Archive of SID

بررسی کیفیت زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی اراضی شالیزاری براساس پارامترهای طراحی

مهدی جعفری تلوکلایی[۱]، علی شاهنظری[۲*]، میرخالق ضیاتبار احمدی[۳]، عبدا.. درزی نفت‌چالی[۴]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری aliponh@yahoo.com
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۳۰

چکیده

برای رفع وضعیت غرقابی و ماندابی بخش وسیعی از شالیزارهای شمال ایران و برقراری شرایط کشت در فصل‌های پاییز و زمستان، احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی ضروری می‌باشد. طراحی مناسب عمق و فاصله سیستم زهکشی باعث به حداقل رساندن اثر منفی زه‌آب‌ها بر محیط زیست خواهد شد. در این تحقیق، اثر سیستم‌های مختلف زهکشی بر میزان سدیم، کلر و سولفات زه‌آب در ۴/۵ هکتار از اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در طول دو فصل کشت برنج و کلزا بررسی شد. تیمارهای مورد آزمایش عبارت بودند از: چهار سیستم زهکشی زیرزمینی با عمق ۰/۹ متر و فاصله زهکش ۳۰ متر با پوشش معدنی ($D_{0.9}L_{30}$)، عمق ۰/۶۵ متر و فاصله زهکش ۳۰ متر با پوشش معدنی ($D_{0.65}L_{30}$)، عمق ۰/۶۵ متر و فاصله زهکش ۱۵ متر با پوشش معدنی ($D_{0.65}L_{15}S$) و عمق ۰/۶۵ متر و فاصله زهکش ۱۵ متر با پوشش مصنوعی ($D_{0.65}L_{15}F$) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی با فاصله زهکش ۱۵ متر و اعماق نصب ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به‌صورت یک در میان (دوعمقی). در طول مدت مطالعه، میزان سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش‌ها اندازه‌گیری شد. براساس نتایج، با افزایش فاصله زهکش‌ها از ۱۵ متر به ۳۰ متر، میزان متوسط سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش کاهش یافت. همچنین، کمترین مقادیر غلظت سدیم، کلر، سولفات و کل املاح خروجی مربوط به تیمار $D_{0.9}L_{30}$ بود. در نتیجه، این سیستم زهکشی از نظر کیفیت زه‌آب اثر منفی زیست محیطی کمتری در مقایسه با سیستم‌های دیگر در پی داشت.

کلید واژه‌ها: سدیم، کلر، سولفات، عمق و فاصله زهکش، محیط زیست.

Investigation of Subsurface Drainage Water Quality in Paddy Fields Based on the Design Parameters

M. Jafari Talukolaee[1], A. Shahnazari[2], M. Kh. Ziatabar Ahmadi[3] and A. Darzi Naftchali[4]

1- Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Assistant Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4- Assistant Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Received: 16 July 2013 Accepted: 19 April 2014

Abstract

To prevent flooding and water logging condition and to provide cultivation condition for fall and winter seasons, installation of subsurface drainage is necessary in large areas of Northern Iran paddy fields. The correct design of depth and spacing of drainage systems causes minimum negative effects of drainage water on the environment. In this research, the effects of different drainage systems on the Sodium,

www.SID.ir

Archive of SID

Chloride and Sulfate of drainage water in 4.5 ha of paddy fields of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) during two successive growing seasons of rice and canola have been investigated. The experimental treatments were: Four subsurface drainage systems including drainage system with 0.9 m drain depth and 30 m drain spacing with mineral envelope ($D_{0.9}L_{30}$), 0.65 m drain depth and 30 m drain spacing with mineral envelope ($D_{0.65}L_{30}$), 0.65 m drain depth and 15 m drain spacing with mineral envelope ($D_{0.65}L_{15}S$), and 0.65 m drain depth and 15 m drain spacing with Geotextile envelope ($D_{0.65}L_{15}F$) and a bi-level subsurface drainage system with 15 m drain spacing and drain depths of 0.65 and 0.9 m as alternate depths (Bi-level). During the study period, Na, Cl and SO_4 of drainage water were measured. Based on the results, by increasing drain spacing from 15 m to 30 m, the average Na, Cl and SO_4 of drainage water decreased. Also, the minimum Na, Cl and SO_4 concentration and total dissolved drained were for $D_{0.9}L_{30}$ treatment. So, it can be concluded that this drainage system had less environmental effect with respect to other drainage systems, from drain water quality point of view.

Key words: Sodium, Chloride, Sulfate, Drain depth and spacing, Environment.

مقدمه

زهکشی ناکافی در طرح‌های آبیاری، عامل اصلی سطح آب زیرزمینی بالا، ماندابی، شوری و در نهایت کاهش محصول است (۱۹ و ۲۵). زهکشی برای مهار و تنظیم شوری و جلوگیری از ماندابی شدن خاک از اهمیت بسیاری برخوردار است. اما به دنبال این منافع، اثر منفی زیست‌محیطی نیز به وجود می‌آورد (۹). تخلیه زه‌آب خروجی با کیفیت پایین به آب‌های موجود در طبیعت، برخی از زیست‌بوم‌های آبی را تخریب و از کاربری‌های مفید منابع آبی و خاکی پذیرنده می‌کاهد (۱۷).

