

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
معاونت ترویج

فشرده گی خاک

مشکل‌ها، راه‌حل‌ها و روش‌های اندازه‌گیری



عنوان نشریه: فشردگی خاک (مشکل‌ها، راه‌حل‌ها و روش‌های اندازه‌گیری)

نویسندگان: احمد شریفی - ارژنگ جوادی

ویراستار ترویجی: علیمراد سرافرازی

صفحه آرا: نادیا اکبری

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی - دفتر شبکه ملی تلویزیونی کشاورزی و مدیریت دانش

ناشر: نشر آموزش کشاورزی

شمارگان: ۱۵۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۵

قیمت: رایگان

مسئولیت درستی مطالب با نویسندگان است.

شماره ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ۴۹۷۶۱ به تاریخ ۹۵/۴/۲۰ می‌باشد.

نشانی: تهران - بزرگراه شهید چمران - خیابان یمن - پلاک ۱ و ۲ - معاونت ترویج -
ص. پ/۱۱۱۳-۱۹۳۹۵ تلفکس: ۰۲۱-۲۲۴۱۳۹۲۳

مخاطبان نشریه

کارشناسان و مروجان مسئول پهنه

اهداف آموزشی

آشنایی با روش‌های مدیریت فشرده‌گی خاک

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	خواص خاک و قابلیت آن به فشردگی خاک
۶	انواع فشردگی خاک
۶	- خاک های متراکم طبیعی
۶	- سله سطحی
۷	- فشردگی حاصل از کاربرد ادوات خاک ورزی
۸	- فشردگی حاصل از تردد ماشین های سنگین
۹	- فشردگی حاصل از عملیات مرسوم
۹	علائم و نشانه های فشردگی خاک
۱۱	اندازه گیری فشردگی خاک
۱۲	- روش های اندازه گیری و تشخیص فشردگی
۱۳	- روش های تماسی
۱۳	- فروسنج مخروطی عمودی
۱۴	- فروسنج افقی
۱۶	- دینامومتر
۱۸	- حس گر صوتی
۱۹	- روش های غیر تماسی
۱۹	- GPR
۲۰	- القاء الکترومغناطیسی
۲۲	جلوگیری از فشردگی خاک
۲۵	برطرف کردن فشردگی خاک
۲۷	نتیجه گیری
۲۸	منابع مورد استفاده

مقدمه

فشردگی نا مطلوب خاک در اکثر خاکها می‌تواند یک مشکل باشد. فشردگی خاک، رشد گیاه و نفوذ ریشه در خاک را کاهش می‌دهد و همچنین حرکت آب و هوا در خاک را محدود می‌سازد و در نتیجه باعث تنش‌های غذایی برای گیاه و خروج کند جوانه از خاک و در نهایت باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. فشردگی خاک ممکن است به عنوان فشرده شدن جرمی از خاک به حجم‌های کوچکتر تعریف شود. واکنش خاک به فشردگی معمولاً با تغییرات در جرم مخصوص ظاهری خاک، تخلخل و مقاومت به نفوذ خاک به عنوان تابعی از فشار وارد شده به خاک و رطوبت توصیف می‌شود.

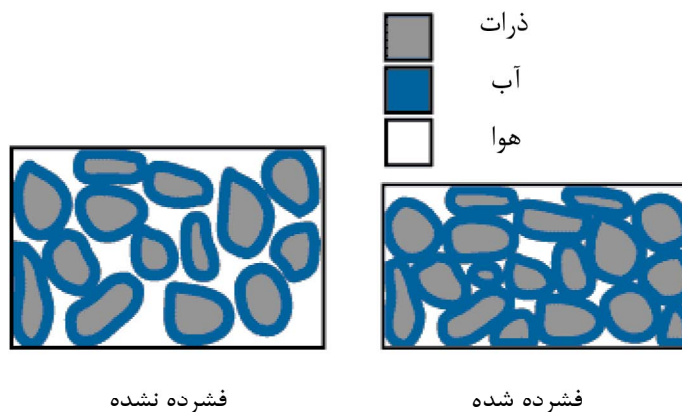
فشردگی خاک فرآیند افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک با فشردن ذرات نزدیک به هم است به طوری که باعث کاهش حجم هوای خاک می‌شود در حالی که حجم آب بدون تغییر باقی می‌ماند، در سال‌های اخیر فشردگی خاک در اثر افزایش اندازه ادوات و فقدان تناوب‌های زراعی مشکلات زیادی به وجود آورده است در تناوب‌های تک محصولی پشت سرهم، عملیات خاک‌ورزی زیاد ممکن است برای کنترل علف‌های هرز و دفن بقایای گیاهی مورد نیاز باشد. تردد زیاد ماشین‌ها و ادوات کشاورزی پتانسیل ایجاد فشردگی خاک را افزایش می‌دهد. افزایش در اندازه مزرعه می‌تواند همچنین به فشردگی خاک

ارتباط داده شود. شرایط خاک در مزارع بزرگتر ممکن است دارای تغییرات زیادی باشد. هنگام کار در این گونه مزارع قسمت‌هایی از زمین ممکن است خشک باشد، در حالی که قسمت‌های دیگر خیلی خیس باشد. مزارع کوچک‌تر دارای یکنواختی بیشتری هستند و هنگامی شخم زده می‌شوند که دارای رطوبت مناسب باشند. در این نثریه مطابق تحقیقات روز دنیا مطالبی در خصوص مشکل فشردگی خاک، روش‌های اندازه‌گیری و راه‌حل‌های ممکن برای جلوگیری و یا برطرف کردن آن ارائه شده است.

