نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۸، مرداد – شهریور ۱۴۰۳، ص. ۳۹۱-۳۷۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 18, Aug.-Sep. 2024, p. 377-391

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر آبیاری کرت به کرت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد برنج رقم شیرودی

محمد حسن بیگلوئی[1*]، علی عابد[2]، مریم نوابیان[3]، غلامرضا محسن آبادی[4]، الهه تشکری فرد[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹

چکیده

به منظور بررسی تأثیر آبیاری کرت به کرت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد برنج رقم شیرودی، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. این پژوهش در سه تکرار و هر تکرار شامل شش کرت بود که به صورت کرت به کرت در یک ردیف عمودی از ۱ تا ۶ نام گذاری شدند. ویژگی‌های کیفی خاک در دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری و عملکرد دانه برنج رقم شیرودی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین شوری (۳/۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر)، کل مواد جامد محلول (۲۳۱۶/۶ میلی‌گرم بر لیتر)، غلظت نیترات (۶/۳ میلی‌گرم بر لیتر)، سدیم (۴۰۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر)، کلسیم (۴۱۰/۸ میلی‌گرم بر لیتر) و نسبت جذب سدیم (۵/۶ میلی‌اکی والان بر لیتر) در عصاره اشباع خاک برای عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری کرت ششم به دست آمد. در حالی که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۹۰۳۵/۵۴ کیلوگرم بر هکتار در کرت چهارم حاصل شد. با وجود یکسان بودن عملیات زراعی در کرت‌ها، املاح محلول خاک و عملکرد دانه در آنها متفاوت بود که می‌تواند به دلیل اختلاف در مقادیر عناصر غذایی در کرت‌ها باشد. بنابراین، جهت بازداری از تغییر مقدار عناصر تغذیه‌ای از کرتی به کرت دیگر، بایستی فرصت لازم جهت جذب عناصر غذایی آب و محلول خاک توسط گیاه در کرت‌ها ایجاد شود تا بر عملکرد نهایی اثرگذار باشد. در مجموع، به دلیل کاهش تنها ۵/۹۲ و ۴/۳۳ درصدی عملکرد شلتوک در کرت ششم به ترتیب نسبت به کرتهای چهارم و اول به نظر می‌رسد با توجه به محدودیت منابع آبی در شمال کشور، کاربرد آبیاری کرت به کرت برای کاشت برنج نیاز به بررسی بیشتر و دقیق‌تر جهت دستیابی به بیشترین رشد و عملکرد در منطقه را دارد.

واژه‌های کلیدی: شوری عصاره اشباع، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم، نیترات

مقدمه

برنج یکی از قدیمی‌ترین دانه‌های اهلی شده جهان می‌باشد که در بخش‌های وسیعی از سراسر دنیا کشت می‌شود، به طوری که بیش از نه درصد زمین‌های قابل کشت جهان را پوشش می‌دهد و غذای اصلی بیشتر از نصف جمعیت جهان را فراهم می‌کند (Mallareddy et al., 2023). برنج نسبت به سایر گیاهان زراعی آبی، بیشترین سطح زیر کشت را دارا بوده در حالی که بازده آبیاری آن نسبت به دیگر غلات کمتر می‌باشد. گزارش شده است که تولید یک کیلوگرم برنج در حدود سه برابر گندم آب نیاز دارد (رحیمی پول و همکاران، ۱۴۰۰) بنابراین، خشکی مهمترین عامل محدودکننده تولید برنج در سطح جهان است و لزوم استفاده بهینه از منابع آبی و کاربرد روش‌های مختلف آبیاری و بررسی آنها در مقایسه با روش آبیاری غرقابی می‌باشد (Zhang et al., 2023).

آبیاری برنج یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید این محصول بوده و بدون آب بیشتر عملیات زراعی از قبیل نشاکاری، کوددهی، سم‌پاشی و کنترل علف‌های هرز غیر ممکن می‌باشد (Iguaz et al., 2006). بنابراین، با توجه به کمبود منابع آبی، جایگزینی روش آبیاری دائم یا سنتی با روش‌های مختلف آبیاری در راستای افزایش بهره‌وری آب و عملکرد برنج امری لازم و ضروری می‌باشد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۳). گزارش‌های موجود حاکی از آن است که با مدیریت مناسب کاربرد آب و اعمال دور مناسبی از آبیاری می‌توان بدون ایجاد تنش و کاهش عملکرد و یا با درصد قابل قبولی از کاهش

۱- دانشیار، گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳- دانشیار گروه مهندس آب دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۵- دانشجوی سابق دکتری گروه زراعت اصلاح و نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: biglou@guilan.ac.ir

عملکرد، در مصرف آب به مقدار قابل توجهی صرفه‌جویی کرد (Venuprasad et al., 2007). تاکنون پژوهش‌های فراوانی جهت کاهش مصرف آب و عملکرد برنج در زمین‌های برنج‌کاری ایران انجام شده و در بسیاری از موارد نتایج امیدبخشی به دست آمده است (عیسی‌پور نخجیری و همکاران، ۱۴۰۰؛ رحیمی پول و همکاران، ۱۴۰۰). استفاده دوباره از زه‌آب زمین‌های بالادست یکی از این روش-ها است (Ashraful Habib et al., 2023) و روش آبیاری کرت به کرت یکی از شیوه‌های متداول آبیاری برنج در استان گیلان می‌باشد، در حالی که این شیوه آبیاری در کشور از نظر عملکرد کمی و کیفی محصول نسبت به آبیاری مستقیم بایستی مورد بررسی بیشتری قرار گیرد.

پژوهش‌های بسیار حاکی از آن است که واکنش عملکرد برنج در رژیم‌های مختلف آبیاری، متفاوت می‌باشد. سلحشور دلیوند و همکاران (۱۳۸۸) معتقدند در آبیاری اشباع کرت به کرت، رطوبت خاک زمین‌های شالیزاری بدون قرار گرفتن آب بر سطح خاک همواره در حد اشباع نگه داشته می‌شود. این شیوه همچنین، منجر به کاهش مصرف آب شده و می‌تواند افزایش بهره‌وری آب در مزارع برنج را به همراه داشته باشد. این محققین معایب این روش را نیاز به پایش و کنترل دقیق رطوبت خاک، تسطیح دقیق زمین شالیزار و افزایش رشد علف‌های هرز بیان کردند. در پژوهشی دیگر، اثر مدیریت آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب در برنج رقم طارم هاشمی مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با انجام آبیاری تناوبی با دور هشت روز تا مرحله گلدهی تنها با کاهش چهار درصدی عملکرد در مقایسه با غرقاب دائم، آب مصرفی حدود ۶۱ درصد کاهش می‌یابد (Feng et al., 2023).

تأمین غذای مورد نیاز بشر سبب توسعه آبیاری و استفاده مداوم از کودها و آفت‌کش‌ها شده است که این امر در کنار طراحی و مدیریت نادرست سامانه‌های آبیاری و زهکشی که عامل اصلی تولید حجم بالای زه‌آب می‌باشد، بخش کشاورزی را به یکی از بزرگ‌ترین منابع آلاینده آب تبدیل کرده است (رجب‌زاده و پذیرا، ۱۴۰۱). مهم‌ترین مشکل جهت استفاده دوباره از زه‌آب کشاورزی، مناسب بودن کیفیت زه‌آب و به دنبال آن تعیین نسبت اختلاط بین زه‌آب و آب آبیاری به منظور برآوردن استانداردهای موجود در محل استفاده دوباره می‌باشد. در بررسی کیفیت آب از نظر آبیاری بایستی عوامل مختلفی را در نظر گرفت، زیرا کیفیت نامطلوب آب نه تنها گیاه را تحت تأثیر قرار می-دهد، بلکه ساختار خاک را هم دچار تغییر می‌کند (شجاعی و عصاره، ۱۳۹۸).

حویزاوی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی تأثیر آبیاری با زه‌آب نیشکر بر ویژگی‌های خاک نشان دادند که در شرایط اختلاط آب شیرین با زه‌آب، منیزیم، سدیم قابل تبادل، پتاسیم قابل جذب، کلر و بی‌کربنات خاک افزایش معنی‌داری یافت که می‌تواند منجر به شوری خاک شود. در پژوهشی مشخص شد که با افزایش شوری آب آبیاری، املاح در نیمرخ خاک به ویژه در لایه سطحی افزایش یافت و اعمال مدیریت آبیاری و آبشویی روند افزایش شوری خاک را در طول فصل زراعی کاهش داد (فیضی، ۱۳۹۲). با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور ضروری است که برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در زمین‌های شالیزاری شمال کشور انجام شود. بنابراین، بررسی تغییر مکانی و زمانی و شناخت آهنگ تغییر و جابه-جایی عناصر غذایی مورد نیاز برنج و املاح محلول در آب خاک، در سامانه آبیاری کرت به کرت می‌تواند در اعمال به موقع عملیات زراعی (مدیریت آبیاری، کوددهی به صورت پایه یا سرک، واکاری و آبشویی زمستانه)، افزایش بهره‌وری آب و کارآیی ماشین آلات کشاورزی و کاهش بار آلودگی زه‌آب مؤثر باشد. از این رو، پژوهش حاضر با هدف مطالعه تأثیر آبیاری کرت به کرت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد برنج در منطقه رشت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۶در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۶۴ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۸ متر از سطح دریا انجام شد (شکل۱). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، میانگین ماهیانه برخی داده‌های هواشناسی طی شش ماه فصل رشد گیاه در جدول ۲ نشان داده شده است.

