تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵ (ص ۴۰۵-۳۹۷)

ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی در مقیاس مدل فیزیکی کشت دوم در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: گیاه تریتیکاله)

سید محمد رسول موذنی[۱]، مریم نوابیان[۲]*، مهدی اسمعیلی ورکی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۲. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۳. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

چکیده

به منظور ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی، پژوهشی در مقیاس مدل فیزیکی در شرایط کشت دوم اراضی شالیزاری انجام شد. در مدل فیزیکی، زهکش‌ها در دو مخزن جداگانه در دو عمق ۴۰ (D40) و ۶۰ (D60) سانتی‌متر نصب و گیاه تریتیکاله بعد از برداشت برنج کشت شد. در زمان وقوع بارندگی از زه‌آب نمونه تهیه و پارامترهای EC، SAR، pH و TSS در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. همچنین سطح ایستابی توسط پیزومتر قرائت شد. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش، مقدار EC افزایش و مقدار SAR کاهش یافت. روند تغییرات مقدار EC در طول دوره آزمایش کاهشی بود به طوری که در انتهای دوره EC زه‌آب دو زهکش D40 و D60 نسبت به ابتدای دوره به ترتیب ۵۳ و ۸ درصد کاهش داشت. مقادیر TSS نشان از عملکرد قابل قبول پوشش ژئوتکستایل در ایفای نقش پوششی خود داشت اما روند نوسانی آن تأثیرگذاری رفتار خاک مورد بررسی بر رفتار پوشش را نشان داد. نتایج نشان داد که زهکش نصب شده در عمق ۴۰ سانتی‌متر در کنترل سطح ایستابی و جلوگیری از وقوع ماندابی موفق‌تر عمل نمود.

واژه‌های کلیدی: اثرات زیست‌محیطی، شاخص عملکرد زهکش، شوری، ضریب عکس‌العمل زهکشی، نسبت جذب سدیم

مقدمه

با توجه به نقش و اهمیت زهکش‌های زیرزمینی در کنترل سطح آب زیرزمینی، پژوهش‌های گسترده‌ای برای یافتن راه‌حل‌های جدید و اقتصادی‌تر در حال اجراست. این راه‌حل‌ها بیش‌تر در زمینه بهینه‌سازی مبانی طراحی و اجرای طرح‌های زهکشی از جمله ضریب زهکشی، فواصل و عمق زهکش‌ها و نیز انواع لوله، مواد پوششی اطراف و روش‌های نصب و کارگذاری آن‌ها است. در مناطق شمالی کشور که به کشت شالیزاری اختصاص دارند، به دلیل غرقاب بودن اراضی و نداشتن سیستم‌های زهکشی مناسب، به طور معمول کشت دوم امکان‌پذیر نیست. در صورتی که با احداث سیستم زهکشی می‌توان شرایط کشت دوم را در منطقه فراهم آورد. بدین گونه که با زهکشی می‌توان زمین را زودتر خشک کرد تا ادوات کشاورزی به زمین وارد شود و برداشت انجام گیرد. این کار سبب می‌شود که هم از زیان دیدن محصول اول کاسته شود (به دلیل خوابیدگی برنج در اثر برداشت نکردن به موقع و هم‌زمانی برداشت و بارندگی) و هم شرایط برای کشت دوم فراهم آید (Masoudi and Liaghat, 2013). زهکشی زیرزمینی علاوه بر کنترل سطح ایستابی، از شور شدن خاک به دلیل جریان کاپیلاری از آب زیرزمینی شور، جلوگیری می‌کند و آبشویی املاح از ناحیه ریشه و پروفیل خاک را تسهیل می‌نماید.

گرچه شبکه‌های زهکشی موجب کنترل شوری و احیای اراضی می‌شوند اما اثرات ناخواسته زیست‌محیطی ناشی از حجم بسیار بالای زه‌آب در سال‌های اخیر تبدیل به چالشی بزرگ در مناطق دارای شبکه‌های زهکشی ایران شده است. (Razi *et al.*, 2012). بنابراین به دلیل اثر پیچیده عمق نصب زهکش بر روی عملکرد گیاه، بازده اقتصادی طرح و همچنین مسائل زیست‌محیطی، ضرورت انتخاب عمق بهینه نصب زهکش‌ها به نحوی که حداکثر بازده اقتصادی با حداقل اثرات سوء زیست‌محیطی را در بر داشته باشد، وجود دارد (Nazari *et al.*, 2008).

در استان گیلان به دلیل هزینه بالای خرید و ذخیره‌سازی علوفه در طول ماه‌های زمستان، کشت گیاهان علوفه‌ای از جمله تریتیکاله به عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری از اهمیت

* نویسنده مسئول: Navabian@guilan.ac.ir

زیادی برخوردار است (Karimipashaki *et al*., 2012). به منظور توسعه کشت دوم، باید مسائل و مشکلات متعددی مورد توجه و بررسی قرار گیرد که بدون شک مهم‌ترین آن‌ها زهکشی اراضی است. تریتیکاله با نام علمی (X Triticosecale wittmack) موفق‌ترین گیاه غلاتی ساخت بشر است که با هدف به دست آوردن محصولی با کیفیت برتر والد گندم و دارای تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده والد چاودار تولید شده است (Lelley, 2006).

نتایج به‌دست آمده در پژوهشی که با هدف انتخاب مناسب‌ترین محصول بعد از کشت برنج در استان گیلان انجام شد، نشان داد که نمایه‌های به دست آمده از کلاس‌های سازگاری اراضی از S_2 (نسبتاً مناسب) تا N (نامناسب) متغیر است. کلاس بالاترین سازگاری برای محصولات S_3 شامل گیاهان گندم، هویج، جو، تریتیکاله و برنج (راتون) بود (Soltani *et al*., 2013).

در مطالعه‌ای عمق نصب زهکش‌ها در یک مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که بیشینه هدایت الکتریکی آب خروجی با افزایش عمق نصب زهکش‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به متوسط شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری، بیش‌ترین شوری خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری به ترتیب برابر ۱/۴۳، ۶/۵۵ و ۸/۱۳۱ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش عمق نصب زهکش‌ها موجب بهبود کیفیت آب خروجی و کاهش مقدار آن می‌گردد (Razi *et al*., 2012).