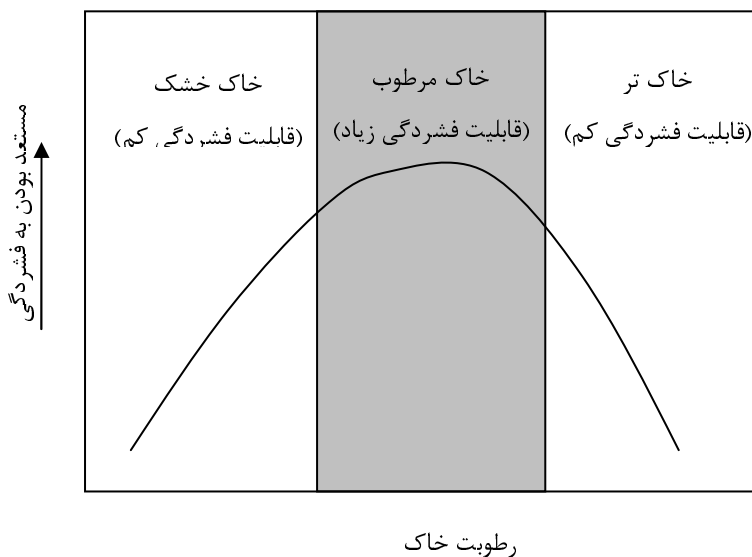
خواص خاک و قابلیت آن به فشردگی خاک

برای شناخت فشردگی خاک، ساختمان تشکیل دهنده آن باید شناخته شود. خاک شامل مواد آلی، معدنی، و خلل و فرج است. بخش معدنی خاک از ترکیب ذرات ماسه، سیلت، و رس تشکیل شده است. این ذرات به طور محکم به یکدیگر نمی‌چسبند و خلل و فرج باز آنها را در برمی‌گیرد. اهمیت این فضای باز این است که به خاک اجازه می‌دهد که آب و هوا را در خود نگه دارد. فضاهای بین ذرات خاک در خاک خشک توسط هوا، در خاک اشباع توسط آب و در خاک مرطوب توسط هر دو پر شده است. فشردگی خاک موقعی اتفاق می‌افتد که ذرات خاک تحت فشار قرار گیرند و در نتیجه فضای هوا و آب محدود شود (شکل ۱). مقدار آب موجود در خاک عامل بحرانی در پتانسیل فشردگی خاک است. خاک خشک به دلیل وجود اصطکاک بین ذرات براحتی فشرده نمی‌شود. آب

به عنوان یک روغن بین ذرات خاک عمل می‌کند و باعث می‌شود تا خاک براحتی فشرده شود. در هر حال هر چه مقدار آب موجود در خاک افزایش یابد، به نقطه‌ای می‌رسد که اکثر خلل و فرج خاک به جای هوا توسط آب پر شده است. آب نمی‌تواند متراکم شود بنابراین آب موجود بین ذرات خاک حامل بعضی از بارهای وارده بر خاک می‌شود و در مقابل فشرده شدن خاک مقاومت می‌کند. بنابراین فشردگی یک خاک خیلی مرطوب به اندازه یک خاک نسبتاً مرطوب نیست. شکل ۲ رابطه بین مقدار رطوبت خاک و مستعد بودن به فشردگی را نشان می‌دهد. محور عمودی مستعد بودن به فشردگی خاک و محور افقی مقدار رطوبت خاک را نمایش می‌دهند. ناحیه خاکستری نمودار دامنه رطوبتی خاک را که بیشتر فشردگی در آن اتفاق می‌افتد را نشان می‌دهد. در سمت چپ این ناحیه فشردگی کمتری رخ می‌دهد و در سمت راست آن نیز، خاک قابلیت فشردگی کمی دارد.



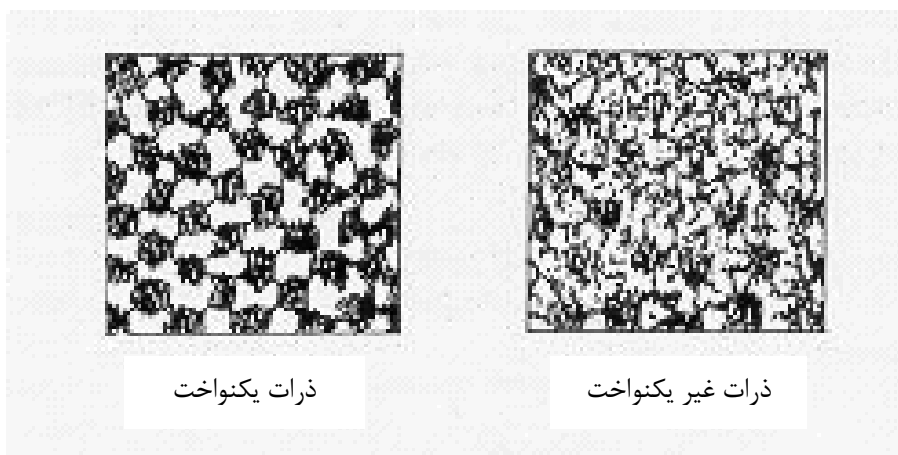
شکل ۱- تاثیر فشردگی بر خلل و فرج خاک



شکل ۲- نمودار روند تغییرات مستعد بودن خاک به فشردگی با رطوبت خاک

بافت خاک در فشردگی آن تاثیر دارد. خاک‌های یکنواخت (با ذرات هم اندازه) نسبت به خاک‌های غیر یکنواخت (با اندازه ذرات مختلف) کمتر فشرده می‌شوند. ذرات کوچکتر فضای بین ذرات بزرگتر را پر می‌کنند و خاک متراکم‌تر تشکیل می‌دهند (شکل ۳). یک خاک شنی لومی مستعدترین خاک برای فشرده شدن است. ساختمان خاک همچنین در ایجاد فشردگی خاک نقش بازی می‌کند. خاک‌های حاوی مواد آلی زیاد، ساختمان بهتری نسبت به خاک‌هائی با مواد آلی کم دارد و در مقابل فشردگی مقاوم‌ترند. مواد آلی، خاکدانه‌های بزرگتر و