این پژوهش در سه ردیف، در مجموع ۱۸ کرت با ابعاد ۹×۶ متر مربع، اجرا شد. عمق آب در سطح خاک در هر کرت در فاصله دو آبیاری بین دو تا پنج سانتی‌متر حفظ شد. جریان آب از کرت بالادست به کرت‌های پائین دست در هر سه ردیف پس از رسیدن آب به ارتفاع مورد نظر در هر کرت به وسیله لوله رابط که بین دو کرت متوالی تعبیه شده بود، تنظیم شد. پس از رسیدن سطح آب به ارتفاع پنج سانتی‌متر در هر کرت پائین دست، جریان آب در خروجی کرت بالادست قطع شد. زمان آبیاری بعدی پس از رسیدن ارتفاع آب در سطح خاک به دو سانتی‌متر در هر یک از کرت‌ها (بدون خروج آب از انتهای کرت آخر) بود. مقدار آب آبیاری در هر نوبت آبیاری در طی دوره رشد گیاه، به وسیله کنتور آب (با دقت ۰/۱ لیتر) که در سامانه انتقال آب پس از پمپ تعبیه شده بود، اندازه‌گیری شد. آبیاری مزرعه از کانال آبیاری ابتدای مزرعه که امتداد شبکه آبیاری سفید رود می-باشد با به‌کارگیری سامانه انتقال تحت فشار انجام شد. تصویر ماهواره‌ایی موقعیت جغرافیایی طرح آبیاری کرت به کرت و همچنین اجرای آن در مزرعه به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

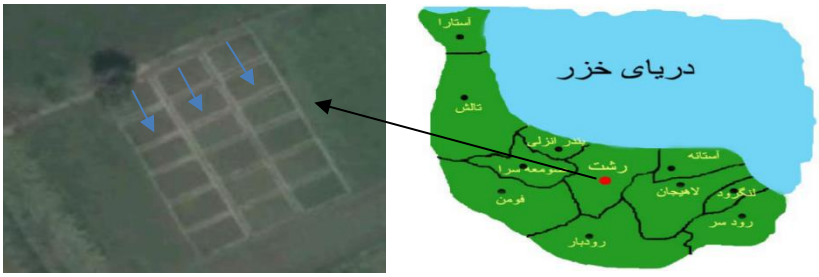
جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	ضریب آبگذری (cm/day)	هدایت الکتریکی (mmhos/cm)	اسیدیته	نسبت جذب سدیم (mg/lit)	نیترات (mg/lit)
۳۰-۰	۸/۳	۵۰/۷	۴۱	رسی	$<1\times10^{-5}$	۳/۲۸	۶/۳۷	۳/۵۰	۳/۷۳

رقم مورد استفاده در این پژوهش شیرودی بود که در تاریخ شش خرداد، پس از انتقال نشاها از خزانه به مزرعه اصلی، عملیات نشاکاری به‌صورت دستی با فاصله بین بوته‌ها در تمامی کرت‌ها ۲۵×۲۵ سانتی‌متر (تراکم ۱۶۰۰۰۰ بوته در هکتار) انجام شد. مطابق با عرف منطقه، مقدار کود نیتروژن ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره، به‌صورت سرک در سه مرحله اعمال شد که مرحله اول بعد ار مرحله واکاری در ۲۵ خرداد، مرحله دوم در زمان پنجه‌زنی و توسعه اندام هوایی در ۱۷ تیر و مرحله سوم در زمان خوشه‌دهی در ۱۲ مرداد ماه بود. دو هفته قبل از برداشت محصول، عملیات آبیاری جهت رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی قطع شد و برداشت گیاه در ۱۰ شهریور انجام شد. برای تعیین عملکرد برنج از هر کرت به‌صورت تصادفی ۴۸ بوته (سه متر مربع) با در نظر گرفتن حاشیه، کف‌بر شد. پس از خشک شدن بوته‌ها در هوای آزاد، ۴۰ بوته برای تعیین عملکرد به طور تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه خرمن‌کوب، شلتوک آنها از کاه و کلش جدا شد.

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های هواشناسی طی دوره رشد برنج در سال ۱۳۹۶

ماه‌های سال	دمای بیشینه (°c)	دمای کمینه (°c)	رطوبت نسبی (%)	تبخیر (mm)	ساعات آفتابی (hr)
فروردین	۱۸/۶	۸/۵	۷۷/۶	۲/۰۶	۴/۵
اردیبهشت	۲۴/۱	۱۴/۳	۷۷/۵	۲/۸	۵/۴
خرداد	۲۸/۲	۱۸/۷	۷۵	۴/۳	۷/۳
تیر	۳۱/۱	۲۰/۶	۷۳/۸	۴/۴	۷/۵
مرداد	۳۳/۸	۲۲	۶۸/۷	۵/۵	۹/۴
شهریور	۳۲/۵	۲۱/۲	۷۴/۳	۳/۹	۷/۹



شکل ۱-تصویرموقعیت جغرافیایی و ماهواره‌ای محل اجرای طرح

شکل ۲- تصویر طرح آبیاری کرت به کرت اجرا شده در مزرعه

برای بررسی تأثیر آبیاری کرت به کرت بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک کرت‌ها، ابتدا قبل از کشت یک نمونه (شامل ترکیبی از سه نمونه به‌صورت تصادفی) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه برداشت شد. پس از پایان فصل و رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی از کرت‌های مختلف در دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر، نمونه‌های خاک با ایجاد پروفیل تهیه و به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از خشک شدن در هوای آزاد، خاک‌ها کوبیده شده و از سرند دو میلی‌متری عبور داده شد. به‌منظور تهیه گل اشباع، یک نمونه ۱۰۰ گرمی تهیه و به آن آب مقطر افزوده شد. پس از ۲۴ ساعت، عصاره‌گیری از گل اشباع با دستگاه سانتریفیوژ انجام شد.

تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک براساس روش‌های مندرج در نشریه‌های ۸۹۳ و ۱۶۸ مؤسسه تحقیقات آب و خاک (Ehiaiy and Behbahanizade, 1993) انجام شد. اسیدیته، شوری و کل مواد جامد محلول با استفاده از pH متر و Multi conductivity سنج اندازه‌گیری شد. مقادیر کاتیون‌ها (سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم) و نیترات با استفاده از دستگاه یون کروماتوگراف مدل Metrohm 883 تعیین شد و به‌منظور تعیین نسبت جذب سدیم آب آبیاری از رابطه ۱ استفاده شد (علیزاده، ۱۳۹۵). پس از انجام آزمایش‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گرفت که کرت اول به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و تغییر ویژگی‌ها و عوامل مربوط به کرت‌های دیگر با داده‌های کرت اول که آبیاری آن به‌صورت مستقیم صورت گرفته بود، مقایسه شد. برای رسم نمودار و منحنی‌ها از برنامه Excel استفاده شد.

رابطه (۱) $$SAR(meq/l^{0.5}) = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

که در آن SAR نسبت جذب سدیم، Na غلظت سدیم (meq/l)، Ca غلظت کلسیم (meq/l) و Mg غلظت منیزیم (meq/l) می‌باشد.

نتایج و بحث

شوری محلول خاک (EC_e)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر شوری عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، به‌طوری که نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، شوری عصاره اشباع خاک مزرعه در هر دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر از کرت اول تا کرت ششم افزایش یافت، این در حالی بود که در تمامی کرت-ها مقدار شوری در عمق صفر تا ۱۵ به طور معنی‌داری بیشتر از عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بود. از این رو، مقدار شوری در کرت ششم در عمق های صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب ۳۵/۷۷ و ۳۱/۰۱ درصد بیشتر از کرت اول(شاهد) بود (شکل ۳). هر چند بین کرت‌های اول، دوم و سوم از نظر شوری عصاره اشباع خاک در عمق های مورد نظر اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۳).

