اثر عملیات خاک‌ورزی بر روی نفوذ و راندمان کاربرد آب آبیاری

ابوالفضل ناصری[۱] و منصوره مظفّری[۲]

چکیده

نفوذ یکی از پدیده‌های مهم و راندمان کاربرد آب یکی از شاخص‌های مهم در طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری است که تحت تاثیر فرآیندهای مدیریت زراعی از جمله عملیات خاک ورزی قرار دارد. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر روش های مختلف خاک ورزی بر روی نفوذ و راندمان کاربرد آب در یک مزرعه آزمایشی گندم در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی (خسروشهر) انجام شد. تیمارهای پژوهش با چهار روش مختلف خاک ورزی شامل بدون عملیات خاک ورزی، شخم با گاو آهن چیزل با دو بار دیسک، شخم با دیسک (کم خاک ورزی) و شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک بود. نفوذپذیری خاک با استفاده از حلقه نفوذپذیری اندازه گیری گردیده و راندمان کاربرد آب بر اساس شرایط آزمایش تعیین گردید. نتایج نشان داد تفاوت بین نفوذ تجمعی حاصل از چهار نوع عملیات خاک ورزی در سطح احتمال یک درصد، معنی دار بود. مقدار نفوذ تجمعی حاصل از کاربرد عملیات شخم با دیسک (کم خاک ورزی)، بدون عملیات خاک ورزی و شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک به ترتیب برابر ٦٢، ۲۰ و ۱۰ درصد مقدار نفوذ تجمعی حاصل از شخم با گاو آهن چیزل با دو بار دیسک بود. راندمان کاربرد آب در تیمارهای شخم با گاو آهن چیزل به همراه دو بار دیسک و شخم با دیسک (کم خاک ورزی) کمتر از ۵۵ درصد و برای شرایط بدون عملیات خاک ورزی برابر ۵۵ درصد و در شرایط شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک برابر ٦٨ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی:

عملیات خاک ورزی، نفوذ آب، راندمان کاربرد آب، کم خاک ورزی، بی خاک ورزی

تاریخ دریافت : ۹۰/۱۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۰۵

[۱] - استادیار پژوهشی گروه کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز –ایران. (نویسندهٔ مسئول) Nasseri_ab@yahoo.com

[۲]- عضو هیات علمی گروه کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی ، تبریز -ایران.

مقدّمه و بررسی منابع علمی

نفوذ یکی از پدیده‌های مهم و راندمان کاربرد آب یکی از شاخص‌های مهم در طراحی و ارزیابی سیستم های آبیاری است. سرعت اولیّه نفوذ در یک خاک خشک بسیار زیاد بوده و با گذشت زمان به طور سریع، کاهش یافته و در نهایت، به حدّ ثابت نسبی می رسد که به آن سرعت نفوذ نهایی[۳] گفته می شود (Ghazanshahi,۱۹۹٦). مقدارآن، به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک سطحی بسیار نزدیک است. برای توصیف نفوذ عمودی آب، معادلات مختلفی ارائه شده است. معادلات تجربی به دلیل سهولت کاربرد و نیز دقت مورد قبول، کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. این معادلات بر اساس داده‌های آزمایشی در مزرعه به دست آمده‌اند و نتیجه برازش سرعت نفوذ مشاهده شده، با توابع وابسته به زمان هستند. از انتگرال گیری این توابع، معادلات نفوذ تجمعی به دست می آید، که در آن، ضرائب معادلات مفهوم فیزیکی ندارند. یکی از اوّلین معادلات تجربی نفوذ، معادله کاستیاکف[٤] است. مزّیت آن در این است که نفوذ واقعی و تئوریک را برای زمان های کوتاه تا متوسط، بسیار خوب بیان می‌کند (Walker and Shogerboe, ۱۹۸۷). عملیات خاک‌ورزی سطح خاک را تخریب نموده، بارندگی و آبیاری‌های بعد از آن نیز موجب تراکم لایه سطحی خاک شده و در نتیجه خشک شدن سطح خاک، نفوذپذیری آن را کاهش داده و موجب رشد ضعیف ریشه گیاه می گردد. جنسن و سلیتن در سال ۱۹٦۵ گزارش نمودند که استفاده از شخم قلمی پس از برداشت محصول در یک خاک خشک لوم رسی، نفوذپذیری خاک را برای یک نوبت آبیاری افزایش داده است. کارتر (۱۹۸۵) نشان داد نفوذپذیری آب در یک مزرعه پنبه بدون رفت و آمد ۲۱ تا ۳۳ درصد بیشتر از مزرعه‌ای است که دارای تردد معمولی بود. والدرون و تری (Walker and terry, ۱۹۸۹) گزارش نمودند در خاک مرطوب عملیات خاک ورزی سطحی با عمل لغزشی، بیشتر از خاک ورزی با عمل فشاری، میزان نفوذپذیری خاک را کاهش داده است. نتایج تحقیقات رامزی و همکاران؛ Rumsey) (et at., ۱۹۹۰ نشان داد بهبود نفوذپذیری خاک که توسط شخم قلمی در فصل پائیز ایجادشده بود تا اواسط فصل زمستان ادامه داشت و افزایش نفوذپذیری خاک به دلیل کاهش خاک ورزی در زمان کاشت تا انتهای فصل رشد ادامه نیافت. تاهان و همکاران(Tahan et al ., ۱۹۹۰) در بررسی تاثیر انواع شخم بر خصوصیات فیزیکی خاک اعلام نمودند که قطر میانگین وزنی خاک دانه ها در گاو آهن برگردان دار کمتر از گاو

