

## اثر ادوات مختلف خاک ورزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک غالب شالیزار در استان گیلان

مریم مرزی نوحدانی<sup>۱\*</sup>، بهروز مصطفیزاده فرد<sup>۲</sup>، سید فرهاد موسوی<sup>۳</sup>،  
محمد رضا یزدانی<sup>۴</sup> و محمد رضا علیزاده<sup>۵</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸)

### چکیده

روش معمول پادلینگ (گل خرابی) استفاده از خاک همزن مرسوم تیلری می باشد که به مدت زمان زیادی برای اجرای عملیات خاک ورزی نیاز دارد. در این پژوهش، اثر ادوات مختلف خاک ورزی بر منحنی مشخصه رطوبتی یک خاک شالیزار بررسی شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل ادوات خاک ورزی (T1: خاک همزن مرسوم تیلری، T2: خاک همزن دوار تیلری، T3: پادرل مخروطی تیلری، T4: رتیواتور تراکتوری) و دفعات پادلینگ (P1: یکبار پادلینگ، P2: دوبار پادلینگ، P3: سه بار پادلینگ، P4: چهار بار پادلینگ) بودند. براساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، در نقطه اشباع خاک، رتیواتور تراکتوری بیشترین مقدار رطوبت را نشان داد. در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، پادرل مخروطی تیلری بیشترین مقدار رطوبت را نشان داد. دو دستگاه جدید ساخته شده باعث افزایش رطوبت خاک و صرفه جویی در آب مصرفی گردیدند. در ادوات مختلف خاک ورزی، با افزایش دفعات پادلینگ، رطوبت خاک کاهش یافت. در مقایسه خاک بدون عملیات خاک ورزی با خاک همزن دوار تیلری و پادرل مخروطی تیلری، میزان آب قابل استفاده خاک کاهش یافت.

واژه های کلیدی: اراضی شالیزاری، ادوات خاک ورزی، دفعات پادلینگ، پادرل مخروطی تیلری، خاک همزن دوار تیلری

۱. گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

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

۳. گروه مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان

۴. مؤسسه تحقیقات برنج کشور

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: maryam\_marzi88@yahoo.com

## مقدمه

برنج غذای نزدیک به چهار میلیارد آسیایی را تأمین می‌کند. تولید کمتر از مصرف جهانی در سال‌های اخیر، سازمان ملل را بر آن داشت تا برای مقابله با کاهش ذخایر جهانی، سال ۲۰۰۴ را سال برنج اعلام نماید. در اراضی استان گیلان نیز برنج زراعت عمده بوده و کشت آن با وسعتی نزدیک به ۲۰۵۲۶۹ هکتار، بالغ بر ۳۵٪/۸۱ از سطح کل برنج کاری کشور را شامل می‌شود (۲).

تولید برنج به عنوان پرمصرف ترین کشت آبی در آینده متکی به اتخاذ روش‌های کارآمد مصرف آب می‌باشد (۶). در این زمینه، در ایران تاکنون تحقیقات خاصی به منظور اندازه‌گیری مقدار آب مورد نیاز در شرایط مختلف صورت نگرفته است. ولی بر اساس اطلاعات پایه مربوط به تخلخل خاک و ظرفیت اشباع آن، مقادیر متفاوتی از سوی برخی محققین و نیز بعضی سازمان‌های مربوطه ارائه شده است که به نظر می‌رسد کافی نبوده و مشخص نمودن مقادیر دقیق آن در خاک‌های مختلف و در شرایط متفاوت رطوبتی و روش‌های آماده‌سازی زمین، بر پایه تحقیقات علمی، لازم می‌باشد. همچنین، با توجه به تقارن مراحل آماده‌سازی زمین با ماه‌های پر باران، چگونگی استفاده از آب باران در آماده‌سازی زمین باید مورد تحقیق قرار گیرد (۱۰). هدف از آماده‌سازی زمین، تهیه بستری مناسب برای رشد گیاه است. یک مزرعه خوب آماده شده باید دارای شرایط زیر باشد:

(الف) بقایای گیاهی و علف‌های هرز در شخم اول به طور مطلوبی در بین لایه‌های شخم مدافن گردند، (ب) در مرحله شخم دوم، عمل پادلینگ به طور کامل انجام گیرد و (ج) سطح زمین قبل از نشاکاری به طور کامل تراز شود. خاکورزی اولیه در زراعت برنج در استان گیلان، در اوخر زمستان یا اوایل بهار (دهه اول اسفند تا دهه دوم اردیبهشت)، همزمان با شروع بارندگی و نرم شدن خاک، توسط گاوآهن برگرداندار انجام می‌شود.

پادلینگ، عمل به هم زدن مخلوط آب و خاک و در واقع شکستن خاکدانه‌های خاک با به کار بردن نیروی مکانیکی، در رطوبت زیاد، جهت به دست آوردن توده یکنواخت می‌باشد.

معادل فارسی کلمه پادلینگ، شله زنی، گل آب کردن، گل خرابی یا خاکورزی است (۲).