با توجه به اینکه حد بحرانی شوری برای گیاه برنج بین سه تا چهار میلی‌موس بر سانتی‌متر گزارش شده است (فلاح، ۱۳۹۸). شوری مشاهده شده در روش آبیاری مورد بررسی، در عمق صفر تا ۱۵ بین ۲/۴۸ تا ۳/۸۶ و در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر، بین ۱/۶ تا ۲/۳۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر متغیر بود که از نظر کشت برنج در منطقه خسارت‌زا نمی‌باشد. افزون بر این، در هر دو عمق از کرت اول تا آخر روند شوری افزایشی بود. این وضعیت ممکن است به دلیل جابه‌جایی املاح از لایه سطحی از طریق رواناب در کرت‌های ابتدایی باشد. از سوی دیگر، به دلیل بافت سنگین خاک و وجود لایه سخت، آبشویی به اعماق پایین (۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری) به مقدار اندکی صورت گرفته باشد. همچنین، در روش آبیاری اجرا شده ممکن است املاح پس از قطع آبیاری و با خشک شدن زمین، در لایه سطحی خاک تجمع یافته و منجر به افزایش شوری خاک در عمق نزدیک به سطح زمین شده باشد. بر همین اساس گزارش شده است که در کشت برنج به سبب شرایط غرقابی و حرکت یک جانبه رو به پایین آب، شوری ناحیه ریشه متناسب با شوری آب آبیاری خواهد بود. از این رو، هدایت‌الکتریکی لایه شخمی، به طور عمده عمق ۱۵ تا ۴۰ سانتی‌متر، نسبت به افق سطحی گلخراب کمتر است (سلحشور دلیوند و همکاران، ۱۳۹۵).

کل مواد جامد محلول (TDS)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر کل مواد جامد محلول عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کل مواد جامد محلول در هر دو عمق مورد نظر از کرت اول تا کرت ششم افزایش یافت، به‌طوری که مقدار کل مواد جامد محلول عصاره اشباع خاک در کرت ششم در عمق های صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب ۳۵/۷۷ و ۳۱/۰۱ درصد بیشتر از کرت اول (شاهد) بود (شکل ۴). هر چند بین کرت‌های اول، دوم و سوم و کرت‌های سوم، چهارم و پنجم از نظر کل مواد جامد محلول عصاره اشباع خاک در عمق ۱۵ تا ۳۰ اختلاف معنی داری وجود نداشت (شکل ۴)، ولی روند تغییرات کل مواد جامد محلول به طور میانگین در پنج کرت آخر در مقایسه با کرت اول (شاهد) در عمق‌های صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری به ترتیب برابر با ۲۰/۹۷ و ۱۶/۴۴ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد، شدت افزایش املاح به ازای هر کرت در عمق سطحی بیشتر بود.

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در عمق‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک و عملکرد

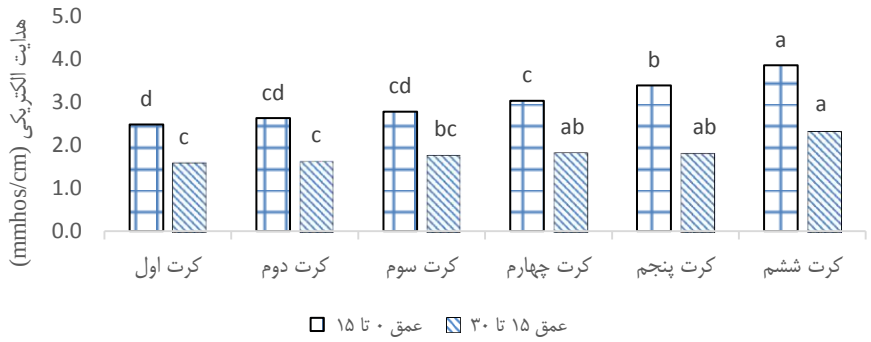
عمق ۱۵-۰

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		شوری عصاره اشباع خاک ECe	کل مواد جامد محلول TDS	اسیدیته pH	نیترات NO3	سدیم Na	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	نسبت جذب سدیم SAR
بلوک	۲	۰/۰۱۵۴۱۷	۰/۰۶۱	۰/۰۴۱۶	۰/۰۵۰	۰/۰۴۱۶۷	۰/۰۴۱۶۶	۰/۰۴۱۷	۰/۰۴۱۶۷	۰/۰۹۷۲۲۲
تیمار	۵	۰/۷۱۸۶۴**	۲۹۰۵۲۵/۵**	۰/۱۲۲۴^{ns}	۱۲/۵۶۸۷۴**	۱۴۶۴۳/۳۶۷**	۱/۹۳۴۱۲**	۱۵۸۱۰/۰۶۴**	۱۱۲/۷۲۴۸۵**	۱/۸۷۴۱۷۱۷۸**
خطای آزمایش	۱۰	۰/۰۱۵۴۱۲	۰/۰۶۱۰	۰/۰۴۱۶۶۶	۰/۰۵۰	۰/۰۴۱۶۷	۰/۰۴۱۶۶۷	۰/۰۴۱۶۷	۰/۰۴۱۶۷	۰/۰۹۷۲۲۲
ضریب تغییرات	-	۴/۰۷	۰/۰۱۴	۳/۲۸	۵/۳۳۲	۰/۰۶۹	۲/۲۳	۰/۰۷۰	۰/۴۳۹	۷/۱۸۰

عمق ۳۰-۱۵

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		شوری عصاره اشباع خاک ECe	کل مواد جامد محلول TDS	اسیدیته pH	نیترات NO3	سدیم Na	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	نسبت جذب سدیم SAR	عملکرد
بلوک	۲	۰/۰۳۵۷۱	۰/۰۳۶۰۱	۰/۰۳۵۷۱۴۳	۰/۰۴۳۳۵	۰/۰۳۵۷۱	۰/۰۳۷۱۶۲	۰/۰۳۵۷۱	۰/۰۳۵۷۱۴	۰/۰۳۵۷۱۴	۳۸۴۸۵۳۴/۹۳۵
تیمار	۵	۰/۶۸۸۸۸**	۲۵۱۸۳۵/۵**	۰/۱۱۶۵*	۱۰/۱۶۳**	۱۲۲۰۵/۶**	۱۰/۷۷۶۵**	۱۳۱۸۸/۰۳**	۱۸۹/۶۶**	۱/۶۸۸۹**	۱۳۵۲۹۵/۹۲۷*
خطای آزمایش	۱۰	۰/۰۳۵۷۱۴۳	۰/۰۲۲	۰/۰۳۵۷۱	۰/۰۴۱۳۵	۰/۰۳۵۷۱	۰/۰۳۷۱۶۲	۰/۰۳۵۷۱	۰/۰۳۵۷۱۴	۰/۰۳۵۷۱	۲۶۴۳۰۷/۲۳
ضریب تغییرات	-	۶/۱۷	۰,۰۰۸	۳/۰۳	۴/۹۴	۰/۰۶۴	۲/۰۸	۰/۰۶۵	۰,۳۸۹	۴/۴۰	۵/۸۴۸

** و * معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی دار نیست.

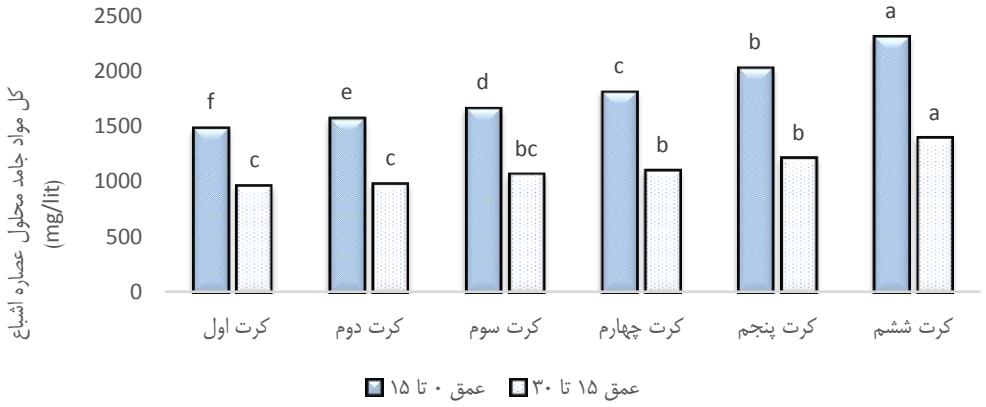


شکل ۳- شوری محلول عصاره اشباع خاک کرت‌ها

همچنین بررسی تغییرات کل مواد جامد محلول هر کرت با کرت ماقبل خود نشان داد که به دلایل لایه‌بندی خاک، تراکم کشت و غیریکنواختی توزیع کود (که به طور جامد استفاده می‌شود) نوسان در غلظت املاح محتمل است، به طوری‌که در عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری تغییرات در بین کرت اول و دوم، دوم و سوم، سوم و چهارم، چهارم و پنجم و پنجم و ششم به ترتیب برابر با ۵/۷۰، ۵/۳۹، ۸/۲۵، ۱۰/۶۲ و ۱۲/۲۰ درصد و در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری به ترتیب برابر با ۲/۱۴، ۸/۰۳، ۲/۷۳، ۹/۲۷ و ۱۳/۱۳ درصد بود.