عناصر اصلی ایجاد شوری در خاک و آب، شامل عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلر، سولفات و بور می‌باشد (۱۱). کلریدها و سولفات‌ها، آنیون‌های مهم در تشکیل خاک‌های شور هستند. همه نمک‌های کلر دارای حلالیت زیاد و در نتیجه سمیت زیاد هستند. هرچه درجه شوری خاک و آب زیرزمینی بیشتر باشد مقدار کلر آن بیشتر است (۲۶). کلریدسدیم همراه با سولفات سدیم و منیزیم مهمترین نمک‌های محلول‌های شور را تشکیل می‌دهند. سمیت این نمک برای گیاه بسیار زیاد است (۱۱). با افزایش شوری، نسبت یون سدیم به کلسیم افزایش می‌یابد، زیرا نمک‌های سدیم نسبت به نمک‌های کلسیم حلالیت بیشتری دارند (۲۶). وجود سدیم زیاد علاوه بر اینکه سبب اختلال در روابط آب و خاک شده، به‌دلیل پراکنده کردن ذرات خاک و پر کردن روزنه‌های سطحی خاک، مسائل کاهش نفوذ آب در خاک را نیز به دنبال دارد (۲۳). آنیون غالب در محلول‌های شور نیز کلر است، در حالی که در محلول‌های کم‌شور یون سولفات غالب است (۲۶).

هرگاه یون‌های سدیم و کلر به مقدار زیاد در آب و خاک موجود بوده و وارد سیستم آوندی شوند یون سدیم از جذب پتاسیم جلوگیری می‌نماید، تقلیل میزان پتاسیم باعث کاهش انتقال نیترات شده و در نتیجه آنیون کلر به جای نیترات به برگ‌ها منتقل شده و در آن‌ها تجمع می‌یابد (۲۰ و ۲۴). زیان عمده کلر به گیاهان از اثری که بر افزایش فشار اسمزی دارد ناشی می‌شود و غلظت زیاد یون سولفات نیز منجر به مسمومیت گیاه حتی بیش از کلر می‌گردد (۱).

سولفات منگنز و سولفات سدیم از نمک‌هایی هستند که در آب قابل حل می‌باشند و سولفات از شسته شدن خاک حاصل می‌شود. مصرف آبی که شامل مقادیر زیادی از سولفات منگنز و سدیم است منجر به ناراحتی روده‌ای و اسهال می‌شود (۲). با بررسی تاثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه سیکان مشخص شد که میزان سولفات تحت تاثیر ورود زه‌آب کشاورزی به میزان ۴ تا ۷ برابر افزایش یافت و بیشترین میزان سولفات آب در تابستان و پاییز مشاهده شد (۶). حد استاندارد سولفات ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (۱۰).

عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی دو پارامتر مهم در طراحی سیستم‌های زهکشی می‌باشند که نقش تعیین کننده‌ای در مقدار و کیفیت زه‌آب‌های خارج شده از لوله‌های زهکشی دارند (۳). فاصله زهکش‌ها تأثیر به‌سزایی در میزان جریان ورودی از زیر لوله‌های زهکش به درون آن دارد، به طوری که هرچه فاصله زهکش‌ها از یکدیگر کمتر باشد، جریان کمتری از لایه‌های تحتانی وارد لوله زهکش می‌شود (۲۲). لذا کمیت و کیفیت زه‌آب تابعی از عمق و فاصله زهکش‌ها و پروفیل شوری خاک می‌باشد (۲۷). تأثیر عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی بر کیفیت زه‌آب، در دره سن خواکین کالیفرنیا که دارای آب زیرزمینی شور و کم‌عمق بود مطالعه شد. در این تحقیق اثر نصب لوله‌های زهکشی در عمق‌های ۲/۵، ۳ و ۴ متری و فواصل ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متری بر کیفیت زه‌آب در شرایط تغذیه ماندگار و غیرماندگار بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش عمق و فاصله زهکش‌ها، کیفیت زه‌آب زهکش‌ها کاهش می‌یابد (۱۵).

تأثیر اصلاح پارامترهای طراحی و مدیریت سیستم‌های زهکشی زیرزمینی بر کمیت و کیفیت زه‌آب‌ها در اراضی فاریاب جنوب شرقی استرالیا ارزیابی شد. در این تحقیق دو سیستم زهکشی با هم مقایسه گردید: زهکش عمیق در عمق ۱/۸ متری و به فاصله ۲۰ متر و زهکش کم عمق در عمق ۰/۷ متری و به فاصله ۳/۶ متر. بر اساس نتایج، با تغییر زهکش‌های عمیق با

www.SID.ir

Archive of SID

فاصله زیاد به زهکش‌های کم‌عمق با فاصله کم، فواید زیر عاید مـزرعه و محیط زیست می‌گردد: آب آبیاری کمتری زهکشی

جدول ۱- مشخصات سیستم‌های مختلف زهکشی مورد مطالعه

تیمار زهکشی	عمق زهکش (متر)	فاصله زهکش (متر)	شماره کرت	شماره خط زهکش
$D_{0.9}L_{30}$	۰/۹	۳۰	۲	۲
Bi-level	۰/۶۵ و ۰/۹	۱۵	۴	۴ و ۵
$D_{0.65}L_{30}$	۰/۶۵	۳۰	۶	۷
$D_{0.65}L_{15}S$	۰/۶۵	۱۵	۷	۹
$D_{0.65}L_{15}F$	۰/۶۵	۱۵	۸	۱۰

می‌گردد، لذا تلفات آبیاری کاهش می‌یابد، کاهش حجم زه‌آب سبب کاهش بار نمک خارج شده از طریق زهکش‌ها می‌گردد و سطح ایستابی بهتر کنترل می‌شود و بدین طریق بخشی از آب مورد نیاز گیاه تامین می‌شود (۱۳).

