

اثر خاک‌ورزی بین ردیفی بر عملکرد کمی و کیفی سیب‌زمینی و کارایی مصرف آب در یک خاک ریز بافت

احمد حیدری^{۱*}، عباس همت^۲ و سید معین‌الدین رضوانی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۶)

چکیده

در این پژوهش تأثیر خاک‌ورزی بین ردیفی در فصل رشد بر عملکرد سیب‌زمینی و کارایی مصرف آب به مدت دو سال (۱۳۸۸ و ۱۳۸۹) در خاکی با بافت لوم رسی سیلتی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی تبرک همدان بررسی شد. این پژوهش با استفاده از آزمایش کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. نوار افقی، مقدار آب آبیاری پس از مرحله گل‌دهی شامل: آبیاری کامل و کم آبیاری (۱۰۰ و ۷۵٪ نیاز آبی سیب‌زمینی) و نوار عمودی، نوع خاک‌ورزی بین ردیف‌های کاشت شامل: ۱) خاک‌ورزی با زیرشکن به عمق ۴۰-۳۵ سانتی‌متر، ۲) خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی به عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر، ۳) خاک‌ورزی با پنجه‌غازی به عمق ۵ سانتی‌متر و ۴) بدون خاک‌ورزی بین ردیفی (شاهد) بود. در طول رشد گیاه، مقاومت مکانیکی خاک (شاخص مخروطی) در دو مرحله و نیز سرعت نفوذ آب به خاک اندازه‌گیری شدند. در زمان برداشت، عملکرد و برخی از فاکتورهای کمی و کیفی سیب‌زمینی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که اثر روش‌های خاک‌ورزی بین ردیفی بر مقاومت مکانیکی خاک معنی‌دار بوده و به ترتیب خاک‌ورزی با زیرشکن یا گاوآهن قلمی بیشترین تأثیر را بر کاهش مقاومت مکانیکی خاک در بین تیمارها داشتند. سرعت نفوذ آب در خاک در تیمار زیرشکن‌زنی به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش‌های استفاده از پنجه‌غازی و بدون عملیات بود. تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بین ردیفی بر عملکرد سیب‌زمینی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و روش‌های خاک‌ورزی با زیرشکن یا گاوآهن قلمی بیشترین عملکرد سیب‌زمینی را در بین تیمارها داشتند. تأثیر مقدار آب آبیاری پس از مرحله گل‌دهی بر عملکرد سیب‌زمینی معنی‌دار نشد. اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بین ردیفی بر کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: زیرشکن، گاوآهن قلمی، خاک‌ورزی بین ردیفی، سیب‌زمینی، کارایی مصرف آب، مقاومت مکانیکی خاک

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان

۲. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: heidari299@gmail.com

مقدمه

خاک را کاهش و تخلخل خاک را در نواحی متراکم افزایش داد. نتیجه کلی این که زیرشکن زنی بین ردیفی، شرایط فیزیکی خاک را در منطقه متراکم خاک (۳۰-۲۰ سانتی متر) بهبود داد و بطور معمول عملکرد غده و غده‌های بازارپسند را در بیشتر سال‌ها افزایش داد (۱۱).

سوجکا و همکاران در یک پژوهش دو ساله، اثر زیرشکن زنی بین ردیفی را بر نفوذپذیری آب به خاک، رواناب و فرسایش خاک و عملکرد سیب زمینی در خاک لوم سیلتی در ایالت آیداهو آمریکا بررسی نمودند. اثر زیرشکن زنی بین ردیفی بر نفوذپذیری خاک در سال ۱۹۸۹ در تمام خاک‌ورزی‌های پاییزه کم بود. در سال ۱۹۹۰، زیرشکنی داخل ردیف نفوذپذیری خاک را ۱۰٪ در تمام خاک‌ورزی‌های پاییزه افزایش داد. زیرشکنی داخل ردیف فرسایش خاک را در حدود ۲۷۸ درصد کاهش داد. در سال ۱۹۸۹، زیرشکنی داخل ردیف، عملکرد غده‌های درجه ۱ را ۳/۸ تن در هکتار (۴/۶٪) افزایش داد، اما عملکرد کل به‌طور معنی‌داری افزایش نیافت. در سال ۱۹۹۰، زیرشکنی داخل ردیف، عملکرد کل را ۴/۲ تن در هکتار و عملکرد غده‌های درجه ۱ را ۵/۶ تن در هکتار (۷/۷٪) افزایش داد (۱۳).

