نشریه مکانیزاسیون کشاورزی/ دوره ۹ شماره ۲/ سال ۱۴۰۳/ صفحه‌های ۱-۱۵

مطالعه برخی مشخصات فیزیکی خاک با ابزار دقیق برای شناخت معضل فشردگی و اصلاح عملیات زیرشکن‌زنی مزارع نیشکر با رویکرد کشاورزی دقیق

نواب کاظمی[1*]، سیروس جعفری[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

۱- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون- دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان- ایران

۲- گروه مهندسی خاک- دانشکده کشاورزی- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان- ایران

* نواب کاظمی navab@asnrukh.ac.ir

چکیده

فشردگی خاک یک معضل، کشاورزی و محیط زیست است. در مزارع نیشکر خوزستان مهم‌ترین عملیات‌ها، استفاده از زیرشکن‌های سبک و ریپرهای بلدوزر برای رفع فشردگی می‌باشد. هدف از این تحقیق بعد از شناساندن و به‌کارگیری ابزار و شیوه‌های نمونه‌برداری سریع و آسان برای شناخت دقیق‌تر خاک و اثرات زیرشکن‌زنی مرسوم و تاکید بر ضرورت کشاورزی دقیق در دو مزرعه ۲۵ هکتاری است. نتایج نمونه‌برداری تا عمق۸۰ سانتیمتر نشان داد، میزان شن از ذرات دیگر کمتر و مواد آلی هر دو مزرعه از سطح به عمق کاهشی بود. رطوبت در مزرعه۱ با میانگین ۷/۶۴ و ۱۷/۴۲ و در مزرعه۲ با ۸/۸۹ و ۲۰/۸۵ درصد به‌ترتیب کمترین و بیشترین است. تخلخل خاک مزارع بسیار کم و از میانگین ۳۵/۸۵ تا ۴۹/۸۱ درصد مشاهده شد. کمترین و بیشترین تراکم نسبی خاک در مزرعه۱ به‌ترتیب ۷۶/۴۱ و ۸۲/۰۸ درصد و در مزرعه۲ ۷۷/۱۶ و ۸۲/۰۷ درصد است. الگوی مرسوم زیرشکن‌زنی موجب ایجاد لایه‌های سخت در عمق‌های حداقل ۶۵ سانتی می‌شود. فشردگی مزارع نزدیک بهم و۱.۶ مگاپاسکال است و بیشینه فشردگی در لایه سطحی بین ۷تا۲۰ سانتیمتری و مربوط به مسیر جوی‌ها و بالاتر از ۳ مگاپاسکال بود. وضعیت فشردگی در جوی، پشته و پاشنه متغیر بوده و دلایل فشردگی‌های سطحی و میانی عبارتند از، تردد ماشین‌های برداشت؛ سبدهای حمل نی؛ تقارن فصل بارندگی و برداشت؛ پاشنه شخم گاوآهن برگردان و ریپرها است. استفاده از ماشین الکتروهیدرولیک نفوذسنج مخروطی با نوآوری و به‌کارگیری سامانه برقی امکان ترسیم نقشه‌های مشخصه‌های فیزکی خاک و تعیین حداکثر عمق زیرشکن‌زنی برای پیش‌گیری عبور از عمق بحرانی فراهم و شرایط به‌کارگیری فناوری نرخ متغیر امکان‌پذیر شد.

واژه‌های کلیدی: زیرشکن¬زنی، فشردگی خاک، کشاورزی دقیق، نفوذسنج، نیشکر

How to cite:
Kazemi, N., Jafari, S. (2024). *Study of some Soil Physical Characteristics and Soil Compaction Using Accurate Measuring Machine and Optimizing Subsoiling Operations in Sugarcane Fields: A Precision Agriculture Approach*. Journal of Agricultural Mechanization, 9 (2):1-11. https://doi.org/ 10.22034/jam.2024.58941.1260

Study of some Soil Physical Characteristics and Soil Compaction Using Accurate Measuring Machine and Optimizing Subsoiling Operations in Sugarcane Fields: A Precision Agriculture Approach

Navab Kazemi[1*], Siroos Jafari[2]

Received: October 22, 2023 Accepted: January 27, 2024

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

2- Associate Professor, Department of Soil Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

*Navab Kazemi navab@asnrukh.ac.ir

Abstract

Soil compaction, a problem threat to agriculture, has become a pressing issue in Khuzestan sugarcane fields. Subsoiling, a common practice to combat compaction, utilizes various decompactor and dozer-mounted rippers. To address this challenge, a study was conducted in two 25-hectare fields. The study aimed to identify and implement rapid and easy soil sampling techniques for a more accurate understanding of soil and the detrimental effects of conventional subsoiling practices. It also emphasized the need for a shift towards precision agriculture Sand content was generally lower than other particles, and organic matter decreased with depth in both fields**.** Sand content was generally lower than other particles, and organic matter decreased with depth in both fields**.** Moisture content varied significantly, with the lowest and highest averages observed in Field 1 (64.7% and 42.17%) and Field 2 (89.8% and 85.20%), respectively. Soil porosity was considerably low in both fields, ranging from 85.35% to 81.49%**.** Soil relative density ranged from 41.76% to 16.77% in Field 1 and 16.77% to 7.82% in Field 2 Analysis revealed that this method creates hard layers at depths of at least 65 cm. The average compaction across both fields was 1.6 MP, with the highest compaction occurring in the surface layer (7-20 cm), particularly along furrow paths, exceeding 3 MP**.** Machinery traffic, cane hauling baskets, synchronization of irrigation and harvesting seasons, and improper plowing practices. The study employed an electrohydraulic cone penetrometer to map physical properties. This method offers several advantages**,** which can be used for planning precision agriculture operations**.**

Keywords: Penetrometer, Precision Agriculture, Soil Compaction, Subsoiling, Sugarcane

مقدمه

در کشاورزی و تولید محصول سه منبع مهم آب، هوا و خاک نقش بنیادی ایفا می‌کنند، لذا حفظ این منابع و استفاده مناسب از آن‌ها موجب پایداری تولید خواهد شد. در این میان عنصر خاک به عنوان بستر اصلی کشت نیازمند توجه خاص است (Hatafard *et al*., 2015). در کشاورزی امروزی انتخاب نوع، تعداد و شیوه اجرای هرگونه عملیاتی از تهیه زمین تا برداشت و پس از آن می‌بایست با درنظر گرفتن موارد فنی، زیست محیطی، انرژی، اقتصادی، اجتماعی و حتی فرهنگی انجام شود (Solhjo, 2014). فشردگی خاک به‌طور طبیعی رخ می‌دهد یا به وسیله ماشین‌های کشاورزی ایجاد می‌شود. سست کردن سخت لایه زیرین خاک اغلب برای کاهش تراکم خاک تا سطوحی که امکان رشد و نمو ریشه را فراهم می‌کند، اعمال می‌شود. (Tahmasebi *et al*., 2023). هم‌چنین فشردگی خاک می‌تواند در اثر تردد ماشین‌ها در رطوبت نامناسب و خاک‌ورزی در عمق یکسان ساختمان ضعیف خاک با توده ها منفرد و متراکم، درصد تخلخل، مواد آلی و سیستم زراعی بستگی داشته باشد (Darvish pasand *et al*., 2014). فشردگی خاک میزان خلل‌وفرج خاک، سرعت نفوذ آب آب به منطقه ریشه، اشباع شدن سطح خاک و توانایی خاک در نگهداری آب و هوا را کاهش داده و در نهایت منجر به کاهش عملکرد محصول و ایجاد اثرات منفی در دراز مدت روی کیفیت خاک می‌شود (Moradi *et al*., 2014). بنابراین مقابله با فشردگی یک ضرورت بوده و با روش‌های بیولوژیکی، شیمیایی و مکانیکی انجام می‌شود. روش مکانیکی (خاک‌ورزی عمیق) برای شکستن لایه‌های سختِ زیرین

خاک، به دلایل حجم و وزن بیش‌تر خاک، شرایط رطوبتی و شوری ویژه‌ی خاک در اعماق پایین و عدم دسترسی سریع و نظارت آسان در عمق زیاد خاک، عملیاتی پرهزینه به لحاظ انرژی و توان مورد نیاز است. مقاومت کششی بالا در زیرشکن‌ها موجب به کارگیری تراکتورهای سنگین و بلدوزر شده که خود از عوامل افزایش هزینه‌های ثابت و تعمیر و نگهداری و ایجاد فشردگی به‌شمار می‌آیند (Goudarzi *et al*., 2021). شرکت کشت‌وصنعت نیشکر خوزستان شامل ۸ واحد جدا ازهم با مساحتی بیش از ۱۰۰ هزار هکتار با قطعات ۲۵ هکتاری بزرگترین شرکت کشاورزی استان نقش چشم‌گیری در ایجاد اشتغال، تولید، رونق اقتصادی منطقه و کشور دارد (Bahadori, 2023).

Mahohi & khatin Zadeh (2021) در تحقیقی با هدف بررسی عمق زیرشکن‌زنی در عملیات تهیه زمین کشت نیشکر خورستان و اثرات آن بر خصوصیات خاک اعلام کردند تراکم خاک یک معضل اساسی در مزارع نیشکر بوده و دشواری‌های زیادی همچون نبود تهویه کافی و محدودیت در دسترس بودن آب و مواد غذایی را به دنبال دارد این معضل تقریبا در تمام مزارع کشت نیشکر در استان خوزستان وجود دارد، که هر کدام از شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر به شیوه‌های مختلفی درگیر رفع یا کاهش تاثیر آن‌ها هستند.