شخم ثانویه توسط رتیواتورهای تیلری و یا تراکتوری انجام می‌شود و زمان انجام شخم ثانویه بسته به زمان نشا در مناطق مختلف استان گیلان، متفاوت است. به طور معمول، این عمل به فاصله چند روز قبل از انجام نشا صورت می‌گیرد. طبق تقویم زراعی ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان، عملیات شخم ثانویه از دهه سوم فروردین تا دهه دوم اردیبهشت صورت می‌گیرد.

اهداف عمده پادلینگ شامل تسهیل در عمل نشاکاری، مبارزه با علف‌های هرز، مخلوط کردن یکنواخت کود با آب، جلوگیری از نفوذ زیاد آب به داخل خاک، تسطیح زمین، افزایش ظرفیت ذخیره غذایی خاک، تسهیل در جذب عناصر غذایی خاک توسط ریشه، کاهش نیتروژن مصرف شده، فراهم نمودن محیط مناسب برای رشد و توسعه ریشه می‌باشد (۸ و ۹). مهم ترین عامل در پادلینگ، کاهش چسبندگی ذرات خاک از طریق تنظیم مقدار آب ورودی به مزرعه قبل از اجرای عملیات می‌باشد. بسته به امکانات موجود، عرف اجتماعی و اقتصادی منطقه و شرایط خاک مزرعه، از ادوات مختلفی جهت انجام پادلینگ استفاده می‌شود، مانند کولتیواتور دور (روتاری)، دیسک‌های دو زانویی، چرخ‌های قفسه‌ای که به چرخ تراکتور متصل می‌شوند و گاوآهن‌های مخصوص پشت تیلری. چنان‌چه عمل شخم در رطوبت مناسب انجام گیرد خاکدانه‌های به وجود آمده پایدارتر می‌گردند. در حالی که اگر با وسیله کاردمانند، خاک و خاکدانه‌ها بریده شوند، پایداری خاکدانه‌ها کمتر خواهد بود. هر چند باید دانست که هرگز ساختمان پوک ناشی از انجام شخم، مدت درازی پایدار نمی‌ماند (۳).

عملیات پادلینگ برای آماده‌سازی شالیزارها در بعضی از مناطق شمال کشور به طور عمده با کمک پاور تیلر (تراکتور دو چرخ) مجهز به چرخ‌های آهنی همراه با یک نوع خاک همزن شبیه به شیار بازکن و وسیله‌ای که مالبند به عقب آن متصل می‌شود، که در اصطلاح محلی به آن راست کاول گفته می‌شود،

استان گیلان می باشد.

## مواد و روش ها

### مشخصات موقعیت و محل اجرای طرح

این پژوهش در بهار و تابستان ۱۳۸۹ در اراضی شالیزاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۷ متر پایین تر از سطح آب های آزاد) واقع در ۱۰ کیلومتری شهر رشت اجرا گردید. برای اندازه گیری برخی خصوصیات خاک (جدول ۱) و آب (جدول ۲)، نمونه هایی تهیه شده و به آزمایشگاه خاک شناسی مؤسسه ارسال شد.

### عملیات زراعی و تیمارها

ادوات مرسوم و معمول برای عملیات پادلینگ در شالیزار شامل خاک همزن مرسوم تیلری و رتیواتور تراکتوری می باشد (شکل ۱ الف و ب) و ادوات ساخته شده در مؤسسه تحقیقات برنج کشور برای انجام پادلینگ در مزارع کوچک شالیزاری شامل خاک همزن دور تیلری و پادرل مخروطی تیلری می باشند (شکل ۱ ج و د).

از نقطه نظر فنی، یکی از مشکلات عمدۀ ادوات مرسوم خاک ورزی را می توان کم بودن عرض کار مؤثر آنها، عدم امکان افزایش تعداد عامل خاک ورز به دلیل محدودیت نیروی کششی پاور تیلر و کم بودن ظرفیت کار عنوان کرد که نتیجه آن کم بودن ظرفیت مزرعه ای مؤثر است. به طوری که مدت زمان مورد نیاز برای آماده سازی هر هکتار مزرعه شالیزاری با استفاده از این نوع خاک همزن ها در حدود ۱۵ ساعت برآورد می گردد. استفاده از خاک همزن ها و پادرل های دور به جای ادوات مرسوم، انرژی مصرفی و هزینه عملیات آماده سازی زمین شالیزاری را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. ظرفیت مزرعه ای خاک همزن دور به دلیل برخورداری از عرض کار مؤثر بیشتر به طور معنی داری افزایش می یابد و در نتیجه موجب بهبود کارایی تیلر می شود.

انجام می گیرد. ادوات مرسوم و معمول برای عملیات پادلینگ در شالیزار شامل خاک همزن مرسوم تیلری و رتیواتور تراکتوری می باشد .

از نقطه نظر فنی، یکی از مشکلات عمدۀ این نوع ادوات خاک ورزی را می توان کم بودن عرض کار مؤثر آنها، عدم امکان افزایش تعداد عامل خاک ورز به دلیل محدودیت نیروی کششی پاور تیلر و کم بودن ظرفیت کار عنوان کرد که نتیجه آن کم بودن ظرفیت زراعی مؤثر است. به طوری که مدت زمان مورد نیاز برای آماده سازی هر هکتار مزرعه شالیزاری با استفاده از این نوع خاک همزن ها در حدود ۱۵ ساعت برآورد می گردد.