پژوهشی با هدف طراحی سیستم زهکشی بر اساس معیار زیست‌محیطی انجام شد. در این مطالعه از ترکیب اعماق ۱، ۱/۵ و ۲ متر و فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۱۴۰ متر برای استقرار زهکش‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که با توجه به شوری بالای آب زیرزمینی نسبت به آب آبیاری در شرایط اولیه، تغییرات شوری زه‌آب خروجی نسبت به زمان روند کاهشی داشته و حساسیت این تغییرات نسبت به تغییر عمق بیش‌تر از تغییر فاصله بوده است (Nozari *et al*., 2011). در مطالعه دیگری اثر نصب لوله‌های زهکشی در اعماق و فواصل مختلف بر کیفیت زه‌آب خروجی، در شرایط ماندگار و غیرماندگار، با استفاده از مدل عددی Visual MODFLOW و داده‌های مدل آزمایشگاهی بررسی گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش عمق زهکش، بر مقدار هدایت‌الکتریکی زه‌آب، میزان pH، مقدار TDS، جریان زهکشی و مقدار نیتروژن خارج شده افزوده می‌شود (Aslani *et al*., 2010). Nazari *et al*. (2008) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمق زهکش، نمک خروجی از زهکش‌ها افزایش می‌یابد ولی روند افزایش خطی نیست.

مطالعات تحقیقاتی کاربردی در هند بر روی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی شامل زهکش‌های لوله‌ای و کانال‌های روباز با فاصله‌های مختلف بین ۴۵ تا ۱۵۰ متر و عمق بین ۰/۹ تا ۱/۲ متر در اراضی کشاورزان نشان داد عملکرد محصول در اراضی زهکشی شده به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (برنج ۶۹، پنبه ۶۴، نیشکر ۵۴ و گندم ۱۳۶ درصد). این افزایش به دلیل پایین‌تر بودن مقادیر سطح ایستابی و شوری خاک به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد نسبت به اراضی زهکشی نشده بود (Ritzema *et al*., 2008). مطالعه‌ای به منظور شبیه‌سازی تأثیر عمق‌های مختلف زهکش بر مقدار زه‌آب، شوری ناحیه ریشه و عمق سطح ایستابی در دشت Kunya-Cumra واقع در ترکیه انجام گردید. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد زمانی که عمق زهکش ۱/۲ متر در نظر گرفته شود، ۸۰ درصد خاک شوری کم‌تر از ۲/۷۲ و ۲/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر برای کشت اول و کشت دوم بعد از یک دوره ۱۰ ساله خواهد داشت (Bahceci *et al*., 2006). Hornbuckle *et al*. (2007) با اشاره به این موضوع که در زهکش‌های کم عمق تخلیه آب از ناحیه ریشه سریعاً روی می‌دهد، کارایی زهکش‌های کم عمق را در شستشوی سریع نمک از پروفیل خاک بیش‌تر دانسته‌اند.

با توجه به نقش کشت دوم در رونق کشاورزی و بهبود معیشت کشاورزان استان گیلان، نیاز به احداث شبکه‌های زهکشی برای ایجاد شرایط مناسب کشت دوم و اهمیت عمق زهکش بر کارایی زهکش، هدف پژوهش حاضر بررسی اثر عمق زهکش زیرزمینی بر کنترل سطح ایستابی و کیفیت زه‌آب ایجاد شده در شرایط کشت دوم در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر عمق زهکش بر عملکرد فنی و کیفی زهکش، محیط کنترل‌شده در مقیاس مدل فیزیکی اراضی شالیزاری ایجاد شد. مدل فیزیکی دارای محفظه‌ای به طول ۳، عرض ۰/۶ و ارتفاع ۱ متر بود که دیواره‌های پشت و کف آن از جنس فلز جهت استحکام بیش‌تر و دیواره‌های جانبی و جلویی از جنس پلاکسی‌گلاس برای مشاهده تغییرات سطح ایستابی ساخته شد. برای پیاده کردن دو عمق مختلف زهکشی ۴۰ (D40) و ۶۰ (D60) سانتی‌متر و مقایسه آن‌ها در طول دوره آزمایش، محفظه به وسیله یک ورق فلزی در امتداد طول به دو مخزن مجزا تفکیک شد. زهکش‌ها از جنس پلی‌اتیلن با پوشش

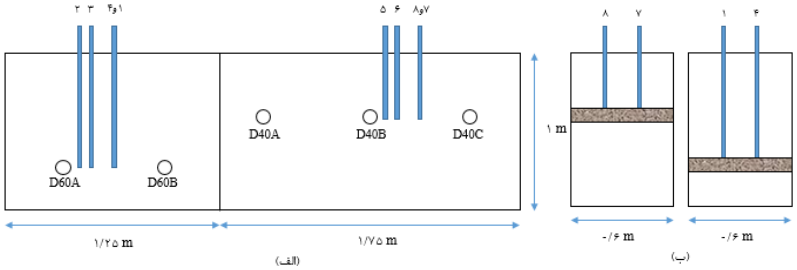
ژئوتکستایل با اندازه منافذ ۴۵۰ میکرومتر و قطر ۱۰ سانتی‌متر انتخاب شدند و در راستای عرض هر مخزن با شیب طولی ۰/۱ درصد و فاصله ۵۰ سانتی‌متر در عمق مورد نظر نصب گردیدند. خاک مورد نیاز برای پر کردن مخازن، خاک هوا خشک کوبیده شده و رد شده از الک ۵ میلی‌متر بود که از اراضی شالیزاری تهیه گردید. بعد از پر کردن مخازن، خاک به مدت یک هفته در شرایط غرقاب نگه‌داری شد تا علاوه بر نشست، خاک اشباع شده و مشابه شرایط اراضی شالیزاری برای کشت اول آماده شود.

مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول (۱) آورده شده است.