در بررسی اثر زهکشی زیرزمینی با عمق ۱ متر و فواصل ۱۵ و ۳۰ متر بر تولید محصول و کیفیت آب و خاک در کوتناد هند مشخص شد که زهکشی زیرزمینی در آبشویی سدیم، کلسیم و منیزیم بسیار مؤثر بوده و نسبت کلرید خاک را به شدت کاهش داد (۲۱). براساس نتایج یک مطالعه شبیه‌سازی، در صورتی‌که مقدار زیادی از زه‌آب از آب زیرزمینی تأمین شود، غلظت نمک زه‌آب تحت تأثیر شوری آب زیرزمینی قرار می‌گیرد. همچنین، عمق لایه غیرقابل نفوذ اثر زیادی در زمان به تعادل رسیدن شوری زه‌آب دارد و هرچه لایه غیرقابل نفوذ عمیق‌تر باشد، زمان بیشتری برای رسیدن به حالت تعادل لازم است (۱۸).

وسعت اراضی شالیزاری ایران در حدود ۶۴۰ هزار هکتار می‌باشد (۷) که بیش از ۷۵ درصد آن در دو استان شمالی مازندران و گیلان قرار دارد (۵). بیشترین سطح زیر کشت برنج کشور نیز در استان مازندران قرار دارد که حدود ۲۱۰ هزار هکتار از ۴۷۰ هزار هکتار سطح زیر کشت این استان به شالیزارهای برنج اختصاص دارد (۴). در سال‌های اخیر، تغییرات ساختاری مهمی در اراضی شالیزاری شمال کشور ایجاد شده است. به‌دنبال یکپارچه‌سازی شالیزارها و صرف هزینه‌های زیاد، تمایل به برقراری شرایط مناسب برای تنوع کاربری این اراضی افزایش یافت تا استفاده بهتری از منابع محدود آب و خاک به‌عمل آید. یکی از مؤثرترین راهکارهای بهبود بهره‌وری اراضی شالیزاری، بهینه‌سازی مدیریت آب از طریق نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی می‌باشد. در این راستا، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، اقدام به احداث پایلوت زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری یکپارچه-سازی شده نموده است تا با مطالعه تأثیر سیستم‌های مختلف زهکشی بر کیفیت زه‌آب، خطرات احتمالی زیست‌محیطی در طرح‌های زهکشی برای مصارف پایین‌دست نیز مشخص گردد. در این تحقیق، اثر زهکش‌های دارای عمق و فواصل مختلف بر تغییرات سدیم، کلر و سولفات زه‌آب در طول یک فصل کشت برنج و کلزا مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طول یک فصل کشت برنج و یک فصل کشت کلزا (تیر ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱) در ۴/۵ هکتار از اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، واقع در کیلومتر ۹ جاده ساری–دریا انجام گردید. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵– متر می‌باشد. طبق آمار هواشناسی ۱۰ ساله (۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰)، متوسط بارندگی سالانه منطقه، ۶۱۶ میلی‌متر و متوسط دمای هوا ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک لایه‌های ۳۰–۰، ۶۰–۳۰، ۹۰–۶۰، ۱۲۰–۹۰، ۱۵۰–۱۲۰، ۲۰۰–۱۵۰ سانتی‌متری خاک مزرعه مورد مطالعه غالبا از نوع سیلتی رس و از ۳۰۰–۲۰۰ سانتی‌متری از نوع رس می‌باشد.

در مزرعه مذکور، تیمارهای زهکشی زیرزمینی عبارت بودند از: سیستم زهکشی با فاصله ۳۰ متر و عمق نصب ۰/۹ متر با پوشش معدنی ($D_{0.9}L_{30}$)، سیستم زهکشی با فاصله ۳۰ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر با پوشش معدنی ($D_{0.65}L_{30}$)، سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر با پوشش معدنی ($D_{0.65}L_{15}S$)، سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر با پوشش مصنوعی ($D_{0.65}L_{15}F$) و یک سیستم زهکشی دو عمقی[1] (سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ متر و اعماق نصب ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به‌صورت یک در میان) با پوشش معدنی. در جدول (۱) مشخصات سیستم‌های زهکشی، شماره کرت محل نصب هر سیستم و شماره خطوط معرف هر سیستم زهکشی ارائه شد. شکل (۱) شماتیک نصب سیستم‌های زهکشی در مزرعه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. طول کلیه خطوط زهکش، ۱۰۰ متر و جنس لوله‌ها پی‌وی‌سی موجدار با قطر ۱۰۰ میلی‌متر بود که با شیب ۰/۲ درصد نصب شد.

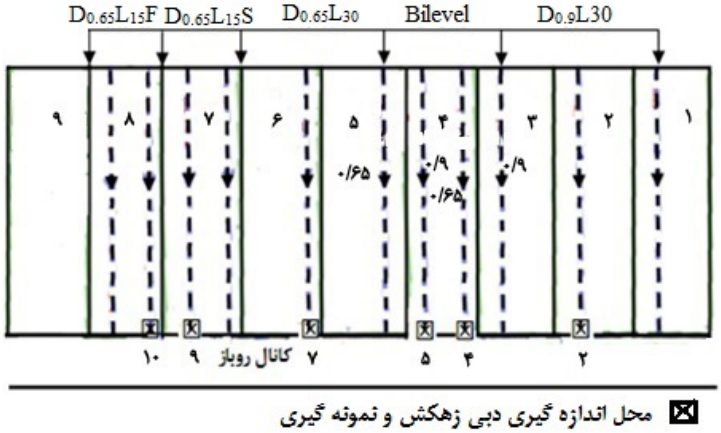
در تاریخ ۳۰ تیر ۱۳۹۰ برنج رقم طارم محلی در کرت‌های مورد مطالعه کشت شد. از چهار حلقه چاه با عمق حدود ۲۰ متر برای آبیاری برنج استفاده شد. برخی از پارامترهای کیفی آب آبیاری در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد که متوسط مقادیر آن‌ها، در جدول (۲) ارائه شد. هفت روز پس از نشاکاری، مقدار ۹۰ کیلوگرم