روتاری ابزار مناسبی جهت انجام پادلینگ می باشد، زیرا روتاری با دو بار حرکت در داخل مزرعه، زمین را به طور مناسبی پادل می کند. در حالی که سایر ادوات برای انجام همان کیفیت از پادل باید پنج بار در داخل زمین حرکت کنند. آنها همچنین نشان دادند که تیغه ای با پهنای ۱۵ و عرض ۸/۵ سانتی متر و زاویه ۳۰ درجه بهترین بازده را از لحاظ کاهش انرژی مخصوص و افزایش عملکرد دارد (۱۱).

بخش اعظم خاک های غالب شالیزارهای استان گیلان دارای درصد رس بالایی بوده (بیش از ۴۰ درصد) و این رس ها از نوع متورم شونده می باشند. پتانسیل انبساط و انقباض این خاک ها زیاد است. درصد انقباض سطحی خاک در برنامه ریزی آبیاری و تعیین آب مورد نیاز مزرعه از اهمیت خاصی برخوردار است. زیرا آب آبیاری ابتدا صرف پر کردن درز و شکاف های خاک می گردد و پس از جذب خاک به منظور افزایش رطوبت قابل نگهداری صرف تأمین نیاز آبی گیاه می گردد (۱).

با افزایش شدت پادلینگ از سطح کم به متوسط، سرعت نفوذ آب به خاک به طور معنی داری کاهش یافت. منحنی رطوبتی در سه بافت خاک در تمامی سطوح پادلینگ نشان داد که عملیات پادلینگ قابلیت نگهداشت آب خاک را افزایش می دهد (۷).

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر ادوات مختلف خاک ورزی بر منحنی مشخصه رطوبتی خاک غالب شالیزار در

## جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (cm)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm³)	رطوبت اشیاع (%)	بافت خاک
۰_۳۰	۴۷	۳۹	۱۴	۱/۵۸	۰/۶۱۳	۷۹/۵۲	رس سیلیتی

## جدول ۲. نتایج تجزیه کیفی آب آبیاری

آنیون‌های محلول (meq/lit)						pH	SAR	هدایت الکتریکی (dS/m)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>			
۵/۲	۳/۲	۰/۳	۷	۳/۳	۳/۱	۷/۶	۳/۹	۱/۳۵۲



الف) خاک همزن مرسوم تیلاری  
ب) رتیواتور تراکتوری  
ج) خاک همزن دوار تیلاری  
د) پادرل مخروطی تیلاری

شکل ۱. ادوات مرسوم برای عملیات پادلینگ در شالیزار (الف و ب) و ادوات ساخته شده توسط مؤسسه تحقیقات برج  
برای عملیات پادلینگ در شالیزار (ج و د)

T <sub>۱</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	T <sub>۲</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	T <sub>۳</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	T <sub>۴</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	R <sub>۱</sub>
T <sub>۱</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	T <sub>۲</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	T <sub>۳</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	T <sub>۴</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	R <sub>۱</sub>
P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	T <sub>۱</sub>	P <sub>۱</sub>	P <sub>۲</sub>	P <sub>۳</sub>	P <sub>۴</sub>	R <sub>۱</sub>

شکل ۲. آرایش تیمارهای آزمایشی در مزرعه

استفاده از گاوآهن برگردان دار در عمق یکسان ۲۰ سانتی متر انجام شد. یک هفته پس از شخم اول، مجدداً زمین تا حد اشباع کامل آبیاری گردید، به نحوی که ارتفاع ۵ سانتی متر آب روی سطح خاک قرار بگیرد. زمانی که نیروی چسبندگی بین ذرات به حداقل رسید، تیمارهای ادوات خاکورزی و دفعات پادلینگ

قطعه زمینی در حدود ۱۵۰۰۰ مترمربع در هر تکرار (جمعاً ۴۵۰۰ مترمربع در سه تکرار) انتخاب و هر قطعه به ۱۶ کرت (در مجموع ۴۸ کرت) به ابعاد ۱۳×۶/۵ متر که با مزینندی از هم جدا شده بودند انتخاب شد (شکل ۲). در مرحله آماده سازی زمین، کرت ها آبیاری شدند و شخم اولیه در همه تیمارها با



شکل ۳. صفحات فشاری مورد استفاده در تعیین قابلیت نگهداری آب در خاک

سلسیوس قرار داده تا رطوبت موجود در نمونه ها کاملاً تبخیر گردد. پس از این مدت، نمونه ها را از آون بیرون آورده و بلافاصله با ترازوی دیجیتال وزن شدند (۵). مقادیر تخلخل با داشتن وزن مخصوص حقیقی  $2/65$  گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمد.