امروزه فشردگی بیش از اندازه خاک یک معضل جهانی است که کشاورزی و محیط زیست را تحت تاثیر قرار داده است (Sivarajan *et al*., 2018). در شرایط کنونی در مزارع نیشکر استان خوزستان یکی از مهمترین عملیات‌ها، زیرشکن‌زنی با انواع زیرشکن‌های سبک (دکمپکتور) تا ریپرهای پشت بلدوزر برای مقابله با فشردگی خاک می‌باشد. این عملیات بخش عمده‌ای از انرژی و هزینه‌های انجام آن را متحمل می‌شوند و دشواریهای زیادی را به دنبال دارد و زمانی‌که فشردگی خاک از ۱/۵ مگاپاسگال عبور کند مشکلات نفوذ، توسعه ریشه، مشکلات زهکشی و خروج آب اضافی افزایش یافته و در نهایت منجر به کاهش عملکرد محصولات زراعی خواهد شد (Omrani *et al*., 2013). اما قبل از هر اقدامی در خصوص رفع فشردگی و انتخاب شیوه‌ها و ماشین‌های مناسب شناخت میزان, محل و عمق فشردگی حایز اهمیت است. از طرفی تغییرپذیری مشخصه های مختلف ازجمله فشردگی یا مقاومت به نفوذ خاک حتی در سطوح خیلی کمتر از یک هکتار نیز نمایان است.کاربرد خاک‌ورزی دقیق در زیرشکنی به لحاظ انرژی خاک‌ورزی و سوخت مصرفی در مقایسه با زیرشکنی در عمق یکنواخت به ترتیب ۵۰ و ۳۰ درصد در خاک لومی شنی، ۲۶و ۸/۵ درصد برای خاک شنی لومی و ۲۱ و ۸ درصد برای خاک شنی، موجب صرفه جویی گردید (Abbaspour *et al*., 2010). حذف و اصلاح سخت‌لایه شخم یکی از مراحل کلیدی برای دستیابی به شرایط مطلوب جهت تولید بیشتر و برخورداری از مزایای زیست‌محیطی بهتر می‌باشد (Monk & Heydari, 2023) و از روش‌های مختلفی از جمله زیرشکن، تناوب زراعی مناسب و استفاده از ماشین‌های ترکیبی برای اصلاح سخت لایه شخم استفاده می‌کنند (Daryai *et al*., 2012). ولی در روش استفاده از زیرشکن‌ها، مصرف بالای انرژی، افزایش هزینه عملیات و احتمال ایجاد تراکم مجدد خاک را می‌توان نام برد. در این راستا، کاهش نیروی مقاوم کششی زیرشکن همواره مورد توجه محققین بوده است.

آنچه مسلم است، اصلاح زیرشکن بعنوان یک ماشین و شیوه اجرای عملیات زیرشکن‌زنی بسیار ضروری بوده و تا کنون به چهار روش پیگیری شده است, اول: هندسه و ژئومتری ساق و تیغه؛ دوم: زیرشکنی نرخ متغیر با استفاده از حسگرها و تشخیص مکان فشردگی، و امکان تشخیصِ میزان نیاز به زیرشکنی و شناسایی عمق مناسب؛ سوم: مدیریت تراکتور - زیرشکن و چهارم به کارگیری نوسان با تغییر در کمیّت و کیفیت نوسان به روش‌های تغییر در بسامد، دامنه و زاویه‌ی نوسان (Makudiuh, 2016).در مزارع کشت‌وصنعت نیشکر خوزستان به دلیل نوع کار، بافت بسیار سنگین خاک، فقر موادآلی و تردد ماشینهای سنگین در طی عملیات‌هایی از تهیه زمین تا عملیات برداشت تراکم بسیار بالا هم‌چون شکل۱(چپ) یک معضل واقعی است. به‌همین خاطر بعد از برداشت نی عملیات راتونینگ یا بازرویی برای از بین بردن فشردگی در کف جوی, ازدیاد ظرفیت آبگیری و بلندتر نمودن پشته‌ها برای افزایش میزان تخلخل و همچنین ترمیم شکل پشته‌ها سالانه در یک یا دو نوبت از انواع زیرشکن تراکتوری و ریپر بلدوزر استفاده می‌شود شکل۱ (راست) . هم‌چنین بعد از آخرین سال برداشت با ریپرهای پشت بلدوزری نیز دست‌کم دو پاس با زاویه‌های مختلف در مزارع ۲۵ هکتاری تا محدوده ۹۰ سانتی‌متری زیرشکن‌زنی انجام می‌گردد (Raoufat & Kazemi najfabadi, 2007). در کل مزارع نیشکر بطور سالانه سطح عملیات راتونینگ نزدیک به ۷۵ هزار هکتار زیرشکن زنی راتونینگ و ۷۵ هزار هکتار دیسک‌زنی و ۳۲ هزار هکتار عملیات زیر شکن‌زنی انجام می‌گردد.

Ariz,(2020) در بررسی و مقایسه سه نوع زیرشکن آهنگری خراسان، آلپاگو با ژیومتری مناسب خاک های کشاورزی و ریپر بلدوزری در مزارع نیشکر نشان داد, زیرشکنی با ریپر ایجاد کمترین بهم‌زدگی و گسیختگی در سطح و عمق خاک را داشته و دارای پایین‌ترین بازده‌کاری نسبت به دو نوع دیگر است. هم‌چنین ریپر با کمترین شاخص سطح مقطع خاک بهم‌خورده از عمق بحرانی نیز عبور کرده است.

شکل۱- عملیات بازرویی زیرشکن زنی با استفاده از ریپر بلدوزر (راست) فشردگی در مسیر جوی ناشی از تردد ماشین نیشکر(چپ)
Fig 1. Compaction in the furrow after sugarcane harvester passes (left) Rationing operation by Bulldozer ripper (right)

در تحقیقات مشابه دیگر زیرشکن‌زنی با بلدوزر نسبت به انواعی دیگر از زیرشکن‌های کشاورزی سطح خاک بهم‌خورده ریپر از یکنواختی کمتری برخوردار است و تاثیر آن بر شاخص نفوذسنج مخروطی و سطح مقطع خاک بهم‌خورده نیز ضعیف‌تر است (Raoufat & Kazemi najfabadi, 2007). به‌دلیل سنگین بودن بافت اراضی نیشکر و اختلاف رطوبتی زیاد بین لایه‌های عمیق و سطحی, عمق بحرانی تیغه‌های خاکورز بالاتر آمده و احتمال قرارگیری تیغه ها در زیر عمق بحرانی زیرشکن زیاد است (Aheni, 2010). در شرایط فعلی به دلیل نداشتن آگاهی از میزان و محل فشردگی و عدم دسترسیِ سریع و نظارت در عمق زیاد خاک، انواع زیرشکن‌ها بخصوص ریپر پشت بلدوزری را در شرایط حداکثر عمق (۹۰ سانتیمتری) تنظیم می‌گردد. لذا یکی از راهکارهای بهبود مدیریت تراکم خاک در مزارع نیشکر با توجه به شیوه های مرسوم فعلی و تفکر غالب مدیران مبنی بر استفاده از ریپر و بلدوزر؛ سوق دادن مسیر نظام خاکورزی و بطور خاص عملیات زیرشکن‌زنی به‌سمت کشاورزی دقیق است.

از طرفی کاهش مقاومت به نفوذ خاک به‌عنوان بارزترین اثر زیرشکن‌زنی درعمق های مختلف می‌باشد. در خصوص شناخت مقاومت خاک و در مجموع مسئله فشردگی راه‌های مختلفی همچون استفاده از بیلچه و حفر گودال (در سطوح کوچک)، نفوذسنجی مخروطی، فروسنج افقی، دینامومتر، حسگر صوتی، القاء الکترو مغناطیس وجود دارد. در حال حاضر برای بررسی آزمون مستقیم فشردگی خاک از مشخصه جرم مخصوص استفاده می‌شود که نیازمند صرف وقت و هزینه بالای است. اما تعیین فشردگی به روش غیر مستقیم نفوذسنجی ساده‌ترین و سریعترین است و تحلیل نتایج نفوذسنجی علاوه بر سنجش فشردگی, در شناخت و مطالعه وضعیت حرکت ریشه گیاه و نفوذ آب بسیار مفید است کاربرد سریع و آسان آزمون فشردگی خاک به روش شاخص مخروطی نسبت به روش اندازه‌گیری جرم حجمی، باعث فراگیرتر شدن استفاده از دستگاه‌های نفوذسنج یا پنترومتر شده است. در روش نفوذسنجی، به‌منظور اندازه‌گیری مقاومت خاک از دو نوع نفوذسنج دستی و ماشینی استفاده می‌شود. امروزه با پیشرفت فناوری این امکان به بخش کشاورزی داده شده است تا تغییرات درون مزارع شناخته شده را سنجش و تغییرات کوچکترین سطوح مزرعه شناسایی و مدیریت شوند (Bankol et al., 2000). و اعمال عملیات خاکوورزی و زیرشکنی با عمق متغیر, پتانسیل کاهش نیروی کار، هزینه‌ها، سوخت و انرژی مورد نیاز را به دنبال دارد (Tahmasebi et al, 2023).

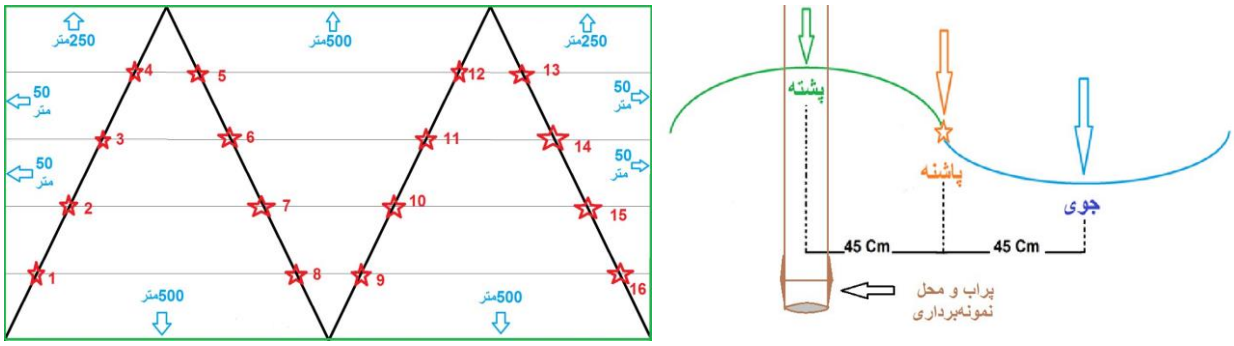
لذا با پذیرش وجود معضل فشردگی خاک, اهدف اصلی از این تحقیق بعد از شناساندن و به‌کارگیری ابزار و شیوه‌هایی برای شناخت دقیق‌تر خصوصیات فیزیکی خاک و برخی اثرات منفی و مخرب اجرای عملیات زیرشکن‌زنی با شیوه های فعلی, تاکید بر ضرورت حرکت به سمت کشاورزی دقیق است چرا که با دراختیار داشتن نقشه مقاومت خاک, حداکثر عمق زیرشکن‌زنی مشخص شده و با توجه به ویژگی‌های فنی هر نوع زیرشکن می‌توان عبور ازعمق بحرانی پیش‌گیری نمود, شاخص‌های عملکرد خاکورزی افزایش یافته, اثرات منفی و مخرب خاک و همچنین هزینه‌ها وانرژی مصرفی نیز کاهش می‌یابد. از طرفی به علت تغییر شرایط رطوبتی خاک با زمان تاکید شده برای تعیین نقشه های فشردگی خاک نیازمند به‌کارگیری سیستم‌های نمونه‌برداری سریع است (Abbaspour *et al*., 2010). نیشکر گیاهی چندین ساله و گاها تا ۹ سال متمادی برداشت شده و پس از آن اقدام به تهیه زمین و کاشت قلمه می‌شود. طی این سال‌ها حرکت انواع تراکتور های سنگین و ادوات با عملیات‌های گوناگون در درون داخل جوی‌ها و برداشت نی از روی پشته‌ها انجام می‌شود به همین دلیل محدوده و میزان فشردگی به تفکیک جوی، پشته و پاشنه (محل تلاقی جوی و پشته) متغیر است لذا در این تحقیق با انتخاب مزارعی با ابعاد واقعی موجود در کشت وصنعت نیشکر و به‌کارگیری یک ماشین نفوذسنج و نمونه‌بردار انحصاری پشت تراکتوری که قابلیت سنجش میزان مقاومت خاک به شیوه نفوذسنجی و استخراج نمونه از خاک دست نخورد به صورت آسان و سریع را دارد