محکمتری را بوجود می‌آورد. خاک‌های سخت، متراکم و حاوی مواد کم نسبت به خاک‌هایی با مواد آلی زیاد، سست، شکننده و مقاوم به فشردگی هستند.



شکل ۳- تاثیر بافت خاک بر قابلیت فشردگی خاک

این امر در کشور ایران به دلیل فاصله بسیار کوتاه بین زمان انجام عملیات خاک‌ورزی و کاشت عملیات تهیه زمین عمدتاً در رطوبت نامناسب صورت می‌گیرد. این امر در برخی مناطق به ایجاد لایه متراکم کمک می‌کند. همچنین استفاده گسترده از گاو آهن برگرداندار، به عنوان روش متداول موجب تشکیل لایه سخت حاصل از شخم در عمق حدود ۲۵-۳۰ سانتی‌متر می‌شود. عدم مدیریت لایه سخت ناشی از شخم مستمر در عمق ثابت طی پنج سال منجر به تراکم عمقی در لایه‌های زیرین می‌شود از بین بردن این لایه بسیار مشکل و با صرف هزینه انرژی زیاد این لایه‌ها همراه است.

انواع فشردگی خاک

خاک‌های متراکم طبیعی

بیشتر خاک‌های متراکم، رس زیادی در قسمتهایی از پروفیل خاک دارند. این نوع خاک‌ها را نمی‌توان بسادگی از حالت فشردگی خارج کرد. برای این کار به مقادیر زیادی از ماسه و سیلت نیاز است. عملیات خاک ورزی راه حل کوتاه مدتی برای این نوع خاک‌ها است. جلوگیری از فشردگی اضافی بهترین رویکرد مدیریتی در خاک‌های متراکم طبیعی است. فشردگی عمقی به مفهوم واقعی در لایه‌های زیرین بسیار دشوار است. بسیاری از محققان معتقدند که شکستن این لایه‌ها با عملیات خاک ورزی عمیق تقریباً غیر ممکن و یا به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی فنی در خصوص نحوه کاربرد و ملاحظات مربوطه تقریباً غیر موثر است. این امر عمدتاً باید از طریق پدیده‌های طبیعی مانند انجماد و انبساط حاصل از فصل سرما و گرما و یا خشکی و تری صورت گیرد. نتایجی نیز موجود است که نشان می‌دهد تراکم عمقی پدیده‌ای است که خاک هیچگاه پس از آن به حالت اولیه بر نخواهد گشت.

سله سطحی

بعضی خاک‌ها به سله‌های سطحی ایجاد شده توسط باران حساسند. خاک در سالهائی با بارندگی بیش از اندازه و شدید سخت می‌شود. بقایای گیاهی و یا پوشش‌های سبز بهترین شیوه برای جلوگیری از به وجود آمدن سله‌های سطحی

است. خاک‌های بدون بقایای گیاهی، خاک خشک را تشکیل می‌دهند که خروج جوانه را با مشکل مواجه می‌سازد.

فشردگی حاصل از کاربرد ادوات خاک ورزی

ادوات خاک‌ورزی نظیر گاوآهن برگردان‌دار، دیسک‌ها و پنجه‌غازی که خاک را برش می‌دهند سبب فشردگی خاک می‌شوند. کاربرد ادوات خاک‌ورزی در یک عمق ثابت و مکرر، ذرات خاک را در یک جهت مرتب می‌کند و لایه‌ای از خاک فشرده را به وجود می‌آورد.

نفوذ آب و ریشه از این لایه فشرده مشکل است. این لایه به طور موثر عمق نفوذ ریشه را به عمق خاک‌ورزی که معمولاً ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر است، کاهش می‌دهد. شکل ۴ ریشه‌هایی را نشان می‌دهد که سعی کرده‌اند از لایه فشرده عبور کنند. با محدود شدن عمق نفوذ ریشه در خاک، لایه فشرده باعث حساس شدن گیاهان به خشکی، رطوبت اضافی و کمبود مواد غذایی می‌شود.