به منظور بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در هر مخزن از تعدادی لوله PVC با قطر ۲ سانتی‌متر به عنوان پیزومتر استفاده شد که در بین دو زهکش و در تراز آن‌ها نصب گردید. شمای کلی مخازن و محل قرارگیری زهکش‌ها و پیزومترها در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده در پژوهش

بافت خاک	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	هدایت آبی اشباع (cm/day)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	رطوبت اشباع (٪)
لوم سیلتی	۴/۷۲	۷۲/۵۳	۲۲/۷۵	۸/۶۵	۱/۶۰	۴۹/۰۰



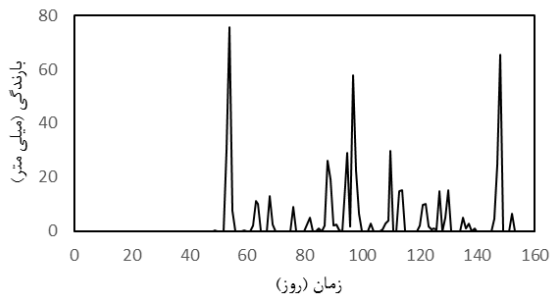
شکل ۱. نمای جلو (الف) و کنار (ب) مخزن، موقعیت زهکش‌ها و محل قرارگیری پیزومترها

بعد از برداشت برنج به عنوان کشت اول از مخازن، گیاه تریتیکاله به عنوان محصول دوم به صورت ردیفی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع در مخازن کشت شد. قبل از کشت دوم، از خاک مخزن D40 در عمق ۱۵ سانتی‌متری و از خاک مخزن D60 در دو عمق ۱۵ و ۴۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری و پارامترهای شیمیایی آن اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول (۲) به تفکیک آورده شده است. نمونه‌برداری از ۵ نقطه مختلف و به صورت قطری در هر مخزن صورت گرفت.

جدول ۲. مشخصات شیمیایی خاک دو مخزن D40 و D60 بعد از برداشت برنج و قبل از کشت تریتیکاله

	عمق نمونه‌برداری (cm)	EC (ds/m)	pH	Ca^{2+} (meq/L)	Mg^{2+} (meq/L)	Na^{+} (meq/L)	SAR ($meq/L^{0.5}$)	P (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
D40	۱۵	۰/۵۳	۶/۷۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۵/۳۴	۶/۸۹	۰/۳۱	۱/۲۵
D60	۱۵	۰/۸۱	۶/۶۷	۱/۹۰	۱/۴۰	۷/۳۷	۵/۷۴	۰/۵۴	۳/۷۲
	۴۵	۰/۶۷	۶/۹۸	۱/۱۰	۱/۶۰	۷/۸۱	۶/۷۲	۰/۴۳	۳/۷۱

زهکش‌ها در طول دوره رشد گیاه باز بودند و شرایط کشت به صورت دیم بود. با توجه به عرف منطقه کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار برای هر دو مخزن محاسبه و در اوایل دوره رشد گیاه به خاک داده شد. همزمان با وقوع هر بارندگی از زه‌آب ایجاد شده نمونه تهیه و پارامترهای EC، pH، TSS و SAR قرائت شد. تاریخ‌های نمونه‌برداری در جدول (۳) آورده شده است. نمودار تغییرات بارندگی در طول دوره رشد گیاه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. روند تغیرات بارندگی در طول دوره رشد گیاه

جدول ۳. شماره روزهای نمونه‌برداری

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
روز نمونه‌برداری	۵۱	۵۳	۵۶	۶۲	۶۸	۷۶	۸۲	۸۹	۹۴	۹۸	۱۱۰	۱۱۴	۱۲۲	۱۳۵	۱۴۸

پارامترهای EC توسط دستگاه EC سنج و pH توسط دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پارامتر TSS حجم مشخصی از نمونه از کاغذ صافی عبور داده شد. بعد از قرار دادن کاغذ صافی به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک آن را اندازه‌گیری کرده و با استفاده از رابطه (۱) مقدار TSS محاسبه شد:

$$TSS = \frac{M_2 - M_1}{V}$$ (رابطه ۱)

که در آن؛ TSS مقدار ذرات جامد معلق بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، M_1 وزن کاغذ صافی خشک قبل از عبور نمونه بر حسب گرم، M_2 وزن کاغذ صافی خشک شده در آون بعد از عبور نمونه بر حسب گرم و V حجم نمونه عبور داده شده از کاغذ صافی بر حسب سانتی‌متر مکعب می‌باشند.

برای تعیین مقدار SAR نیز از رابطه (۲) استفاده شد. مقدار Na^+ بر حسب میلی اکی‌والان بر لیتر با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و مقدار Ca^{2+} و Mg^{2+} نیز بر حسب میلی اکی‌والان بر لیتر با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیری گردید.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}}$$ (رابطه ۲)

در زمان نمونه‌برداری، دبی و سطح ایستابی در پیزومترها نیز قرائت شد. برای اندازه‌گیری دبی به روش حجمی از رابطه (۳) استفاده شد:

$$Q = \frac{V}{t}$$ (رابطه ۳)

که Q مقدار دبی بر حسب لیتر بر ساعت، V حجم زه‌آب خروجی بر حسب لیتر و t مدت زمان خروج زه‌آب بر حسب ساعت است.

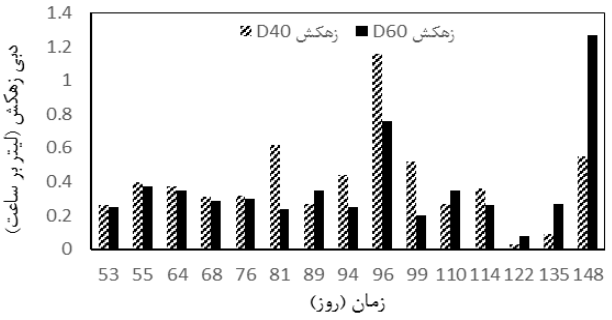
با توجه به انجام عملیات آماده‌سازی اراضی شالیزاری برای کشت برنج در ماه اردیبهشت، گیاه تریتیکاله در تاریخ ۳۱ فروردین به صورت علوفه‌ای برداشت شد. برای تعیین عملکرد علوفه تر در هر محفظه پس از حذف خطوط کناری، ردیف‌های وسط برداشت و عملکرد محاسبه شد.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثر عمق زهکش بر عملکرد فنی و کیفی زهکش‌ها، روند تغییرات دبی خروجی از زهکش، سطح ایستابی و پارامترهای کیفی EC، pH، SAR و TSS نسبت به زمان در طی دوره آزمایش رسم شد.