۱-Basic intake rate
۲ -Kostikov

آهن قلمی است (Salekzamani and Annabi Millani , ۲۰۰٦). صلح جو و نیازی (Solhijou and Niazi , ۲۰۰۱)گزارش نمودند که زیر شکنی خاک تا عمق ۳۰ تا ۳۵ سانتی‌متری و گاو آهن برگرداندار موجب افزایش سرعت نفوذ آب به خاک به اندازه ۲/٤ برابر شده است. سالک زمانی و عنابی میلانی (Salek zamani and Annabi Millani, ۲۰۰۹) گزارش نمودند گاو آهن برگرداندار در عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتیمتر، بیشترین نفوذ را در بین عملیات مختلف خاک‌ورزی شامل شخم با گاو آهن قلمی در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر و گاوآهن برگرداندار در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر و بدون عملیات خاک‌ورزی داشته است. با توجه به اهمیت نفوذ آب به خاک در اراضی کشاورزی، اهمیت عملیات خاک ورزی در کشاورزی پایدار و نیز اهمیت راندمان کاربرد آب در کشاورزی، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر عملیات مختلف خاک‌ورزی مانند شخم با گاو آهن چیزل، دیسک و گاو آهن برگردان دار و بدون عملیات خاک‌ورزی بر روی نفوذ و راندمان کاربرد آب انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی (خسروشهر) با طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ٤٥ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع از سطح دریا برابر ۱۳۰۰ متر انجام شد. خاک مزرعه مورد آزمایش از نوع رسی- لومی (با درصد شن، سیلت و رس به ترتیب برابر با ۳۹،۳۵و۲٦ درصد) و خاک زیرین (از ۵۰ سانتی‌متر به پایین) لومی بود. در خاک زراعی PH و EC عصاره اشباع خاک برابر ۷/۹ و ٤/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. آزمایش‌ها در مزرعه گندم و با تیمارهای خاک‌ورزی ذیل انجام شد:

الف) بدون عملیات خاک‌ورزی

ب) شخم با استفاده ازگاو آهن چیزل به عمق ۲۵ سانتی‌متر با دو بار دیسک عمود بر هم به عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر

ج) شخم با استفاده از دیسک، دو بار عمود بر هم به عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متر (کم خاک‌ورزی)

د) شخم با استفاده از گاو آهن برگرداندار به عمق ۲۵ سانتی متر با دو بار دیسک عمود بر هم به عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر بود.