هنریکسن و همکاران اثر پشته‌سازی در پاییز و زیرشکنی داخل ردیف را بر عملکرد کمی و کیفی غده‌های سیب زمینی بررسی نمودند. زیرشکنی داخل ردیف در فصل رشد، به‌طور معنی‌داری عملکرد غده‌های بازارپسند را در حدود ۱۴٪ افزایش داد و درصد غده‌های خراب را از ۹/۳٪ به ۷/۵٪ کاهش داد. در سال خشک ۲۰۰۱ زیرشکنی داخل ردیف عملکرد غده‌های بازارپسند را ۴۸/۵ درصد افزایش داد (۸). هنریکسن و همکاران اثر زیرشکنی قبل و بعد از کاشت را در دو محصول، چغندر قند و جو طی سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ در دو مزرعه تحت شرایط سیستم خاک‌ورزی مرسوم و بدون تشخیص تراکم خاک و در شرایطی که خاک از نظر مواد غذایی ضعیف بود، مطالعه کردند. نتایج نشان داد که زیرشکنی بعد از کاشت روی رشد و عملکرد دو گیاه اثر منفی داشته است در حالی که زیرشکنی قبل از

تراکم خاک به فرایندی گفته می‌شود که سبب افزایش جرم ویژه ظاهری خاک شده و موجب کاهش تخلخل، افزایش مقاومت مکانیکی خاک و تغییر در اسکلت خاک می‌شود. این تغییرات، حرکت آب و هوا و نفوذ ریشه را در خاک محدود می‌کند و باعث کاهش استقرار گیاه و در نهایت ممکن است به کاهش عملکرد محصول منجر شود. سیب زمینی یکی از محصولات مهم استان همدان می‌باشد. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی (دفتر آمار و فن‌آوری اطلاعات)، در سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ سطح زیر کشت و میانگین عملکرد در هکتار این محصول در استان همدان به ترتیب ۲۴۱۶۲ هکتار و ۳۶ تن در هکتار بود (۲).

سیب زمینی محصولی است با سیستم ریشه‌ای ضعیف و با نیاز آبی زیاد، بنابراین اگر با نرم کردن خاک اطراف ریشه و بدون خلل در عملکرد سیب زمینی بتوان توسعه نفوذ ریشه را زیاد و مقدار مصرف آب را کم نمود از نظر اقتصادی حائز اهمیت خواهد بود (۴). حیدری و رضوانی در تحقیقی اثر زیرشکنی در پاییز را بر عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی در سه دور آبیاری (۳، ۷ و ۱۰ روز) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که زیرشکن زنی در پاییز مقاومت مکانیکی خاک را در کف جوی و روی پشته به ترتیب ۱۱/۵٪ و ۱۴/۵٪ کاهش داد. ولی زیرشکن زنی در پاییز تأثیری در افزایش عملکرد نداشت. کاهش دور آبیاری پس از گل‌دهی به سه روز یکبار موجب افزایش عملکرد شد (۳). سوجکا و همکاران تأثیر زیرشکن زنی بین ردیفی را بر عملکرد و اندازه غده سیب زمینی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که زیرشکن زنی بین ردیفی، اندازه و عملکرد سیب زمینی را افزایش داد. بیشترین تأثیر تحت سیستم آبیاری نشتی بود. هم‌چنین، زیرشکن زنی بین ردیفی اثر قابل ملاحظه‌ای بر شکل پشته و جابجایی غده‌ها نداشت (۱۲). پیرس و بارپی تأثیر زیرشکن زنی بین ردیفی را بر ویژگی‌های خاک و عملکرد سیب زمینی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که زیرشکنی داخل ردیف، جرم ویژه ظاهری و مقاومت مکانیکی

(جدول ۱). نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر جهت تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای طرح تهیه شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

این پژوهش با آزمایش کرت‌های نوار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. نوار افقی، مقدار آب آبیاری پس از مرحله گل‌دهی شامل: آبیاری کامل و کم آبیاری (۱۰۰ و ۷۵٪ نیاز آبی سیب‌زمینی) و نوار عمودی، نوع خاک‌ورزی بین ردیف‌های کاشت شامل: ۱) خاک‌ورزی با زیرشکن به عمق ۳۵-۴۰ سانتی‌متر، ۲) خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی به عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر، ۳) خاک‌ورزی با پنجه غازی به عمق ۵ سانتی‌متر و ۴) بدون خاک‌ورزی بین ردیفی (شاهد) بود.

آزمایش سال ۱۳۸۸

ابتدا در بهار سال ۱۳۸۸، قطعه زمینی به ابعاد ۳۰×۲۰۰ مترمربع انتخاب شد. هر تکرار به طول و عرض ۶۰ و ۳۰ متر و شامل ۹ خط کشت به فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. خاک‌ورزی اولیه (شخم با گاوآهن برگرداندار به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر) انجام شد (جدول ۲). خاک‌ورزی ثانویه با خاک‌ورز مرکب (سیکلوتیلر + غلطک) انجام شد. در اوائل خرداد ماه، غده سیب‌زمینی (رقم پیکاسو) به میزان ۴ تن در هکتار با غده‌کار - کودکار دو ردیفه گرمه (با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله غده‌ها از یکدیگر در روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر) کشت شد. ضمناً یک سوم کود اوره (معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، تمام کود سوپر فسفات (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تمام کود سولفات پتاسیم (معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) با دستگاه کارنده به صورت نوازی در کنار غده‌ها (با فاصله ۲ سانتی‌متر کنار و پایین غده‌ها) داده شد. پس از سبز شدن و استقرار بونه‌ها عملیات ردیفی با ادوات خاک‌ورزی به شرح زیر انجام شد.