عملکرد فنی زهکش زیرزمینی

تغییرات دبی خروجی از زهکش‌ها نسبت به زمان در هنگام بارندگی در شکل (۳) نشان داده شده است. با مشاهده شکل (۳) به وضوح می‌توان دریافت که در بیش‌تر دوره‌های بارندگی، دبی زهکش نصب شده در عمق ۴۰ سانتی‌متر بیش‌تر بوده است؛ اما در روزهای ۸۹، ۱۱۰، ۱۲۲، ۱۳۵ و ۱۴۸ دبی زهکش نصب شده در عمق ۶۰ بیش‌تر از زهکش ۴۰ بود. بیش‌تر بودن دبی زهکش ۶۰ نسبت به ۴۰ در این ۵ روز را می‌توان به دلیل فاصله زیاد دوره بارندگی مربوط به روزهای فوق با دوره‌های قبل از آن‌ها دانست که در چنین شرایطی به دلیل خشک بودن و انقباض خاک رسی و در نتیجه ایجاد درز و ترک، مقدار باران بیش‌تری از طریق همین درز و شکاف‌ها به صورت جریان ترجیحی به سمت اعماق پایین‌تر رفته و از طریق زهکش D60 خارج گردیده است. همچنین باران‌های فوق با مدت زمان بارش بیش‌تر از ۳ روز بوده است که پس از پر نمودن پروفیل خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر، موجب خروج بیش‌تر زه‌آب از زهکش عمق ۶۰ سانتی‌متر شد. این مسئله با استفاده از ضریب عکس‌العمل زهکش قابل بررسی است.



شکل ۳- دبی خروجی زهکش‌ها در زمان وقوع بارندگی

عکس‌العمل سریع‌تر زهکش نصب شده در عمق ۴۰ نسبت به زهکش نصب شده در عمق ۶۰ سانتی‌متر را با توجه به ضریب عکس‌العمل زهکشی نیز می‌توان نتیجه گرفت. ضریب عکس‌العمل عاملی است که سرعت تخلیه و عکس‌العمل سیستم را بیان می‌کند که در این پژوهش از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\alpha = \frac{\ln(h_{t-1}) - \ln(h_t)}{\Delta t}$$ (رابطه ۴)

که در آن؛ α ضریب زهکشی بر حسب (1/day)، h_t و h_{t-1} ارتفاع سطح ایستابی در زمان‌های t و t-1 بر حسب سانتی‌متر و

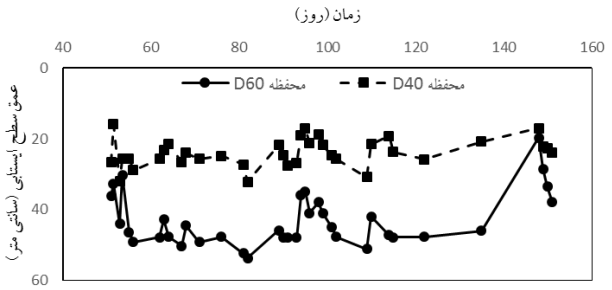
Δt فاصله زمانی بین زمان t و t-1 بر حسب روز می‌باشند.

ضریب عکس‌العمل برای هر دو عمق زهکش در طول مدت آزمایش برای باران دو روزه، باران سه روزه و باران شش روزه محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) آمده است. ضریب عکس‌العمل زهکشی برای زهکش عمق ۴۰ سانتی‌متر در باران‌های دو روزه و سه روزه بیش‌تر از زهکش عمق ۶۰ سانتی‌متر بود که سرعت بالای تخلیه زه‌آب در زهکش D40 را توجیه می‌نماید؛ اما در مورد باران شش روزه، ضریب عکس‌العمل زهکش D60 بیش‌تر بود که این مسئله را می‌توان ناشی از حجم زیاد بارندگی در مدت شش روز، پر شدن ظرفیت نگهداری آب در خاک در پروفیل ۶۰ سانتی‌متری و در نتیجه توانایی زهکش ۶۰ سانتی‌متری در تخلیه حجم بیش‌تر زه‌آب دانست. بنابراین زهکش عمق ۶۰ سانتی‌متر نقش کمی در خروج آب نفوذیافته از باران با طول مدت کم‌تر از ۳ روز داشت. این دستاورد اهمیت زیادی در تعیین ضریب زهکشی در شرایط طراحی زهکش بر مبنای باران طرح دارد. بیش‌تر بودن ضریب عکس‌العمل باران دو روزه نسبت به سایر باران‌ها در هر عمق نشان از فواصل زمانی کم‌تر بین باران دو روزه نسبت به باران‌های سه روزه و شش روزه دارد.

جدول ۴. ضریب عکس‌العمل زهکش در دو عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر

	ضریب عکس‌العمل باران دو روزه (1/day)	ضریب عکس‌العمل باران سه روزه (1/day)	ضریب عکس‌العمل باران شش روزه (1/day)
زهکش عمق ۴۰ سانتی‌متر	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۰۲۳
زهکش عمق ۶۰ سانتی‌متر	۰/۰۹۴	۰/۰۵۴	۰/۰۳۹

مقادیر عمق سطح ایستابی قرائت شده در پیزومترهای مخازن D40 و D60 در طول دوره آزمایش نسبت به زمان در شکل (۴) نشان داده شده است. با مراجعه به شکل (۲) که بیان‌گر تغییرات مقادیر بارندگی در مقابل زمان می‌باشد و مقایسه آن با شکل (۴) به وضوح مشخص است که نوسانات سطح ایستابی ناشی از بارندگی است، به گونه‌ای که با وقوع بارندگی سطح ایستابی افزایش یافت. زهکش‌ها در تخلیه به موقع زه‌آب و جلوگیری از ماندابی موفق عمل کرده و سطح ایستابی را در عمق مناسبی حفظ کردند. سطح ایستابی در مخزن D60 به دلیل نصب زهکش در عمق پایین‌تری نسبت به مخزن D40، در عمق بیش‌تری قرار داشت. حداکثر عمق سطح ایستابی برای زهکش‌های D40 و D60 به ترتیب به میزان ۳۲/۱۰ و ۵۳/۷۰ سانتی‌متر در روز ۱۸۲ام روی داد. در روز ۱۸۱ام بارندگی دو روزه‌ای به مقدار ۷/۵ میلی‌متر اتفاق افتاد و با توجه به ضریب عکس‌العمل مناسب زهکش‌ها، زه‌آب ایجاد شده به سرعت تخلیه گردید و با توجه به این‌که از روز ۱۵۶ام بارندگی زیادی رخ نداده بود، سطح ایستابی به پایین‌ترین مقدار خود در طول دوره رشد گیاه رسید. همچنین متوسط عمق سطح ایستابی در طول دوره رشد گیاه برای زهکش‌های D40 و D60 به ترتیب ۲۳/۹۳ و ۴۲/۹۵ سانتی‌متر بود که با توجه به سطحی بودن ریشه تریتیکاله، از نظر ماندابی مشکلی برای گیاه در طول دوره رشد به وجود نیامد.