شکل ۴- توسعه ریشه در بالای لایه فشرده شده

فشردگی حاصل از تردد ماشین‌های سنگین

این نوع از فشردگی به دو دسته تقسیم می‌شود: سطحی و عمیق. **فشردگی سطحی** به هر نوع فشردگی گفته می‌شود که در ناحیه مرسوم به خاک ورزی بوقوع می‌پیوندد. برای بعضی کشاورزان این ناحیه ممکن است تا عمق ۲۰ سانتی و برای بعضی دیگر تا عمق ۲۵ سانتی متری باشد. فشردگی سطحی می‌تواند به فشار اعمال شده از طرف تایرهای ماشین‌های سنگین بر سطح خاک ارتباط داده شود. فشارهای بالاتر سبب فشردگی سطحی بیشتری می‌شود. فشردگی سطحی موقتی است و با عملیات خاک ورزی معمولی از بین می‌رود. **فشردگی عمیق** به هر نوع فشردگی گفته می‌شود که در زیر ناحیه معمول خاک ورزی

بوقوع می‌پیوندد. این فشردگی بوسیله اعمال وزن یا نیروی ماشین‌های سنگین بر روی خاک بوجود می‌آید، که اکثراً با بار عمودی وارد بر محور تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

فشردگی حاصل از عملیات مرسوم

خاک ورزی بیش از حد سبب شکسته شدن خاکدانه‌ها می‌شود، و در نتیجه ساختمان ضعیفی از خاک بوجود می‌آورد که قابلیت زیادی برای فشرده شدن خواهد داشت. تناوب زراعی و مدیریت بقایای گیاهی می‌تواند بر ساختمان خاک و قابلیت آن برای فشرده شدن تاثیر بگذارد. عملیاتی که بقایای سطحی را دست نخورده روی خاک باقی می‌گذارد، کمک به افزایش یا نگه داشتن سطح مواد آلی می‌کند که این عمل باعث به وجود آمدن ساختمانی خوب و در نهایت فشردگی خاک می‌شود.

علائم و نشانه‌های فشردگی خاک

فشردگی خاک نشانه‌های زیادی دارد. اثرات فشردگی خاک با یک نگاه نزدیکتر ممکن است نمایان شود. علائم و نشانه‌های فشردگی خاک عبارتند از:

- الگوهای اثر چرخ در محصول در حال رشد.
- ریشه‌های بد شکل گیاه: ریشه‌های مواجه شده با ناحیه فشرده خاک ممکن است گسترده و منشعب، بهم پیچیده، نازک و مسطح باشند. همچنین بجای رشد عمقی،

ریشه‌ها تمایل به رشد سطحی دارند که نشان دهنده خاک فشرده شده است (شکل ۴).

• آبهای راکد و ایستاده یا فرسایش بیش از حد آب: آبهای ایستاده روی خاک می‌تواند نتیجه لایه فشرده محدود کننده نفوذ آب یا سله سطحی حاصل از عدم وجود بقایای گیاهی و پایین بودن مواد آلی، باشد. نفوذ پذیری ضعیف به دلیل فشردگی می‌تواند سبب ایجاد روان آب سطحی، فرسایش خاک و هدر رفتن آب شود (شکل ۵).



شکل ۵- تجمع آب در قسمتی از مزرعه به علت کاهش نفوذ پذیری آب در خاک

• افزایش توان مصرفی برای انجام عملیات کشاورزی: فشردگی خاک مقاومت مکانیکی خاک و نیروی لازم برای کشیدن ادوات خاک ورزی را افزایش می‌دهد.

- رنگ ظاهری برگ‌ها: فشردگی خاک که عامل محدود کننده رشد ریشه است، دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی را بشدت کاهش می‌دهد. همچنین عمل دی نتریفیکاسیون را افزایش و نیتروژن قابل جذب گیاه کاهش می‌یابد. این موارد باعث کم رنگ شدن برگ گیاه می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶- زرد شدن برگ به علت کمبود آب و ازت حاصل از فشردگی خاک

- کاهش عملکرد محصول: مهمترین تاثیر فشردگی خاک، کاهش عملکرد محصول است.

اندازه‌گیری فشردگی خاک

بهترین روش برای تشخیص فشردگی خاک، استفاده از بیلچه در سطوح کوچک مزرعه است. با استفاده از بیلچه می‌توان به آسانی سله سطحی و لایه فشرده حاصل از

کاربرد ادوات خاک‌ورزی را پیدا کرد. تشخیص فشردگی حاصل از تردد ماشین‌های سنگین با بیلچه به دلیل اینکه در سطوح وسیعی رخ می‌دهد و ایزوله کردن آن مشکل است چندان ساده نیست.

حفر گودال روش دیگری برای یافتن فشردگی است. در این روش نیاز است گودالی به قطر و عمق ۶۰ سانتی متر حفر نمود. باید مطمئن شد که اثری از بیل روی یکطرف دیواره گودال نماند. بر روی همین طرف دیواره یک چاقو، پیچ گوهی یا ابزار تیز دیگری را به‌طور افقی به داخل خاک فرو کرده و به مقاومت به نفوذ خاک توجه شود. باید این کار را در هر ۱/۵ تا ۲/۵ سانتی بالا و پایین این قسمت از گودال تکرار کرد. اگر ناحیه‌ای پیدا شود که مقاومت به نفوذ آن بیشتر از نواحی بالائی و پائینی آن ناحیه باشد، به طور احتمال می‌تواند لایه فشرده شده باشد.

روش‌های اندازه‌گیری و تشخیص فشردگی

خاک را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: تماسی (Contact) و غیر تماسی (Non-contact) که به طور خلاصه نمونه‌هایی از روش‌های مذکور به شرح ذیل ارائه می‌شود.