غلظت کل نمک‌های محلول در عصاره اشباع خاک یکی از عوامل مهم در پژوهش‌های شوری زمین‌های کشاورزی است که این شاخص را می‌توان از روی EC با دقتی قابل قبول محاسبه کرد (فشائی و قوچانیان، ۱۴۰۰). همان گونه که پیش از این نیز ذکر شد وجود سخت لایه شخمی در کشت برنج به عنوان یک لایه به نسبت غیر قابل نفوذ مانع از حرکت آب و املاح به سوی لایه‌های پایینی می‌شود. از سوی دیگر، با جذب سطحی یون‌های حاصل از املاح در ذرات رس افق سطحی گلخراب، غلظت املاح در خاک‌های عمقی کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که هدایت الکتریکی عصاره اشباع در عمق‌های زیرین خاک کمترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، تبخیر از سطح خاک و حرکت کاپیلاری آب و املاح به سوی سطح خاک نیز در تجمع املاح در افق سطحی گلخراب مؤثر می‌باشد (سلحشور دلیوند و همکاران، ۱۳۹۵).

سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۲) در رودخانه چم انجیر خرم آباد، متغیرهای هدایت‌الکتریکی، سختی کل و کل مواد جامد محلول را دارای روند صعودی و معنی‌دار گزارش کردند. به طوری که بررسی این سه عامل نشان داد که افزایش ECe بیانگر افزایش مقدار کاتیون‌ها، آنیون‌ها و TDS است. همچنین، فشائی و قوچانیان (۱۴۰۰) بیان کردند که بین ECe و TDS همبستگی بالایی وجود دارد. در این پژوهش نیز افزایش ECe از کرت اول تا کرت آخر در هر دو عمق با افزایش TDS همراه بود.

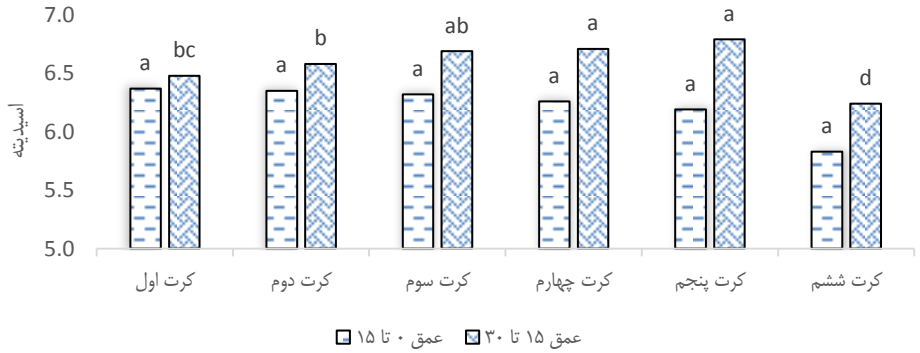


شکل ٤-کل مواد جامد محلول عصاره اشباع خاک کرت‌ها

اسیدیته (pH)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر اسیدیته خاک در عمق صفر تا ۱۵ معنی دار نبود ولی در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود

(جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، روند تغییر اسیدیته عصاره اشباع خاک کرت‌ها در دو عمق مورد مطالعه با یکدیگر تفاوت داشتند، به‌طوری که در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک از کرت اول تا کرت ششم هر چند اختلاف معنی‌داری نداشتند اسیدیته خاک کاهش یافت. در همان عمق از کرت اول تا پنجم، اسیدیته به طور متوالی از ۶/۳۷ به ۶/۱۹ رسید و در کرت ششم به‌طور میانگین عدد ۵/۸۳ را نشان داد که کمترین مقدار اسیدیته مشاهده شده در این پژوهش بود. در حالی که در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، کمترین و بیشترین مقدار اسیدیته عصاره اشباع خاک به ترتیب با ۶/۲۴ در کرت ششم و با ۶/۷۹ در کرت پنجم ثبت شد که اختلاف ۸/۱ درصدی را داشتند. بنابراین، تغییر اسیدیته عصاره اشباع خاک در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در کرت‌ها به غیر از کرت ششم آهنگ یکنواخت‌تری نسبت به عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری داشت (شکل ۵). کاهش اسیدیته عصاره اشباع خاک در کرت آخر می‌تواند به دلیل افزایش یون هیدروژن در اثر افزایش تصعید آمونیاک از آمونیوم انتقال یافته از کرت‌های بالادست باشد. اسیدیته مناسب خاک برنج بین شش تا هفت گزارش شده، چرا که در این حد از pH قابلیت دسترسی بیشتر برای عناصر پرمصرف و کم مصرف وجود دارد (بابازاده جعفری و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین، مقادیر اسیدیته خاک در روش آبیاری به کار رفته در این پژوهش، در کرت‌ها و در هر دو عمق بین ۵/۸ تا ۶/۷ متغیر بود که مناسب زراعت برنج می‌باشد.

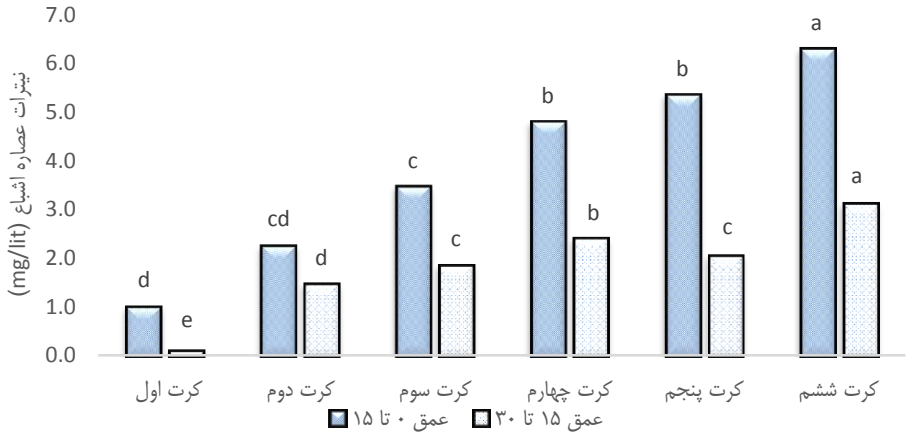


شکل ۵- اسیدیته عصاره اشباع خاک کرت‌ها

غلظت نیترات (NO_3^-)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر غلظت نیترات عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت نیترات از کرت اول تا ششم در هر دو عمق افزایش یافت که این افزایش برای عمق صفر تا ۱۵ به طور معنی‌داری بیشتر از عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بود. بر همین اساس، بیشترین غلظت نیترات در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب با ۶/۳ و ۳/۱۱ میلی‌گرم بر لیتر در کرت ششم و کمترین آن به ترتیب با ۱/۰۲ و ۰/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر در کرت اول مشاهده شد (شکل ۶). بنابراین غلظت نیترات در عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در کرت ششم در مقایسه با کرت اول به ترتیب ۸۳/۸۱ درصد و ۹۶/۱۴ درصد بیشتر بود. همچنین غلظت نیترات عصاره اشباع خاک در کرت ششم در عمق صفر تا ۱۵ در مقایسه با عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک ۵۰/۶۴ درصد بیشتر بود (شکل ۶). به‌طور کلی، زمانی که آبیاری کرت به کرت اعمال می‌شود به علت فرصت کمتر نفوذ آب، مقدار بیشتری از نیترات به‌وسیله رواناب منتقل شده و در نتیجه، غلظت آن در عمق‌های پایین‌تر چندان افزایش نمی‌یابد. بنابراین، مقادیر نیترات اندازه‌گیری شده در عمق صفر تا ۱۵ بیشتر از عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بود.