- ۱- زیرشکن (عمق ۴۰-۳۵ سانتی‌متر) قبل از آبیاری دوم
- ۲- گاوآهن قلمی (عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر) قبل از آبیاری چهارم

کاشت، عملکرد چغندر قند را از ۸/۴ به ۹/۵ تن در هکتار و جذب نیتروژن را از ۴۸/۵ به ۵۷/۴ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. زیرشکنی قبل از کاشت اثری بر عملکرد جو نداشت. اثر منفی زیرشکنی بعد از کاشت در سال ۱۹۹۹ نسبت به سال ۲۰۰۰ بیشتر بود (۹). و سترمان و سوچکا تأثیر زیرشکنی داخل ردیف و جای‌گذاری کود ازته را بر عملکرد سیب‌زمینی بررسی نمودند. زیرشکنی داخل ردیف، میانگین وزن خشک گیاه را در حدود ۹٪ و عملکرد غده را ۱۰٪ افزایش داد. جای‌گذاری نوازی کود ازته وزن خشک گیاه را ۶/۴٪، عملکرد غده را ۹٪ و جذب ازت را ۲۸٪ در مقایسه با کودپاشی افزایش داد (۱۴). بک و دی بور اثر خاک‌ورزی بین ردیف را بر افزایش نفوذ پذیری خاک تحت آبیاری بارانی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که زیرشکن‌زنی بین ردیف به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متری در زمانی که ذرت در مرحله ۶ تا ۸ برگی است، تا یک چهارم رواناب را نسبت به روش شاهد (بدون عملیات خاک‌ورزی) کاهش داد. هم‌چنین عملکرد ذرت از ۱۱/۳ به ۱۱/۸ تن در هکتار در سایت‌هایی که زیرشکن‌زنی بین ردیف انجام شده بود افزایش یافت (۷).

با توجه به تأثیر مثبت خاک‌ورزی بین ردیفی در طول فصل رشد بر عملکرد کمی و کیفی سیب‌زمینی در پژوهش‌های انجام شده قبلی، پژوهش حاضر با هدف تعیین اثر خاک‌ورزی بین ردیفی بر عملکرد کمی و کیفی سیب‌زمینی و کارایی مصرف آب در استان همدان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

اثر خاک‌ورزی بین ردیفی در طول فصل رشد در دو سطح آبیاری پس از مرحله گل‌دهی بر عملکرد سیب‌زمینی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی تجرک مرکز تحقیقات کشاورزی همدان به مدت دو سال (۱۳۸۸ و ۱۳۸۹) بررسی شد. این ایستگاه در ۴۵° و ۴۸° طول شرقی و ۱۴° و ۳۵° عرض شمالی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۷۰۰ متر می‌باشد. بافت خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری لوم رسی سیلتی بود

جدول ۱. برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

سال	عمق سانتی‌متر	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت	هدایت الکتریکی EC*10 ³ dS/cm	واکنش گل اشباع pH	درصد مواد خنثی شونده TNV%	درصد کربن آلی OC%	ازت کل (درصد)	فسفر قابل جذب ppm	پتاسیم قابل جذب ppm
۱۳۸۸	۰-۳۰	۲۶/۶	۲۲/۶	۵۰/۸	SiCL	۰/۸۱	۸	۴/۲	۰/۴	۰/۰۵	۱/۲	۳۶۵
۱۳۸۹	۰-۳۰	۲۸/۹	۲۰/۳	۵۰/۸	SiCL	۰/۲۶	۸	۶/۳۸	۰/۳۷	-	۱/۲	۳۱۷

- اندازه گیری نشد.

جدول ۲. مشخصات فنی ادوات مورد استفاده

نوع ماشین	عرض کار (سانتی‌متر)	مشخصات فنی
گاواهن برگرداندار	۱۰۰	سوار شونده- سه خیش
خاک‌ورز مرکب (سیکلو تیلر+ غلطک)	۲۵۰	سوار شونده- قدرت مورد نیاز (۱۰۰ اسب بخار)-ساخت شرکت ماشین برزگر
زیرشکن	-	تک شاخه- سوار شونده- ساخت شرکت آهنگری خراسان
گاواهن قلمی	۱۵۰	سه شاخه- سوار شونده- پهنای تیغه برابر ۵۵ میلی‌متر
پنجه غازی	۳۰۰	پنجه شاخه- سوار شونده
سیب زمینی کار	۱۵۰	سوار شونده- دو ردیفه- ساخت شرکت گریمه (Grimme)

۳- پنجه غازی (عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر) قبل از آبیاری چهارم

۴- بدون خاک‌ورزی (شاهد)