شکل ۴. تغییرات عمق سطح ایستابی در طول دوره آزمایش در زهکش‌های ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر

عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی در کنترل سطح ایستابی توسط سه شاخص تعداد روزهای ماندابی، مجموع ماندابی (SEW[1]) و عمق نسبی آب زیرزمینی (RGWD[2]) نیز بررسی شد که نتایج آن در جدول (۵) آمده است. در روش تعداد روزهای ماندابی، مجموع تعداد روزهایی که سطح ایستابی بالاتر از سطح ایستابی طراحی قرار می‌گیرد به عنوان شاخص بیان می‌گردد. در این پژوهش عمق استقرار سطح ایستابی در موقعیت ۵۰ درصد عمق نصب زهکش، به عنوان سطح ایستابی مطلوب در نظر گرفته شد. در روش مجموع ماندابی، بزرگی یا فاصله سطح ایستابی روزانه از سطح ایستابی مطلوب با هم جمع شده و به عنوان شاخص بیان می‌شود که هر چه مقدار این شاخص بیش‌تر باشد نشان از عدم موفقیت زهکش در کنترل

1. Sum of Excess Water
2. Relative Ground Water Depth

سطح ایستابی دارد. شاخص RGWD نیز بیان‌گر نسبت عمق متوسط سطح ایستابی در طول دوره رشد گیاه به عمق مطلوب سطح ایستابی است. این شاخص می‌تواند در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ قرار گیرد که مقادیر زیاد آن نشان‌دهنده زهکشی زیاد و مقادیر کم‌تر نشان‌دهنده زهکشی ضعیف است. مقدار بهینه و مطلوب این شاخص یک می‌باشد (Naseri and Arvahi, 2010).

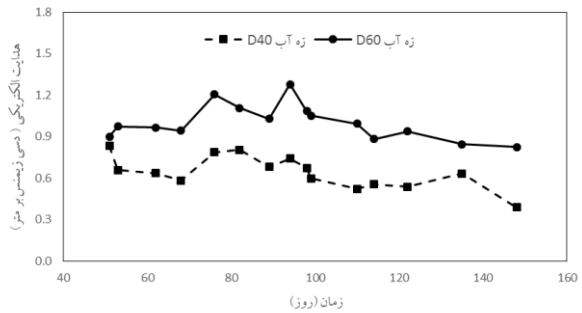
جدول ۵. شاخص عملکرد زهکش زیرزمینی در دو عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری

	SEW (cm)	RGWD	تعداد روزهای ماندابی	حداکثر عمق سطح ایستابی (سانتی‌متر)	حداقل عمق سطح ایستابی (سانتی‌متر)	متوسط عمق سطح ایستابی (سانتی‌متر)
محفظه D40	-۱۵۸/۵۰	۱/۲۰	۶	۳۲/۱۰	۱۵/۹۰	۲۳/۹۳
محفظه D60	-۵۲۴/۲۵	۱/۴۳	۲	۵۳/۷۰	۱۹/۶۰	۴۲/۹۵

با توجه به نتایج شاخص‌های ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی محاسبه شده (جدول ۵)، ضریب عکس‌العمل بیش‌تر برای باران‌های با فراوانی وقوع بیش‌تر، روند تغییرات عمق سطح ایستابی در طول دوره آزمایش (شکل ۴)، عمق توسعه ریشه گیاه تریتیکاله (۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متر) و دبی خروجی از زهکش‌ها در دو عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر (شکل ۳) می‌توان نتیجه گرفت که زهکش نصب شده در عمق ۴۰ سانتی‌متر نسبت به عمق ۶۰، توانایی ایجاد شرایط مناسب برای ریشه گیاه را دارد.

بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی زه‌آب

روند تغییرات هدایت‌الکتریکی (EC) زه‌آب نسبت به زمان برای دو عمق نصب زهکش در شکل (۵) آورده شده است. هدایت‌الکتریکی زه‌آب خارج شده از هر دو عمق زهکش در طول دوره رشد گیاه روند کاهشی داشت. در انتهای دوره رشد، هدایت‌الکتریکی زهکش D40، ۰/۳۸۸ دسی‌زیمنس بر متر و زهکش D60، ۰/۸۲۴ دسی‌زیمنس بر متر بود که نسبت به اولین نمونه زه‌آب به ترتیب ۵۳ و ۸ درصد کاهش مشاهده شد. بنابراین زهکش عمق ۴۰ سانتی‌متر با خروج دبی بیش‌تر توانست حدود ۵۰ درصد املاح پروفیل بالادست خود را تخلیه نماید. این مساله ناشی از کم‌تر بودن ضخامت پروفیل مورد آبشویی و همچنین افزایش سهم زه‌آب خروجی در زهکش D60 از میزان آب تجمع یافته در کف مخزن می‌باشد. مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت‌الکتریکی آب تجمع یافته در کف (به‌ترتیب ۱/۶۳۹ و ۱/۰۰۸ دسی‌زیمنس بر متر) در مخزن D40 و D60 نشان‌دهنده عدم موفقیت زهکش ۴۰ سانتی‌متر نسبت به ۶۰ سانتی‌متر در جلوگیری از ورود املاح به سطوح پایین‌تر خاک و سفره آب زیرزمینی است. علت حرکت بیش‌تر شوری در زهکش عمق ۴۰ به سمت کف مخزن را می‌توان به غلبه جریان عمودی بر جریان‌های افقی و شعاعی به سمت زهکش نسبت داد. در واقع نقش آب تجمع یافته در کف مخازن همانند نقش سطح سفره آب زیرزمینی در مزارع می‌باشد که با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان پیش‌بینی نمود احتمالاً با نصب زهکش در اعماق کم‌تر، هدایت‌الکتریکی آب زیرزمینی افزایش خواهد یافت. هدایت‌الکتریکی در هر دو زهکش D40 و D60 تا روز ۶۸ام روند کاهشی داشت که به دلیل وقوع بارندگی‌های زیاد با فاصله زمانی کم از روز ۵۴ام و آبشویی خاک بود. از روز ۶۸ام تا ۹۴ام به دلیل کاهش بارندگی امکان آبشویی زیاد خاک وجود نداشت و به دلیل افزایش تبخیر-تعرق در این مدت، نمک‌ها دوباره خود را به سطح خاک رسانده (به دلیل بالا بودن مقادیر رس و کوچک بودن منافذ خاک) و مقدار کم بارندگی، زه‌آب با هدایت‌الکتریکی بالا را در این مدت ایجاد کرد؛ اما بعد از روز ۹۴ام با افزایش مقدار بارندگی‌ها و به تبع آن آبشویی زیاد خاک، هدایت الکتریکی زه‌آب مجددا روند کاهشی پیدا کرد.

