت مکانیکی به دلیل محور محرک قوی‌تر مناسب است. شکل کلی تجهیزات نفوذسنج بخشی از این استاندارد نیست.

درجه‌بندی‌ها در محور محرک ۲۵,۴ میلی‌متر از هم فاصله دارند و برای شناسایی عمق در دستگاه‌های دستی استفاده می‌شوند. دستگاه‌های نفوذسنج مخروطی دستی باید دارای ظرفیت شاخص مخروطی تقریباً ۲ مگا پاسکال (۲۹۰ psi) برای نفوذسنج‌ها با مقطع ۳۲۳ میلی‌متر مربع (۰,۵ اینچ) و برای ۱۲۹ میلی‌متر مربع (۰,۲ اینچ) از ۵ مگا پاسکال (۷۲۵ psi) تجاوز نکند، چون برای اکثر شرایط خاک کشاورزی مناسب است. در خاک‌های بسیار نرم هنگام کار در اعماق زیاد، باید مراقب بود که شفت کشیده نشود. شفت با قطر کمتر ممکن است در برخی موارد ضروری باشد. مخروط‌های دستگاه نفوذسنج باید زمانی تعویض شوند که ساییدگی قطر پایه از ۳ درصد بیشتر شود و بنابراین بر شاخص مخروط تا ۵ درصد تأثیر می‌گذارد. مخروط‌ها را در شرایط دیگری مانند صافی بیش‌ازحد یا سایش غیرطبیعی تعویض کنید. نفوذسنج‌های خودکار ممکن است اشکال کلی متفاوتی داشته باشند، اما مخروط و اندازه محور محرک باید با این استاندارد مطابقت داشته باشد. سرعت عملکرد باید مطابق با آنچه در ASAE EP ۵۴۲ توصیه شده است، باشد. روش‌های ثبت و گزارش داده‌های به‌دست‌آمده با نفوذسنج مخروطی خاک در ASAE EP ۵۴۲ آمده است.

معرفی برخی انواع نفوذسنج مخروطی موجود در بازار

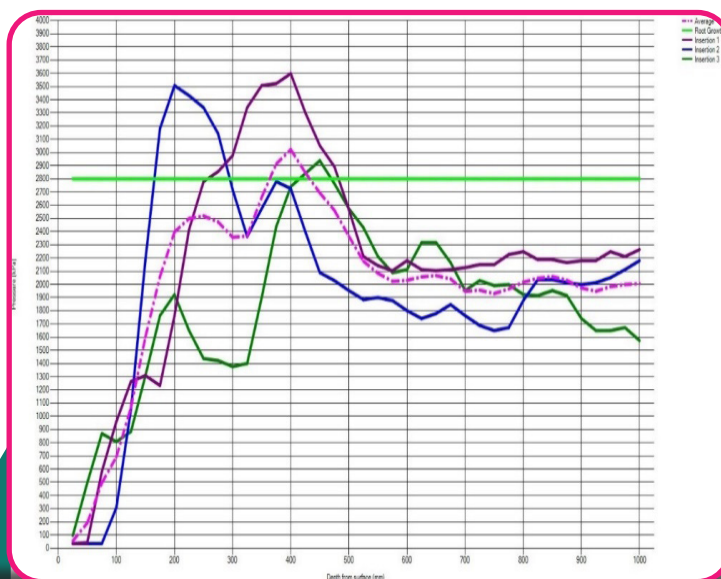
نمونه ۱

نفوذسنج مخروطی CP40II ساخت شرکت ریمیک^۱ برای استفاده در مزارع کشاورزی، مقادیر شاخص مخروط تا ۵۶۰۰ کیلو پاسکال (با استفاده از مخروط ASAE ۱۳۰ میلی‌متر مربع) را اندازه‌گیری می‌کند. این نفوذسنج تا عمق ۷۵۰ میلی‌متر قابل‌استفاده است. داده‌ها به‌طور خودکار در فایل‌هایی ثبت و ذخیره می‌شوند که شامل داده‌های فهرست مخروطی علاوه بر زمان، تاریخ، مکان GPS و موارد دیگر است.



شکل ۶: نفوذسنج مخروطی CP40II

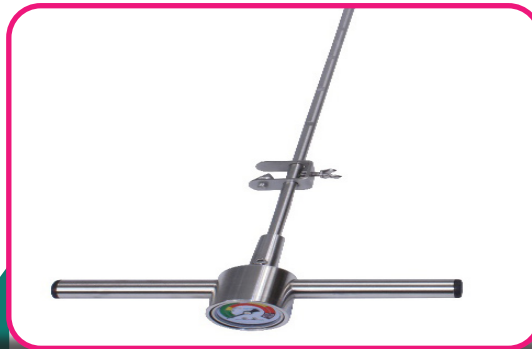
هنگامی که یک اندازه‌گیری کامل شد، صفحه نمایش نموداری از داده‌های ثبت‌شده را نشان می‌دهد (شکل ۷). این نمودار به اپراتور بازخورد بصری فوری در مورد مشخصات خاکی که به‌تازگی ثبت‌شده است می‌دهد. داده‌هایی که قبلاً در حافظه ذخیره‌شده نیز می‌توانند نمایش داده شوند.