با توجه به این‌که در زراعت سیب‌زمینی بعد از آبیاری اول، اجازه داده می‌شود که غده‌ها با همین آب سبز شوند و آبیاری دوم حدوداً سه هفته بعد از آبیاری اول انجام می‌شود که در این پژوهش به همین صورت انجام شد بنابراین زمان لازم برای خشک شدن خاک فراهم شده و در نتیجه انجام زیرشکنی مفید خواهد بود. مابقی کود اوره در تاریخ اول مرداد ماه به هنگام خاکدهی پایه بوته (قبل از گل‌دهی) به محصول داده شد. اعمال تیمارهای آبیاری شامل آبیاری ۱۰۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی سیب زمینی پس از مرحله گل‌دهی گیاه انجام شد. آبیاری به روش بارانی (ویل مو) و با دور یک هفته به‌طور یکسان تا قبل از اعمال تیمار درکلیه تیمارها انجام شد. اعمال تیمار آبیاری یک هفته بعد از گل‌دهی سیب‌زمینی هنگامی که حدوداً ۹۰٪ سطح مزرعه بوسیله سیب‌زمینی همپوشانی داشت، شروع شد.

تیمارهای آبیاری شامل تیمار ۱۰۰٪ و ۷۵٪ نیاز آبی بود و مقدار آب آبیاری مورد نیاز (تیمار ۱۰۰٪) در هر بار با اندازه‌گیری رطوبت خاک به صورت وزنی تا عمق ۴۵ سانتی‌متری تعیین و از رابطه ۱ ارتفاع آب آبیاری محاسبه شد:

$$D = \rho_b (\theta_{fc} - \theta_i) \times h \quad [1]$$

که در آن D ارتفاع آب آبیاری، θ_{fc} رطوبت وزنی خاک در ظرفیت مزرعه، θ_i رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری (روز قبل از آبیاری)، ρ_b چگالی ظاهری خاک و h عمق توسعه ریشه (در این آزمایش بر اساس اندازه‌گیری داخل مزرعه ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد). به منظور اندازه‌گیری حجم آب آبیاری از کنتور حجمی استفاده شد. میانگین درصد رطوبت وزنی ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی و چگالی ظاهری خاک در محل آزمایش در عمق ۴۵-۰ سانتی‌متر در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به ترتیب برابر است با ۳۳/۸، ۲۳/۱ درصد وزنی و ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بودند. درصد رطوبت وزنی ظرفیت

پشته اندازه‌گیری شد. این پارامتر در هر سال در دو مرحله (اواسط ماه‌های تیر و شهریور) و در زمانی که دو روز بعد از آبیاری گذشته بود اندازه‌گیری شد (رطوبت وزنی خاک حدود ۱۳٪ بود).

اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب در خاک

برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ نهایی آب به خاک از روش استوانه مضاعف و رابطه گرین-امپت به شکل زیر استفاده شد (۱):

$$i = K_s + b(1/I) \quad [2]$$

که در آن I نفوذ تجمعی به سانتی‌متر، K_s نفوذ پایه به سانتی‌متر بر دقیقه و i سرعت نفوذ لحظه‌ای (cm/min). برای اندازه‌گیری نفوذ، استوانه‌ها در کف جوی به شکل متحدالمرکز به طوری که هر دو استوانه به اندازه ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در خاک نفوذ کنند قرار داده شد. سپس داخل هر دو استوانه آب ریخته به اندازه‌ای که عمق آب داخل استوانه کوچک از لبه آن بین ۷ تا ۱۲ سانتی‌متر فاصله داشته باشد. پایین رفتن سطح آب استوانه داخلی نسبت به زمان مرتب اندازه‌گیری شد. آب بین استوانه داخلی و خارجی فقط برای کنترل حرکت عمودی آب در استوانه داخلی است تا از حرکات جانبی آن که ممکن است موجب اشتباه در آزمایش شود جلوگیری گردد، بنابراین هیچ‌گونه اندازه‌گیری روی آن صورت نگرفت. توضیح این‌که فواصل قرائت در اوایل کوتاه و به تدریج افزایش یافت. زمانی که اختلاف عمق آب نفوذی بین دو قرائت متوالی تقریباً ثابت و به حالت ماندگار رسید اندازه‌گیری خاتمه یافت.

نتایج و بحث

اثر خاک‌ورزی بین ردیفی با زیرشکن و گاوآهن قلمی بر

شکل پشته و جابه‌جایی غده‌ها

مشاهدات مزرعه‌ای در حین کار زیرشکن و گاوآهن قلمی و نیز وضعیت مزرعه چند روز بعد از عملیات نشان داد که ادوات مذکور هیچ‌گونه اثر قابل توجهی بر شکل پشته‌ها و جابه‌جایی

مزرعه و نقطه پژمردگی با تهیه نمونه دست نخورده و ارسال آن به آزمایشگاه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری به‌دست آمد (۵). برای تعیین چگالی ظاهری خاک، نیز نمونه‌ای دست نخورده از خاک تهیه و پس از خشک کردن آن در آون در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت با توجه به مشخص بودن حجم رینگ نمونه‌برداری از نسبت وزن خاک خشک به حجم آن به‌دست آمد.