1- Bilevel

www.SID.ir

Archive of SID

کود اوره به خاک اضافه شد. برای جلوگیری از هدررفت آب و مواد غذایی در طول فصل کشت برنج، انتهای لوله‌های زهکش با



شکل ۱- آرایش سیستم‌های زهکشی در مزرعه آزمایشی و موقعیت نصب تجهیزات

جدول ۲- میانگین مقادیر برخی از پارامترهای کیفی آب آبیاری

نمونه	تعداد	pH	EC (µmhos/cm)	Na^+ (mg/lit)	(mg/lit) Cl	SO_4 (mg/lit)
آب آبیاری	۳	۷/۲۶	۱۱۱۳	۱۴۳	۱۱۵	۴۸

استفاده از درپوش مسدود شده و تنها در میان‌فصل و پایان‌فصل اجازه زهکشی آزاد داده شد. برای انجام زهکشی میان‌فصل، ۲۵ روز پس از نشا، آبیاری قطع و درپوش زهکش‌ها برداشته شد. این مرحله از زهکشی به‌مدت هفت روز ادامه یافت و بعد از ظهور ترک‌های کوچک سطحی، زهکش‌ها مسدود و مجدداً عملیات آبیاری آغاز شد. برای انجام زهکشی پایان‌فصل نیز دو هفته قبل از برداشت، با برداشتن درپوش زهکش‌ها، امکان زهکشی فراهم شد. در دومین روز از زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل از زه‌آب تیمارهای زهکشی $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel-$D_{0.9}$، Bilevel-$D_{0.65}$، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ نمونه‌برداری شد. بعد از برداشت برنج، بذر کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) با حداقل خلوص فیزیکی ۹۸ درصد و حداقل قوه نامیه ۸۵ درصد به‌میزان شش کیلوگرم در هکتار در کرت‌های دارای سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در تاریخ هفت آذر ۱۳۹۰ کشت شد. در تاریخ‌های ۱۷ اسفند ۱۳۹۰ و ۸ فروردین ۱۳۹۱، هر بار ۳۵ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک در تیمارهای تحت کشت کلزا استفاده شد. در طول مدت کشت کلزا (۱۲۶ روز)، عموما زهکشی به‌صورت آزاد انجام شد (تا ۱۵ فروردین ۱۳۹۱). در طول مدت زهکشی، دبی زهکش‌ها به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. نمودار تغییرات دبی روزانه زهکش‌ها در شکل (۲) آورده شده است. در این فصل، تقریبا ۱۵ روز یک‌بار نمونه‌هایی از زه‌آب هر یک از سیستم‌های زهکشی تهیه شد. مقدار سدیم (Na) نمونه‌ها با دستگاه فلیم فتومتر، کلر (Cl) با روش تیتراسیون و سولفات (SO_4) نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد.

مقایسه میانگین بین مقادیر سدیم، کلر و سولفات، تحت آزمون کمترین مربعات[1] در سطح احتمال یک درصد با نرم‌افزار SPSS، انجام شد. همچنین با بررسی نسبت کلر به سولفات، میزان اثر هر یک از این آنیون‌ها بر شوری زه‌آب و سمیت آن تعیین شد.

مقدار خروجی کل املاح، از مجموع حاصل‌ضرب غلظت سدیم، کلر و سولفات در نمونه معرف یک دوره زمانی خاص در حجم زه‌آب در آن دوره به‌صورت زیر محاسبه شد (۱۶):

$$L=\sum(C_{di}\times V_{di}) \qquad (۱)$$

که در آن، L تلفات زهکشی هر یک از املاح مورد نظر (میلی‌گرم)، C_{di} غلظت هر یک از املاح زه‌آب در دوره زمانی i (میلی‌گرم در لیتر) و V_{di} حجم زه‌آب در طول دوره i (لیتر) می‌باشد.

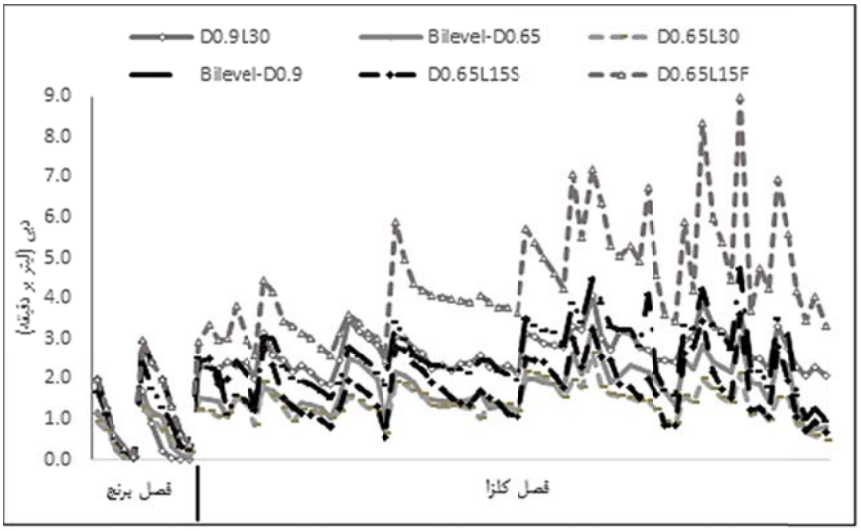
نتایج و بحث

در جدول (۳) حجم زه‌آب خروجی از تیمارهای مختلف در دوره‌های زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل کشت برنج و کل فصل کشت کلزا نشان داده شد. در فصل کشت برنج، کمترین و بیشترین مقدار حجم زهکشی به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}S$ بود. کمترین و بیشترین مقدار زه‌آب در فصل کلزا برابر ۱۶۹۱ و ۵۶۲۰ مترمکعب در هکتار بود که