روش‌های تماسی

هرگونه روش اندازه‌گیری خواص فیزیکی که تماس فیزیکی با خاک داشته باشد، یک روش تماسی است. روش‌های ذیل می‌تواند در این طبقه بندی قرار گیرد:

فروسنج مخروطی عمودی

استفاده از فروسنج مخروطی عمودی روشی است که اغلب برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک و تشخیص فشرده‌گی خاک به کار برده می‌شود. به هر حال کاربرد این وسیله زمان بر، کار بر و طاقت فرسا است. نفوذسنج‌های متحرک موتوری که با سرعت ثابتی در خاک نفوذ می‌کنند از نوع دیگر نفوذسنج‌های مخروطی هستند. از آنجایی که مقاومت به نفوذ خاک تابعی از جرم مخصوص ظاهری و رطوبت خاک است، نیاز است تا همزمان با اندازه‌گیری مقاومت خاک، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت خاک نیز تا عمق مورد نظر اندازه‌گیری شود (شکل ۷).



شکل ۷- فروسنج مخروطی عمودی

بسیاری از محققین از این دستگاه در بررسی تاثیر فشردگی خاک بر روی عملکرد محصولات کشاورزی استفاده می‌کنند. همچنین فشردگی خاک را در کنار آن به عنوان یکی از خواص مهم فیزیکی خاک اندازه‌گیری کرده‌اند.

فروسنج افقی

سیستم‌های اندازه‌گیری مختلفی شامل سنسورهای اندازه‌گیری نیرو، کرنش و فشار بر روی تیغه‌های مختلف نصب شده‌اند. این تیغه‌ها که قابل اتصال به پشت تراکتورند، می‌توانند به طور افقی داخل خاک کشیده شوند و مقاومت مکانیکی خاک را به طور پیوسته اندازه‌گیری نمایند. در اینجا نمونه‌های مختلفی از سیستم‌های اندازه‌گیری معرفی می‌شوند:

Alihamsiyah et al. (1990) در تحقیقی فروسنج افقی با دو نوع نوک مخروطی و منشوری را برای اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک ساخت و رابطه سازگار و خوبی را بین نفوذسنج افقی و عمودی به دست آورد.

Randy (2002) نیز یک نوع فروسنج مخروطی افقی قابل اتصال به تراکتور برای تشخیص لایه فشرده خاک، ساخت و با نوع عمودی آن مقایسه کرد. وی نتیجه گرفت که مقدار مقاومت مکانیکی خاک در نوع افقی با افزایش عمق افزایش می‌یابد در حالی که در نوع عمودی بر خلاف این روند بود و توانست لایه فشرده خاک را تشخیص دهد.

یک نوع حسگر پروفیل مقاومت خاک با نوک‌های منشوری و قراردادن نیرو سنج‌هایی جلوی یک تیغه خاک ورز توسط (Chung et al. (2003 and 2004 طراحی و ساخته شد. فواصل قرارگیری نوک‌های منشوری از همدیگر و همچنین فاصله نوک‌ها از تیغه در دو سرعت پیشروی و دو عمق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فاصله ۱۰۲ میلی متری نوک‌ها از همدیگر و فاصله ۵۱ میلی متری نوک‌ها از عامل خاک‌ورز توانست رابطه خطی بین فرو سنج عمودی مخروطی و نفوذسنج افقی منشوری برقرار کند.

شریفی (۲۰۰۴) حسگر پروفیل فشردگی خاک را ساخت و در خاک‌هایی با بافت متفاوت در مزارع جنوب شرقی انگلیس و تا عمق ۴۰۰ میلی متر فشردگی خاک را اندازه‌گیری کرد. این حسگر (شکل ۸) قادر بود سطوح فشردگی خاک حاصل از تاثیر بار و فشار باد لاستیک کمباین برداشت نخود در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای را تشخیص دهد. این حسگر می‌تواند به عنوان یک ابزار تحقیقاتی در آزمایشگاه و مزرعه مورد استفاده قرار بگیرد. با به کار گرفتن یک سیستم موقعیت‌یاب جهانی در کنار این حسگر، نقشه فشردگی خاک را می‌توان در عمق‌های مختلف خاک به فواصل ۵ سانتی متری به دست آورد.



شکل ۸- حسگر پروفیل فشردگی خاک (راست) و زیرشکن مجهز شده به حسگر (چپ)

معمار دستجردی و همکاران (۱۳۸۲) با استفاده از یک مخروط مجهز شده به نیرو سنج و متصل شده به انتهای پایینی یک عامل خاک و رز مقاومت مکانیکی خاک را به صورت افقی و پیوسته اندازه‌گیری کردند و ارتباط معنی داری بین آن و فروسنج عمودی به دست آوردند.

دینامومتر (مبدل حلقوی هشت وجهی EORT)

مقاومت مکانیکی خاک به طور آنلاین و با استفاده از یک عامل خاک و رز منضم به دینامومتر حلقوی هشت وجهی توسط Sirjacobs et al (2002) (شکل ۹، راست) اندازه‌گیری و به صورت نقشه درآورده شد. این دینامومتر به اندازه کافی به تشخیص تغییرات مقاومت خاک حساس بود. این روش قادر به اندازه‌گیری

فشردگی خاک در چند عمق خاک به طور همزمان نیست و تنها نیروی کششی کل را اندازه‌گیری می‌کند.

ریچارد (۲۰۰۰) سیستم حسگری را برای اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی تراکتور طراحی کرد. وی از دینامومتر هشت وجهی بر روی بازوهای پایینی تراکتور و یک بازوی بالایی مجهز شده به کرنش‌سنج استفاده کرد (شکل ۹، چپ) و نیروی کششی زیر شکن را تا عمق ۳۵ سانتی متری اندازه گرفت و نقشه فشردگی خاک یک مزرعه مشخص را به دست آورد.