قبل از تعیین عملکرد سیب‌زمینی، چند بوته از دو خط وسط هر کرت، جهت تعیین تعداد غده در بوته، وزن غده‌ها در هر بوته، ابعاد هر غده، تعداد غده‌های تغییر شکل یافته در هر بوته برداشت شد. سپس در وسط هر کرت، از دو خط میانی به طول ۵ متر غده‌های سیب‌زمینی جهت تعیین عملکرد در تاریخ اواسط مهرماه برداشت شد. هم‌چنین درصد غده‌های تغییر شکل یافته (دفرمه) اندازه‌گیری شد. منظور غده‌هایی که از شکل ظاهری‌شان انحراف داشته‌اند. در هر بوته، تعداد غده‌ها شمارش شده و نیز غده‌هایی که شکل‌شان تغییر یافته بود شمارش شد.

آزمایش سال ۱۳۸۹

عملیات انجام شده در سال ۱۳۸۹ همانند سال ۱۳۸۸ بود بجز اینکه در این سال، رقم سانته به‌جای رقم پیکاسو کشت شد.

تعیین شکل پشته‌ها و جابه‌جایی غده‌ها

در حین کار زیرشکن و گاوآهن قلمی و چند روز بعد از عملیات، شکل پشته‌ها و نیز جابه‌جایی غده‌ها به صورت مشاهده‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک (شاخص مخروطی)

به منظور اندازه‌گیری مقاومت مکانیکی خاک از دستگاه فروسنج مخروطی با قطر مخروط ۱۲/۸۳ میلی‌متر و زاویه راس ۳۰ درجه استفاده شد. در هر کرت، در ۱۰ نقطه ۰ تا ۵۰ سانتی‌متر مقاومت مکانیکی خاک در محل کف جوی و روی



شکل ۱. وضعیت به هم خوردگی خاک در حین انجام عملیات زیرشکنی در کف جوی‌ها



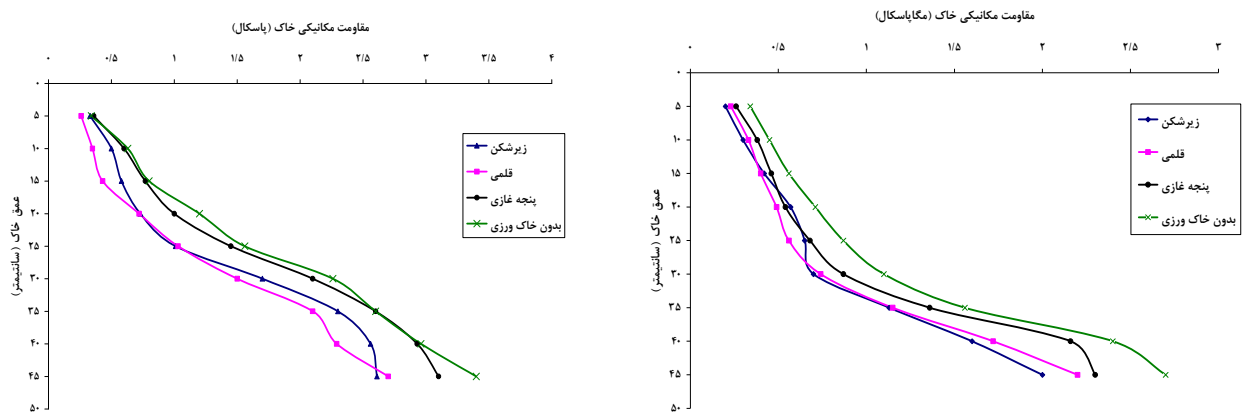
شکل ۲. وضعیت به هم خوردگی خاک در حین انجام عملیات خاک‌ورزی در کف جوی‌ها با گاوآهن قلمی

ردیف موجب کاهش مقاومت مکانیکی خاک می‌شود. اثر خاک‌ورزی بین ردیف بر سرعت نفوذ نهایی آب در خاک در هر دو سال آزمایش در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد و به ترتیب خاک‌ورزی بین ردیفی با زیرشکن و گاوآهن قلمی بیشترین نقش را در افزایش سرعت نفوذ نهایی آب در خاک داشته‌اند. در حالی‌که روش بدون خاک‌ورزی و پنجه‌غازی به ترتیب کمترین تأثیر را بر سرعت نفوذ نهایی آب در خاک داشتند (شکل ۵). لذا می‌توان نتیجه گرفت با توجه به عمق کار زیرشکن (۳۵-۴۰ سانتی‌متر) و گاوآهن قلمی (۲۵-۲۰ سانتی‌متر) این ادوات توانسته‌اند تا عمق کارشان خاک را به هم زده و مقاومت مکانیکی خاک در منطقه جوی را کاهش داده و در نتیجه نفوذ پذیری آب در خاک را افزایش دهند. سوچکا و همکاران (۱۲) نیز اعلام نمودند که زیرشکنی بین ردیفی در محصول سیب‌زمینی باعث افزایش نفوذپذیری آب در خاک می‌شود.