برای تعیین قابلیت نگهداری آب خاک، منحنی مشخصه رطوبتی رسم شد. در آزمایشگاه، مقدار رطوبت آزاد شده از هر یک از نمونه های خاک برای تیمار بدون عملیات خاک ورزی (شاهد)، منحنی کامل شامل تمام صفحات فشاری  $15, 9, 6, 2, 1$  و  $0/3$  بار و نمونه های مرکب از فاکتور ادوات خاک ورزی در چهار سطح و فاکتور دفعات پادلینگ در چهار سطح در نقاط اشباع،  $1, 0/3$  و  $15$  بار با استفاده از صفحات فشاری اندازه-

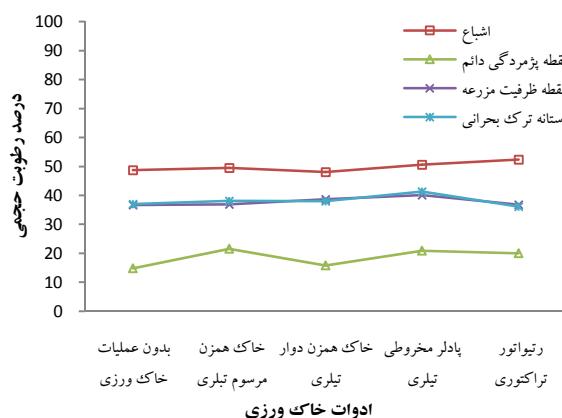
گیری شد و منحنی مشخصه رطوبتی نمونه ها رسم گردید. برای آزمایش  $0/3$  و  $1$  بار از نمونه ها گل اشباع تهیه شد و درون رینگ های مخصوص دستگاه ریخته شد. وزن تر آنها با ترازوی دیجیتالی ثبت شد و نمونه ها داخل دستگاه قرار داده شد. پس از پایان آزمایش، وزن خشک آنها اندازه گیری گردید (شکل ۳-الف). برای آزمایش  $15$  بار، خاک های مورد آزمایش

متفاوت در کرت ها اعمال شد.

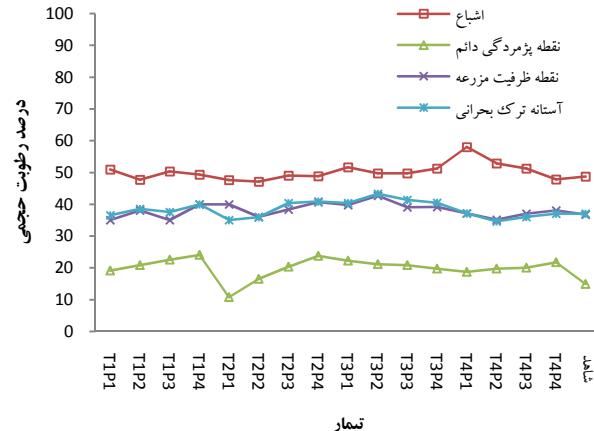
این تحقیق در بافت خاک غالب استان در اراضی شالیزاری (رس سیلتی) در عمق صفر تا  $30$  سانتی متر انجام شد. آزمایش در مزرعه به صورت کرت های خرد شده با دو فاکتور، بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل ادوات شخم در چهار سطح شامل: ۱- خاک همزن مرسوم تیلری  $T_1$ ، ۲- خاک همزن دوار تیلری  $T_2$ ، ۳- پادرل مخروطی تیلری  $T_3$  و ۴- رتیواتور تراکتوری  $T_4$  و تعداد دفعات پادلینگ در چهار سطح شامل: ۱- یک بار پادلینگ  $P_1$ ، ۲- دوبار پادلینگ  $P_2$ ، ۳- سه بار پادلینگ  $P_3$  و ۴- چهار بار پادلینگ  $P_4$  بودند.

#### صفات اندازه گیری شده

نمونه گیری از خاک دست نخورده جهت اندازه گیری رطوبت وزنی و وزن مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندرهای فلزی با وزن و حجم مشخص صورت گرفت. بلافاصله پس از آماده شدن نمونه های مرطوب، آنها را با استفاده از ترازوی دیجیتالی وزن کرده و به مدت  $48$  ساعت در آون با دمای  $105$  درجه



شکل ۵. مقایسه درصد رطوبت حجمی در نقطه اشباع و پژمردگی دائم برای ادوات مختلف خاک ورزی



شکل ۶. روند تغییرات درصد رطوبت حجمی در نقطه اشباع و پژمردگی دائم برای ادوات مختلف خاک ورزی با دفعات پادلینگ مختلف

کردند که با نتایج به دست آمده از پادرل مخروطی تیلری هم خوانوای دارد.