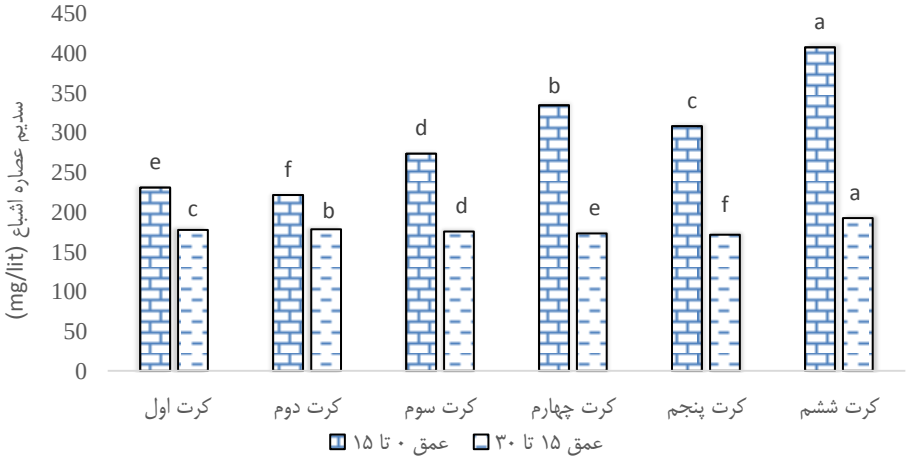
ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر حرکت و انتقال نیترات از نیمرخ خاک مؤثر می‌باشد و بافت خاک از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر برای انتقال و آبشویی نیترات می‌باشد (نیک عمل لاریجانی و همکاران، ۱۳۹۰). یون نیترات به دلیل داشتن بار منفی از پویایی بسیار زیادی برخوردار است و اگر توسط گیاهان و ریزجانداران جذب نشود، به سرعت وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی شده و خطرات بهداشتی به دنبال خواهد داشت (دلبری و اسدی، ۱۳۹۳؛ امینی و ابراهیمیان، ۱۳۹۶). در این تحقیق، افزایش تدریجی مقدار نیترات در کرت‌ها (به طور میانگین با شیب ۲۸/۵۳ و ۳۰/۳۸ درصد به ترتیب در عمق‌های صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر) و افزایش قابل توجه آن در کرت آخر (احتمال آبشویی بیشتر در کرت پنجم تحت تاثیر لایه‌بندی خاک) می‌تواند به دلیل حلالیت بالای کود اوره و انتقال آن توسط رواناب باشد. بنابراین، مدیریت مزرعه و تعیین مقدار آب آبیاری مورد نیاز می‌تواند از آبشویی کود و مشکلات زیست محیطی ناشی از آن جلوگیری کند.



شکل ٦-غلظت نیترات در عصاره اشباع خاک کرت‌ها

غلظت سدیم (Na)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر غلظت سدیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت سدیم عصاره اشباع خاک از کرت اول تا کرت ششم در عمق صفر تا ۱۵ در مقایسه با عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک تقریباً روند افزایشی داشت. به‌طوری که بیشترین غلظت سدیم عصاره اشباع خاک با ۴۰۷/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر در عمق صفر الی ۱۵ سانتیمتری خاک در کرت ششم و کمترین آن با ۲۲۱/۲۷ میلی‌گرم بر لیتر در کرت دوم مشاهده شد. همچنین بیشترین غلظت سدیم با ۱۹۲/۴۲ میلی‌گرم بر لیتر در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در کرت ششم و کمترین آن با ۱۷۱/۶۰ میلی‌گرم بر لیتر در در کرت پنجم مشاهده شد (شکل ۷). در حالی که غلظت سدیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در کرت ششم در مقایسه با کرت اول (شاهد) به ترتیب ۴۳/۳۶ درصد و ۷/۷ درصد بیشتر بود. همچنین غلظت سدیم عصاره اشباع خاک در کرت ششم در عمق صفر تا ۱۵ در مقایسه با عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک ۵۲/۷۸ درصد بیشتر بود (شکل ۷). گزارش شده است که غلظت سدیم بستگی به مدت غرقاب شدن و سطح شوری خاک دارد (فرهمندفر و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش غلظت سدیم در محلول خاک در پژوهش حاضر، به ویژه در عمق صفر تا ۱۵ سانتی-متری ممکن است به علت تبادل یونی در رقابت با یون‌های آمونیوم (در قالب کود به کرت‌ها اضافه شده است)، کلسیم و منیزیم موجود در خاک (شکل ۹ و ۱۰) و تغییرات اسیدیته خاک در کرت‌های مختلف (شکل ۵) باشد. افزون بر این، با افزایش عمق نسبت جذب سدیم کاهش می‌یابد که به دلیل تجمع کاتیون‌های محلول در لایه‌های سطحی خاک (جذب سطحی بر روی ذرات خاک و عدم آبشویی) بیشتر از لایه‌های عمیق‌تر می‌باشد (ذونعمت کرمانی و همکاران، ۱۳۹۳).

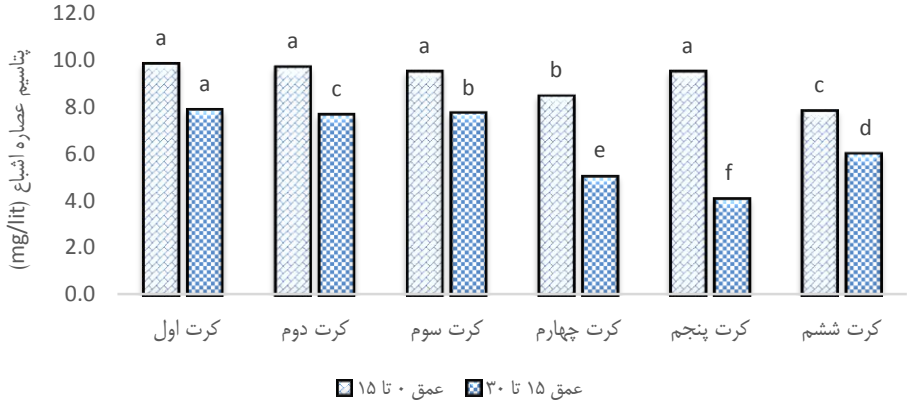


شکل ۷- غلظت سدیم در عصاره اشباع خاک کرت‌ها

غلظت پتاسیم (K)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر غلظت پتاسیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت پتاسیم در هر عمق از کرت اول تا ششم با کاهش مواجه شد، این در حالی بود که روند تغییر غلظت عنصر در عمق صفر تا ۱۵ متفاوت از عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر مشاهده شد. همچنین، غلظت پتاسیم در تمامی کرت‌های عمق صفر تا ۱۵ در مقایسه با ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک بیشتر بود. بیشترین غلظت عنصر پتاسیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب با ۹/۸۶ و ۷/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر در کرت اول و کمترین آن با ۴/۱۱ میلی‌گرم بر لیتر در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در کرت پنجم مشاهده شد (شکل ۸). بنابراین غلظت عنصر پتاسیم در کرت اول (شاهد) در عمق صفر تا ۱۵ در مقایسه با کرت ششم ۲۰/۰۸ درصد و در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در مقایسه با کرت پنجم ۴۷/۸۴ درصد بیشتر بود. الگوی توزیع عنصر پتاسیم در روش آبیاری کرت به کرت نشان داد که این عنصر در عمق نزدیک به سطح خاک (صفر تا ۱۵ سانتی-متری) از کرت اول تا پنجم تفاوت اندکی داشت و سیر تغییرات تقریباً یکنواختی داشت. ولی در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک کاهش غلظت عنصر در تمامی کرت‌ها وجود داشت که نشان دهنده عدم انتقال پتاسیم به ناحیه خارج از محیط ریشه باشد. بنابراین، روش آبیاری کرت به کرت منجر به انتقال عنصر پتاسیم به کرت‌های انتهایی و لایه‌های عمیق‌تر خاک نمی‌شود که از این نظر برای گیاه مفید می‌باشد. در کل می توان چنین نتیجه گرفت که

جذب تدریجی پتاسیم توسط ذرات خاک (به خصوص در خاک‌های شالیزاری که حاوی مقادیر بالای رس هستند) از مقدار خروج پتاسیم کاسته شده و در کرت‌های انتهایی در هر دو عمق مورد نظر به ویژه در عمق ۱۵ الی ۳۰ سانتیمتری خاک غلظت آن کاهش یافته است، که با پژوهش نوابیان و لیاقت (۱۳۸۹) که کاهش انتقال پتاسیم در طول جویچه را به جذب سطحی بر روی ذرات خاک نسبت دادند، مطابقت دارد.