مواد و روش

این تحقیق در مزارع کشت و صنعت امیرکبیر در ۱۲ کیلومتری جنوب اهواز انجام شد و بر اساس زمان و هزینه طرح در دو مزرعه ۲۵ هکتاری با مشورت کارشناسان بخش تحقیقات کشت و صنعت انتخاب گردید. با توجه به بررسی سوابق از طریق مصاحبه با مدیران و کارشناسان مسئول مزارع کشت و صنعت مشخص شد که قبل از کشت در هر دو زمین ابتدا دو پاس زیرشکن با بلدوزر در امتداد زوایای مختلف نسبت به خطوط کشت و به‌ترتیب با عمق میانگین ۶۵ و ۸۵ سانتی‌متر انجام شده است. پس از اعمال زیرشکن، اقدام به شخم با گاوآهن معمولی با عمق حدوداً ۲۵ سانتی‌متر و در انتها اقدام به دیسک‌زنی و کاشت قلمه شده است. در هر دو مزرعه برای برداشت از ماشین‌های برداشت یکسان استفاده شد و دو نوع سبد تراکتوری ۱۰ و ۱۸ تن برای حمل نی به‌کار رفته است.

در مدیریت خاکورزی با رویکرد توجه به تغییرات مکانی و تمرکز بر معضل فشردگی چند پارامتر مهم مرتبط با آن همچون رطوبت, تراکم نسبی, درصد تخلخل و درصد مواد آلی و بافت لحاظ گردید. برای سنجش میزان فشردگی یا تراکم از روش نفوذسنجی مخروطی بر حسب مگاپاسکال و سایر پارامترها با استخراج نمونه از خاک دست نخورده تا عمق ۸۰ سانتی متری با یک ماشین دو منظوره نفوذسنج و نمونه‌بردار پشت تراکتوری انجام شد. در هر مزرعه ۲۵ هکتاری دارای ابعاد ۱۰۰۰ متر طول و ۲۵۰ متر عرض بوده که خطوط کشت نیشکر به‌صورت عرضی است و مطابق الگوی مشخصات عمومی خاکشناسی از طرح M با چهار پاره خط مشابه شکل2(سمت چپ) استفاده شد. و از هر ضلع یا پاره خط ۴ محل و در مجموع ۱۶ محل برای نفوذسنجی و ایجاد چاهک نمونه‌برداری مشخص گردید (Moradi *et al.*, 2014).

با توجه به تردد انواع تراکتورها و ادوات داشت و برداشت طی سال‌های متمادی و وجود جوی و پشته‌های ثابت برای چندین سال و تفاوت قطعی میزان فشردگی در جوی و پشته برای تحلیل، مقایسه و تاثیر این تفاوت‌ها بر فشردگی خاک نظر بر این شد که با توجه به قابلیت جابجایی عرضی واحد عامل ماشین آزمون در هر کدام از ۱۶ محل انتخابی، ۳ نمونه به تفکیک جوی، پاشنه(محل تلاقی جوی و پشته) و پشته مورد نفوذسنجی قرار گیرد. محل انتخابی تقریباً در عرض ۹۰ سانتی‌متر از جوی تا پشته مورد آزمون مقاومت نفوذسنجی با شاخص مخروطی قرار گرفت. هم‌چنین برای تعیین مقاومت نفوذسنجی از وسط جوی و پشته و برای تعیین مقاومت نفوذسنجی پاشنه از نقطه عطف منحنی جوی و پشته استفاده شد. شکل۳ (سمت راست).



شکل۲- الگوی M برای انتخاب نقاط نمونه‌برداری(چپ). نقاط نفوذسنجی در جوی، پاشنه، پشته(راست)

Fige 2. Pattern M for selecting sampler points in the field (left). penetration points (right)

پس از انجام عملیات نفوذسنجی از نقاط مختلف زمین و وارسی ارقام میزان فشردگی خاک در هر نقطه در عمق ۸۰-۰ سانتی‌متری ۸۰ داده یعنی هر یک سانتی متر یک داده توسط دیتالاگر ماشین ثبت و بصورت فرمت اکسل ذخیره شد. پس از فراخوانی اطلاعات ذخیره شده و تعیین محدوده‌های ۲۰ سانتی‌متری در محیط نرم‌افزار GIS از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی استفاده گردید. یعنی در هر مزرعه ۳۲ محل با لحاظ کردن همبستگی مکانی بین داده‌ها با استفاده از تابع کریجینگ رابطه (۱) تعریف شد (Tabari *et al.*, 2014).

$$\hat{z}(x) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i z(x_i) \qquad (۱)$$

λ_i وزن مرتبط با ارزش متغیر ناحیه‌ای x در نقطه i است.

بنابراین برای پیوستگی مکانی داده‌ها (بدین معنا که نمونه‌های مجاور تا فاصله مشخصی به هم وابستگی دارند) که از نرم‌افزار GS+ 9 برای ترسیم نقشه استفاده شد. در مرحله دوم، برای تعیین بهترین روش برای تخمین زمین آماری که به مشخصات مدل واریوگرام برازش داده شده در مرحله اول وابسته است، از ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا استفاده شد (Keshvari & Marzban, 2018). هم‌چنین بلافاصله بعد از انجام عملیات نفوذسنجی با ماشین نفوذسنج و نمونه‌بردار خاک در هر مزرعه ۸ نمونه (روی هر ضلع M) دو چاهک از نمونه‌های دست‌نخورده استخراج و سپس با حفظ شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل

شـــدند. برای نمونه‌برداری از پرابی با قطر ۲ ســـانتی‌متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر استفاده شد. همچنین از ۸ پشته(چاهک) در نقاط زوج در هر مزرعه نمونه گرفته شـد. بافت خاک با اسـتفاده از روش هیدرومتر پس از انتشـــار ذرات با کالگن به دســـت آمد. و ســـایر مشـــخصـــه مشخصه‌ها به شرح ذیل اندازگیری شد:

برای به دســـت آوردن رطوبت وزنی خاک از رابطه (۲) و تخلخل خاک از رابطه (۳) استفاده شد (Remezani *et al.*, 2011).

$$\text{رطوبت وزنی خاک} = \frac{\text{وزن خشک خاک} - \text{وزن تر خاک}}{\text{وزن خشک خاک}} \quad (۲)$$

$$\text{تخلخل} = \frac{\text{وزن مخصوص ظاهری} - \text{وزن مخصوص حقیقی}}{\text{وزن مخصوص حقیقی}} \quad (۳)$$

علاوه بر آن نســـبت تراکم از اختلال طبیعی خاک (۵۰ درصـــد) نسبت به تخلخل محاسبه شده برای هر خاک از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$\text{تراکم نسبی} = \frac{50 - \text{تخلخل خاک}}{\text{تخلخل خاک}} \quad (۴)$$

همچنین اندازه‌گیری مواد آلی براســـاس روش وایکلی بلک به شیوه هضم‌تر انجام شد.

ماشین الکتروهیدرولیک نفوذسنج مخروطی و نمونه‌بردار خاک کشاورزی

برای تشـخیص میزان فشـردگی خاک، از شـیوه نفوذسـنجی و اندازه‌گیری مقاومت نفوذ به خاک اســـتفاده از شـــاخص مخروطی استفاده شد. نفوذســـنجی بـــه دلایـــل ســـرعت داده‌بـــرداری بـــالا در مزرعه و دقت کافی در حد میلی‌متر نســـبت به چگالی‌ســـنجی برتری خاصی دارد (Omrani *et al.*, 2013). همچنین می‌توان نمونه‌برداری بیشتری را با استفاده از این روش نسبت به روش‌های گذشته متناسب با تغییرات درون مزارع، مطالعات مربوط به خاک و اثرات خاک‌ورزی را که قبلا بطور دقیق شناخته شده نبود، انجام داد.