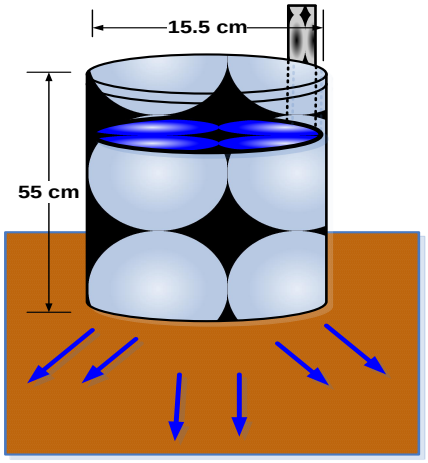
نفوذپذیری خاک با استفاده از حلقه نفوذپذیری و به مدت ۸۰ دقیقه اندازه گیری شد. حلقه نفوذپذیری از جنس فلز به قطر ۱۵۵ میلی متر، به طول ۵۵ سانتی‌متر و به ضخامت ۵ میلی متر بود (شکل ۱). آزمایش‌های نفوذپذیری بعد از عملیات خاک‌ورزی و قبل از آبیاری دوم صورت

گرفت. معادله مورد استفاده برای بیان نفوذ تجمعی، از معادله کاستیاکف و به صورت زیر استفاده گردید.

$Z = kt^a$	(۱)

با استفاده از نسبت عمق خالص به عمق ناخالص آب آبیاری برآورد گردید (Hart et al. ۱۹۸۳). تحلیل آماری و تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده با نرم افزار Statgraphics و رسم نمودارها با نرم افزارهای Excel و Sigmaplot صورت گرفت.

که در آن Z نفوذ تجمعی (سانتی‌متر)، t زمان نفوذ (دقیقه)، a و k ضرایب معادله بود. راندمان کاربرد آب بر اساس شرایط آزمایش



شکل ۱- حلقه فلزی برای اندازه گیری نفوذ آب به خاک (نگارندگان)

Figure ۱- Ring for measurement of soil infiltration

نتایج و بحث

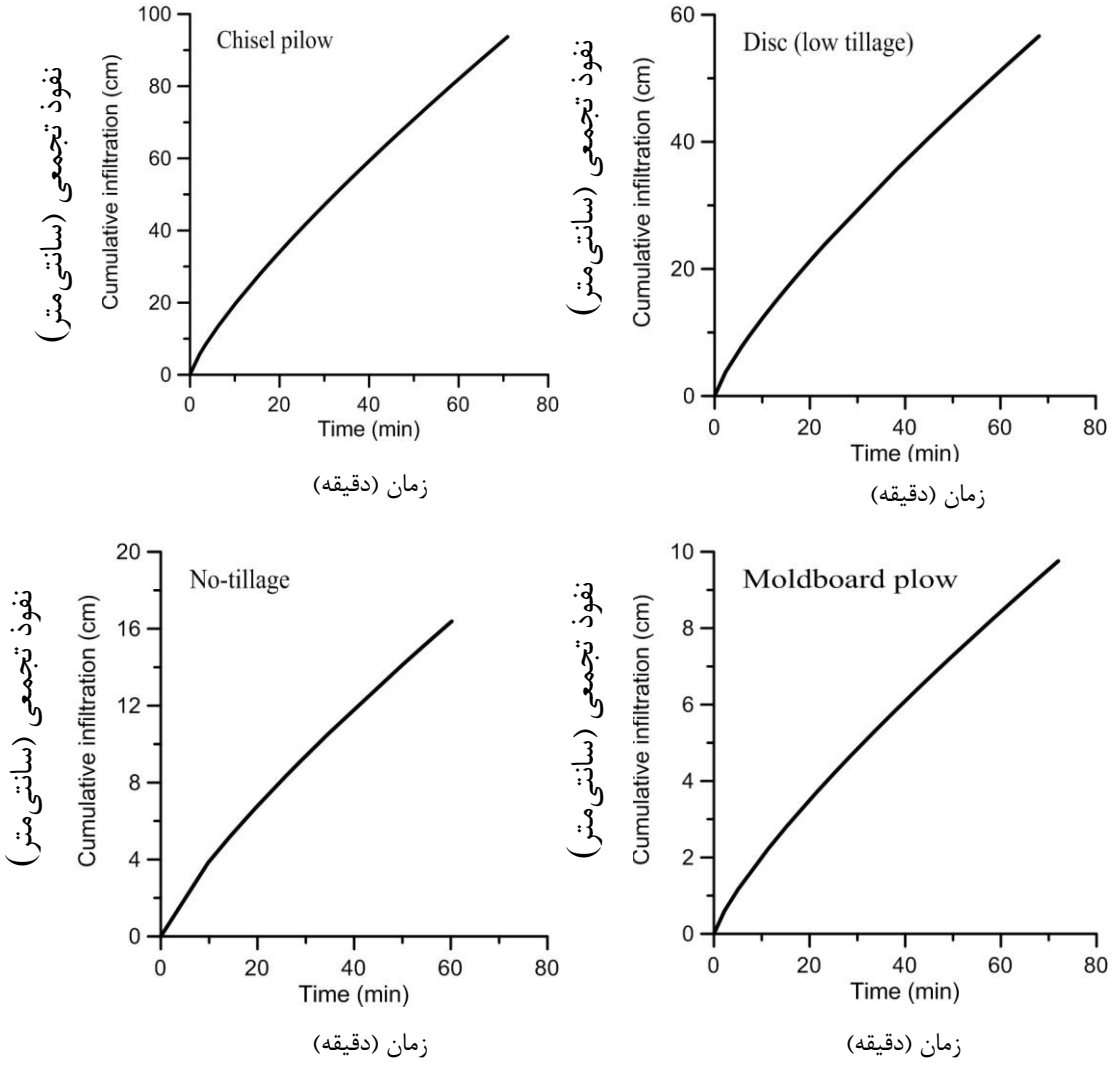
تغییرات نفوذ تجمعی برای تیمارهای آزمایشی در شکل ۲ به صورت برازش شده نشان داده شده است. نفوذ تجمعی در دقیقه ۸۰ با کاربرد عملیات شخم با گاو آهن چیزل با دو بار دیسک برابر ۱۰۳ /۲ سانتی‌متر، شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی) برابر ٦٤/٣ سانتی‌متر ، بدون عملیات خاک‌ورزی برابر ٢٠/٦ سانتی‌متر ، شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک برابر ١٠/٦ سانتی‌متر بود. به عبارت دیگر با کاربرد عملیات خاک‌ورزی شخم با گاوآهن چیزل با دو بار دیسک و شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی)، آب بیشتری به خاک نفوذ نموده که در این صورت ذخیره رطوبتی در خاک افزایش خواهد یافت. این