1- LSD

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲- تغییرات دبی روزانه زهکش‌ها

جدول۳- حجم زه‌آب خروجی از زهکش‌ها (مترمکعب در هکتار)

تیمار زهکشی	$D_{0.9}L_{30}$	Bilevel	$D_{0.65}L_{30}$	$D_{0.65}L_{15}S$	$D_{0.65}L_{15}F$
میان فصل برنج	۱۳	۲۳	۱۸	۴۰	۴۱
پایان فصل برنج	۱۴	۴۱	۳۵	۹۷	۹۶
فصل کشت کلزا	۱۷۴۰	۲۰۳۲	۱۶۹۱	۲۳۸۵	۵۶۲۰

جدول٤- سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش‌ها در فصل کشت برنج و میانگین مقادیر آن در فصل کشت کلزا (میلی‌گرم بر لیتر)

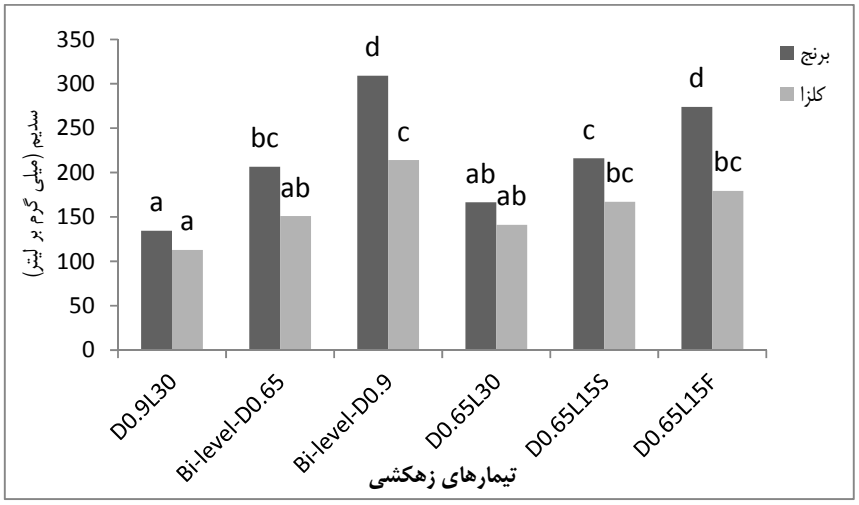
تیمار		میان فصل برنج			پایان فصل برنج			فصل کلزا		
		سدیم	کلر	سولفات	سدیم	کلر	سولفات	سدیم	کلر	سولفات
$D_{0.9}L_{30}$		۱۴۰/۸	۱۹۱/۶	۱۲۴	۱۲۸	۱۸۴/۲	۱۱۲	۱۱۲/۹	۹۴/۳	۵۵/۹
Bilevel	$D_{0.65}$	۲۱۰	۲۲۷/۲	۱۶۵/۶	۲۰۲/۸	۲۱۷/۱	۱۵۴/۶	۱۵۱/۰۵	۱۱۹/۷۸	۱۱۶/۵
	$D_{0.9}$	۳۰۰	۳۱۳/۴	۲۸۴/۳	۳۱۸	۳۲۸/۹	۲۷۳/۹	۲۱۴/۱	۱۶۹/۲۴	۳۰۱/۶
$D_{0.65}L_{30}$		۱۷۳	۱۹۷/۵	۱۷۵/۳	۱۶۰	۱۸۹/۱	۱۶۸/۲	۱۴۱/۱	۱۱۵/۳	۱۳۶/۸
$D_{0.65}L_{15}S$		۲۲۸	۲۷۸/۵	۲۶۹/۳	۲۰۴/۴	۲۶۴/۸	۲۵۸/۷	۱۶۶/۹	۱۵۰/۲	۲۵۳/۲
$D_{0.65}L_{15}F$		۲۸۱	۲۳۵	۲۶۵	۲۶۷	۲۲۹/۵	۲۵۷	۱۷۹/۴	۱۳۱/۴	۲۳۰/۷

به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}F$ می‌باشد. با توجه به جدیدالاحداث بودن سیستم‌های زهکشی در مزرعه و براساس جریان ترجیحی، کارایی زهکش‌های کم‌عمق در تخلیه زه‌آب بیشتر بود اما به مرور زمان و در نتیجه بهبود ساختمان خاک در اثر زهکشی، عملکرد زهکش‌های عمیق تا حدودی بهبود یافته که نتایج $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$ در فصل کشت کلزا گواه این مطلب است.