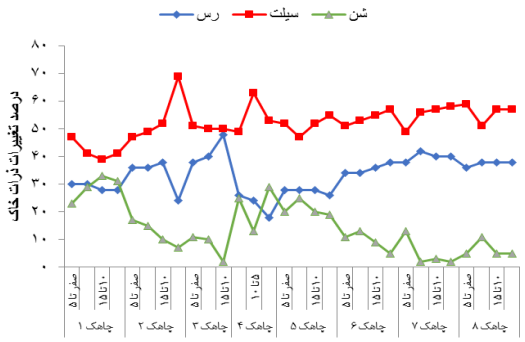
در نفوذســـنج‌های دســـتی و حتی جدیدترین مدل‌های دیجیتالی علاوه بر کند بودن به دلیل عدم تولنایی کاربر در ثبلت نگه داشـــتن سرعت فروروی مطابق استاندارد های معتبر یعنی ۲ یا ۳ سانتیمتر بر ثانیه و شـــرایط بســـیار متغییر خاک، همواره ابهام در صـــحت داده‌ها وجود دارد و چنانچه فشـردگی از ۳ یا ۴ مگاپاسـکال بالاتر باشـد عملا افراد توانایی فروروی پراپ آن را نداشـــته لذا در مجموع کار با این دستگاه‌ها علی‌رغم پیشرفته‌ترین آن کاری طاقت فرسا و نتایج آن غیر قابل اعتماد اســـت لذا در این تحقیق از ماشـــین الکتروهیدرولیک نفوذسنج مخروطی و نمونه‌بردار خاک کشاورزی که یک اختراع جدید (Kazemi & Goudarzi, 2022) در زمینه ابزار دقیق کشـــاورزی اســـت و می‌تواند شـــرایط مناســـبی را برای ســـنجش، تحلیل و اعمال مدیریت خاص مکانی در آینده فراهم آورد اســـتفاده شـــد. (شـــکل۳). ایـــن ماشین با اتوماسیون نسبتاً کامل و کارا به دلیل استفاده از توان الکتریکی از دقت بســـیار بالایی برخوردار اســـت و قابلیـــــت حمل به‌صـــورت کاملاً کشـــشـــی و همچنین ســـوار بر تراکتور را دارد. وظیفه اصلی این ماشین اندازه‌گیـــری میـــزان نیروی مقاومت خاک براساس استانداردهای شـــاخص مخروطـــی (ASBAE, S 313.3) و همچنـــین اســـــتخراج نمونه از خاک دست نخورده از عمق مورد نظر می‌باشد. قطعات این ماشـین شـامل: شـاسـی, جک دو طرفه فشـار دهنده، واحد نفوذســـنجی مخروطی ، واحـد نمونـه‌برداری ، ژنراتور، تـابلوی برق، سنسورهای اندازه‌گیری نیروی کششی،خط کش دیجیتال عمق سنج, سـنسـور فشـار ، صـفحه نمایش , صـندلی اپراتور، اتصـال سـه نقطه و چرخ‌های حامل است. کلیه مراحل کنترل، فرماندهی، نمایش داده ها، ذخیره‌ســـازی و تنظیمات مربوط به انتخاب ســـرعت، نوع پراب و .. با یک صـفحه نمایش لمسـی ۷ اینچی (hmi) انجام می‌شـود که وظیفه ثبت و نمـایش داده‌هـا بـه‌صـــورت برخط و ذخیره‌ســـازی را دارد (Kazemi *et al.*, 2018).

شکل۳- ماشین الکتروهیدرولیک نفوذسنج مخروطی و نمونه‌بردار خاک کشاورزی

Fig 3. Cone penetrometer and agricultural soil sampler electrohydraulic machine

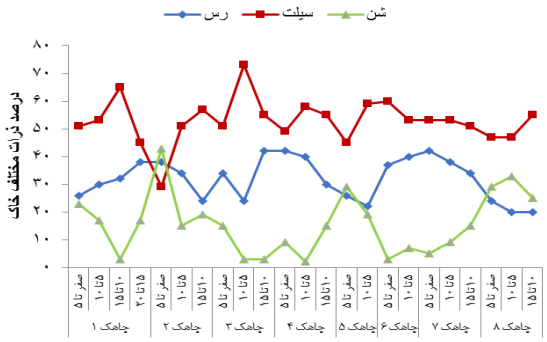
نتایج و بحث

مطالعه جامع خاک شامل بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن‌ها است. از طرفی می‌توان گفت علاوه بر طبیعت خاک انجام انواع عملیات‌های کشاورزی در طی تولید محصولات موجب شده تغییر پذیری سطحی و عمقی خاک‌ها افزایش یابد. لذا برای شناخت بهتر و دقیق‌تر راهکاریی بجز نمونه‌برداری به تعداد زیاد وجود ندارد. در این تحقیق مشخص شد که به‌کارگیری ماشین جدید نفوذسنج و نمونه‌بردار خاک یکی از بهترین ابزار برای سنجش سریع فشردگی و استخراج نمونه از خاک است. این ماشین سوار بر تراکتور در هرجای مزرعه توقف نموده و با ایجاد حفره یا چاهک می‌تواند در کمتر از ۲ دقیقه یک نمونه از خاک دست نخورده تا عمق ۸۰ سانتی‌متر استخراج نماید. پس از استخراج نمونه سالم و کد برگرفته از ماشین که این کد نمایانگر شماره مزرعه، مختصات جغرافیایی و شماره نمونه می‌باشد آن را بر روی نمونه چسبانده و برای اندازه‌گیری هرنوع از خصوصیات خاک به آزمایشگاه منتقل می‌گردد. نتایج تغییرات ذرات خاک در عمق سطحی (۰تا۲۰ سانتی‌متری) مزارع مطابق نمودار اشکال ۴ و ۵ است. نتایج نشان داد میزان سیلت بطور متوسط در تمام نمونه‌ها از سایر ذرات بیشتر و در اکثر نقاط مورد مطالعه میزان شن از ذرات دیگر کمتر است. به عبارتی خاک‌های مورد مطالعه به جز در یکی دو مورد تغییرات قابل توجهی در بافت خود ندارند. یعنی توزیع اندازه ذرات در آن‌ها بیشتر تابع تغییرات در اندازه شن و رس است که سبب تغییر در نمودار مذکور شده است. با توجه به منشا سیلابی و آبرفتی بودن مواد مادری این خاک‌ها، چنین نتیجه‌ای قابل قبول می‌باشد.



شکل ۴- تغییرات ذرات مختلف خاک در مزرعه ۱

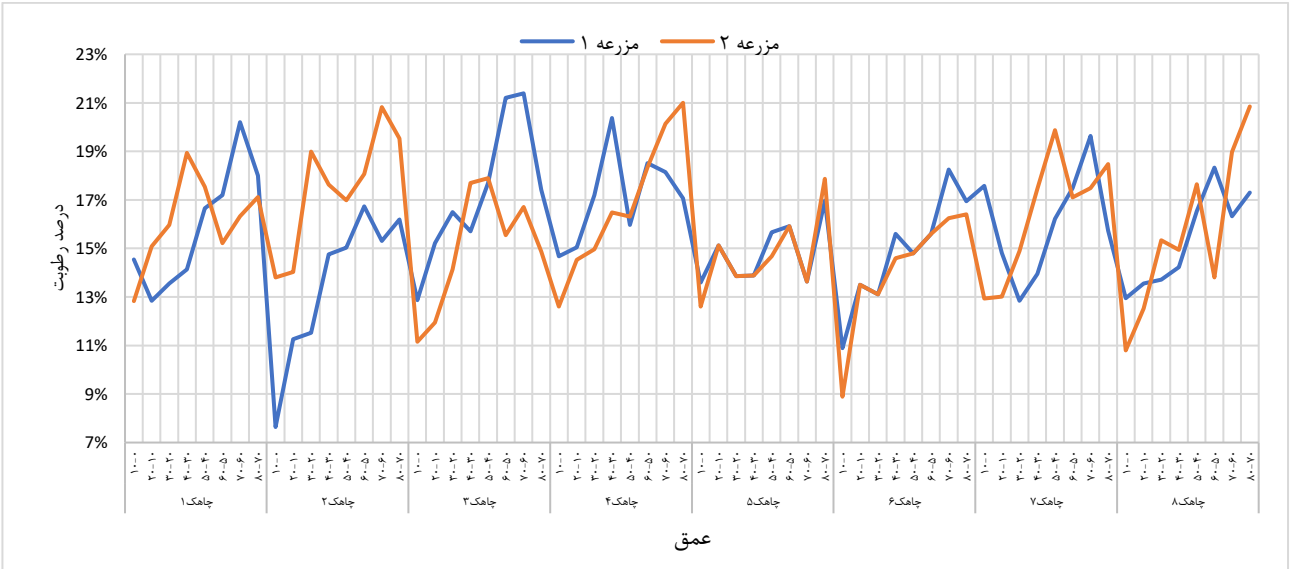
Fig 4. Measurements of different soil particles in farm 1



شکل ۵- تغییرات ذرات مختلف خاک در مزرعه ۲

Fig 5. Measurements of different soil particles in farm 2

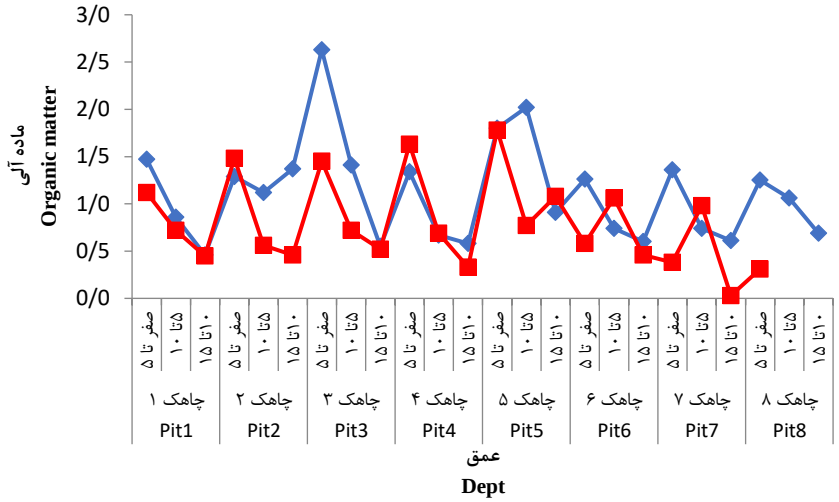
همچنین طبق نمودار شکل ۶ تغییرات میزان رطوبت وزنی تا عمق ۸۰ سانتی‌متر نشان داد در مزرعه۱ کمترین میزان رطوبت با میانگین ۷/۶۴ درصد و بیشـترین با میانگین ۱۷/۴۲ درصد است و در مزرعه ۲ به‌ترتیب کمترین و بیشترین میزان رطوبت با میانگین ۸/۸۹ و ۲۰/۸۵ درصد مشاهده شد.