مورد به ویژه برای مناطق و اراضی که برای عملیات زراعی، باغی یا جنگل‌داری و مرتع‌داری که نیازمند ذخیره نسبتا زیاد رطوبت در خاک باشد، حائز اهمیت است. نفوذ تجمعی حاصل از کاربرد شخم با گاوآهن برگرداندار با دو بار دیسک نسبت به حالت بدون عملیات خاک‌ورزی کم بود. این مورد به خصوص برای حالت آبیاری سبک یا توزیع مناسب آب در سطح مزرعه می‌تواند دارای اهمیت باشد. علت این امر را میتوان چنین بیان کرد که استفاده از گاوآهن برگرداندار و به دنبال آن دوبار عملیات دیسک زنی عمود بر هم، باعث برگردانده شدن خاک مزرعه و کاهش اندازه خاکدانه ها گردیده و خاک نسبتا نرم و پودر مانندی را به جا می گذارد. در نتیجه به دلیل رسی-لومی بودن خاک و کم شدن استحکام ساختمان خاک، خاک بعد از اولین دور آبیاری فشرده شده و سرعت نفوذ کاهش یابد. در تیمار بدون عملیات خاک ورزی، خلل و فرجی که در اثر حرکت حشرات و یا ریشه های گیاه ایجاد شده، شکسته و قطع نگردیده و این باعث شده که سرعت نفوذ و در نتیجه نفوذ تجمعی در این تیمار نسبتا بیشتر باشد. به طور کلی می توان گفت در دقیقه های اول آزمایش نفوذ، سرعت نفوذ آب به علت خشک بودن خاک بیشتراست. به تدریج با خیس شدن خاک و تورم کلوئیدها، خلل و فرج درشت خاک که محل عبور آب است، کمتر شده، و سرعت نفوذ آب به خاک کاهش می یابد.