روند رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی نشان می دهد که در خاک همزن مرسوم تیلری، خاک همزن دوری تیلری و رتیواتور تراکتوری، با افزایش دفعات پادلینگ، درصد رطوبت حجمی خاک افزایش پیدا می کند (شکل ۵). رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی در پادرل مخروطی تیلری بیشترین مقدار (۴۰/۱۸٪) و بدون عملیات خاک ورزی کمترین مقدار (۱۸/۰٪) را نشان داد. همچنین رطوبت خاک در خاک همزن مرسوم تیلری تراکتوری (۷۶/۳۸٪)، خاک همزن دوری تیلری (۷۶/۳۸٪) و رتیواتور تراکتوری (۸۲/۳۶٪) مشاهده شد (شکل ۶). نتایج گویای این واقعیت است که در حالت ظرفیت زراعی و خروج آب ثقلی، پادرل مخروطی تیلری رطوبت بیشتری از خاک را در خود نگه می دارد که می تواند در موقع نوبت بندی آبیاری گزینه مناسبی برای عملیات پادلینگ در شالیزار باشد. سپاسخواه و همکاران (۱۲) مقدار درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی را ۳۲ درصد، صوفی الدین و همکاران (۱۳)، ۳۵ درصد رضایی و همکاران (۴)، ۳۸ درصد برآورد کردند که طیف به دست آمده با نتایج به دست آمده از این تحقیق همخوانی دارد. روند تغییرات رطوبت حجمی خاک در نقطه آستانه

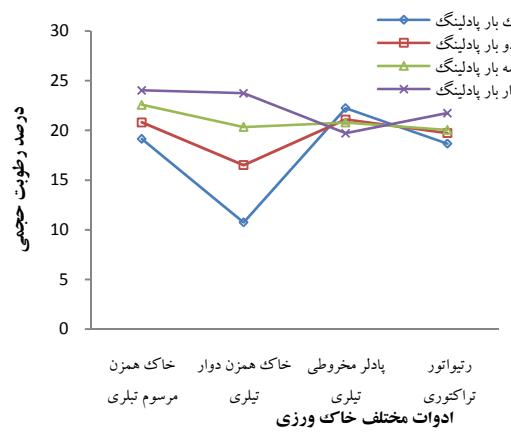
در آون خشک شده و سپس کوبیده شدن و از الک شماره ۱۰ عبور داده شدند و ۳۰ گرم از هر خاک به آزمایشگاه منتقل شد (شکل ۳- ب).

## نتایج و بحث

روند تغییرات رطوبت حجمی خاک در نقطه اشباع نشان می دهد که در ادوات خاک ورزی، با افزایش دفعات پادلینگ، درصد رطوبت خاک کاهش پیدا می کند (شکل ۶). درصد رطوبت حجمی خاک در نقطه اشباع، در خاک همزن دوری تیلری کمترین (۴۸/۱۵٪) و در رتیواتور تراکتوری بیشترین مقدار (۵۲/۴۶٪) را نشان دادند. همچنین در خاک همزن مرسوم تیلری رطوبت حجمی خاک ورزی (۴۹/۵۶٪)، در پادرل مخروطی تیلری (۵۰/۶٪) و در خاک بدون عملیات خاک ورزی (۴۸/۷۵٪) مشاهده شد (شکل ۵). نتایج نشان می دهد در حالت اشباع غرقابی زمین رتیواتور تراکتوری رطوبت بیشتری از خاک را در خود نگه می دارد. صوفی الدین و همکاران (۱۳) مقدار درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه اشباع را ۴۵ درصد برآورد کردند که مشابه دو دستگاه خاک همزن دوری تیلری و خاک بدون عملیات خاک ورزی می باشد. همچنین سپاسخواه و همکاران (۱۲) مقدار درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه اشباع را ۵۱ درصد برآورد



شکل ۷. مقایسه اثر ادوات خاکورزی بر درصد رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم



شکل ۸. مقایسه اثر دفعات پادلینگ بر درصد رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم

بحرانی را ۲۷ و ۲۸ درصد برآورد کردند که در این تحقیق این مقدار بین ۳۶-۴۱ درصد برآورد شد.

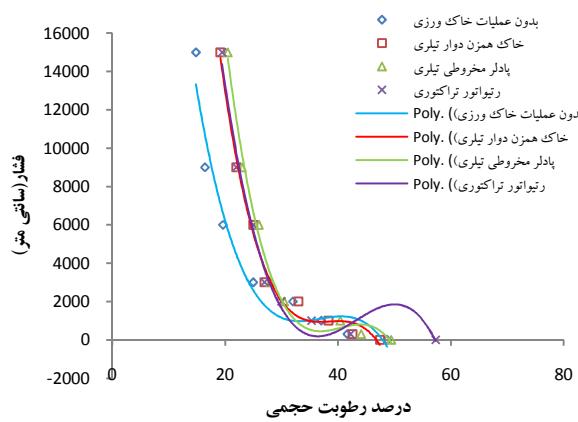
رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم، در خاک همزن مرسوم تبلی بیشترین مقدار (٪ ۲۱/۶۳)، خاک همزن دوار تبلی کمترین مقدار (٪ ۱۷/۸۱) و در خاک بدون عملیات خاک ورزی (٪ ۱۴/۸۳) و در پادر مخروطی تبلی و رتیواتور تراکتوری مقادیر مشابه (٪ ۲۰/۹۴ و ٪ ۲۰/۰۳) می‌باشد (شکل ۶). روند تغییرات رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم نشان می‌دهد که در خاک همزن مرسوم تبلی، خاک همزن دوار تبلی و رتیواتور تراکتوری، با افزایش دفعات پادلینگ، درصد رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم افزایش می‌یابد (شکل‌های ۶ و ۷). صوفی الدین و همکاران (۱۳) مقدار درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم را ۲۰ درصد برآورد کردند که با نتایج حاصل از دو دستگاه پادر مخروطی تبلی و رتیواتور تراکتوری همخوانی دارد. همچنین سپاسخواه و همکاران (۱۲) مقدار درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم را ۱۵ درصد برآورد کردند که با نتایج حاصل از خاک بدون عملیات خاکورزی همخوانی دارد.