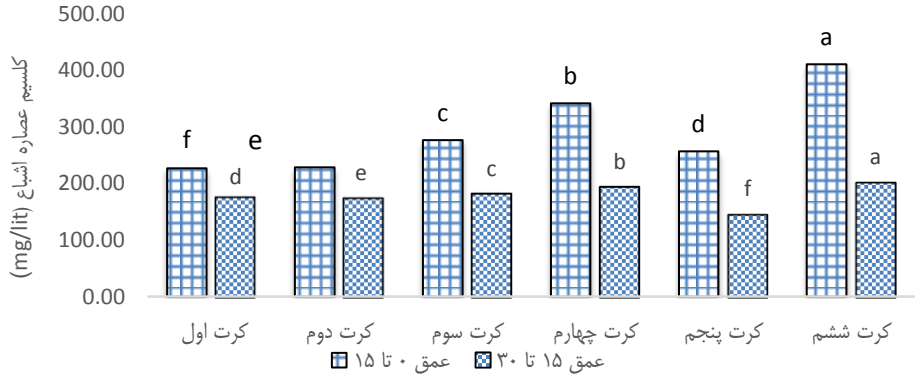


شکل ۸-غلظت پتاسیم در عصاره اشباع خاک کرت‌ها

غلظت کلسیم (Ca)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر غلظت پتاسیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از افزایش غلظت کلسیم از کرت اول تا ششم به غیر کرت پنجم در هر دو عمق داشت و همچنین، غلظت عنصر کلسیم عصاره اشباع خاک در لایه ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری تمامی کرت‌ها کمتر از لایه صفر تا ۱۵ سانتی‌متری بود. بیشترین غلظت کلسیم در دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک با ۴۱۰/۸۵ و ۲۰۱/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر در کرت ششم و کمترین آن در عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری خاک با ۲۲۶/۸ میلی‌گرم بر لیتر در کرت اول (شاهد) و در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک با ۱۴۵/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر در کرت پنجم مشاهده شد(شکل ۹). در حالی که غلظت کلسیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در کرت ششم در مقایسه با کرت اول (شاهد) به ترتیب ۴۴/۸۰ درصد و ۱۲/۷۳ درصد بیشتر بود. همچنین غلظت کلسیم عصاره اشباع خاک در کرت ششم در عمق صفر تا ۱۵ در مقایسه با عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک ۵۱/۰۶ درصد بیشتر بود. بنابراین، نتایج نشان داد که روند افزایش کلسیم در هر دو عمق یکنواخت نبود (شکل ۹). از آنجایی که غلظت کلسیم عصاره اشباع

خاک در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک کمتر از عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری خاک بود، با کاربرد روش آبیاری کرت به کرت در گیاه برنج، خروج عمودی عنصر کلسیم به لایه‌های عمیق‌تر کمتر از حرکت افقی آن در لایه سطحی خاک می‌باشد که منجر به افزایش معنی‌دار آن در کرت ششم شد. تجمع عنصر کلسیم در خاک منجر به بهبود شرایط فیزیکی خاک و رشد گیاه می‌شود، در حالی که استفاده از عنصر پتاسیم در واکنش‌های شیمیایی و فعالیت‌های درونی خاک را کاهش می‌دهد (چوپان و همکاران، ۱۳۹۸) که در این پژوهش نیز همراه با تجمع عنصر کلسیم در کرت ششم، کاهش غلظت پتاسیم در این کرت مشاهده شد.



شکل ۹-غلظت کلسیم در عصاره اشباع خاک کرت‌ها

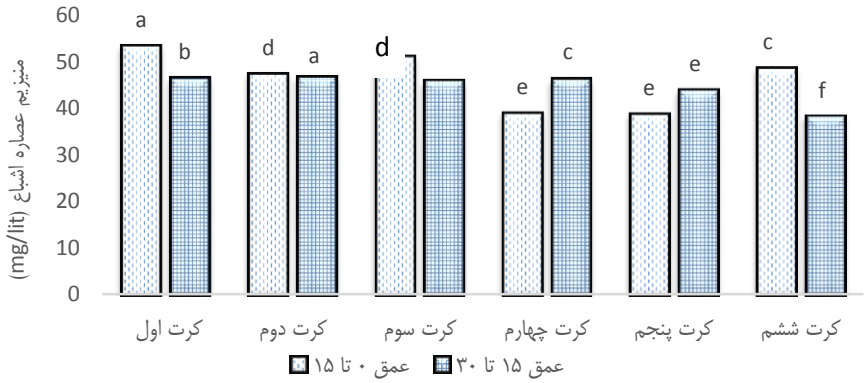
غلظت منیزیم (Mg)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر غلظت منیزیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت منیزیم در تمامی کرت‌ها و در هر دو عمق مورد نظر غیر یکنواخت بود، به‌طوری که بیشترین غلظت منیزم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب با ۵۳/۴ میلی‌گرم بر لیتر در کرت اول(شاهد) و با ۴۶/۷۰ میلی‌گرم بر لیتر در کرت دوم مشاهده شد و کمترین آن در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب با ۳۸/۸۸ میلی‌گرم بر لیتر در کرت پنجم و با ۳۸/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر در کرت ششم مشاهده شد (شکل ۱۰). به‌طوری که بین بیشترین و کمترین آن در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر به ترتیب ۲۷/۱۹ درصد و ۱۷/۹۲ درصد اختلاف داشت. در حالی که اختلاف غلظت منیزم عصاره اشباع خاک در کرت اول (شاهد) و کرت ششم در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب برابر با ۸/۷۳ درصد و ۱۷/۵۹ درصد بود (شکل ۱۰). روند تغییر منیزیم به صورت مقایسه کرت به کرت نشان داد که بیشترین تغییر مشابه یون کلسیم در حد فاصل انتقال رواناب از کرت پنج به شش روی داده است. هر چند انتظار می‌رود منیزیم شرایط تبادل یونی نزدیک به کلسیم داشته باشد اما روند کاهشی منیزیم خاک و در مقابل روند افزایشی کلسیم خاک نشان داد که کلسیم در تبادل یونی و جذب به ذرات خاک موفق‌تر بوده است. از آنجایی که در شرایط غرقابی پتانسیل اکسایش-کاهش محیط خاک تغییر یافته و در نتیجه، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تغییر می‌کند (کیان‌مهر و همکاران، ۱۴۰۰). احتمالاًدر این پژوهش نیز سامانه آبیاری کرت به کرت با انتقال عناصر از کرتی به کرت دیگر سبب تغییر برخی عناصر دیگر خاک شده و سطوح غرقابی سطحی و عمقی تأثیر متفاوتی بر تغییر عناصر داشته است. در پژوهشی تحت تأثیر شرایط غرقابی، غلظت نیتروژن، فسفر و کلسیم خاک کاهش و غلظت آهن و منگنز افزایش یافت. همچنین، غلظت روی، پتاسیم و منیزیم تغییری نکرد (Gilliam et al., 1999).

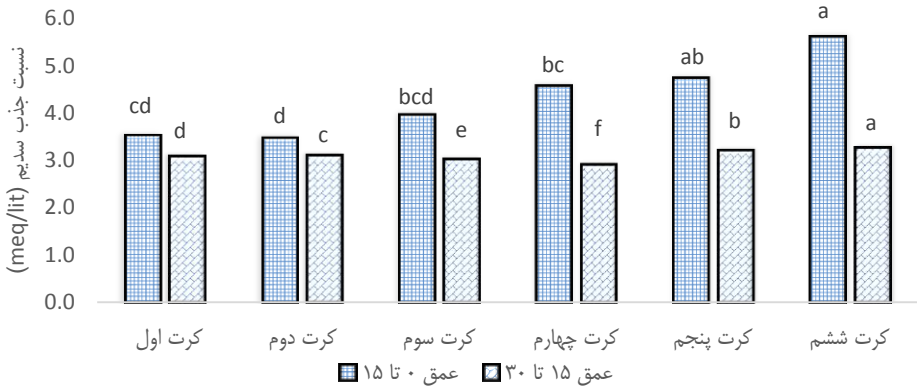
نسبت جذب سدیم (SAR)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر غلظت نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در هر دو عمق مورد مطالعه تقریباً از کرت اول تا کرت ششم افزایش یافت (شکل ۱۱)، به‌طوری که بیشترین غلظت آن در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب با ۵/۶۱ و ۳/۲۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در کرت ششم و کمترین آن در عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری خاک با ۳/۴۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در کرت دوم و در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک با ۲/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در کرت چهارم مشاهده شد، به‌طوری که بین بیشترین و کمترین آن در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب ۳۷/۹۷ درصد و ۱۱/۰۴ درصد اختلاف

داشت. در حالی که اختلاف غلظت نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در کرت ششم با کرت اول (شاهد) در عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتری خاک به ترتیب برابر با ۳۷/۰۸ درصد و ۵/۵۲ درصد بود (شکل ۱۱). بر اساس پژوهش‌ها، زمانی که سدیم وارد محلول خاک می‌شود به آسانی مورد آبشویی قرار می‌گیرد (پریچهره و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش نیز کاربرد آبیاری کرت به کرت، افزایش نسبت جذب سدیم را در زه‌آب کرت‌های انتهایی در هر دو عمق به ویژه در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک را به دنبال داشته است. کاربرد زه‌آب سرشار از سدیم می‌تواند تعادل طبیعی کاتیون‌های محلول خاک را از بین برده و منجر به جایگزینی سدیم با کاتیون‌های دیگر به ویژه کلسیم و منیزیم موجود بر سطوح قابل تبادل خاک شود که به موجب آن افزایش نسبت جذب سدیم را به دنبال دارد (ذونعمت کرمانی و همکاران، ۱۳۹۳) که با نتایج این پژوهش، به ویژه افزایش کلسیم در زه‌آب لایه سطحی مطابقت داشت.