شکل ۹ - عامل خاک ورز منضم شده به مبدل حلقوی هشت وجهی (راست) و بازوهای پایینی مجهز شده به مبدل‌های حلقوی هشت وجهی و بازوی بالایی مجهز شده به کرنش‌سنج (چپ)

موذن (۲۰۰۳) نیز با استفاده یک دینامو متر حلقوی هشت وجهی و یک شاخه زیرشکن (شکل ۱۰) توانست نیروی کششی و در نتیجه فشردگی خاک را در حال واقعی کار اندازه‌گیری کند.

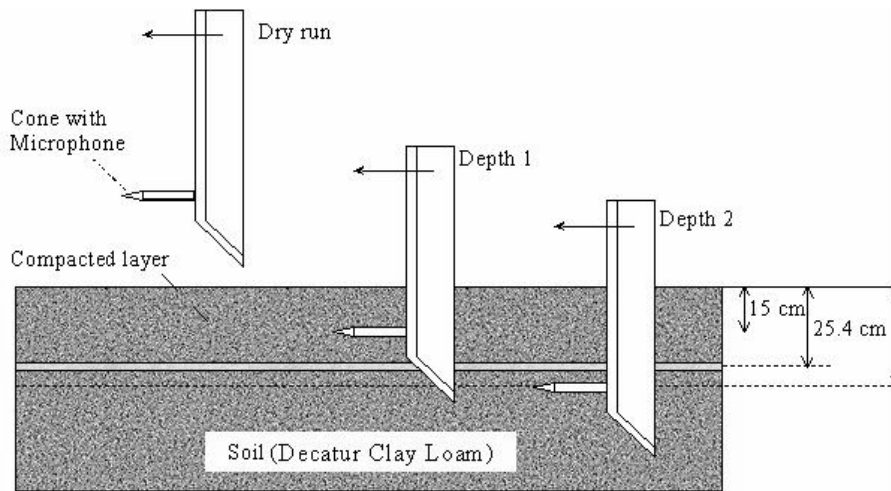


شکل ۱۰ - زیرشکن مجهز شده به مبدل حلقوی هشت وجهی

حسگر صوتی (Acoustic system)

سیستم صوتی که می‌تواند به عنوان یک روش تشخیص لایه فشرده خاک همزمان با حرکت تراکتور باشد توسط (Tekeste et al (2002) طراحی و ساخته شد. آنها یک میکروفن را در داخل یک نوک مخروطی شکل قرار داده و در انتهای پایینی یک تیغه نصب کردند (شکل ۱۱). این روش سعی کرد که لایه فشرده خاک را با اندازه‌گیری صدای تولید شده توسط میکروفن تشخیص دهد. سطح صدای

تولید شده در لایه‌های مختلف خاک با فشردگی‌های متفاوت متناسب با درجه فشردگی خاک بود.



شکل ۱۱ - حسگر صوتی

روش‌های غیر تماسی

هرگونه روش اندازه‌گیری خواص فیزیکی که تماس فیزیکی با خاک نداشته باشد، یک روش غیر تماسی است. این روش‌ها عبارتند از:

GPR (Ground Penetrating Radar)

روشی است که از فن ژئوفیزیک نزدیک نزدیک سطح خاک که تصویرهایی با دقت بالا از خواص دی‌الکتریک تا ده متر از سطح خاک را تهیه می‌کند، استفاده

می‌کند. از این روش می‌توان در تشخیص عمق و وجود لایه فشرده خاک استفاده کرد. این روش هزینه‌بر است.

القاه الکترو مغناطیس (Electromagnetic Induction)

یکی دیگر از روش‌های تشخیص فشردگی خاک استفاده از خاصیت هدایت الکتریکی خاک است که توسط القاه مغناطیس‌های الکتریکی در خاک به وسیله دستگاهی بنام EM 38 است (شکل ۱۲). این وسیله از مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری توانایی ذرات خاک برای هدایت شارژ الکتریکی استفاده می‌کند. هنگام کاربرد این حسگر خاک به عنوان یک قسمت از مدار الکترو مغناطیس محسوب می‌شود. دو سیم پیچ در ابتدا و انتهای وسیله وجود دارد که میدان مغناطیسی را به خاک القاء می‌کند و با تغییر مقاومت با عمق خاک این میدان نیز تغییر می‌کند. گادوین و میلر (2003) توانستند سطوح مختلف فشردگی خاک به وجودآمده از تردد ماشین‌های سنگین کشاورزی در مزرعه را با به کارگیری این روش اندازه‌گیری کنند.



شکل ۱۲- عملیات القاء الکترومغناطیس بوسیله EMI 38

در حال حاضر در کشور ایران تخمین و اندازه‌گیری قبل از انجام عملیات به دلیل عدم استفاده از ابزارهای حسگر، الکترومکانیک یا الکترومغناطیسی خصوصاً در مزرعه، چالش جدی محسوب می‌شود. برای این منظور معمولاً از اندازه‌گیری تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک مانند جرم مخصوص ظاهری، ضریب نفوذپذیری و یا مکانیکی خاک مانند مقاومت به نفوذ با استفاده از دستگاه نفوذسنج استفاده می‌شود. اخیراً تحقیقاتی برای تعیین شاخص یا شاخص‌هایی که قادر به تخمین دقیق تر تراکم در مزرعه با استفاده از روش‌های نسبتاً متداول و ارزان قیمت باشد در دست اقدام است.