از تفاضل رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، میزان آب قابل استفاده خاک محاسبه می‌شود. روند تغییرات آب قابل استفاده خاک نشان می‌دهد که با افزایش

ترک‌های بحرانی نشان می‌دهد که در خاک همزن مرسوم تبلی، خاک همزن دوار تبلی و رتیواتور تراکتوری، با افزایش دفعات پادلینگ، درصد رطوبت حجمی خاک افزایش پیدا می‌کند (شکل ۵). درصد رطوبت حجمی خاک در نقطه آستانه ترک‌های بحرانی در خاک همزن دوار تبلی با دو بار پادلینگ کمتر از مقدار خاک بدون عملیات خاک ورزی می‌باشد. رطوبت در دستگاه پادر مخروطی تبلی، با دفعات مختلف پادلینگ، بیشتر از خاک بدون عملیات خاکورزی می‌باشد (شکل ۵). رطوبت حجمی خاک در نقطه آستانه ترک‌های بحرانی، در پادر مخروطی تبلی بیشترین مقدار (٪ ۴۱/۳۹)، رتیواتور تراکتوری کمترین مقدار (٪ ۳۶/۱۹)، خاک همزن مرسوم و دوار تبلی مقادیر مشابه (٪ ۳۸/۱۳ و ٪ ۳۸/۰۲) و در خاک بدون عملیات خاکورزی (٪ ۳۷/۰۷) می‌باشد (شکل ۶). در آبیاری نوبتی در شالیزار، ترک‌ها مسئله بسیار مهمی است زیرا ترک‌ها باعث فرار آب از خاک شده و همچنین آبغیری‌های بعدی کرت رانیز با مشکل مواجه می‌کنند که دانستن حد رطوبتی آستانه ترک‌ها بحرانی می‌تواند برای هر یک از ادوات خاکورزی راهگشای خوبی برای جلوگیری از بروز ترک‌ها در خاک باشد. رضایی و همکاران (۴) و سپاسخواه و همکاران (۱۲) مقدار درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه آستانه ترک‌های

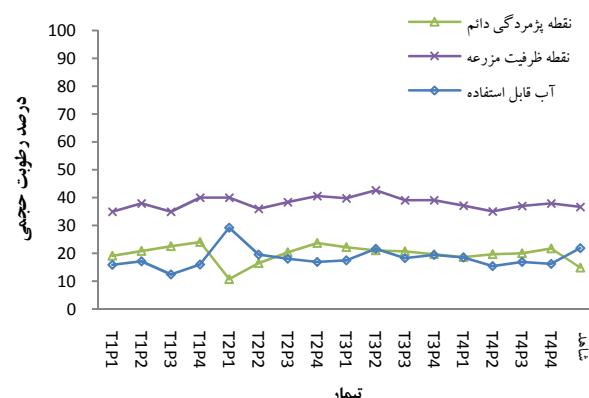


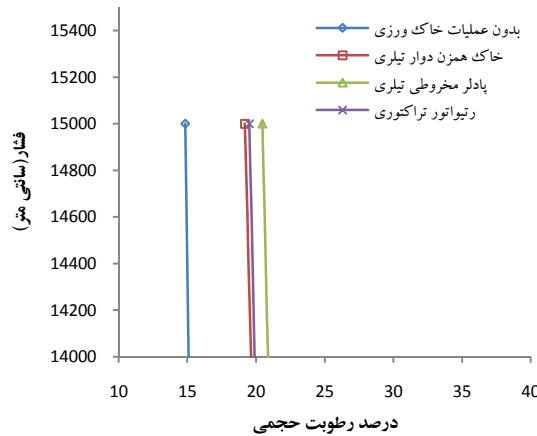
شکل ۹. روند درصد رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم و آب قابل استفاده ادوات مختلف خاک ورزی



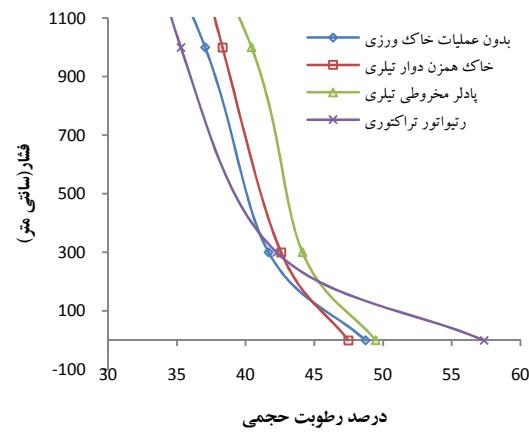
شکل ۱۱. مقایسه منحنی مشخصه خاک بدون عملیات خاک ورزی با خاک پادل شده با ادوات مختلف خاک ورزی