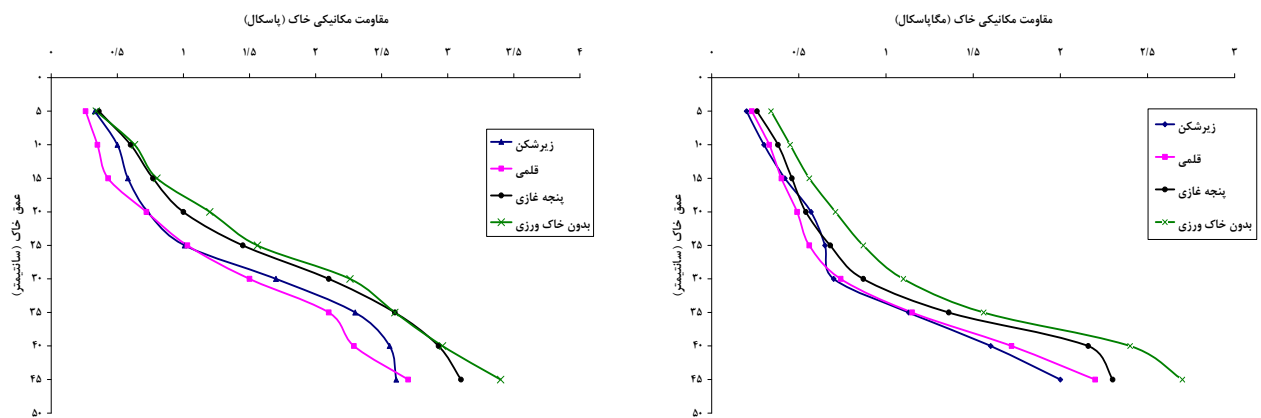
غده‌ها نداشتند (شکل‌های ۱ و ۲). سوچکا و همکاران (۱۳) نیز گزارش نمودند که زیرشکنی داخل ردیف اثر قابل توجه بر شکل پشته‌ها و جابه‌جایی غده‌ها نداشت.

اثر خاک‌ورزی بین ردیفی بر مقاومت مکانیکی خاک

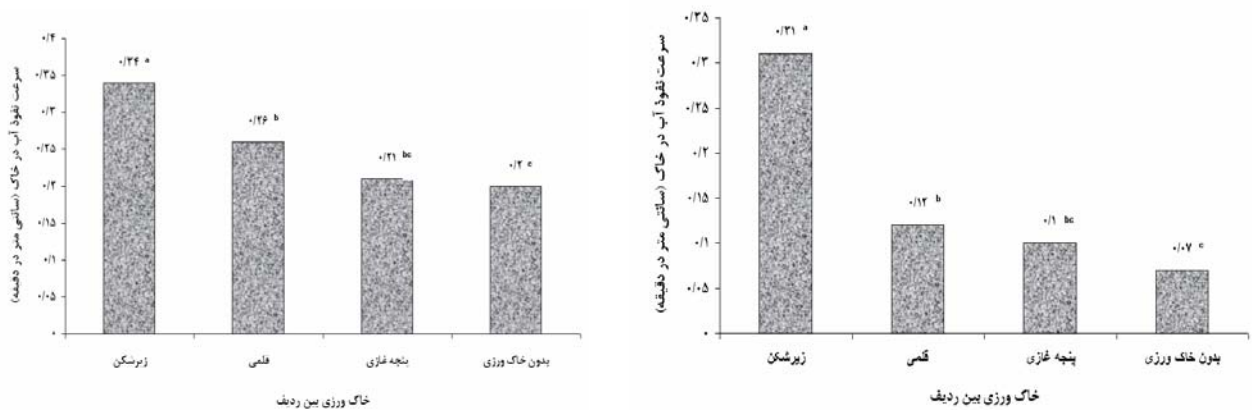
شکل‌های ۳ و ۴ اثر روش‌های خاک‌ورزی بین ردیف بر مقاومت مکانیکی خاک را در منطقه پشته و جوی در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل‌های مذکور دیده می‌شود در هر دو سال آزمایش، به ترتیب خاک‌ورزی بین ردیفی با زیرشکن و گاوآهن قلمی نسبت به دو روش دیگر (پنجه‌غازی و بدون خاک‌ورزی) مقاومت مکانیکی خاک را بیشتر کاهش دادند. این نتیجه با توجه به عمق کار این وسایل و نیز کارایی‌شان منطقی به نظر می‌رسد. حیدری و رضوانی (۳) نیز اعلام نمودند که زیرشکنی باعث کاهش مقاومت مکانیکی خاک می‌شود. نتایج پیرس و بارپی (۱۱) نشان داد که زیرشکنی داخل



شکل ۳. تغییرات مقاومت خاک با عمق خاک در تیمارهای مختلف در منطقه پشته (سمت راست) و منطقه جوی (سمت چپ) - سال ۱۳۸۸



شکل ۴. تغییرات مقاومت خاک با عمق خاک در تیمارهای مختلف در منطقه پشته (سمت راست) و منطقه جوی (سمت چپ) - سال ۱۳۸۹



شکل ۵. سرعت نفوذ آب در خاک در روش‌های مختلف خاک‌ورزی بین ردیفی - سمت راست (سال ۱۳۸۸) و سمت چپ (سال ۱۳۸۹).