جدول ۱- ضرائب معادله نفوذ تجمعی کاستیاکف برای تیمارهای خاک‌ورزی

Table ۱- The coefficients of Kostiakov infiltration equations form tillage treatments

تیمارهای عملیات خاک ورزی	ضرائب معادله نفوذ کاستیاکف		ضریب تبیین
	k	a	R^2
شخم با گاو آهن چیزل با دو بار دیسک	۳,۱۰	۰,۸	۹۸,۷
شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی)	۱,۹۳	۰,۸	۹۸,۱
بدون عملیات خاک‌ورزی	۰,۶۱	۰,۸	۹۹,۷
شخم با گاوآهن برگرداندار با دوبار دیسک	۰,۳۲	۰,۸	۹۹,۸

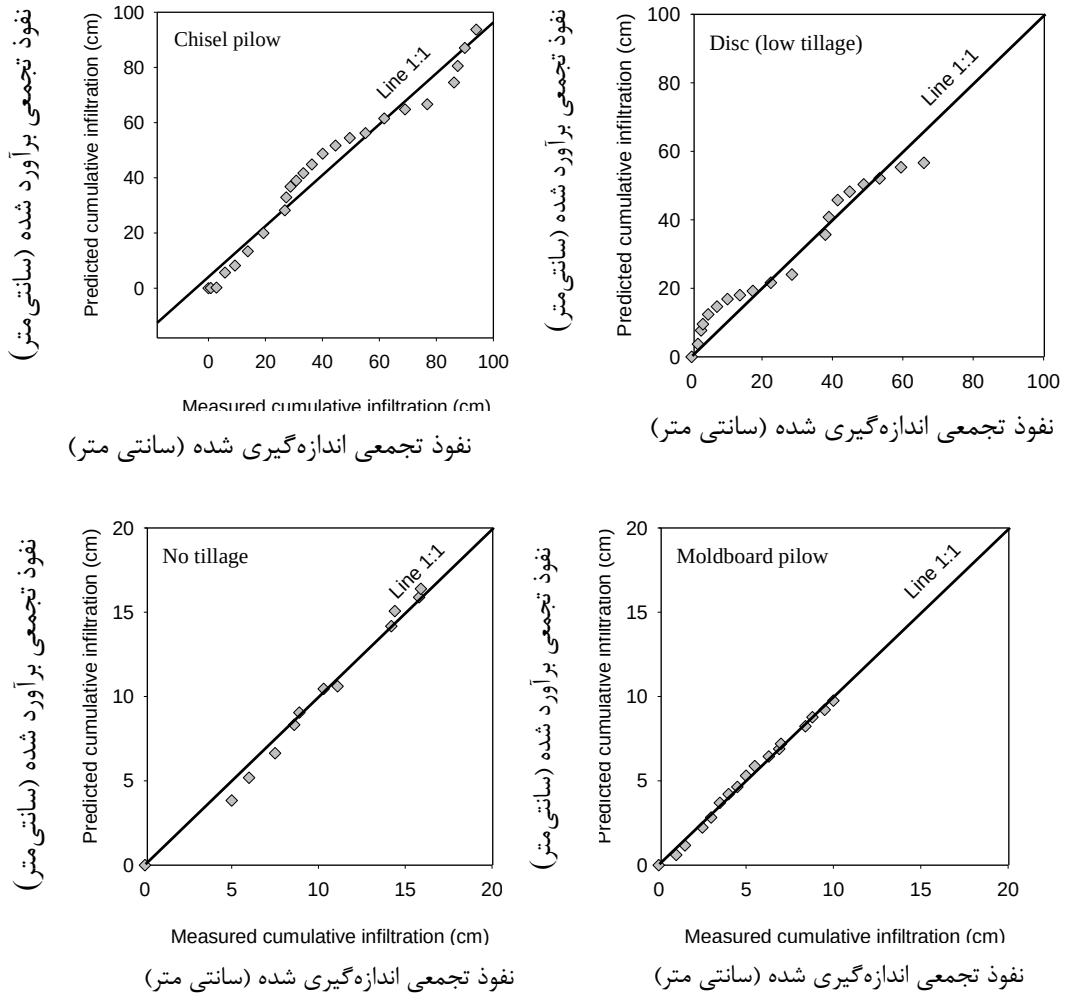


شکل۲- نفوذ تجمعی پس از عملیات خاک‌ورزی

Figure ۲- Cumulative infiltration after tillage practices

ضرائب معادلات نفوذ تجمعی کاستیاکف برای تیمارهای مختلف خاک‌ورزی با روش تحلیل رگرسیون استخراج، و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. تغییرات نفوذ تجمعی در دوره ۸۰ دقیقه آزمایش، نشان داد به ازای یک زمان مشخص، مقدار نفوذ تجمعی حاصل از عملیات خاک‌ورزی به ترتیب از شخم با گاو آهن چیزل با دوبار دیسک، شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی)، بدون عملیات خاک‌ورزی و شخم با گاوآهن برگرداندار با دوبار دیسک به دست آمده است. برای امکان سازی مقایسه مقادیر نفوذ تجمعی حاصل از عملیات خاک‌ورزی، توان زمان در معادله نفوذ کاستیاکف (a) با ارزیابی داده‌های اندازه گیری شده برابر ۰/۸ یکسان سازی شد. ضریب k برای عملیات شخم با گاو آهن چیزل با دو بار دیسک برابر ۳/۱۰، شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی)

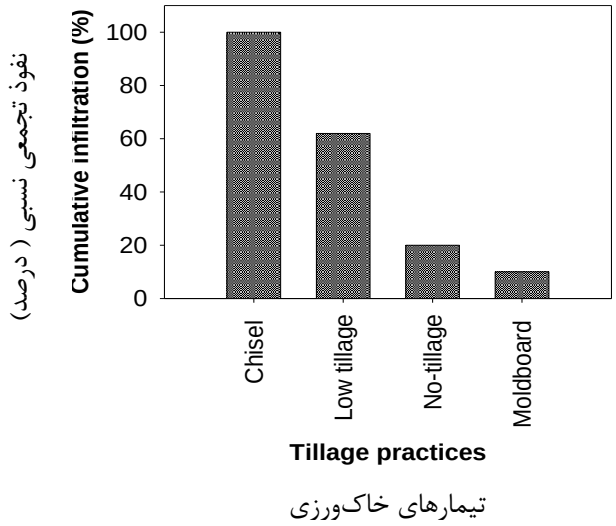