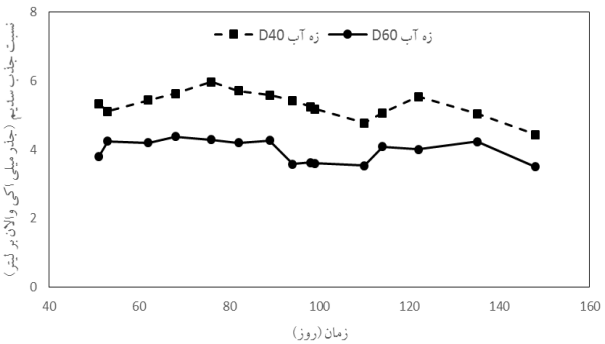


شکل ۵- روند تغییرات هدایت الکتریکی در طول دوره رشد گیاه

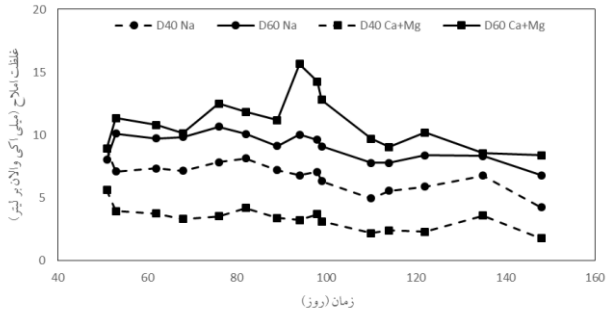
بار شوری خروجی از زهکش‌ها در کل دوره آزمایش برای دو زهکش D40 و D60 به ترتیب ۳۰۳۹۵ و ۷۴۷۴۵ میلی‌گرم محاسبه شد که در زهکش D60 به میزان ۱۴۵ درصد بیش‌تر از زهکش D40 بود. این میزان اختلاف در بار شوری خروجی از زهکش‌ها را می‌توان به دلیل بیش‌تر بودن ضخامت پروفیل آبشویی شده و نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی شور به زهکش D60 دانست.

طبق پژوهش صورت گرفته توسط Rhoades (1968)، همبستگی قوی بین SAR محلول خاک در نمونه‌های حاصل از

انتهای منطقه ریشه و SAR آب خارج شده از زهکش وجود دارد. بنابراین SAR آب زهکش تخمینی ارزشمند برای پیش‌بینی حداکثر میزان SAR قابل حصول در داخل منطقه ریشه می‌باشد (Suarez, 1981). مقادیر SAR زه‌آب برای هر دو عمق نصب زهکش در طول دوره رشد گیاه اندازه‌گیری شد که روند تغییرات آن در مقابل زمان در شکل (۶) نشان داده شده است. SAR در هر دو زهکش در طول آزمایش روند کاهشی داشت. به طوری که مقدار SAR در انتهای دوره آزمایش برای زهکش‌های D40 و D60 به ترتیب ۴/۴۳ و ۳/۵۰ جذر میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود که نسبت به ابتدای دوره به ترتیب به میزان ۱۶ و ۸ درصد کاهش نشان داد. همان‌طور که در شکل (۷) مشخص است، روند کاهشی SAR ناشی از روند کاهشی مقادیر Na و Ca+Mg در دو زهکش است. مقادیر Na و Ca+Mg در انتهای دوره آزمایش در زهکش D40 به ترتیب ۴/۲۷ و ۱/۸۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود که ۵۲ و ۶۸ درصد نسبت به مقدار اولیه کاهش داشت. در زهکش D60 نیز به ترتیب ۶/۸۱ و ۸/۴۰ میلی اکی‌والان بر لیتر بود که نسبت به مقدار اولیه ۱۵ و ۶ درصد کاهش نشان داد. با توجه به این‌که در زهکش D40 سدیم آبشویی کم‌تری نسبت به کلسیم و منیزیم داشت، مقدار نسبت جذب سدیم در آن بیش‌تر از زهکش D60 مشاهده شد. دلیل رفتار متفاوت زهکش در خروجی سدیم و مجموع کلسیم و منیزیم در عمق‌های نصب مختلف را می‌توان به شرایط هوازی بیش‌تری که در زهکش ۴۰ سانتی‌متر روی داد، نسبت داد. به طوری که در شرایط هوازی، اسیدیته محلول خاک به سمت اسیدیته نرمال یا بازی تمایل پیدا می‌کند که در چنین شرایطی احتمال رسوب کلسیم و منیزیم محلول خاک افزایش یافته و سدیم با قدرت بیش‌تری در کنار ذرات رس خاک نگه داشته می‌شود. بنابراین در مقایسه با کلسیم و منیزیم، سدیم پتانسیل کم‌تری برای حرکت به سمت زهکش پیدا می‌نماید.