شکل۶- تغییرات میزان رطوبت خاک در مزرعه ۱ و۲

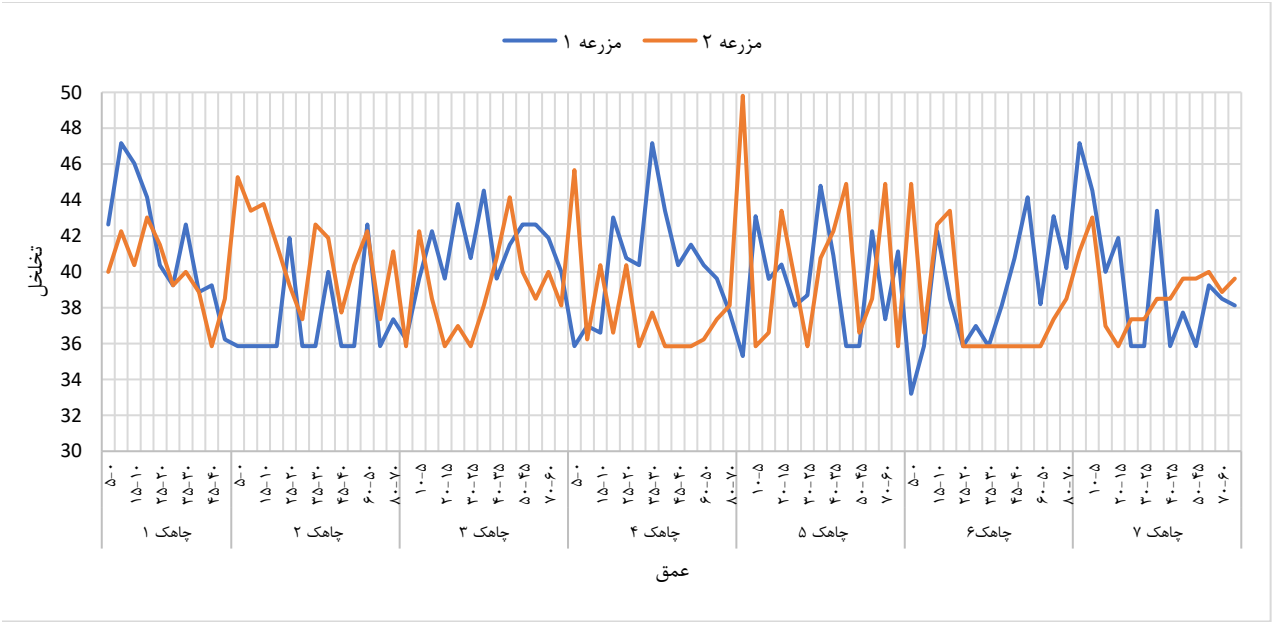
Fig 6. Changes in soil moisture in farm 1 & 2

مطابق نمودار شکل۷ مزرعه۱ میزان ماده آلی از سطح به عمق کاهش یافته است. بطوری‌که کمترین میزان ماده آلی با میانگین ۰/۰۴۶ درصد در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری چاهک۱ و بیشترین میزان ماده آلی با میانگین ۲/۶۳درصد در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری چاهک۳ مشاهده شد. در مزرعه۲ نیز روند تغییرات مشابه مزرعه۱ بوده و از سطح به عمق درصد ماده آلی کاهش یافته بطوری‌که بیشترین میزان ماده آلی در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری ۱/۸درصد در چاهک۵ و کمترین آن نیز در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری مربوط به چاهک شماره ۸ است. مطابق نمودار شکل۹ کمترین میزان تخلخل با میانگین ۳۵/۸۵ در چاهک۲ و بیشترین تخلخل نیز با میانگین ۴۷/۱۷ در عمق ۳۵-۳۰ در چاهک‌های شماره ۴و۷ مشاهده شد. در مزرعه۲ نیز تغییرات تخلخل خاک زیاد نبوده و مطابق شکل۸ بیشترین میزان تخلخل با میانگین ۴۹/۸۱ درصد در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری چاهک شماره ۵ و کمترین میزان تخلخل نیز ۳۵/۸۵ درصد بود که در اکثر نقاط مورد مطالعه، مشاهده شد.



شکل۷- تغییرات درصد ماده آلی در مزرعه ۱ (آبی) و مزرعه ۲ (قرمز)

Fig 7. Changes in organic matter percentage in farm 1 (blue) and farm 2 (red)



شکل۸- تغییرات تخلخل خاک در مزرعه ۱ (آبی) و مزرعه ۲ (قرمز)

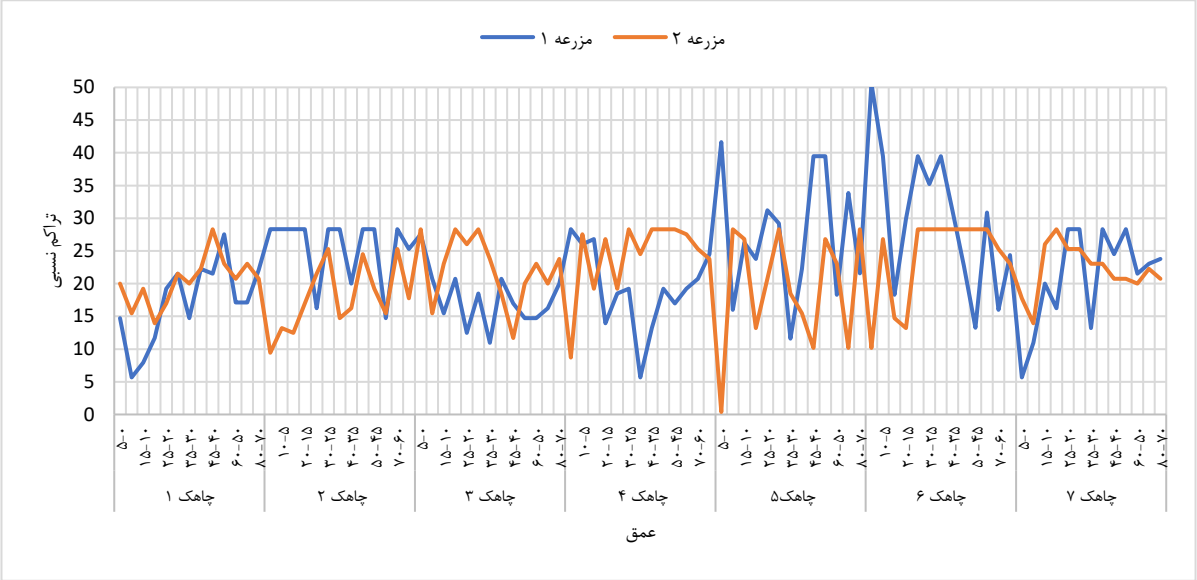
Fig 8- Soil porosity changes in farm 1 (blue) and farm 2 (red)

مشخصه تراکم نسبی خاک در مزرعه اول مطابق شکل ۹ کمترین میزان در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری چاهک۱ مشاهده شد. میانگین تراکم نسبی در این منطقه ۷۶/۴۱ درصد بود. بیشترین میزان تراکم نسبی با ۸۲/۰۸ درصد که در نقاط مختلفی از چاهک‌های مورد بررسی مشاهده گردید. در مزرعه ۲ نیز کمترین میزان تراکم نسبی با میانگین

۷۷/۱۶ درصد در عمق صفر تا ۵ چاهک۴ و بیشترین میزان تراکم نسبی نیز ۸۲/۰۷ درصد بود.

معضل فشردگی

برای شناسایی بهتر فشردگی خاک محدوده‌هایی با توجه به میزان مقاومت در مقابل شاخص مخروطی در نظر گرفته می‌شود.



شکل۹- تغییرات تراکم نسبی خاک در مزرعه ۱ (آبی) و مزرعه ۲ (قرمز)

Fig 9. Changes in soil relative density in farm 1 (blue) and farm 2 (red)

مزایا و کارایی ماشین نفوذسنج مخروطی و نمونه‌بردار خاک

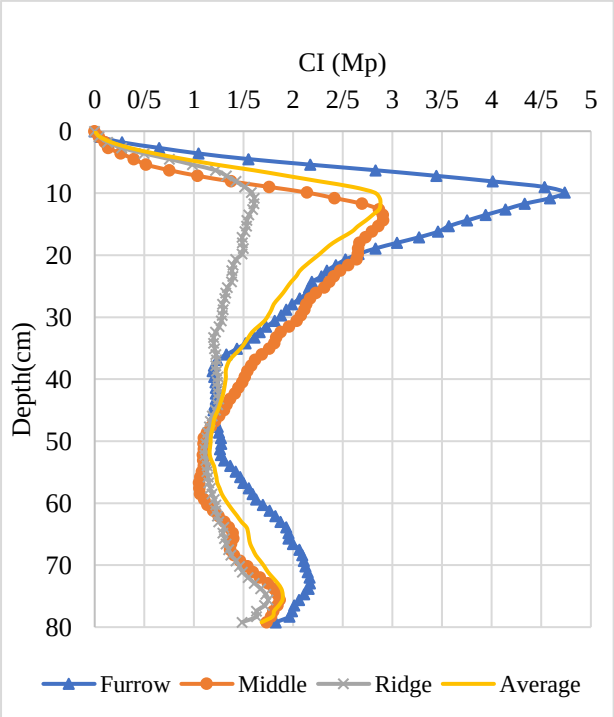
ماشین مذکور پشت تراکتور نصب شده و فروروی پراب نفوذسنج مخروطی و هم پراب نمونه‌بردار خاک با استفاده از یک جک هیدرولیک انجام می‌شود. واحد نفوذسنجی مطابق استانداردهای شاخص مخروطی (S-313.3-ASBAE) دارای دو پراب برای خاکهای نرم و سفت با زاویه مخروط ۶۰ درجه بوده و با توجه به تامین توان الکتریکی کلیه انجام عملیات از تنظیم سرعت ثابت تا ثبت و ذخیره سازی با استفاده از یک صفحه نمایش لمسی کنترل و اجرا شد. قابلیت و مزایای این دستگاه عبارتند از: کاربری بسیار آسان و ارگو نومی مناسب برای کاربر؛ قابلیت ثبت داده ها در هر ۱ سانتیمتر تا عمق ۸۰ سانتی متری خاک , دقت اندازه گیری فشردگی از ۰/۱ تا ۱۵ مگاپاسکال؛ حرکت عرضی واحد نفوذسنج یا نمونه‌برداری تا یک و نیم متر , نمایش آنلاین نمودار فشردگی, ثبت موقعیت جغرافیایی و ذخیره سازی با فرمت اکسل و همچنین با پراب نمونه‌برداری قابلیت استخراج یک نمونه از خاک بصورت دست نخورده تا عمق ۸۰ سانت با قطر ۲ تا ۶ سانتی متر طی حدودا ۲ دقیقه. انجام می‌گردد, لذا با این دستگاه به جهت سهولت کاربری , دقت و سرعت بالا امکان برداشت داده های بیشتر و تهیه نقشه فشردگی خاک که لازمه کشاورزی دقیق است فراهم شده است همچنین پتانسل تجهیز و نصب پراب‌های شوری, رطوبت و دمای خاک نیز وجود دارد.