برابر ۱/۹۳، برای شرایط بدون عملیات خاک‌ورزی برابر ۰/۶۱ و برای حالت شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک برابر ۰/۳۲ به دست آمد (جدول ۱). مقادیر نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با معادلات کاستیاکف حاصل برای عملیات مختلف خاک ورزی در شکل ۳ نشان داده شده است. با این که معادله کاستیاکف، مقادیر نفوذ را برای شرایط شخم با گاوآهن چیزل با دو بار دیسک برای دوره ۲۵ تا ۶۰ دقیقه اندکی بیش از مقدار اندازه‌گیری شده و در سایر زمان‌ها، اندکی کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند (شبیه چنین برآوردی برای شرایط خاک‌ورزی کم نیز، مشاهده می‌شود)، با این همه در حالت کلی، مقادیر نفوذ تجمعی برآورد شده با معادله کاستیاکف برای عملیات خاک‌ورزی رضایت بخش می‌باشد(شکل ۳ و جدول۲).



شکل۳- نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با معادلات کاستیاکف برای عملیات خاک‌ورزی

Figure ۳- Measured and predicted cumulative infiltration by Kostiakov equation for tillage practices

مقدار نفوذ تجمعی حاصل از کاربرد عملیات شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی)، بدون عملیات خاک‌ورزی و شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک به ترتیب برابر ٦٢، ٢٠ و ١٠ درصد مقدار نفوذ تجمعی حاصل از شخم با گاوآهن چیزل با دو بار دیسک بود (شکل ٤). از سوی دیگر، مقدار نفوذ تجمعی حاصل از شرایط بدون عملیات خاک‌ورزی و شخم با گاوآهن برگرداندار با دو بار دیسک به ترتیب برابر ٣٣ و١٧ درصد مقدار نفوذ تجمعی حاصل از کاربرد عملیات شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی) بود. همچنین می‌توان گفت نفوذ تجمعی حاصل از شخم با گاوآهن برگرداندار با دو بار دیسک نیز نصف مقدار نفوذ حاصل از شرایط بدون عملیات خاک‌ورزی بود. این یافته با نتایج سالک زمانی و عنابی میلانی (Salek Zamani Annabi Millani, ٢٠٠٦) تفاوت دارد. این تفاوت احتمالا با تغییر عمق خاک‌ورزی با گاو آهن برگرداندار و کاربرد دو بار دیسک مرتبط است.