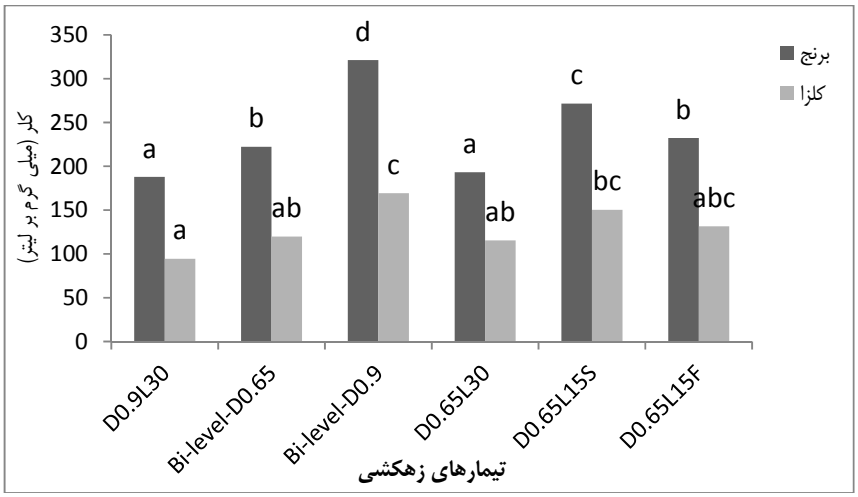
در جدول (۴) مقادیر غلظت سدیم، کلر و سولفات زه‌آب تیمارهای مختلف در میان‌فصل و پایان‌فصل کشت برنج و متوسط مقدار آن در فصل کشت کلزا ارائه شد. در فصل کشت برنج، کمترین و بیشترین مقدار سدیم، کلر و سولفات زه‌آب به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و Bilevel-$D_{0.9}$ می‌باشد. مقدار سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش‌های مختلف در زمان زهکشی پایان‌فصل کشت برنج تا حدودی کمتر از مقادیر آن در زمان زهکشی میان‌فصل بود. مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره در ابتدای فصل کشت برنج، به دلیل وجود کلر و سولفات‌پتاسیم در آن، سبب حلالیت بیشتر سدیم و افزایش میزان کلر و سولفات زه‌آب در زمان زهکشی میان‌فصل شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- میانگین‌ها و نتایج آزمون کمترین مربعات برای سدیم زه‌آب زهکش‌ها در هر دو فصل کشت در سطح یک درصد



شکل ٤- میانگین‌ها و نتایج آزمون LSD برای کلر زه‌آب زهکش‌ها در هر دو فصل کشت در سطح یک درصد

همانند فصل کشت برنج، در فصل کشت کلزا نیز کمترین و بیشترین مقدار متوسط غلظت سدیم، کلر و سولفات زه‌آب به‌ترتیب در تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و Bilevel-$D_{0.9}$ مشاهده شد. متوسط کلر و سولفات زه‌آب تیمارهای مختلف در فصل کشت کلزا کمتر از مقدار کلر و سولفات زه‌آب در زمان‌های زهکشی میان‌فصل و پایان فصل کشت برنج بود که دلیل آن وقوع بارندگی زیاد در فصل کشت کلزا و شستشوی دائمی پروفیل خاک می‌باشد. کلرید در خاک به وسیله محل‌های تبادلی نگهداری نمی‌شود و به آسانی از خاک شسته می‌شود (۱۴). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای زهکشی بر غلظت سدیم، کلر و سولفات زه‌آب برای هر دو فصل کشت در سطح یک درصد به ترتیب در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده است. به‌طورکلی، تیمارهای زهکشی اثر معنی‌دار بر کیفیت زه‌آب داشتند. در فصل کشت برنج، بین میانگین سدیم زه‌آب تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و Bilevel-$D_{0.9}$ اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد وجود داشت. همچنین، میانگین سدیم زه‌آب تیمارهای Bilevel-$D_{0.65}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}S$ با میانگین تیمار Bilevel-$D_{0.9}$ اختلاف معنی‌دار داشت. اختلاف میانگین سدیم زه‌آب تیمار $D_{0.65}L_{30}$ با تیمارهای $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ و دو تیمار $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ نیز معنی‌دار بود.

در فصل کشت کلزا، میانگین سدیم زه‌آب تیمار $D_{0.9}L_{30}$ با مقدار متناظر آن در تیمارهای Bilevel-$D_{0.9}$، $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین، اختلاف معنی‌دار بین میانگین سدیم زه‌آب تیمارهای Bilevel-$D_{0.65}$ و Bilevel-

www.SID.ir

Archive of SID

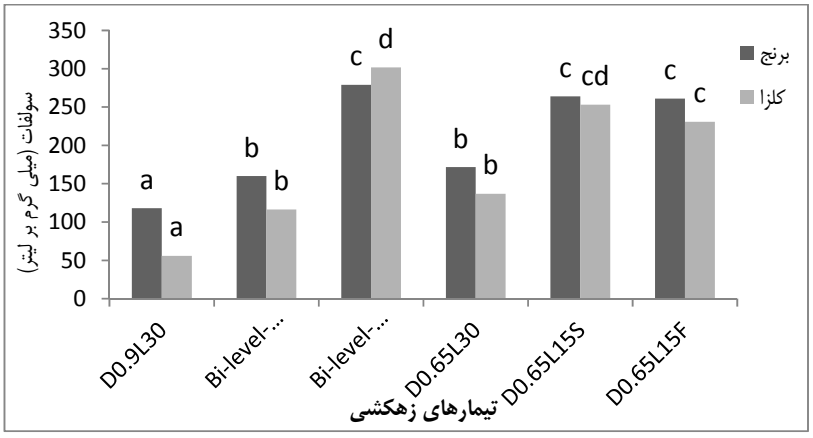
$D_{0.9}$ وجود داشت. اختلاف میانگین سدیم زه‌آب بین تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$ و Bilevel-$D_{0.9}$ نیز معنی‌دار بود. با مشاهده شکل (۴)، در فصل کشت برنج، بین میانگین کلر زه‌آب تیمار Bilevel-$D_{0.9}$ با مقدار آن در بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین، میانگین کلر زه‌آب تیمار $D_{0.9}L_{30}$ با مقدار متناظر در تیمارهای Bilevel-$D_{0.65}$، $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ اختلاف معنی‌دار داشت. اختلاف میانگین کلر زه‌آب تیمار Bilevel-$D_{0.65}$ با تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}S$ و همچنین اختلاف میانگین کلر زه‌آب تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ به طور دو به دو با هم معنی‌دار شد.