نتایج مقاومت به نفوذ خاک یا فشردگی

طی بررسی سوابق مطالعاتی و میدانی نشان داد که در مزارع نیشکر استان خوزستان در عملیات تهیه زمین بطور مرسوم و مطابق دستورالعمل شرکت کشت‌وصنعت نیشکر دو پاس زیرشکن مطابق الگوی شکل۱۱با ریپر پشت بلدوزر اعمال می‌گردد که پاس اول با عمق ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر (خط مشکی) و پاس دوم (خط قرمز) با عمق ۸۰ تا ۹۰ سانتی‌متری به‌ترتیب در امتداد زوایای ۱۵ تا ۴۵ درجه نسبت به خطوط کشت است. حال نظر به بافت سنگین خاک، عمق کار زیاد، رطوبت به شدت غیر قابل کنترل در عمق و نداشتن باله روی ساقه‌های ریپر بلدوزری شرایط ورود به عمق بحرانی در عمق زیر ۵۰ سانتی‌متر قطعی است. مطابق شکل۱۱ با لحاظ خطوط آبی رنگ بعنوان جوی‌های کشت و الگوی مرسوم زیرشکن‌زنی, در بهترین حالت هر جوی ۳ بار با خطوط پاس اول در عمق۶۵ سانتی‌متری و ۷ بار با پاس دوم در عمق۸۵ سانتی‌متری خاک تقاطع دارد و با در نظر گرفتن فواصل ثابت بین جوی‌ها و عرض کار زیرشکن‌ها, نتیجه اینکه حدودا در هر ۱۰ متر از طول، نزدیک به ۶ متر از خط بستر جوی تحت تأثیر زیرشکن قرار می‌گیرد و موجب می‌شود قطعاتی متوازی الاضلاع (سطوح زرد رنگ) بطول هر ضلع تقریبی یک متر با زوایای ۱۲۰ و ۶۰ درجه در عمق زیر ۶۵ و ۸۵ سانتی‌متر بدون زیرشکن‌زنی باقی بماند.

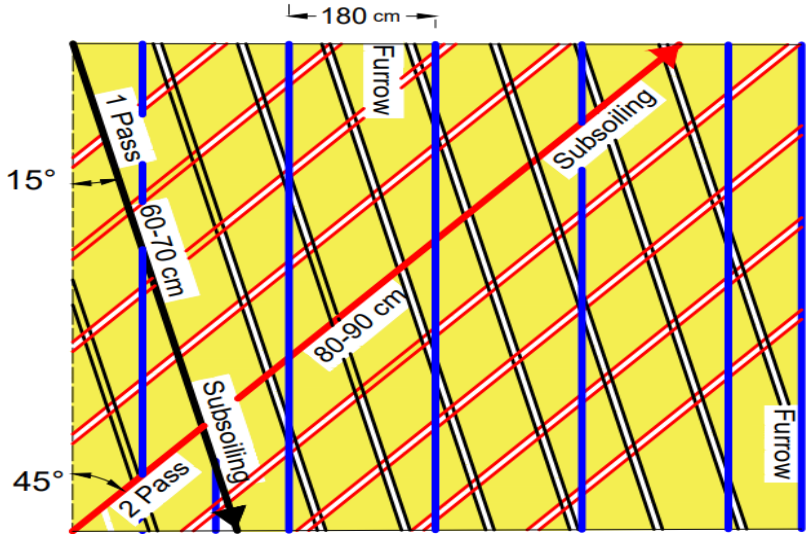
با دقت در منحنی‌های شکل ۱۰، دو لایه سخت در خاک مزرعه۱ وجود دارد، لایه‌ی اول از عمق ۶ تا ۳۴ سانتی‌متری و لایه‌ی نقاطی از مسیر نفوذ پراب نفوذسنج با مقاومتی کمتر از ۱/۵ مگاپاسکال، مشکل خاصی از لحاظ فشردگی ندارند. نقاط بیش از ۱/۵ مگاپاسکال نیز آغاز محدودیت تا ۵۰ درصد برای توسعه ریشه‌ها و نقاط ۲ تا ۳ مگاپاسکال محدودیت ۷۰ درصدی ریشه و نقاط بیش از ۳ مگاپاسکال به عنوان محدودیت کامل در نظر گرفته شد.

دوم از ۶۳ تا ۸۰ سانتی‌متری است. لایه اول بخاطر تردد ماشین‌آلات، نوع آبیاری و خشکی خاک در اثر عوارض آب و هوایی بوده و لایه دوم ناشی از زیرشکنی و ایجاد لایه متراکم تردد تیغه‌های زیرشکنی در این عمق است. مهمترین نتیجه کاربردی اینکه مزرعه اول در این دو لایه از عمق به لحاظ نفوذ آب، هوا و توسعه‌ی ریشه دچار مشکل است. همچنین بیشینه‌ی فشردگی در این مزرعه ۲/۸۸ مگاپاسکال در لایه سطحی است که موجب اختلال در تبادل اکسیژن است. از طرفی دو لایه‌ی با فشردگی مناسب اولی از عمق صفر تا ۶ سانتی‌متری و دومی از ۳۵ تا ۶۳ سانتی‌متری وجود دارد، به طوری که در عمق ۵۱ سانتی‌متر یک کمینه‌ی ۱/۱۵ مگاپاسکال که در محدوده فشردگی بهینه برای کشت است. واضح است که لایه اول به جهت عمق کم و تأثیر پذیری شدید از عوامل جوی برای توسعه ریشه مناسبت چندانی ندارد ولی لایه دوم هم به لحاظ درصد فراوانی ریشه نیشکر از درجه اهمیت بالاتری برخوردار است. این نتایج با نتایجی که سایر محققین که کمینه فشردگی در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری با مقدار ۰/۲۷ مگاپاسکال و بیشینه آن در عمق ۶۱ تا ۸۰ سانتیمتری ۴/۲۷ مگاپاسکال گزارش شده است، هم‌خوانی ندارد (Omrani *et al.*, 2013). دلیل آن تفاوت در ابزار دقیق بکاربرده شده در تحقیق حاضر است. بطور کلی می‌توان گفت وضعیت مزرعه اول از نظر فشردگی از شرایط مناسبی برخوردار نیست. در شکل ۱۲ هر کدام از سه منحنی (جوی-پاشنه-پشته) نیز دو پیک فوق الذکر را تایید می‌نمایند. پیک اول در داخل جوی‌ها به دلیل تأثیرات وزن تجهیزات و آبیاری غرقابی با شدت بیشتری نمایان شده، بطوری‌که در عمق ۴۷ سانتی‌متری هر ۳ منحنی با هم تلاقی پیدا کرده‌اند. به عبارتی این که فشردگیِ سه نمونه در این عمق از خاک تأثیرات یکسان و کمینه‌ای را از عوامل سطحی (عوامل جوی، وزن تجهیزات، خاک‌ورزی و آبیاری) و زیر سطحی (بافت خاک و رطوبت) دریافت کرده است. پیک دوم منحنی سه‌گانه در عمق ۷۰ سانتی‌متری است که با توجه به اینکه تأثیرات عوامل سطحی به این عمق نمی‌رسد (Tabari *et al.*, 2014). پاشنه زیرشکنی در عملیات خاک‌ورزی ازجمله مسبب اصلی است. دو نکته مهم در منحنی سه‌گانه اینکه در عمق ۲۰ تا ۴۵ سانتی‌متری که بر خلاف انتظار مقاومت به نفوذ خاک پاشنه بیشتر از جوی شده است، این موضوع می‌تواند تحت تاثیر انتشار و افزایش رس در اثر آبیاری که باعث سختی لایه سطحی شده باشد و خاک خیس فشرده شده جوی در اثر آبیاری غرقابی همراه با تردد تجهیزات سنگین، سبب اعمال وزن زیادی به خاک و فشردگی بیشتر پاشنه نسبت به جوی شده باشد. نکته دیگر در این نمودار این است که پس از نقطه عطف در عمق ۴۷ سانتی‌متری منحنی فشردگی در ناحیه‌ی جوی با شتاب آشکاری نسبت به نواحی پاشنه و پشته افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع اثرات تراکمی شخم‌های برگردان در عملیات تهیه زمین است. مطابق شکل ۱۳ توجه به میزان تغییرات شاخص مخروطی در کل مزرعه اول بیشتر از حد انتظار و نشان می‌دهد که وضعیت فشردگی خاک این مزرعه به دلیل عوامل غیر قابل کنترل شامل رطوبت در زمان برداشت، بافت خاک و سطح آب زیرسطحی شرایط یکنواختی ندارد. این منحنی دارای دو پیک تراکمی، در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر که طبیعی است. چون این لایه بیشترین تأثیر را از وزن تجهیزات و خشک شدن شدید در اثر عوامل جوی را دارد. اما پیک دوم در عمق ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متری که تحت تأثیر هیچکدام از این عوامل قرار ندارد. همچنین مهمترین دلایل این پیک تغییرات، بافت و خاک‌ورزیِ ناکارآمد می‌باشد. با وجود تفاوت بیشتر در داده‌های جوی، اما همچنان داده‌های پشته به‌عنوان محل رشد و توسعه ریشه نیز بسیار بالا و متفاوت است. این موضوع نشان می‌دهد اگر چه پشته‌ها با آب غرقاب نشده و تجهیزات از روی پشته عبور نکرده‌اند، اما تأثیرات عوامل ایجاد فشردگی بر پشته‌ها همچنان چشم‌گیر و گزینه ناکارآمدیِ خاک‌ورزی و ژئومتری نامناسب محتمل است.