و ریتوانور تراکتوری رسم گردید (شکل های ۱۰ و ۱۱). رطوبت حجمی خاک در نقطه اشباع، در عملیات پادلینگ با ریتوانور تراکتوری، پادرل مخروطی تیلری، بدون عملیات خاک ورزی و خاک همزن دوار تیلری به ترتیب  $49/49$ ،  $57/34$ ،  $48/74$  و  $47/46$  درصد می باشد. رطوبت حجمی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، در عملیات پادلینگ با پادرل مخروطی تیلری، خاک همزن دوار تیلری، ریتوانور تراکتوری و بدون عملیات خاک ورزی به ترتیب  $44/15$ ،  $42/27$ ،  $42/58$  و  $41/68$  درصد می باشد. رطوبت حجمی خاک در نقطه آستانه ترک های بحرانی، در عملیات پادلینگ با پادرل مخروطی تیلری، خاک همزن دوار تیلری، بدون عملیات خاک ورزی و ریتوانور

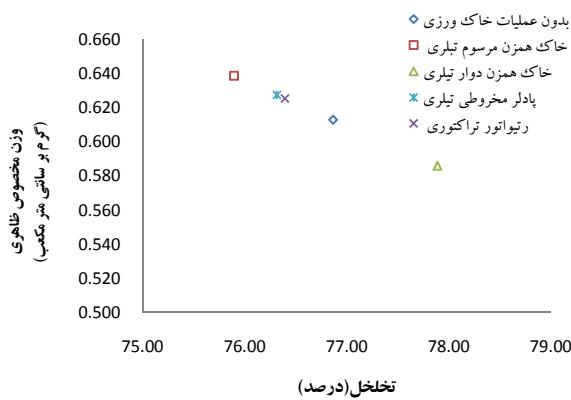




شکل ۱۳. مقایسه منحنی مشخصه خاک بدون عملیات خاک ورزی و خاک پادل شده با ادوات خاک ورزی مختلف در پژمردگی دائم (۱۵۰۰۰ سانتی متر)

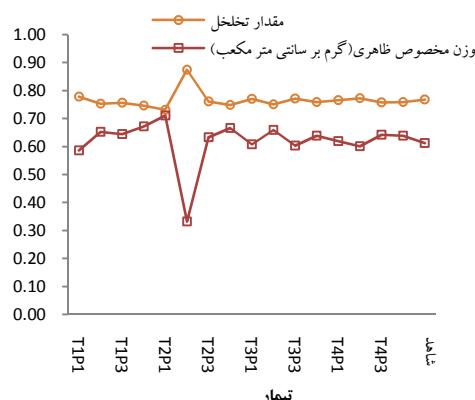


شکل ۱۲. مقایسه منحنی مشخصه خاک بدون عملیات خاک ورزی و خاک پادل شده با ادوات خاک ورزی مختلف در فشار اشباع، ظرفیت زراعی (۳۰۰ سانتی متر)، آستانه ترک بحرانی (۱۰۰ سانتی متر)



شکل ۱۵. تغییرات تخلخل بر حسب وزن مخصوص ظاهری در تیمارهای مختلف خاک ورزی

می دهد که با افزایش دفعات پادلینگ، در خاک همزن مرسوم تیلری، وزن مخصوص ظاهری افزایش و تخلخل خاک کاهش می یابد (شکل ۱۴). خاک همزن مرسوم تیلری دارای بیشترین وزن مخصوص ظاهری (۰/۶۳۹ گرم بر سانتی متر مکعب) و کمترین تخلخل (۷۵/۸۹ درصد) است. خاک همزن دور تیلری دارای بیشترین تخلخل (۷۷/۸۹ درصد) و کمترین وزن مخصوص ظاهری (۰/۵۸۶ گرم بر سانتی متر مکعب) می باشد (شکل ۱۵).



شکل ۱۴. مقایسه روند تخلخل و وزن مخصوص ظاهری برای ادوات مختلف خاک ورزی با دفعات مختلف پادلینگ

تراکتوری به ترتیب ۴۰/۴۴، ۳۸/۳۲، ۳۷/۰۷ و ۳۵/۳۱ درصد می باشد (شکل ۱۲). رطوبت حجمی خاک در نقطه پژمردگی دائم، در عملیات پادلینگ با پادل مخروطی تیلری، رتیواتور تراکتوری، خاک همزن دور تیلری و بدون عملیات خاک ورزی به ترتیب ۱۹/۱۷، ۱۹/۴۹، ۲۰/۴۷ و ۱۴/۳۸ درصد می باشد (شکل ۱۳).