در فصل کشت کلزا، میانگین کلر زه‌آب تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel-$D_{0.65}$ و $D_{0.65}L_{30}$ با مقدار متناظر آن در تیمار Bilevel-$D_{0.9}$ اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین، اختلاف میانگین کلر زه‌آب بین تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}S$ معنی‌دار بود. با توجه به شکل (۵) در فصل کشت برنج، میانگین غلظت سولفات زه‌آب تیمار $D_{0.9}L_{30}$ با مقدار آن در بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین، میانگین سولفات زه‌آب تیمار Bilevel-$D_{0.65}$ با مقدار متناظر در تیمارهای Bilevel-$D_{0.9}$، $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ اختلاف معنی‌دار داشت. اختلاف میانگین سولفات زه‌آب تیمار $D_{0.65}L_{30}$ با تیمارهای $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ نیز معنی‌دار بود.

در فصل کشت کلزا، میانگین سولفات زه‌آب تیمار $D_{0.9}L_{30}$ با مقدار آن در بقیه تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین، اختلاف معنی‌دار بین میانگین سولفات زه‌آب تیمار Bilevel-$D_{0.65}$ با مقدار متناظر آن در تیمارهای Bilevel-$D_{0.9}$، $D_{0.65}L_{15}S$و $D_{0.65}L_{15}F$ وجود داشت. اختلاف میانگین سولفات زه‌آب تیمار $D_{0.65}L_{30}$ با تیمارهای $D_{0.65}L_{15}S$ و $D_{0.65}L_{15}F$ نیز معنی‌دار بود.

با مشاهده نتایج هر دو فصل، برای فاصله زهکش ۱۵ متر، با افزایش عمق زهکش بر میزان سدیم، کلر و سولفات افزوده شد. در عمق ۰/۶۵ متر و ۰/۹ متر با افزایش فاصله از میزان سدیم، کلر و سولفات زه‌آب کم شد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که افزایش فاصله زهکش‌ها سبب کاهش دفع سدیم، کلر و سولفات به وسیله سیستم‌های زهکشی شد.

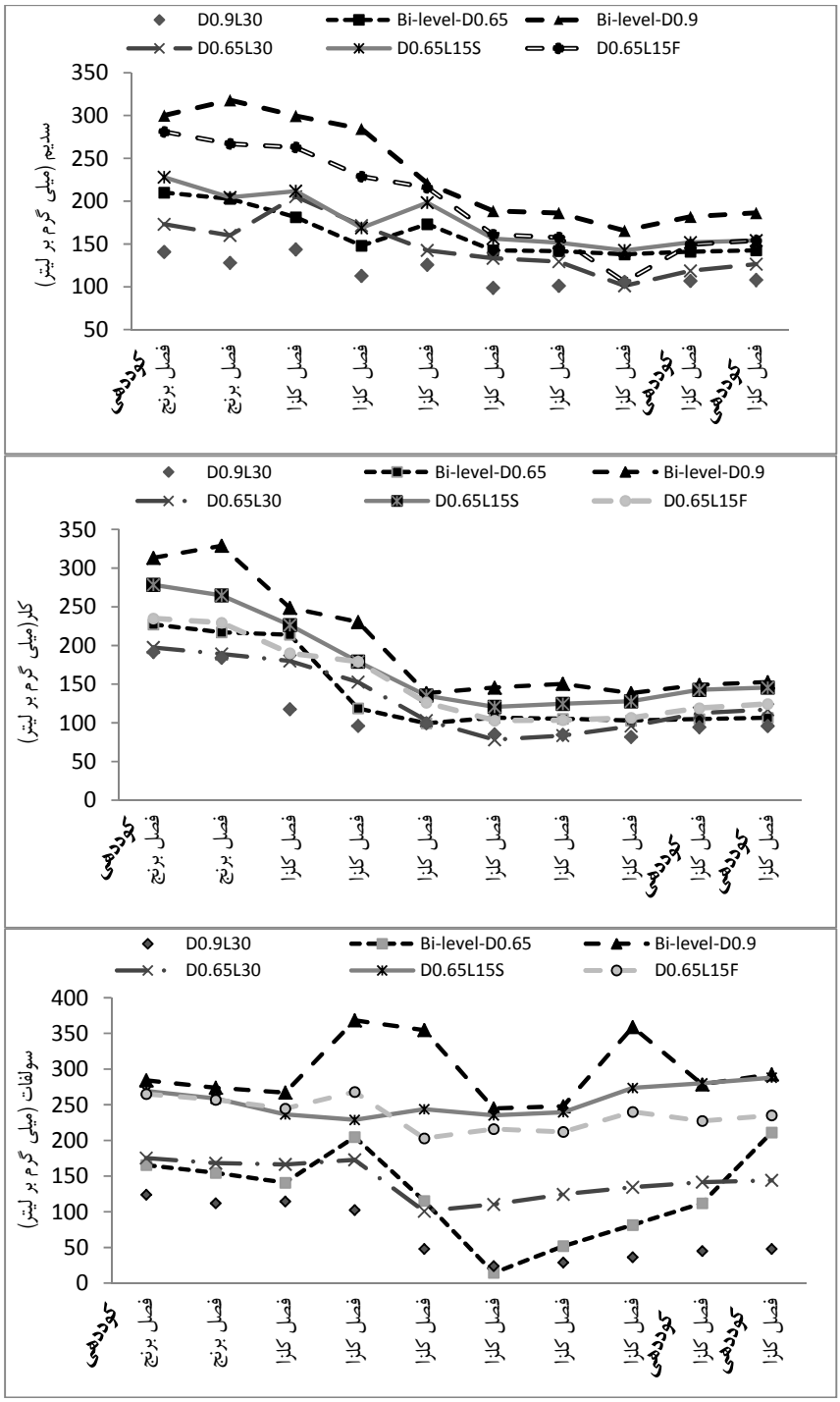
مقایسه مقادیر سدیم، کلر و سولفات زه‌آب هر دو فصل نشان داد که افزایش تراکم زهکش‌ها (کاهش فاصله زهکش‌ها) به‌همراه افزایش عمق زهکش، بیشتر از افزایش عمق زهکش به‌تنهایی، بر کیفیت زه‌آب تأثیر داشت. گواه این مطلب، بیشتر بودن سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش با عمق ۰/۹ متر در تیمار دوعمقی در مقایسه با مقدار متناظر در تیمار $D_{0.9}L_{30}$ در کل مدت مطالعه می‌باشد. مقایسه کیفیت زه‌آب سایر تیمارها نیز مؤید مطلب مذکور می‌باشد. در تحقیقات مشابه در بررسی نقش زهکشی مصنوعی در پویایی سولفور در خاک‌های اسید سولفاته غنی از سولفید آهن مشاهده شد که بالای عمق زهکش مصنوعی، سولفور و نیکل به شدت شسته شده، در حالی که در پایین عمق زهکش مقدار آن در خاک، فراوان بوده و سولفید آهن پایدار با عمق افزایش می‌یابد (۱۲). در شکل (۶) روند تغییرات سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش‌های مختلف در فصل کشت برنج و کلزا ارائه شده است. در مورد سدیم و کلر مشاهده می‌شود که با گذر زمان از میزان آن‌ها در زه‌آب کاسته شده است و فقط در مواردی که نمونه‌برداری بعد از کوددهی بوده است بر مقدار این پارامترها افزوده شد. همچنین در عین تغییرات نامنظم غلظت سولفات زه‌آب خروجی از زهکش‌ها، در بعضی از مراحل، به مرور زمان بر میزان سولفات افزوده شد. تغییرات سولفات در زه‌آب تیمار زهکشی معمولی، ($D_{0.9}L_{30}$) عموما روند کاهشی داشته است اما تغییرات آن در بقیه تیمارها منظم نبوده است. با وجود سولفات در کودهای اوره و سوپرفسفات تریپل (۸)، کوددهی باعث افزایش میزان سولفات در خاک می‌شود.