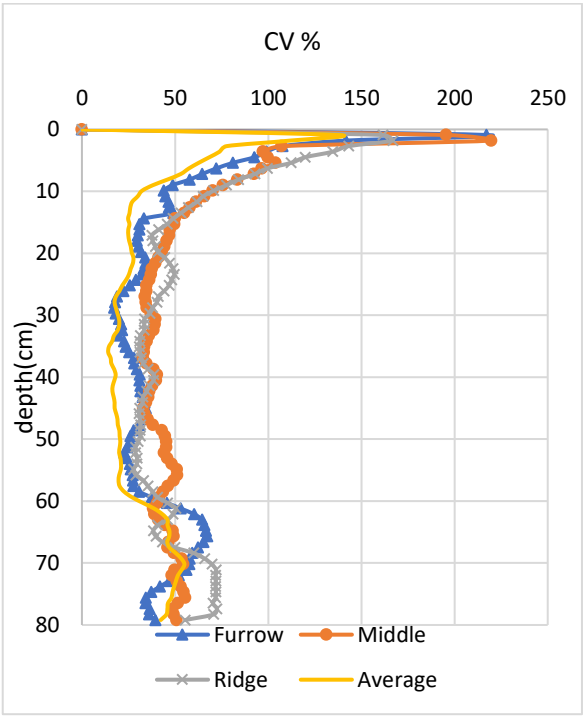
شکل۱۰- میزان مقاومت به نفوذ خاک با شاخص مخروطی(CI) به تفکیک جوی, پاشنه و پشته (چپ) و میانگین کل(راست) مزرعه ۱

Fig 10. The soil penetration resistance (cone index). Total average (right). Separated: furrow. Middle and ridge (left) in farm 1



شکل۱۱- دو پاس زیرشکن زنی مرسوم با زاویه های مختلف پاس ۱(خط مشکی) و پاس۲(خط قرمز) و مسیر جوی‌ها(خط سبز)

Fig 11. Two conventional Subsoiling passes with angles. pass 1 (black line) and pass 2 (red line) and furrow path (blue line)

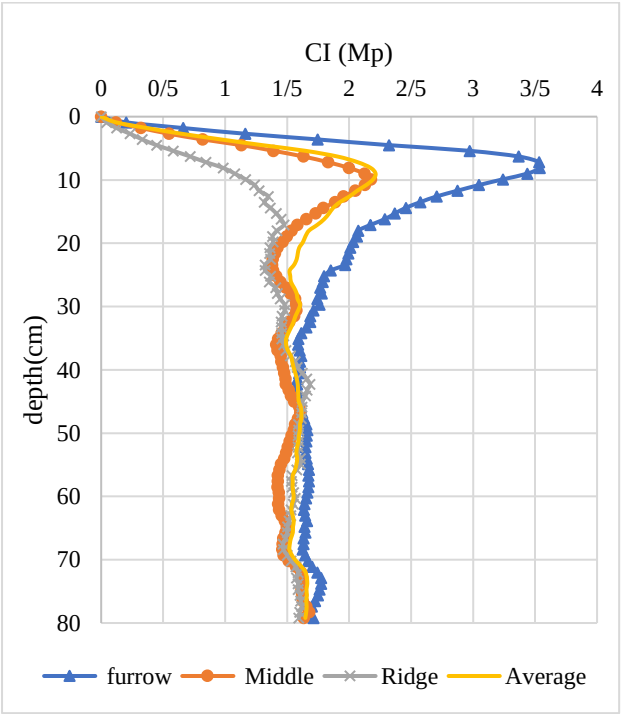


شکل۱۲- میانگین ضریب تغییرات کل و به تفکیک جوی، پشته و پاشنه در مزرعه ۱

Fig 12. The coefficient of total variation (average, furrow, middle and ridge) in farm 1

مقاومت به نفوذ خاک یا فشردگی در مزرعه ۲

در نمودارهای شکل ۱۳ میانگین مقاومت به‌نفوذ خاک به‌تفکیک نقاط در مزرعه۲ در لایه‌ی سطحی دارای پیک هستند و از عمق ۲۰سانتی‌متر به بعد روند ثابتی دارند. با توجه به اینکه پس از عمق۲۰سانتی‌متری فشردگی در محدوده ۱/۵ مگاپاسکال است مشکل فشردگی در مزرعه دوم توسط عوامل سطحی که عموماً نیز قابل کنترل هستند، ایجاد شده است.

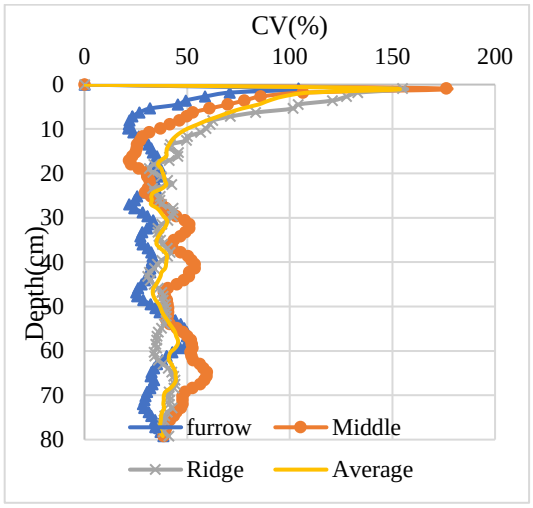


شکل۱۳- میانگین شاخص مخروطی(CI) به تفکیک، جوی، پاشنه و پشته در مزرعه ۲

Fig 13. The con index. separated: average, furrow, middle and ridge in farm 2

مطابق با نمودار شکل ۱۳ بیشترین مقدار فشردگی با۲/۲ مگاپاسکال در عمقِ ۹ سانتی‌متری قرار دارد. ناحیه ۵ تا ۲۵ سانتی‌متر

در محدوده‌ی بالای ۱/۵ مگاپاسکال و ناحیه ۷ تا ۱۲ سانتی‌متری به‌طول ۵سانتی‌متر، در محدوده‌ی بالای۲ مگاپاسکال قرار دارد. البته در عمق بیش از ۷۰ سانتی‌متری یک افزایش نه‌چندان بالایی به میزان ۰/۱۵ مگاپاسکال بالاتر از حد آستانه ۱/۵ مگاپاسکال به‌چشم می‌خورد. بیشترین مقدار فشردگی در منحنی پشته ۱/۶ و در عمق ۴۲ سانتی‌متری است. به عبارتی ناحیه پشته در این مزرعه از فشارهای جانبی ناشی از جوی مصون مانده است. به طور میانگین هر دو مزرعه دارای بافت لوم رسی سیلتی هستند. اما مزرعه دوم دارای شوری بیشتر، فشردگی کمتر و تناژ بالاتر است. ضریب تغییرات کلی داده‌های شاخص مخروطی شکل ۱۴ به‌صورت تفکیکی در لایه‌ی سطحی ۰ تا ۱۰سانتی‌متری، پیک بزرگ اما غیر قابل توجهی وجود دارد. زیرا تأثیرات شدید عوامل جوی، تفاوت قابل پیش بینی در میان ۳ نمونه در هر نقطه و به حد نهایی رسیدن سرعت اعمال نیرو و داده‌برداری در ۱ تا ۲ ثانیه اول، موجب این تغییرات شدید می‌باشند. پس از عمق ۱۰ سانتی‌متری منحنی‌های ضریب تغییرات میانگین و تفکیکی یک روند ثابت در حدود ۴۰ درصد را پیش گرفته‌اند. اگرچه این ضریب در مقایسه با مزرعه اول، تقریباً برابر است اما پیک لایه‌ی پایینی در عمق بالا را ندارد. به‌عبارتی می‌توان گفت تأثیرات عوامل فشردگی‌زا در این مزرعه یکنواخت‌تر است و مدیریت کنترل فشردگی مزرعه ۲ آسان‌تر خواهد بود. نتایج فشردگی بطور متوسط در این تحقیق کاملا مغایر با نتایج سایر تحقیقات بود (Omrani *et al.*, ؛ Moradi *et al.*, 2014 2013). به‌طوری که حداقل مقاومت به نفوذ در استفاده از نفوذسنج‌های دستی در ۲۹۷ نقطه در کشت و صنعت امیرکبیر در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری و با مقدار ۰/۲۷ مگاپاسکال و حداکثر آن در عمق ۶۱ تا ۸۰ با مقدار ۴/۲۷ مگاپاسکال می‌باشد. دلیل تفاوت اساسی دقت و استاندارد بودن ماشین نفوذسنج پشت تراکتوری مورد استفاده است.

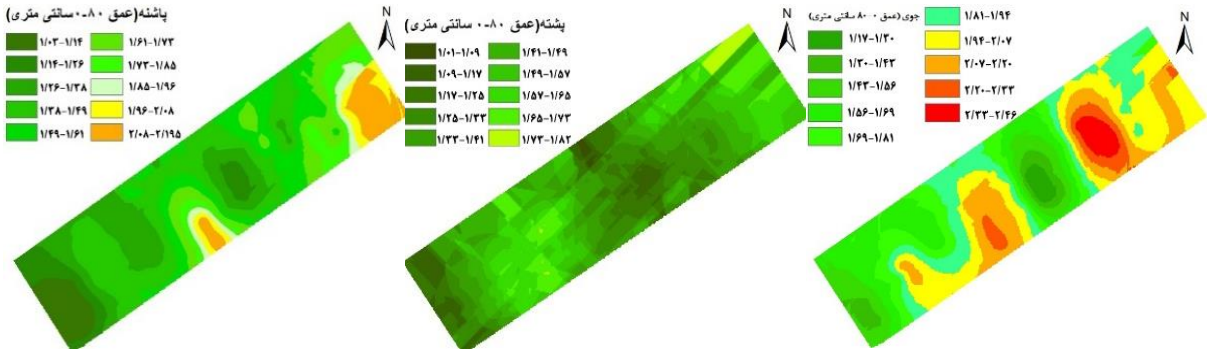


شکل۱۴- میانگین ضریب تغییرات کل و به تفکیک جوی، پشته و پاشنه در مزرعه ۲

Fig 14. Average coefficient of variation (average, furrow, middle, ridge) in farm 2

پهنه‌بندی فشردگی خاک

نظر به دقت, سرعت و سهولت داده‌برداری با ماشین نفوذسنج معرفی شده امکان تهیه نقشه فشردگی خاک وجود دارد و بر اساس نتایج کلی ضریب تغییرات و میانگین فشردگی کلی در هر دو مزرعه از سطح تا عمق ۸۰ سانتیمتری به تفکیک جوی, پشته و پاشنه مطابق نقشه‌های شکل ۱۵ است. لذا با استفاده از این ماشین و سپس نرم‌افزارهای مربوطه امکان اعمال مدیریت متغییر خاک‌ورزی بویژه عملیات زیرشکن زنی وجود دارد. برای اجرای عملیات دقیق زیرشکن زنی در مراحل راتونینگ که فقط داخل جوی انجام می‌شود و تهیه زمین که شامل کل سطح مزرعه بوده, با دسترسی به اطلاعات تفکیکی جوی, پشته و پاشنه اهمیت به‌کارگیری ابزار دقیق را برای مدیریت کشت و صنعت‌ها روشن می‌نمایاند.