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب دو ساله (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد سیب زمینی	وزن غده در بوته	تعداد غده در بوته	طول غده	عرض غده	پهنا (ضخامت) غده	غده‌های تغییر شکل یافته
سال	۱	۱۱۸۵۴/۴۵**	۰/۹۴**	۴۹**	۰/۶۵۳ ^{ns}	۲/۷۰۷**	۰/۱۶۳ ^{ns}	۰/۷۵۰۰*
تکرار (سال)	۴	۱۰۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۳۸ ^{ns}	۴/۲۷ ^{ns}	۰/۵۲۵ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۳۴ ^{ns}
فاکتور افقی A (خاک ورزی بین ردیف)	۳	۱۵۸**	۰/۰۲۴*	۱/۴۴ ^{ns}	۱/۰۳ ^{ns}	۰/۴۵۷ ^{ns}	۰/۰۹۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۴*
سال × فاکتور A	۳	۵۰/۸۴*	۰/۰۶۴**	۴/۸۴**	۰/۱۶۱ ^{ns}	۰/۰۶۷ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷ ^{ns}
تکرار × فاکتور A (سال)	۱۲	۴۳/۷۲*	۰/۰۲۵**	۳/۹۳**	۰/۵۸*	۰/۲۵۴ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴ ^{ns}
فاکتور عمودی B (آبیاری)	۱	۱۹/۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۱/۴۴ ^{ns}	۰/۵۲ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷۵ ^{ns}
سال × فاکتور B	۱	۱۲۸/۹۴*	۰/۱۲۱**	۸/۷۵**	۰/۱۳۰*	۰/۱۸۷*	۰/۰۰۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۶۷۵ ^{ns}
تکرار × فاکتور B (سال)	۴	۳۶/۶۲ ^{ns}	۰/۰۰۸۶ ^{ns}	۱/۰۵ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	۰/۴۴۹*	۰/۳۵۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۸۷ ^{ns}
اثرات متقابل A × B	۳	۳۷/۷۸ ^{ns}	۰/۰۰۲۹ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۱۳۵ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۹۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۲۷ ^{ns}
سال × A × B	۳	۳۴/۸۲ ^{ns}	۰/۰۴۵**	۵/۳۵**	۰/۱۹۸ ^{ns}	۰/۱۴۶ ^{ns}	۰/۰۹۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۶ ^{ns}
خطا	۱۲	۱۳/۹۳	۰/۰۰۴۵	۰/۶۰۵	۰/۱۶۵	۰/۱۴۱	۰/۱۱۳	۰/۰۱۵۷
مجموع	۴۷							

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود تفاوت معنی دار، تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ و تفاوت معنی دار در سطح ۱٪.

اثر خاک ورزی بین ردیفی و آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی

نتایج تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین اثر خاک ورزی بین ردیفی در طول فصل رشد و مقدار آب آبیاری پس از مرحله گل دهی بر عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی در دو سال متوالی ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. همانگونه که دیده می شود که اثر خاک ورزی بین ردیفی بر عملکرد سیب زمینی، وزن غده در بوته و درصد غده های تغییر شکل یافته در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شده است. با توجه به جدول ۴، بیشترین عملکرد سیب زمینی به ترتیب با خاک ورزی بین ردیفی با زیرشکن (متوسط عملکرد ۴۷/۱ تن در هکتار) و گاواهن قلمی (متوسط عملکرد ۴۵/۱ تن در هکتار) حاصل شد. در حالی که کمترین عملکرد مربوط به بدون خاک ورزی بین ردیفی (با متوسط عملکرد ۳۹/۹ تن در هکتار)

و خاک ورزی با پنجه غازی (با متوسط عملکرد ۴۰/۱) بود. با توجه به جدول ۴ بیشترین وزن غده در بوته مربوط به تیمارهای گاواهن قلمی و زیرشکن بود. افزایش عملکرد سیب زمینی به وسیله زیرشکن و گاواهن قلمی احتمالاً به دلیل اثر مثبت بر رشد محصول از طریق افزایش نیتروژن در دسترس باشد. عملیات خاک ورزی با زیرشکن و گاواهن قلمی موجب افزایش سرعت نفوذ عمودی آب به خاک در کف جوی و حرکت عرضی آب به زیر پشته شده و در نتیجه موجب کاهش حرکت آب در ردیف کاشت می شود (۶). این امر باعث کاهش شستشوی نیتروژن موجود در پشته می شود، در اثر زیرشکن زنی، نفوذ پذیری خاک کف جوی زیاد می شود و مدت توقف آب در جویچه ها کمتر می شود. لذا غرقاب شدن پشته ها و شستشوی نیتروژن در دسترس ریشه گیاه کاهش می یابد (۱۰). ضمناً این عملیات موجب سست نمودن خاک