شکل٤- نفوذ تجمعی حاصل از عملیات خاک‌ورزی نسبت به نفوذ حاصل از شخم با گاوآهن چیزل با دوبار دیسک

Figure ٤- Cumulative infiltration from tillage practices relative to tillage by chisel with twice disc ones.

درجدول٢، تجزیه واریانس تغییرات سری نفوذ را به دو مولفه بین نفوذ تجمعی حاصل از عملیات خاک‌ورزی و درون هر سری نفوذ (از زمان شروع تا انتهای آزمایش) تفکیک نموده است. چون مقدار P کمتر از یک درصد است. بنابراین، بین چهار نوع عملیات خاک‌ورزی در سطح اعتماد ٩٩ (احتمال یک) درصد تفاوت آماری وجود داشت. آزمون چند دامنه‌ای در سطح یاد شده نشان داد نفوذ حاصل از عملیات خاک‌ورزی به دو گروه اول و دوم قابل تقسیم هستند. گروه اول شامل شخم با گاو آهن چیزل با دو بار دیسک و شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی) و گروه دوم شامل بدون عملیات خاک ورزی و شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک می باشد.

جدول۲- تجزیه واریانس نفوذ تجمعی بین عملیات خاک‌ورزی و زمان‌های مختلف در هر تیمار خاک‌ورزی

Table ۲- Analysis of variance for cumulative infiltration from tillage practices and different times.

منبع تغییر	درجه آزادی(Df)	میانگین مربعات(MS)	نسبت F	مقدار P
بین عملیات خاک‌ورزی	۳	۳۶۲۷,۱	۸,۲	<۰,۰۱
بین زمان‌های مختلف در درون هر تیمار خاک‌ورزی	۲۸	٤٤۱,۹		
کل	۳۱			

برای بررسی تاثیرپذیری راندمان کاربرد آب آبیاری در مزرعه گندم از تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در آبیاری دوم، براساس رفتار نفوذپذیری خاک تحت عملیات مختلف خاک‌ورزی، برای شرایط عمق خالص آب آبیاری برابر با ۲۵ میلی‌متر و ضریب زبری برابر با ۰/۰٤، راندمان کاربرد آب برابر جدول ۳ به دست آمد. راندمان کاربرد آب در تیمارهای شخم با گاو آهن چیزل به همراه دو بار دیسک و شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی) کمتر از ۵۵ درصد و راندمان کاربرد حاصل از شرایط بدون عملیات خاک‌ورزی برابر ۵۵ درصد و راندمان حاصل از شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک برابر ٦۸ درصد به دست آمد. در اراضی فاریاب، استفاده از تیمارهای شخم با گاو آهن چیزل به همراه دو بار دیسک و شخم با دیسک، به دلیل ایجاد راندمان کاربرد نسبتا کم برای آب آبیاری قابل توصیه نمی‌باشد. کاربرد تیمار شخم با گاوآهن برگرداندار با دو بار دیسک، به دلیل ایجاد بیشترین راندمان کاربرد آب در مزرعه می‌تواند قابل توصیه باشد. با این که ممکن است برای شرایط دیم، نفوذپذیر بودن خاک یک مزیت باشد. زیرا خاک می‌تواند آب بیشتری از آبیاری تکمیلی یا بارندگی را در خود ذخیره نماید. با این همه، نفوذپذیری بیش از حد در اراضی آبی می‌تواند به دلیل احتمال فرونشت عمقی، موجب کاهش راندمان کاربرد آب و در نتیجه کاهش کارآئی مصرف آب گردد.