شکل ۱۵- نقشه وضعیت فشردگی مزارع نیشکر از عمق ۰ تا ۸۰ سانتیمتر

Fig 15. Soil compaction maps from 0 - 80 cm depth

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تفاوت‌های اساسی میان ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در دو مزرعه وجود دارد. بطوری که فاکتورهایی مانند بافت خاک، رطوبت، جرم حجمی، تراکم و تراکم نسبی در هر یک از این دو مزرعه به هم نزدیک می‌باشند. بافت خاک‌ها از سطح تا عمق در محدوده بافت سنگین با میزان سیلت زیاد بود که تفاوت زیادی نداشتند. همچنین می‌توان گفت تأثیرات عوامل فشردگی‌زا در مزرعه اول یکنواخت‌تر و مدیریت مزرعه دوم به لحاظ کنترل فشردگی نسبت به مزرعه اول آسان‌تر خواهد بود. از نتایج کلی این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- استفاده از ماشین الکتروهیدرولیک نفوذسنج مخروطی و نمونه‌بردار خاک به دلایل طراحی خاص؛ نوآوری و رعایت استاندارد معتبر در سنجش شاخص مخروطی و به‌کارگیری انرژی الکتریکی و به تبع آن کنترل الکترونیک ، کسب نتایج صحیح و دقیق میزان فشردگی و استخراج سریع و آسان نمونه از خاک بصورت دست نخورده توسط واحد نمونه‌برداری بلافاصله بعد از نفوذسنجی امکانی خاص و منحصر بفرد در آزمون مزرعه‌ای است.

۲- نمایش آنلاین و ذخیره سازی داده‌های نفوذسنجی با فرمت اکسل و ثبت موقعیت مکانی با ماشین الکتروهیدرولیک نفوذسنج مخروطی امکان ترسیم نقشه‌های (پهنه بندی) فشردگی و تغییرات سایر مشخصه های فیزکی خاک فراهم شده و بر اساس آنها تحلیل و ارزیابی دقیقی از وضعیت موجود خاک به‌دست آمده و تفاوت در نتایج داده های فشردگی این دو مزرعه علی‌رغم اینکه تحت یک مدیریت و هردو مزرعه سال اول برداشت را سپری نموده‌اند هم ضرورت اعمال مدیریت خاص مکانی را نشان داده و هم بطور کلی مدیریت اصلاح خاک با به‌کارگیری VRT در کشت و صنعت‌های بزرگی همچون نیشکر که از توان مالی و مزارع با قطعات بزرگ برخوردارند را فراهم می‌سازد.

۳- میانگین وضعیت فشردگی کلی هردو مزرعه نزدیک بهم و ۱.۶ مگاپاسکال است و بیشینه فشردگی (بالای ۲ مگاپاسکال) در هردو مزرعه در لایه سطحی بین ۷ تا ۲۰ سانتیمتری است و از بین سه محل جوی, پشته و پاشنه این بیشینه مربوط به مسیر جوی ها بوده (بالاتر از ۳ مگاپاسکال) که بر اثر تردد ماشین‌های برداشت و همچنین سبدهای حمل نی با وزن بالا و تقارن فصل بارندگی و برداشت است. برای مدیریت بهینه تهیه زمین می‌توان مزرعه اول را سه لایه شامل ۵ تا ۳۵ ؛ ۳۵ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۸۰ سانتی متر تقسیم نمود لایه اولیه با میانگین ۲.۱۲ مگاپاسکال و لایه میانی با متوسط ۱.۳ مگاپاسکال شرایط مناسبتری دارد که به دلیل پاشنه شخم ناشی از گاوآهن برگردان برای تهیه زمین برای کشت است و لایه عمیق با میانگین ۱.۶۶ مگاپاسکال به دلیل اثر عملیات زیرشکن زنی مرسوم در کشت وصنعت‌های نیشکر است که در مرحله تهیه زمین با ریپرهای بلدوزری تا این عمق از زمین را شکاف می‌دهند. مزرعه دوم نیز بطورکلی شامل لایه اولیه ۵ تا ۳۵ سانتی متری با متوسط ۱.۷۴ مگاپاسکال و یک لایه عمیق که از عمق ۷۰ سانتیمتری با متوسط ۱.۶۲ مگاپاسکال است در این مزرعه با دلایل مشابه مزرعه اول است و مسیر جوی ها نیز در لایه اولیه بطور میانگین ۲.۲۷ مگاپاسکال است. در مجموع وضعیت تغییرات و میزان فشردگی این دو مزرعه نشان می‌دهد مدیریت مزرعه دوم به لحاظ کنترل فشردگی نسبت به مزرعه اول آسان‌تر خواهد بو.د

نتیجه نهایی اثرات اعمال الگوی مرسوم دوپاس زیرشکنی نشان داد مساحت کل سطح دست نخورده از نظر زیرشکن زنی هر مزرعه در عمق ۸۵ سانتی‌متری با یک پاس عمیق حدوداً ۷۷ درصد در عمق ۶۵ سانتی‌متری با دو پاس عمیق و نیمه عمیق، حدوداً ۴۷ درصد است. همچنین اگر هدف از زیرشکنی صرفاً شیارزنی باشد نتایج بررسی های این تحقیق نشان دادبه دلیل بافت سنگین خاک و سطح بالای رطوبت زیرسطحی و کنترل سخت آن، ورود به عمق بحرانی به بهانه شیار زنی به هیچ عنوان پذیرفته نیست. به ویژه آن که آبیاری غرقابی، مصرف بالای کودهای شیمیایی و رطوبت نامناسب خاک و هوا در فصل برداشت مشکلات مربوط به فشردگی خاک را چند برابر می‌سازند.

منابع

Abbaspour-Gilandeh, M. Ahani, E. Askari Asli-Ardeh, V. Rasooli-Sharabiani and Sofalian, O. (2010). *Design, Fabrication and Evaluation of a Tractor-Mounted Soil Cone Penetrometer with Multiple Probes*. Journal of Agricultural Engineering Research. 11(1): 19-34. (In persian).

American Society of Agricultural engineers - ASAE. 1999. S. 313.3. *Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer*. St. Joseph, 1999. p. 964-966. (ASAE standard: ASAE EP542).

Ariz, A., and Safirzadeh, S. (2021). *Comparing the efficiency of three types of sub-breakers on the soil of sugarcane fields*. Promotional scientific publication of the scientific society of sugarcane technology. 11(55). (In persian).

Bahadori, A. (2023). *Intruction of sugarcane cultivation and related industries*. First national internet of thing conference. Shahid chamran univwrsity. Ahvaz. Iran. https://iscrti.ir/?p=11679

Bankol, A. A., Gerry, S.T. and clark, T. (2000). *Evaluation of a piezoelectric load cell for use on cone penetrometers*. J. Agric. Einge. Res. 76(1): 205-210.

Darvish Pasand, Z., Sayad, G. A., Shariati, M., and Mansouri, Y. (2014). *The effect of agricultural machinery traffic on medium and coarse water conducting properties in the soil using a plate penetrometer*. Journal of water and soil research. 20 (5): 207-220, (In persian).

Daryai, D. and Haqtalab, M. (2012). *Sensitivity analysis of the results of the dynamic infiltration meter test with changes in density and soil type*. 9th International Congress of Civil Engineering. Esfahan. (In parsian)

Goudarzi, B., Kazemi, N., and Asoodar. M. A. (2021). *Effect of Rotary Vibration on Draft Force, Performance and Efficiency of Subsoiler*. The 12th National Congress of Biosystem Mechanical Engineering and Mechanization of Iran. (In persian)..

Hatafard, F.; Khamoshi, A., and Mousavi, M. (2015). *The importance and position of soil in sustainable agriculture and food security*. The third national conference of student scientific associations of agriculture and natural resources. Karaj. (In parsian).

Kashvari, A. and Marzban, A. (2018). *Evaluation of the interpolation method in zoning the spatial need for power in Khuzestan province agriculture*. Geography and Development Quarterly. 17 (55): 86-63. (In parsian).

Kazemi, N., and Guderzi, B. (2022). *The patent of the electrohydrolic machine for the conical infiltration meter and soil sampler*. . https://asnrukh.ac.ir/fa/news/4361

Kazemi, N., Guderzi, B. and Bougari, I. (2018) *electro-hydraulic machine for soil sampling and submersion resistance test*. 9th National Sugarcane Conference. Shahid Chamran Universit. (In parsian).

Mahohi A., and Khatin Zadeh H.A. (2021). *Evaluation of subsoiling depth of fields of ratoon cane on some soil and Plant Indice*s. Applied Soil Research, 9(3), 134-146.

Makudiuh, K. W. (2016). *Rake angle effect on draft power requirement: Case of a Subsoiler in Nitisols*. Master of Science in environmental and biosystems engineering. Agricultural and engineering University of Nairobi.

Monk, A., and Heydari, A. (2022). *The effects of long-term crop management on the formation of plow hard layer. Its consequences on the physical and chemical characteristics of the soil*. Journal of water and soil research in Iran. 54(1).

Moradi, F., Khalil Moghadam, B., Jafari, S., and Ghorbani Dashtaki, Sh. (2014). *The effect of long-term mechanized cultivation on some physical characteristics of soil in a number of sugarcane cultivation and industries in Khuzestan province*. Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries).27(6): 1153-1165. (In persian).

Omrani, A., Sheikh Davoudi, M. J., and Shamili, M. (2013). *Investigating the state of management of agricultural machinery in sugarcane farming (a case study of Amir Kabir agriculture and industry)*. Master Thesis of Agricultural Mechanization. Shahid Chamran University. Ahvaz. pp. 198-1. (In persian).

Ramezani, N., Sayad, G., Barzegar, A., Haqnia, G., and Mansouri, Y. (2011). *Investigating the effect of compaction on the physical and hydraulic properties of a loam soil*. Journal of Water and Soil 26(1): 214-225 .(In parsian).

Raoufat, M. H., and Kazemi, M. (2007). *The performance of tilting undercut with surface blades in a clay texture soil*. Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources. 41(1). (In persian).

Sivarajan, S., Maharlooei, M., Bajwa, S.G., and Nowatzkiet, J. (2018). *Impact of soil compactiondue to wheel traffic on corn and soybean growth. development and yield*. Soil and Tillage Research. 175, 234–243.

Solhjo, A. A. (2014). *Soil compaction, diagnosis and ways to reduce it.* Agricultural Engineering and Technical Research Institute. (In persian).

Tabari, H., Hosseinizadeh Talaee, P., Mousavi Nadoushani, S. S., and Willems, P. (2014). A survey of temperature and precipitation-based aridity indices in Iran-Quaternary International 345: 158-166. (In persian).

Tahmasebi, M., Gehri, M., Sharifi Malvajerdi, A., and Hedayatipour, A. (2023). Development and field evaluation of a horizontal pneumatic sensor equipped with multiple nozzles for measuring the mechanical resistance of moving soil. Agricultural machinery mechanics research quarterly. 4(12):91-101. (In persian).