جدول ۴. میانگین عملکرد کمی و کیفی سیب زمینی در روش‌های مختلف خاک‌ورزی بین ردیف

غده های تغییر شکل یافته	اندازه غده سیب زمینی (سانتی متر)			تعداد غده در بوته	وزن غده در بوته (کیلوگرم)	عملکرد سیب زمینی (تن در هکتار)	خاک ورزی بین ردیف
	طول	عرض	پهنا (ضخامت)				
۲/۹ ^{ab}	۴ ^a	۵/۴ ^a	۶/۶ ^a	۸/۳ ^a	۰/۸۲۲ ^{ab}	۴۷/۱۰۳ ^a	زیرشکن
۲/۵ ^a	۴ ^a	۵/۴ ^a	۶/۵ ^a	۷/۸ ^a	۰/۸۷۲ ^a	۴۵/۱۳۵ ^{ab}	قلمی
۵/۴ ^c	۳/۹ ^a	۵/۴ ^a	۶/۵ ^a	۷/۸ ^a	۰/۷۵۵ ^b	۴۰/۰۶۷ ^b	پنجه غازی
۵/۳ ^c	۳/۸ ^a	۵ ^a	۵/۹ ^a	۷/۲ ^a	۰/۷۷ ^b	۳۹/۹۱۶ ^b	بدون خاک ورزی

اعداد هر ستون که دارای حرف‌های یکسانی هستند تفاوت آماری بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ ندارند.

نتیجه گیری

خاک‌ورزی بین ردیفی در طول فصل رویش گیاه با زیرشکن و گاوآهن قلمی موجب افزایش سرعت نفوذ عمودی آب به خاک در کف جوی و احتمالاً باعث کاهش شستشوی نیتروژن موجود در پشته می‌شود. ضمناً این عملیات موجب سست نمودن خاک اطراف ریشه شده و باعث کاهش مقاومت مکانیکی خاک و نفوذ بیشتر ریشه در خاک و در نتیجه باعث تولید غده‌های بیشتر و درشت‌تر و افزایش عملکرد سیب‌زمینی می‌گردد.

اطراف ریشه شده و باعث کاهش مقاومت خاک و نفوذ بیشتر ریشه در خاک و در نتیجه باعث تولید غده‌های بیشتر و درشت‌تر شد. این نتیجه با گزارش‌های سوچکا و همکاران (۱۳)، پیرس و بارپی (۱۱)، هنریکسن و همکاران (۸) و وسترمان و سوچکا (۱۴) هماهنگ است. کمترین درصد غده‌های تغییر شکل یافته مربوط به تیمارهای زیرشکن و قلمی بود (جدول ۴). این نتیجه هم‌چنین به‌وسیله هنریکسن و همکاران (۸) گزارش شده است.

منابع مورد استفاده

۱. بای بوردی، م. ۱۳۸۳. اصول مهندسی آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران.
۲. بی‌نام. ۱۳۸۵. اطلاعات تولید کشاورزی دفتر آمار و اطلاعات وزارت جهادکشاورزی.
۳. حیدری، ا. و س.م. رضوانی. ۱۳۸۳. اثرات زیرشکنی و دور آبیاری بر عملکرد سیب‌زمینی. گزارش پژوهشی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. شماره ۳۴۲، تهران.
۴. رضایی، ا.ع. و ا. سلطانی. ۱۳۷۵. زراعت سیب‌زمینی. انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.
۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۵. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.
6. Bargar, B., J. B. Swan and D. Jaynes. 1999. Soil water recharge under uncropped ridges and furrows. Soil Sci. Soc. of Amer. J. 63:1290-1299.
7. Beck, D. L. and W. Deboer. 1992. Post-emergence, inter-row tillage to enhance infiltration under sprinkler irrigation. Soil & Tillage Res. 22: 111-123.
8. Henriksen, C. B., J. P. Molgaard and J. Rasmussen. 2007. The effect of autumn ridging and inter-row subsoiling on potato tuber yield and quality on a sandy soil in Denmark. Soil & Tillage Res. 93: 309-315.
9. Henriksen, C. B., J. Rasmussen and C. Soggard. 2005. Kemink subsoiling before and after planting. Soil & Tillage Res. 80: 59-68.
10. Jaynes, D. B. and J. B. Swan. 1999. Solute movement in uncropped ridge-tilled soil under natural rainfall. Soil Sci.

- Soc. Amer. J. 63:264-269.
11. Pierce, F.J. and C.G. Burpee. 1995. Zone tillage effects on soil properties and yield and quality of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Soil & Tillage Res. 53: 135-146.
 12. Sojka, R. E., D.T. Westermann, M. J. Brown and B. D. Meek. 1993a. Zone-subsoiling effects on infiltration, runoff, erosion, and yields of furrow-irrigated potatoes. Soil & Tillage Res. 25: 351-368.
 13. Sojka, R. E., D.T. Westermann, M. J. D. C. Kincaid, I. R. Mccann, J. L. Halderson and M. Thornton. 1993-b. Zone-subsoiling effects on potato yield and grade. Amer. Potato J. 70(6): 475-484.
 14. Westermann, D.T. and A. E. Sojka. 1996. Tillage and nitrogen placement effects on nutrient uptake by potato. Soil Science Soc. Amer. J. 60: 1448-1453.