شکل ۶- روند تغییرات SAR زه‌آب در طول دوره رشد گیاه



شکل ۷. روند تغییرات مقدار سدیم و مجموع کلسیم و منیزیم زه‌آب در طول دوره رشد گیاه

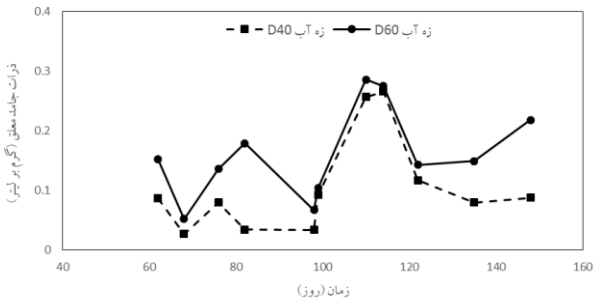
بررسی روند تغییرات ذرات جامد معلق زه‌آب

روند تغییرات مقدار TSS نسبت به زمان در شکل (۸) نشان داده شده است. بررسی پارامتر TSS در طول دوره آزمایش نشان داد که مقدار ذرات جامد معلق در زه‌آب بسیار کم بود. با وجود این‌که مقدار TSS در هر دو عمق زهکش کم بود اما مقدار آن در زهکش D60 بیش‌تر از زهکش D40 اندازه‌گیری شد. این اختلاف را می‌توان ناشی از بیش‌تر بودن ضخامت پروفیل خاک بر روی زهکش D60 نسبت به زهکش D40 دانست که خود باعث افزایش فشار بر روی زهکش شده و ورود ذرات ریز خاک همراه با جریان آب را به داخل زهکش افزایش می‌دهد. مقدار TSS برای دو زهکش D40 و D60 در انتهای دوره آزمایش به ترتیب ۰/۰۸۸ و ۰/۲۲ گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد که نسبت به ابتدای دوره آزمایش ۱/۵ و ۴۳/۴ درصد افزایش نشان داد. بنا بر نتایج، در خاک‌های لوم سیلتی که پتانسیل حرکت ذرات خاک زیاد است، با افزایش ۲۰ سانتی‌متر عمق زهکش احتمال گرفتگی به میزان ۲۸ درصد افزایش یافت که می‌تواند نکته مهمی در انتخاب عمق مناسب نصب زهکش باشد. اگرچه پوشش به طور کلی عملکرد قابل قبولی در جلوگیری از ورود ذرات فرسایش یافته به داخل زهکش داشت اما روند نوسانی جامدات معلق در زه‌آب نشان مطلوبی از رفتار پوشش در طولانی مدت ندارد، زیرا این روند می‌بایست سیر نزولی را طی نماید. به نظر می‌رسد روند نوسانی و افزایش مقادیر جامدات معلق در زمان‌های بارندگی پس از یک دوره بی باران که خاک خشک‌تر و درز و ترک بیش‌تری ایجاد شده، روی داده است و تأثیر این مسئله بر عملکرد پوشش در فصل دوم کشت که خاک اراضی شالیزاری شرایط غیر غرقاب را تجربه می‌کند، می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

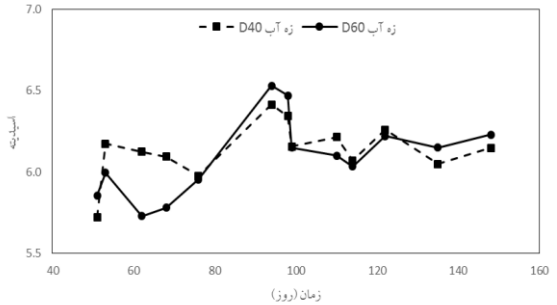
بررسی تغییرات اسیدیته زه‌آب

روند تغییرات اسیدیته زه‌آب نسبت به زمان در شکل (۹) نشان داده شده است. روند کلی تغییرات اسیدیته صعودی بود و

زهکشی باعث تمایل اسیدیته خاک به سمت نرمال شد. در روند تغییرات اسیدیته، فراز و نشیب‌هایی مشاهده شد که ناشی از بارندگی و به دنبال آن تغییر رطوبت خاک و آبشویی املاح بود. در روزهای ۵۳ و ۵۴ام به دلیل بارندگی زیاد به مقدار ۱۱ سانتی‌متر، رطوبت خاک به مقدار زیادی افزایش یافت که باعث کاهش اکسیژن محلول در خاک و در نتیجه افزایش pH گردید. سپس در زهکش D40 به دلیل تخلیه زه‌آب و کاهش رطوبت خاک، pH روند کاهش پیدا کرد؛ اما در زهکش D60 بعد از یک کاهش مقطعی در مقدار pH که به دلیل تخلیه سریع زه‌آب توسط زهکش صورت گرفت، به دلیل تأثیر موییینگی آب جمع شده در کف مخزن، رطوبت خاک در اطراف زهکش D60 مجدد بالا رفت و باعث شکل‌گیری روند افزایشی در pH گردید. در روزهای ۹۴ تا ۱۰۰ ام نیز به دلیل بارندگی زیاد به مقدار ۱۵ سانتی‌متر و افزایش رطوبت خاک، مجدد یک افزایش ناگهانی در میزان pH زهکش‌های D40 و D60 رخ داد. Snakin و همکاران (2001) نیز گزارش کردند که با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقدار اسیدیته خاک افزایش می‌یابد و علت آن رقیق شدن محیط محلول خاک است که در نتیجه پدیده هیدرولیز نمک‌های خنثی رخ داده و منجر به افزایش مقدار اسیدیته خاک می‌گردد. Unger و همکاران (2009) نیز اعلام کردند که شرایط اشباع سبب کاهش پتانسیل اکسایش و اکسیژن محلول در خاک می‌شود و با مدت زمان اشباع شدن رابطه مستقیمی دارد.



شکل ۸- روند تغییرات ذرات جامد معلق در طول دوره آزمایش



شکل ۹- روند تغییرات اسیدیته زه‌آب در طول دوره آزمایش

بررسی عملکرد کمی گیاه تریتیکاله

عملکرد علوفه تر برای دو زهکش D40 و D60 به ترتیب ۲۷/۲۷ و ۲۶/۰۹ تن در هکتار به دست آمد. در مطالعه‌ای که به منظور بررسی اثر تنش عناصر غذایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد علوفه‌ای تریتیکاله در اراضی شالیزاری موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت انجام شد، مصرف مقدار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیش‌ترین عملکرد علوفه تر را به مقدار ۲۲/۱۷ تن در هکتار تولید کرد (Karimipashaki *et al*., 2010). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که زهکش D40 توانایی بیش‌تری نسبت به زهکش D60 در ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاه تریتیکاله داشت. مطابق با نتایج، آب‌گرفتگی نسبت به بالا بودن رطوبت خاک تأثیر منفی بیش‌تری بر عملکرد تریتیکاله دارد به طوری که عمق زهکش ۴۰ سانتی‌متر به دلیل ضریب عکس‌العمل بالای تخلیه، شرایط مساعدتری برای رشد گیاه فراهم نمود.