شکل ۷: نمونه‌ای از نمودار داده‌های ثبت‌شده نفوذسنج مخروطی CP40II

نمونه ۲

دستگاه نفوذسنج مخروطی خاک آگرتو^۱ ساخت شرکت آگرتو دستگاهی برای تعیین فشردگی خاک در زمین‌های کشاورزی می‌باشد. به کمک مخروط و محور این دستگاه، زمین سوراخ می‌شود تا مقاومت نفوذ آن اندازه‌گیری شده و هر لایه متراکم در خاک شناسایی شود. اندازه‌گیری شاخص مخروطی این امکان را فراهم می‌کند تا در صورت لزوم هرگونه اقدامات لازم برای از هم گسیختن لایه‌ی سخت انجام شود (شکل ۸ و ۹).



شکل ۸: دستگاه نفوذسنج مخروطی آگرتو



شکل ۹: نفوذسنج مخروطی CP40II

دستگاه تستر تراکم خاک آگرتو از فولاد ضدزنگ (شامل دسته‌ها) ساخته شده. طول کاوشگر آن ۷۵۰ میلی‌متر است و در فواصل ۷۵ میلی‌متر درجه‌بندی شده است. گیج فشار (آنالوگ) از رنگ‌هایی شبیه چراغ راهنمایی (سبز، زرد، قرمز) با دو مقیاس استفاده می‌کند تا با نوک ۱۹ میلی‌متری و ۱۳ میلی‌متری استفاده شود. رنگ قرمز نشان‌دهنده تراکم بیش‌ازحد و مضر برای کشت محصولات زراعی است، رنگ زرد آستانه‌ی سخت شدن لایه‌ی خاک را نشان می‌دهد و رنگ سفید نشان‌دهنده شرایط طبیعی تراکم خاک است. بنابراین زمانی که مخروط به داخل خاک فرورفت و عقبه بخش قرمز را نشان داد تراکم خاک در عمق موردنظر بیش‌ازحد بوده و باید مدیریت شود. مخروط با نوک کوچک‌تر بیشتر برای خاک‌های کار نشده استفاده می‌شود. اکثر ریشه‌ها قادر به نفوذ به خاکی نیستند که میزان تراکم آن بیش از تقریباً ۱۸۰۰ کیلو پاسکال است.

نمونه ۳

دستگاه جدید تستر تراکم خاک دیجیتال نسخه دیجیتالی از Dial Penetrom- eter ساخت شرکت تروف تک^۱ برای آزمایش لایه‌های سخت در خاک است. این دستگاه از حس گر نیروی الکترونیکی استفاده می‌کند که تغییر اندازه نوک را برای انواع مختلف خاک حذف می‌کند. نمایشگر LCD که با PSI یا kPa خوانده می‌شود، شدت تراکم را با رنگ سبز، زرد و قرمز نشان می‌دهد. این دستگاه بسیار مقاوم بوده و با استاندارد تراکم خاک ASABE S313.3 مطابقت دارد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: نفوذسنج مخروطی تروف تک

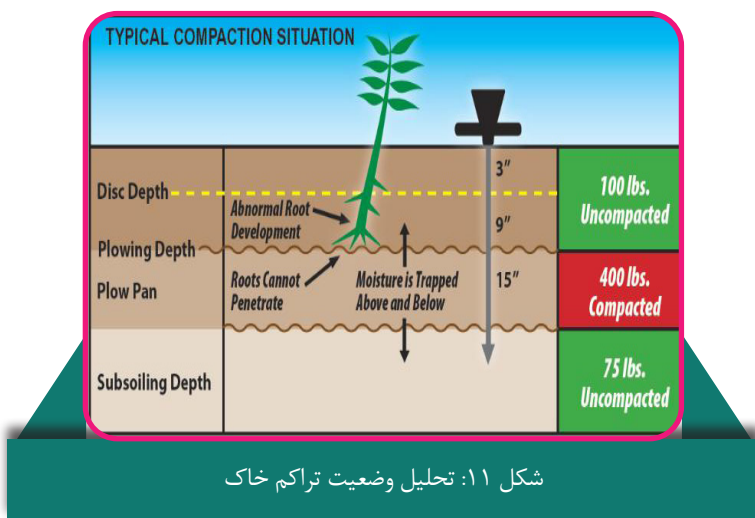
با فشار دادن تستر دیجیتالی به داخل خاک با فشار ثابت رو به پایین و خواندن مانیتور دیجیتال، می‌توانید به صورت بصری هر لایه سختی را در خاک تا عمق ۶۰ سانتی متر مشاهده کنید. همچنین پس از هر اندازه گیری، حداکثر یا "پیک" خواندن را ثبت می‌کند. برای خواندن تستر دیجیتالی تراکم خاک، کافی است به مانیتور دیجیتال برای مقایسه رنگ و نمایش دیجیتال مقدار عددی تراکم خاک برحسب

PSI یا kPa نگاه کنید و تحلیل داده‌ها را به صورت زیر انجام دهید:

سبز (۰ - ۲۰۰ psi) - شرایط رشد خوب

زرد (۲۰۰ - ۳۰۰ psi) - شرایط رشد منصفانه

قرمز (۳۰۰ psi و بالاتر) - شرایط رشد ضعیف



این دستگاه در بازه ۰-۵۶۹۰ Kpa با دقت ± 100 و تفکیک‌پذیری ۵ Kpa تا عمق ۷۶ سانتیمتر کار می‌کند و با مخروط ۳۲۰ میلی‌متر مربعی با استاندارد تراکم خاک ASABE S313.3 مطابقت دارد.

تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نفوذسنج مخروطی در امور زراعی و باغی

فشردگی بالاتر از ۲ مگا پاسکال (۲۰۰۰ کیلو پاسکال) مانع رشد ریشه گیاهان شده و یا منجر به مشکلات زهکشی و عبور آب می‌شود. این موارد منجر به عملکرد کمتر محصول خواهد شد. وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA، ۱۹۹۳) بر اساس یک نفوذسنج توصیف شده توسط برادفورد (۱۹۸۶)^۱، با مخروط قطر ۶/۴ میلی‌متر با زاویه ۶۰ درجه، که با نرخ نفوذ ثابت ۶/۴ میلی‌متر در ثانیه عمل می‌کند، مقادیر مقاومت به نفوذ خاک را به سه کلاس اصلی کم، متوسط و زیاد (جدول ۲) طبقه‌بندی می‌کند. ذکر این نکته ضروری است که وزارت کشاورزی آمریکا در این نشریه توصیه می‌کند که مقادیر مقاومت به نفوذ خاک باید با شرح شرایط تعیین در مزرعه ارائه شود. درمیان این توصیه‌ها، اهمیت توصیف محتوای رطوبت خاک، جهت‌گیری محور و نرخ نفوذ اهمیت بیشتری دارد.

جدول ۲- طبقه بندی مقاومت به نفوذ خاک، بر اساس پیشنهاد وزارت کشاورزی آمریکا

مقاومت به نفوذ خاک (مگا پاسکال)	طبقه
-۰/۱ ۰/۰۱	ناچیز
۰/۱ - ۱	کم
۱ - ۲	متوسط
۲ - ۴	زیاد
۴ - ۸	خیلی زیاد
۸ >	به شدت زیاد

در جدول ۱ مشاهده می‌شود که مقاومت به نفوذ یا شاخص مخروط خاک بالاتر از ۲ مگا پاسکال یا ۲۰۰۰ کیلو پاسکال به عنوان تراکم زیاد معرفی شده که در زراعت رشد گیاه را با دشواری روبرو می‌کند.

بدون دانستن اینکه آیا زیرشکن سازی موردنیاز است یا نه، اقدام به زیرشکنی، هدر دادن انرژی است. برای مدیریت صحیح لایه‌ی سخت تشکیل شده در اعماق مختلف خاک نیاز است که بدانیم شدت تراکم خاک که نیاز به زیرشکنی دارد به چه میزان است (مقاومت به نفوذ برحسب مگا پاسکال یا کیلو پاسکال)، لایه‌ی سخت در چه عمقی قرار دارد و ضخامت لایه‌ی سخت چقدر است؟ پس از تعیین سه پارامتر یادشده، تصمیم برای زیرشکنی، انتخاب نوع زیرشکن و سایر تصمیمات مدیریتی آسان می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث مطرح‌شده دستگاه نفوذسنج مخروطی یا فرو سنج مخروطی دیجیتالی که دارای ثبت‌کننده داده باشد یکی از بهترین دستگاه‌های موجود برای اندازه‌گیری شاخص مخروط خاک است که می‌تواند با سرعت زیاد در نقاط متعددی از یک مزرعه شاخص مخروط خاک را بر اساس مگا پاسکال یا پی اس آی تعیین نموده و نمودار تراکم خاک را در اعماق مختلف ارائه نماید. با تنظیم انجام‌شده روی این‌گونه دستگاه‌های نفوذسنج مخروطی می‌توان شاخص مخروط خاک را در فواصل بسیار کم (برای مثال هر ۱ سانتیمتر) تا اعماق حدود ۷۵ سانتیمتر اندازه‌گیری نموده و وجود لایه‌ی سخت در اعماق خاک، ضخامت لایه‌ی سخت، عمق قرارگیری آن و شدت تراکم خاک را تعیین نمود. با مشخص شدن محل و ضخامت لایه‌ی سخت می‌توان تصمیم گرفت که با کدام نوع از خاک ورزهای رایج (گاواهن قلمی، زیرشکن ثابت، زیرشکن ارتعاشی و....) اقدام به زیرشکنی خاک نمود.

پایش میزان فشردگی خاک با استفاده از نفوذسنج مخروطی و شکستن لایه‌های سخت خاک موجب رشد بهتر ریشه جذب آب و مواد مغذی بیشتر و افزایش عملکرد محصول می‌شود