شکل ۱۰-غلظت منیزیم در عصاره اشباع خاک کرت‌ها

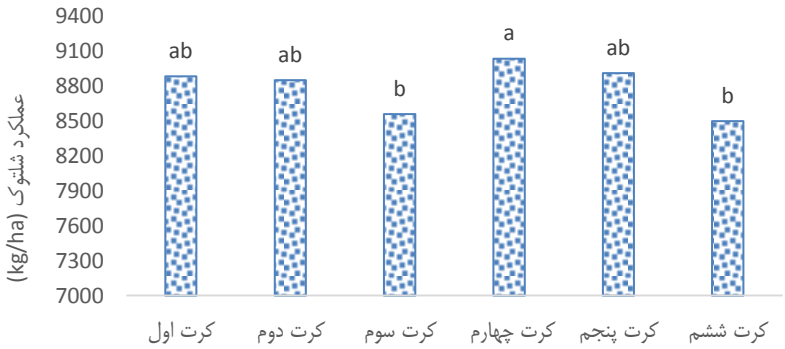


شکل ۱۱-نسبت جذب سدیم در عصاره اشباع خاک

عملکرد شلتوک

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آبیاری کرت به کرت بر عملکرد شلتوک برنج شیرودی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد برنج با ۹۰۳۵/۵۴ کیلوگرم در هکتار در کرت چهارم و کمترین آن با ۸۵۰۰/۳۲ کیلوگرم در هکتار در کرت ششم به دست آمد که اختلاف بین بیشترین و کمترین آن ۵/۹۲ درصد بود (شکل ۱۲). هر چند انتظار می رفت که عملکرد برنج در کرت اول (شاهد) به دلیل آبگیری مستقیم در مقایسه با کرت‌های دیگرکه در واقع با زهآب کرتهای بالادست آبیاری می شوند عملکرد بالایی داشته باشد، ولی نتایج نشان داد که عملکرد کرت‌های چهارم و ششم به ترتیب ۱/۶۷ درصد کمتر و ۴/۳۳ درصد بیشتر از آن بود (شکل ۱۲). دلیل افزایش عملکرد در کرت چهارم در مقایسه با کرت اول ممکن است ناشی از انتقال نیتروژن از کرت‌های بالادست باشد. از سوی دیگر، کاهش عملکرد برنج در کرت ششم در مقایسه با کرت اول می‌تواند به دلیل افزایش املاح زه‌آب و خاک باشد. همچنین، عدم وجود یک روند

منظم در افزایش و یا کاهش عملکرد در کرت‌های مختلف ممکن است ناشی از آبشویی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، جابه‌جایی املاح محلول در آب و خاک از کرتی به کرت دیگر و تغییر غلظت آنها در زه‌آب کرت‌ها و آب آبیاری کرت پایین دست، باشد. مدت زمان لازم برای جذب عناصر غذایی موجود در آب و محلول خاک توسط گیاه و فاصله زمانی رسیدن زه‌آب از کرتی به کرت دیگر نیز می‌تواند بر عملکرد دانه برنج مؤثر باشد. با این حال، به دلیل کاهش اندک عملکرد در بین کرت‌ها، روش آبیاری کرت به کرت برای گیاه برنج در منطقه رشت هر چند نیاز به تحقیق بیشتر دارد ولی قابل توصیه می‌باشد.



شکل ۱۲- عملکرد شلتوک برنج در کرت‌ها

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بررسی آبیاری کرت به کرت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد برنج رقم شیرودی، مشخص شد که در این روش آبیاری، مقدار شوری، غلظت کل مواد جامد، نیترات، سدیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در هر دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر از کرت اول (آبیاری مستقیم) تا کرت ششم افزایش یافت که ناشی از انتقال املاح و عناصر و عدم شرایط مناسب برای تثبیت کودهای اضافه شده به خاک و انتقال آنها به کرت‌های پایین دست می‌باشد. این در حالی بود که تمامی ویژگی-های بیان شده در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر بیشتر از ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر بود. بیشترین مقدار میانگین غلظت هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، نیترات، سدیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک در کرت آخر (ششم) در مقایسه با میانگین غلظت آنها در کرت اول (شاهد) در عمق صفر تا ۱۵ سانتیمتری خاک به ترتیب برابر با ۳۵/۷۷، ۳۵/۷۶، ۸۳/۸۱، ۴۳/۳۶، ۴۴/۸۳ و ۳۷/۰۸ درصد بود.

اسیدیته خاک در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری کرت ششم اندکی در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد و در سایر کرت‌ها نیز بین ۶/۴ و ۷/۰ متغیر بود. اسیدیته در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری نیز از کرت اول تا ششم تفاوت اندکی با یکدیگر داشتند. غلظت پتاسیم در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری از کرت اول تا کرت پنجم با تفاوت اندکی نسبت به یکدیگر کاهش یافت و در کرت ششم کاهش نزدیک به ۲۰ درصدی در مقایسه با کرت اول نشان داد.بیشترین غلظت منیزیم نیز برای کرت اول ثبت شد و در هر دو عمق از کرت اول تا ششم کاهش یافت که مقدار آن در تمامی کرت‌های عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر کمتر از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر بود.

افزایش کل مواد جامد محلول، عناصر مورد نیاز گیاه، به‌ویژه شکل‌های مختلف نیتروژن از طریق انتقال به‌وسیله رواناب (زه‌آب سطحی) به کرت‌های پایین دست منجر به افزایش عملکرد شلتوک در کرت‌های چهارم و پنجم که در آنها آبیاری به طور غیر مستقیم صورت گرفت بود نسبت به کرت اول شد که ناشی از غنی‌تر شدن آب می‌باشد. تقلیل شاخص‌های کیفی خاک و عملکرد در کرت آخر نسبت به سایر کرت‌ها در این پژوهش نیز ممکن است به علت افزایش شوری و شرایط نامساعد جذب عناصر به علت خوراک‌خوری و کاهش اکسیژن محلول برای رشد ریزجانداران و کاهش جذب نیترات باشد. در نهایت، با توجه به عدم خسارت‌زایی شوری و مناسب بودن اسیدیته تمامی کرت‌ها در هر دو عمق برای برنج و عدم خروج عناصر مفید از قبیل پتاسیم از ناحیه ریشه گیاه و همچنین کاهش شش درصدی عملکرد دانه در کرت ششم نسبت به کرت چهارم، روش آبیاری کرت به کرت در منطقه رشت قابل توصیه می‌باشد. این در حالی است که افزایش نیترات در کرت‌های انتهایی، عدم نفوذ مواد محلول به لایه پایین‌تر (۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر) و افزایش شوری در سطح خاک (صفر تا ۱۵ سانتیمتر) که کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، همراه با مسائل زیست محیطی می‌باشد که انجام عملیات آبشویی، کنترل سطح آب زیرزمینی و انجام پژوهش‌های بیشتر در زمینه چگونگی و مقدار تجمع عناصر مختلف در خاک و گیاه به هنگام استفاده از زه‌آب بالادست در پایان این تحقیق قابل توصیه می‌باشد. بنابراین، به شرط بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر، روش آبیاری

کرت به کرت در راستای توجه به مدیریت منابع آبی در مقایسه با روش مستقیم قابلیت پژوهش‌های بیشتر را در منطقه دارد.

منابع

امینی، م. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۶. بررسی آبشویی نیترات و جذب نیتروژن توسط ذرت در شرایط آبیاری با پساب خام و تصفیه شده. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی).۳۱ (۳): ۷۸۵-۷۹۶.

بابازاده جعفری، ش.، فیضیان. و م. دوات‌گر، ن. ۱۴۰۰. درجه بندی نمایه کیفیت حاصلخیزی خاک بر مبنای عملکرد برنج در شالیزارهای بخش کوچصفهان استان گیلان. پژوهش‌ها خاک. ۳۵ (۳): ۲۵۳-۲۶۹.

پریچهره، م.، صادق‌زاده، ف. بهمنیار، م.ع. و قاجار سپانلو، م. ۱۳۹۶. تأثیر بیوچارهای کاه برنج و خرده چوب نراد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شور-سدیمی با بافت لوم رسی. دانش آب و خاک. ۲۷ (۴): ۴۹-۶۱.

حویزاوی، س.، ناصری، ع. و ایزدپناه، ز. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری با زه‌آب نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک. مدیریت آب و آبیاری. ۶ (۱): ۱۱۷-۱۳۲.

چوپان، ی.، امامی، س. و حسام، م. ۱۳۹۸. بررسی خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده (مطالعه موردی: تربت حیدریه). آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۱۳): ۶۶۷-۶۷۶.

رحیمی‌پول، م.خ.، اکبری نودهی، د. اسدی، ر. باقری، ع. و شیردل شهمیری، ف. ۱۴۰۰. تأثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران. پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵ (۴): ۳۹۱-۴۰۵.