روند تغییرات تخلخل و وزن مخصوص ظاهری برای ادوات مختلف خاک ورزی با دفعات مختلف پادلینگ نشان

## نتیجه‌گیری

رتیواتور تراکتوری، در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، روند افزایش رطوبت خاک به ترتیب در خاک بدون عملیات خاک ورزی، خاک همزن دوار تیلری، رتیواتور تراکتوری و سپس پادرل مخروطی تیلری مشاهده شد. در نقطه آستانه ترک‌های بحرانی، روند افزایش رطوبت خاک به ترتیب در ادوات خاک‌ورزی رتیواتور تراکتوری، خاک بدون عملیات خاک ورزی، خاک همزن دوار تیلری و پادرل مخروطی تیلری می‌باشد. این روند در نقطه اشباع به صورت خاک همزن دوار تیلری، خاک بدون عملیات خاک ورزی، پادرل مخروطی تیلری و رتیواتور تراکتوری می‌باشد.

## سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری دانشگاه صنعتی اصفهان و مؤسسه تحقیقات برنج کشور در تمام مراحل انجام آزمایش کمال تشکر را داریم.

در نقطه اشباع، رتیواتور تراکتوری بیشترین مقدار رطوبت را نشان می‌دهد که به این معنی است که زمانی که خاک مزرعه اشباع کامل است رتیواتور تراکتوری نسبت به سایر ادوات رطوبت بیشتری را در خاک نگه می‌دارد. در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، پادرل مخروطی تیلری بیشترین مقدار رطوبت را نشان می‌دهد که به این معنی است که در شرایط کمبود آب و عدم امکان شرایط غرقاب کامل، استفاده از پادرل مخروطی تیلری برای نگه داشتن بیشترین رطوبت در خاک توصیه می‌شود. در ادوات مختلف خاک‌ورزی، با افزایش دفعات پادرلینگ، رطوبت خاک کاهش می‌یابد. در مقایسه خاک بدون عملیات خاک‌ورزی با خاک همزن دوار تیلری و پادرل مخروطی تیلری، میزان آب قابل استفاده خاک کاهش یافت. در مقایسه منحنی مشخصه خاک بدون عملیات خاک‌ورزی با خاک همزن مرسوم تیلری، خاک همزن دوار تیلری، پادرل مخروطی تیلری و

## منابع مورد استفاده

1. جعفری، ف. ۱۳۸۶. خصوصیات هندسی درز و شکاف‌های خاک‌های متورم شونده اراضی شالیزاری استان گیلان پس از برداشت محصول. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۶-۱۸ بهمن، کرمان.
2. رضوی‌پور کومله، ت. ۱۳۷۸. اندازه‌گیری نفوذ عمقی آب در بافت‌های مختلف شالیزار در دو مرحله از رشد برنج. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
3. رفیع، م. ج. ۱۳۷۰. فیزیک خاک. (تألیف کهنگ، ه.)، انتشارات دانشگاه تهران.
4. رضایی، ل.، م. شعبانپور و ن. دواتگر. ۱۳۹۰. برآورد پارامتر مقیاس به روشن‌های مختلف در مدل آریا و پاریس برای بهبود تخمین منحنی مشخصه آب خاک. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲. شماره ۲۱. ص ۱۰۳-۱۱۴.
5. علیزاده، ا. ۱۳۸۰. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۵۵ صفحه.
6. بیزدانی، م.، م. شریفی، ت. رضوی پور و ن. شرفی. ۱۳۸۲. مقایسه مدیریت‌های مختلف آبیاری در زراعت برنج گیلان. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ص ۱۴۳-۱۵۴.
7. یوسفی مقدم شیخانی، س.، ۱۳۸۶. تأثیر شدت پادرلینگ بر ویژگی‌های فیزیکی سه بافت خاک غالب در اراضی شالیزاری استان گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
8. Fukuda, H. and H. Tsutsoi. 1979. Rice Irrigation in Japan. JAJA.
9. Inoue, H. and K. Tokunaga. 1995. Soil and water management. PP. 305-324. In: T. Tabuchi and S. Hasegawa (Eds.), Paddy Fields in the World, Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, Tokyo, Japan.
10. Mohanty, M., D. K. Painuli and K. G. Mandal. 2004. Effect of puddling intensity on temporal variation in soil physical conditions and yield of rice (*Oriza sativa* L.) in a Vertisol of central India. Soil Till. Res. 76: 83-94.

11. Shrivastava, A. K. and R. K. Datta. 2006. Effect of different size and orientation of rectangular rotary blades on quality of puddling. *J. Terramechanics* 43(2): 191-203.
12. Sepaskhah, A. R. and M. R. Rafiee. 2008. Evaluation of scaling parameter to predict soil water characteristic curve using improved particle-size distribution *Iran. J. Sci. Technol., B. Eng.*, 32(B5): 549-556.
13. Sofiyuddin, A. Martief, M. Setiawan and I. Chusnul Arif. 2010. Evaluation of crop coefficients from water consumption in paddy field. *6<sup>th</sup> Asian Regional Conference, ICID*, 10-16 October, Yogyakarta, Indonesia.
14. Yoshida, S. and K. Adachi. 2002. Influence of puddling intensity on the water retention characteristic of clayey paddy soil. *17<sup>th</sup> WCSS*, 14-21 August, Thailand, Symposium No. 53, 235: 1-8.