جلوگیری از فشرده شدن خاک

بهترین راه برای مراقبت از فشردگی خاک اجتناب از فشرده شدن خاک است. از بین بردن تمام فشردگی خاک غیر ممکن است، اما با اتخاذ روش‌های مدیریتی می‌توان آن را به حداقل رساند. بهترین تصمیم برای جلوگیری از فشردگی خاک می‌تواند کار نکردن در خاک با رطوبت خیلی زیاد باشد. در اینگونه موارد، لازم است رطوبت خاک نه تا عمق سطحی خاک بلکه تا عمق خاک‌ورزی اندازه‌گیری شود. برای جلوگیری از ایجاد فشردگی، انجام عملیات مزرعه‌ای با ادوات کشاورزی که فشار زیادی به خاک وارد می‌کند را می‌توان در خاک‌های خشک هدایت کرد. انتخاب ادوات خاک‌ورزی مناسب که باعث کاهش تشکیل لایه فشرده خاک حاصل از کاربرد اینگونه ادوات شود مهم است. گاوآهن برگردان دار، دیسک‌ها و پنجه‌غازی‌ها به عنوان ادوات تشکیل دهنده این لایه‌های فشرده، شناخته شده‌اند. این ادوات بقایای گیاهی بیشتری را نسبت به ادوات خاک‌ورز شاخه‌ای شکل به زیر خاک می‌برند. کاربرد این ادوات برای چند سال متوالی و در یک عمق ثابت بدون تغییر مسیر تردد ادوات خاک‌ورز لایه فشرده را در خاک ایجاد می‌کند.

فشردگی سطحی خاک را می‌توان با کاهش فشار تماس لاستیک با خاک، کم کرد. این کار را می‌توان با انتخاب لاستیک‌های بزرگتر، اضافه کردن لاستیک‌ها (استفاده از لاستیک‌های دوتایی بجای تکی، یا سه تایی بجای دو تایی) و انتخاب

تراکتورهای زنجیری لاستیکی انجام داد. با اضافه کردن لاستیک‌های دو تایی یا تایرهای بزرگتر، سطوح بیشتری از خاک به علت رد اثر لاستیک‌های پهن تر فشرده می‌شود اما با شدت فشار کاهش می‌یابد. کار کردن در فشار باد لاستیک مناسب در به حداقل رساندن فشردگی سطحی مهم است زیرا فشار باد لاستیک به طور تقریبی برابر فشار تماس با خاک است.

لاستیک‌های رادیال فشردگی سطحی خاک را کاهش می‌دهد. یک ویژگی جذاب لاستیک‌های رادیال این است که *foot print* آنها طولانی‌تر است و نه پهن‌تر از اندازه مشابه لاستیک *bias* است. در این مورد یک لاستیک رادیال به یک *foot print* بزرگتر دست می‌یابد بدون اینکه رد لاستیک پهنی را فشرده کند همین‌طور که از سطح مزرعه عبور می‌کند. لاستیک‌های رادیال ظرفیت حمل بارهای بیشتری را نسبت به لاستیک *bias* هم اندازه‌اش را دارد و می‌تواند در فشار بادهای کمتر که منتج به فشردگی کمتر می‌شود عمل کند. فشردگی عمیق می‌تواند با کاهش بارهای محوری به حداقل رسانده شود. بار محوری روی یک محور مشابه با توزیع وزن بین چرخ‌های بیشتر یا با استفاده از لاستیک‌های با *foot print* بزرگتر کم نمی‌شود. همچنین استفاده از وزنه‌های سنگین کننده به اندازه کافی روی تراکتور برای کشیدن ادوات پیشنهاد می‌شود. با کاهش فشار تماس لاستیک با

خاک به یک حداقل مقدار (کمتر از 83 کیلوپاسکال) فشردگی سطحی و عمیق هر دو می‌تواند کم شود.

جوادی (۲۰۰۲) بر روی کم کردن فشردگی عمیق خاک با استفاده تنش و کرنش‌های حاصل از ترتیب‌های قرارگیری مختلف لاستیک تحقیقاتی را به انجام رسانید.

کاهش تردد و میزان وزن تراکتور و ماشین‌های کشاورزی، استفاده از کودهای آلی، باقی گذاشتن بقایای گیاهی بر سطح خاک، لغزش کمتر چرخهای تراکتور و تمرکز فشردگی خاک در نواحی خاصی از مزرعه نیز از جمله عوامل موثر در جلوگیری از افزایش فشردگی خاک است.

یکی از مهمترین نکات در مبارزه با سخت لایه، مدیریت پس از آن است به دلیل ضعف دانش فنی در این ارتباط عملیات خاک‌ورزی عمیق یا زیرشکنی خاک برای شکستن سخت لایه عمقی به نتیجه مطلوب نیانجامیده است. این امر عمدتاً بدلیل متراکم شدن مجدد لایه سست شده هنگام کار با ادوات پس از انجام عملیات است که در بسیاری از موارد تراکم شدیدتری گزارش شده است. این امر بسیار طبیعی است که خاک پس از سست شدن لایه عمقی مقاومت کمتری در لایه‌های سطحی از خود نشان دهد و ممکن است با اعمال بار حتی کمتر به تراکمی بیش از قبل دچار شود. کنترل اعمال بار پس از انجام عملیات زیرشکنی باید تا مادامی ادامه

یابد که ساختمان خاک به حالت پایدار برگردد. به این امر مدیریت پس از تراکم اطلاق می‌شود و اهمیت ویژه‌ای دارد.