رجب‌زاده، ف.، و پذیرا، ا. ۱۴۰۱. مدیریت زهاب‌ها حاصل از آبیاری زراعت نیشکر در دشت خوزستان. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۹ (۱): ۱۱۹-۱۳۴.

دلبری، م. و اسدی، ر. ۱۳۹۳. آبیاری با نسبت‌های مختلف پساب و اثرات آن بر خصوصیات شیمیایی خاک، نشریه مدیریت آب در کشاورزی، ۱ (۲): ۲۹-۳۸.

ذونعمت کرمانی، م.، اسدی، ر. بای، ی.م. و میرزازنجانی، پ. ۱۳۹۳. تأثیر استفاده از پساب بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت شرایط روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری. علوم محیطی. ۱۲ (۴): ۸۱-۹۰.

سلحشور دلیوند، ف.، دوات‌گر، ن. یزدانی، م.ر. ناظمی، ا.ح. و صدرالدینی، ع.ا. ۱۳۹۵. اثر افزایش شوری آب آبیاری در روند توسعه ترک‌های ناشی از خشک‌شدگی در خاک‌های شالیزاری. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۳۰ (۲): ۱۷۳-۱۸۶.

سلحشور دلیوند، ف.، ناظمی، ا. ح. و یزدانی، م. ر. ۱۳۸۸. بهبود مدیریت توزیع آب در اراضی شالیزاری. دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. اسفند ۸۸.

سلیمانی ساردو، م.، ولی، ع.ع. قضاوی، ر. و سعیدی گراغانی، ح.ر. ۱۳۹۲. آنالیز و ردیابی پرامترهای کیفیت شیمیایی آب: مطالعه موردی ردخانه چم انحیر خرم آباد. مهندسی آبیاری و آب ایران. ۳ (۱۴): ۹۵-۱۰۵.

شجاعی، ب.ف.، عصاره، ع. ۱۳۹۸. تأثیر اختلاط آب زهکش در آبیاری مزارع نیشکر بر خصوصیات خاک. علوم و مهندسی آب. ۹ (۲۵): ۷-۱۷.

علیزاده، ا.، ۱۳۹۵، رابطه آب و خاک و گیاه. دانشگاه فردوسی مشهد. صفحه ۶۱۵.

عیسی‌پور نخجیری، س.، عاشوری، م. صادقی، س.م. محمدیان روشن، ن. و رضایی، م. ۱۴۰۰. تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوی عناصر ریزمغذی برنج قهوه‌ای و سفید دو رقم هاشمی و گیلانه، اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۵ (۲): ۱۹۳-۲۱۰.

فشائی، م. و قوچانیان، م. ۱۴۰۰. ارزیابی مکانی متغیرهای کیفی منابع آب زیرزمینی با هدف کاربرد آن در کشاورزی و شرب (مطالعه موردی: دشت مه ولات-فیض آباد). مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک. ۲ (۲): ۲۸-۴۴.

فرهمندفر، ا.، مرادی، ف. و فلاح، ا. ۱۳۹۵. تأثیر شوری بر غلظت برخی عناصر در بافت‌های گیاه برنج (Oryza sativa L.) و میزان زیست توده. یافته‌های نوین کشاورزی. ۱۱ (۲): ۱۳۹-۱۵۱.

فلاح، ا.، ۱۳۹۸. تأثیر تنش شوری بر مراحل مختلف رشدی گیاه برنج و راهکارهای مقابله با آن. وزارت جهاد کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مؤسسه تحقیقات برنج کشور. ۳۹: ۲۰-۱.

فیضی، م. ۱۳۹۲. اثر کیفیت و مدیریت آب بر ویژگی‌های شیمیایی خاک. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۷ (۲): ۲۳۹-۲۵۲.

کیان‌مهر، آ.، قنبری، ا. پاراد، ق.ع. طبری کوچکسرایی، م. و بور، ز. ۱۴۰۰. تغییرات عناصر ماکرو و میکرو در خاک و برگ نهال‌های توسکا ییلاقی تحت تأثیر تنش غرقابی. پژوهش و توسعه جنگل. ۷ (۳): ۴۷۷-۴۹۲.

نوابیان، م.، و لیاقت، ع.م. ۱۳۸۹. بررسی مدیریت آبیاری و کود بر کیفیت رواناب خروجی در آبیاری جویچه‌ای. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۴ (۵۱): ۱-۱۳.

نیک عمل لاریجانی، ن.، حسن‌اقلی، ع.ر. مشعل، م. و لیاقت، ع.م. ۱۳۹۰. تعیین میزان نیترات در دو بافت خاک در نتیجه کاربرد کودهای آلی (مرغی، گاوی و لجن فاضلاب). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۴): ۷۰۸-۷۱۸.

Ashraful Habib, M., Mofijul Islam, S.M., Ashraful Haque, M., Hassan, L., Zulfiker Ali, M., Nayak, S., Hussain Dar, M. and Kanta Gaihre, Y. 2023. Effect of irrigation regimes and rice varieties on methane emissions and yield of dry season rice in Bangladesh. Soil Systems. 7 (41): 1-14.

Ehiaiy, M. and Behbahanizade, A.A. 1993. Soil Chemical Analysis Methods. Technical Bulletin. 893. Soil and Water Research Institute Press. Iran. pp: 129.

Feng, D., Wang, X., Gao, J., Zhang, Ch., Liu, H., Liu, P. and Sun, X. 2023. Exogenous calcium: its mechanisms and research advances involved in plant stress, tolerance. Frontiers in Plant Science. 1-17.

Gilliam, F., May, J, Fisher, M. and Evans, D. 1999. Short-term changes in soil nutrients during wetland creation. Wetlands Ecology and Management. 6 (4): 203-208.

Iguaz, A., Rodríguez, M. and Vírseda, P. 2006. Influence of handling and processing of rough rice on fissures and head rice yields. Journal of Food Engineering. 77(4): 803-809.

Mallareddy, M., Thirumalakumar, R., Balasubramanian, P., Naseeruddin, R., Nithya, N., Mariadoss, A., Eazhilkirshna, N., Choudhary, A.K., Deiveegan, M., Subramanian, E., Padmaja, B. and Vijayakumar, Sh. 2023. Maximum water use efficiency in rice farming: A comprehensive review of innovative irrigation management technologies. Water. 15 (1802): 1-28.

Venuprasad, R., Lafitte, H.R. and Atlin, G.N. 2007. Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice. Crop Science. .47(1): 285-293.

Zhang, Y., Zhao, X., Liu, F., Zhu, L. and Yu, H. 2023. Effect of different water stress on growth index and yield of semi-late rice. Environmental Sciences Proceedings. 25 (84): 1-10.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 18, Aug.-Sep. 2024, p. 377-391

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۸، مرداد - شهریور ۱۴۰۳، ص. ۳۹۱-۳۷۷

The Effect of Plot-to-Plot Irrigation on Soil Chemical Characteristics and Yield of Shiroudi Variety Rice

M. H. Biglouei[1*], A. Abedi[2], M. Navabian[3], G. R. Mohseabadi[4], E. Tashakkorifard[5]
Recived: Nov.07, 2023 Accepted: Jun.08, 2024

Abstract

In order to study the effect of plot-to-plot irrigation method on soil chemical characteristics and rice yield, a randomized block experiment was conducted in the research farm of the Faculty of Agricultural Sciences of University of Guilan. This research was done in three repetitions and each repetition included six plots which were named plot by plot in a vertical row from 1 to 6. The quality characteristics of the soil were evaluated at two depths of 0 to 15 and 15 to 30 cm, as well as grain yield. The results showed that the highest salinity (3.8 mmhos/cm), total soluble solids (2316.6 mg/l), nitrate (6.3 mg/l), sodium (407.5 mg/l), calcium (410.8 mg/L), and sodium absorption ratio (5.6 me/L) were observed at the depth of 0 to 15 cm in the sixth plot. But, the highest grain yield with 9035.54 kg/ha was related to the fourth plot. Despite the same agricultural operations in the plots, the amounts of nutrients, soil soluble salts and grain yield were different in them, which could be due to the difference in the amount of nutrients in the plots. Therefore, in order to prevent their amount from changing from one plot to another, the necessary opportunity for the absorption of water nutrients and soil solution by the plant in the plots should be created to affect the final yield. In general, due to the reduction of only 5.92 and 4.33 percent of paddy yield in the sixth plot compared to the fourth and first plots, respectively, it seems that due to the limited water resources in the north of the country, the use of plot-to-plot irrigation for planting Rice needs more and more detailed investigation in order to achieve the highest growth and yield in the region.

Keywords: Nitrate, Saturated extract salinity, Sodium absorption ratio, Total dissolved solids

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht-Iran
2- Former Master's student of Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht-Iran
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan , Rasht-Iran
4- Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht-Iran
5- Former PhD student, Department of Agriculture, Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht-Iran
(*- Corresponding Author Email: biglou@guilan.ac.ir)