نتیجه‌گیری کلی

به‌منظور بررسی تأثیر عمق زهکش بر عملکرد فنی و کیفی زهکش در اراضی شالیزاری که کشت دوم در آن‌ها برنامه‌ریزی می‌شود، پژوهش حاضر در مقیاس مدل فیزیکی انجام شد. زهکش‌ها در دو عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر کار گذاشته شدند و روند تغییرات دبی، سطح ایستابی و کیفیت زه‌آب در طول دوره رشد گیاه تریتیکاله (به عنوان یکی از گیاهان الگوی کشت دوم اراضی شالیزاری استان گیلان) و عملکرد گیاه بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش، شوری زه‌آب خروجی نیز افزایش یافت. همچنین با توجه به تداوم بیش‌تر جریان در زهکش D60، حجم زه‌آب خروجی در طول دوره باز بودن زهکش نیز با افزایش عمق نصب زهکش بیش‌تر گردید. بنابراین آثار سوء زیست‌محیطی زهکش نصب شده در عمق پایین‌تر در شرایط وجود سطح ایستابی کم‌عمق، بیش‌تر است. عملکرد زهکش زیرزمینی با افزایش عمق کاهش یافت، به طوری که زهکش نصب شده در عمق ۴۰ سانتی‌متری در کنترل سطح ایستابی و تخلیه سریع زه‌آب موفق‌تر عمل نمود. از طرفی با توجه به این‌که ریشه‌های گیاه تریتیکاله بیش‌تر در سطح خاک پراکنده هستند و از رطوبت موجود در عمق ۱۵ تا ۴۵ سانتی‌متری خاک استفاده می‌کنند، زهکش D40 شرایط بهتری از نظر تامین آب مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد فراهم کرد که این امر به دلیل کنترل سطح ایستابی توسط این زهکش در عمق متوسط حدود ۲۴ سانتی‌متر بود.

در انتهای دوره آزمایش، عمق سطح ایستابی در زهکش

D40 به میزان ۱/۵ درصد و در زهکش D60 به میزان ۲۰/۵ درصد افزایش داشت. همچنین پارامتر هدایت‌الکتریکی در زهکش‌های D40 و D60 به ترتیب ۵۳/۴ و ۸/۴ درصد کاهش نشان داد. پارامترهای SAR، pH و TSS نیز برای دو زهکش D40 و D60 به ترتیب ۱۶/۷ و ۸ درصد کاهش، ۷/۴ و ۶/۴ درصد افزایش، ۱/۵ و ۴۳/۴ درصد افزایش داشتند. با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی، کشاورزی و اقتصادی و با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، عمق نصب زهکش ۴۰ سانتی‌متر از نظر جلوگیری از ماندابی و کنترل شوری زه‌آب خروجی موفق‌تر عمل کرد.

REFERENCES

Aslani, F., Nazemi, A., Sadreddini, A., Fakherifard, A. and Ghorbani, M.A. (2010). Underground drainage depth and distance estimates based on drainage water quality. *Journal of Soil and Water Research*, 41(2), 139-146. (In Farsi).

Bahceci, I., Dinc, N., Tari, A. F., Agar, A. I. and Sonmez, B. (2006). Water and salt balance studies, using SaltMod, to improve subsurface drainage design in the Konya-Cumra Plain, Turkey. *Agricultural Water Management*, 85(3), 261-271.

Hornbuckle, J.W., Christen, E,W., and Faulkner, R.D. (2007). Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. *Journal of Agricultural water management*, 89(3), 208-216.

Karimipashaky, Sh., Mirhadi, S. M. J., Shahdi, A. and Rabiiee, M. (2012). A Study on the Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers levels on the Morphological Characteristics, Qualitative and Quantitative Yield of Triticale in Rasht, Iran. *Crop Production In Environmental Stress*, 4(3), 13-25. (In Farsi).

Lelley, T. (2006). Triticale: A Low-input Cereal with Untapped Potential. p. 398-430. In Singh, J. R. (Ed.) *Genetic Resources Choromosome Engineering and Crop Improvement*. CRC Taylor.

Masoudi, S. A. and Liaghat, A. (2013). Feasibility of using rice husk instead of drain pipe and envelope material. *Water and Irrigation Management*, 3(1), 111-119. (In Farsi).

Naseri, A. and Arvahi, A. (2010). A Performance Evaluation of Subsurface Drainage System and Its Comparison with Traditional Drainage (Tide) in Date Palm Gardens of Abadan. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 40(1), 7-15. (In Farsi).

Nazari, B., Liaghat, A., Parsinezhad, M. and Naseri, A. (2008). Optimization the installation of subsurface drainage depth with economic and environmental considerations. In: 5th technical workshop on drainage and environment, 7 Nov., Tehran, Iran, pp. 107-123. (In Farsi).

Nozari, H., Azadi, S. and Ebrahimi, R. (2011). Assessment effect of distance and depth of drain on quantity and quality of drainage water output, using system dynamics analysis. In: *3rd National Conference of Irrigation and Drainage Networks*, 1-3 Mar., Shahid chamran University, Ahvaz, Iran, pp. 1-10. (In Farsi).

Razi, F., Sotoodehnia, A., Daneshkar Arasteh, P. and Akram, M. (2012). A Laboratory Test on the Effect of Drain Installation Depth on Drain Water Salinity (from a Clay-Loam Soil Profile). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 43(3), 281-288. (In Farsi).

Rhoades, J. D. (1968). Mineral-weathering correction for estimating the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Science Society of America Journal*, 32(5), 648-652.

Ritzema, H.P., Satyanarayana, T. V., Raman, S. and Boonstra. J. (2008). Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers'fields. *Agricultural Water Management*, 95(3), 179-189.

Soltani, Sh. M., Hanafi, M. M., Karbalaei, M. T. and Khayambashi, B. (2013). Qualitative Land Suitability Evaluation for the Growth of Rice and off-seasons Crops as Rice Based Cropping System on Paddy Fields of Central Guilan, Iran. *Indian Journal of Science and Technology*, 6(10), 5395-5403.

Snakin V.V., Prisyazhanaya A.A., and Kovasc-Lang E. (2001). Soil liquid phase composition. *Elsevier Science B. V.*, Amsterdam, the Netherlands. 88P.

Suarez, D. L. (1981). Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and on alternative method of estimating SAR of soil or Drainage water. *Soil Science Society of America Journal*, 45(3), 469-475.

Unger, I.M., Motavalli, P.P.,and Muzika, R.M. (2009). Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(1-2), 105-110.