جدول ۳- راندمان کاربرد آب آبیاری برای تیمارهای خاک‌ورزی

Table ۳- Water application efficiency for tillage treatments

تیمارهای عملیات خاک ورزی	راندمان کاربرد آب (درصد)
شخم با گاو آهن چیزل با دو بار دیسک	<۵۵
شخم با دیسک (کم خاک ورزی)	<۵۵
بدون عملیات خاک ورزی	۵۵
شخم با گاو آهن برگرداندار با دو بار دیسک	٦۸

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت نفوذپذیری خاک و راندمان کاربرد آب در مدیریت و طراحی سامانه‌های آبیاری، پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی نفوذ و راندمان کاربرد آب انجام شد. نتایج نشان داد مقدار نفوذ تجمعی حاصل از کاربرد عملیات شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی)، بدون عملیات خاک ورزی و شخم با گاو آهن برگرداندار با دوبار دیسک به ترتیب برابر ٦٢، ٢٠ و ١٠ درصد مقدار نفوذ تجمعی حاصل از شخم با گاوآهن چیزل با دوبار دیسک بود. راندمان کاربرد آب در تیمارهای شخم با گاوآهن چیزل به همراه دو بار دیسک و شخم با دیسک (کم خاک‌ورزی) کمتر از ۵۵ درصد و راندمان کاربرد حاصل از شرایط بدون عملیات خاک‌ورزی برابر ۵۵ درصد و راندمان حاصل از شخم با گاو آهن برگرداندار با دوبار دیسک برابر ٦٨ درصد به دست آمد. کاربرد تیمار شخم با گاوآهن برگرداندار با دوبار دیسک، موجب ایجاد بیشترین راندمان کاربرد آب در مزرعه شد. با توجه به تغییرات نفوذپذیری و نیز راندمان کاربرد آب در طول فصل رشد گیاه، ارزیابی زمانی و حتی مکانی آن‌ها در خاک‌ها و با پوشش‌های مختلف گیاهی می‌تواند مفید باشد.

منابع مورد استفاده

References

- ✓ Carter, L. M. ١٩٨٥. Wheel traffic is costly. Trans. ASAE.٢٨:٤٣٠-٤٣٤.
- ✓ Ghazanshahi, J. ١٩٩٦. Soil physics. Tehran Univ. Press, ٤٦٥p (In Persian)
- ✓ Hart, W. E., H.G. Collins, G. Woodward and A.S. Humpherys, ١٩٨٣. Design and operation of gravity or surface systems. In: Design and operation of farm irrigation systems. ME Jensen (Ed.).ASAE Monograph ٣. St Joseph MI, ٥٠١-٥٨٠
- ✓ Jensen, M.E. and W.H. Sletten, ١٩٦٥. Effects of alfalfa, crop sequence, and tillage practice on intake rates of Pullman silty clay loam and grain yield. USDA-ARS conserve. Res. Rep.١. U.S. Government printing office, Washington, D.C.
- ✓ Rumsey, J.W., S.K. Updhayaya, W.J. Chancellor and D.J. Hills, ١٩٩٠. Effects of row crop cultural and irrigation practices on water infiltration characteristics Kearney Foundation of Soil Science. Annual Report. University of California,pp-١٣٦٩-١٤٣.
- ✓ Salek Zamani, A., and A. Annabi Millani, ٢٠٠٦. Study of different tillage methods and their effects on some soil physical properties and safflower yield. Final Report of Research. East Azarbaijan Research Center for Agricultural and Natural Resources, Tabriz, Iran (In Persian).
- ✓ Solhjou, A.A. and J. Niazi, ٢٠٠١. Subsoiling effects on soil physical properties and wheat yield. Agricultural Engineering Research Journal.٧ (٢):١٢-٢٤ (In Persian).
- ✓ Waldron, L.J. and N. Terry, ١٩٨٩. The influence of plant roots on infiltration rates of water into soil. Kearney Foundation of Soil Science. Annual Report. University of California, Pp-٦٤-٦٦.

✓ Walker, W.R. and G.V. Skogerboe, ۱۹۸۷. Surface irrigation:Theory and Practice.Prentice-Hall,Inc.,New Jersey, ۳۸٦ pp.