برطرف کردن فشردگی خاک

زمانبندی در انتخاب ادوات برای برطرف کردن فشردگی خاک عامل است. عملیات خاک ورزی برای غلبه بر فشردگی خاک موقعی باید انجام شود که خاک به اندازه کافی خشک باشد و به آسانی خرد شود. این موقعی حاصل شود که بعد از برداشت محصول صورت گیرد.

نوع فشردگی خاک باید مورد نظر قرار بگیرد. اگر خاک ورزی حفاظتی هدف باشد، باید وسیله‌ای استفاده شود که بقایای گیاهی زیادی را به زیر خاک نبرد. همچنین محصولی که برای کشت بعدی است نیز لازم است مد نظر قرار بگیرد، مخصوصاً اگر قرار باشد زیر شکن زنی انجام شود. یخ زدن و گرم شدن خاک در فصل زمستان بعضی مواقع می‌تواند فشردگی خاک و بخصوص لایه‌های فشرده سطحی آن را بشکند. برای درمان مشکل نسخه خاک ورزی مورد نیاز است. عمق لایه فشرده خاک باید تعیین شود. اگر این عمق کمتر از ۲۵ سانتی متر باشد می‌توان از گاو آهن استفاده کرد و در این خصوص باید مطمئن شد که در زیر لایه فشرده شده عمل کند. برای عمق‌های بیشتر هم می‌توان از زیرشکن استفاده کرد که در

هر حال این یک عملیاتی است که انرژی و هزینه زیادی می‌برد. افزایش مواد آلی خاک، فعالیت کرم‌های خاکی و استفاده از گیاهان با ریشه عمیق در کاهش تراکم خاک موثر است.

بر اساس تحقیقات انجام شده در ایران در خصوص عملیات زیرشکنی برای برطرف کردن فشردگی خاک و تاثیر آن بر عملکرد محصول در برخی از محصولات مانند گندم، چغندر قند، ذرت جواب مثبت و در پنبه و آفتابگردان جواب منفی گرفته شده است. این به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی شامل اندازه‌گیری و تخمین دقیق قبلی فشردگی، روش و الگوی زیرشکنی و سایر نکات فنی هنگام انجام عملیات و پس از آن است. مشکل فشردگی خاک در مناطق مختلف ایران با توجه به نتایج تحقیقاتی در لایه‌های زیر عمق شخم معمول یعنی ۲۵-۳۰ سانتی متر است.

نتیجه‌گیری

فشردگی خاک یکی از مشکلات تولید محصولات کشاورزی در دنیاست. روش‌ها و راه‌حل‌های متفاوتی با توجه شرایط خاص هر ناحیه برای تشخیص و برطرف کردن این مشکل در دنیا ارائه شده است. آمار و ارقام حاصل از تحقیقات انجام شده خارجی نشان دهنده کاهش ۲۵ تا ۵۰ درصدی عملکرد محصول است. در ایران آماری که بتواند بیان‌کننده درصد کاهش عملکرد محصول متأثر از فشردگی خاک و یا درصد افزایش عملکرد محصول حاصل از کاربرد روش‌های مختلف برطرف کردن فشردگی خاک باشد، بندرت و یا کمتر یافت می‌شود. همچنین آمار و ارقامی که بتواند گویای وضعیت فشردگی خاک‌های مناطق مختلف در کشور باشد، بسختی یافت می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. اشرفی زاده، س.ر. و آفرینش، ع. ۱۳۷۹. بررسی تاثیر فشردگی خاک و روش خاک ورزی بر عملکرد ذرت و خواص فیزیکی خاک. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی. شماره ۷۹/۷۳۷.
۲. حیدری سلطان آباد، م، و میران زاده، م. ۱۳۸۴. اثر استفاده از ساب سویلر در کشت نواری و مرسوم بر مقدار آب مورد استفاده و عملکرد در گیاه آفتابگردان روغنی. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شماره ۵۳۲.
۳. خلیلی، م، و محمدی مزرعه، ح. ۱۳۸۲. بررسی اثر کاربرد ساب سویلر و دوره های مختلف آبیاری بر عملکرد ذرت دانه ای. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شماره ۱۰۰۴.
۴. روزبه، م، و دهقانیان، س.ا. ۱۳۸۳. بررسی اثرات زیرشکن و دور آبیاری به ازاء مقدار معینی از نیاز آبی گیاه بر میزان محصول پنبه در داراب. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شماره ۸۰۸.
۵. صلح جو، ع، ا، و نیازی، ج. ۱۳۸۰. بررسی تاثیر عملیات زیرشکن بر روی تولید محصول گندم. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شماره ۱۹۵.
۶. صلح جو، ع، ا. ۱۳۸۳. تراکم خاک. نشریه آموزشی و ترویجی. مدیریت ترویج و مشارکت مردمی، سازمان جهاد کشاورزی استان فارس، وزارت جهاد کشاورزی. ۱۵ صفحه.
۷. صلح جو، ع، ا. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر زیرشکن، تداوم اثر و دور آبیاری روی تولید چغندر قند. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شماره ۱۰۵۳.
۸. محمدی مزرعه، ح. ۱۳۸۳. بررسی اثر زیرشکنی و مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد محصول در تناوب گندم-چغندر قند و مطالعه میرایی اثر زیرشکنی خاک. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شماره ۱۴۶۵.
۹. معمار دستجردی، ر، مینایی، س و مستوفی، م. ۱۳۸۳. تاثیر عمق و سرعت پیشروی بر شاخص مقاومت مکانیکی خاک به صورت افقی. سومین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، ۱۰-۱۲ شهریور.