شکل ۵- میانگین‌ها و نتایج آزمون کمترین مربعات برای سولفات زه‌آب زهکش‌ها در هر دو فصل کشت در سطح یک درصد

www.SID.ir

Archive of SID

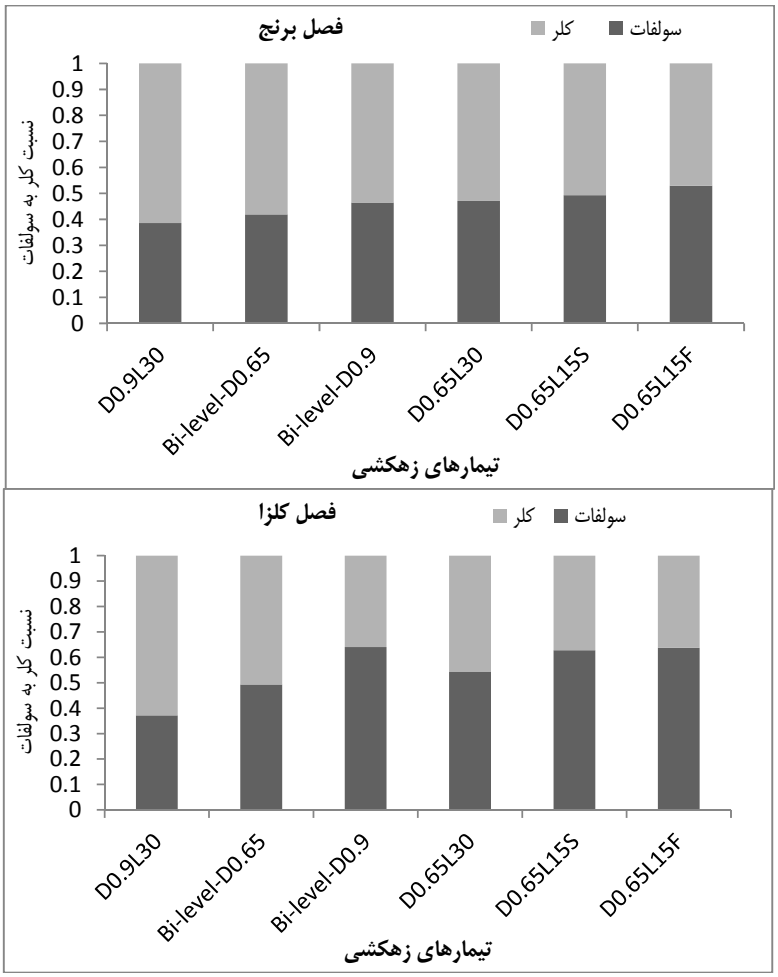


شکل٦- تغییرات سدیم، کلر و سولفات زه‌آب تیمارهای زهکشی در هر دو فصل کشت

در شکل (۷) نسبت کلر به سولفات زه‌آب زهکش‌ها برای کل مدت مطالعه ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در فصل کشت برنج میزان کلر در همه تیمارها به جز تیمار با پوشش مصنوعی از میزان سولفات بیشتر بوده است. همچنین تیمار $D_{0.9}L_{30}$ بیشترین میزان کلر نسبت به سولفات را داشت، اما در فصل کشت کلزا این نسبت کاهش یافت و به جز در تیمار $D_{0.9}L_{30}$، در سایر تیمارها میزان کلر از میزان سولفات کمتر بود. احتمالا به‌دلیل آنکه طرح زهکشی برای اولین سال در مزرعه مورد نظر اجرا شده بود، لذا میزان کلر زه‌آب آن در اوایل زیاد بود. با مشاهده نتایج دو فصل و مقایسه تیمارها مشاهده می‌شود که

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷- نسبت کلر به سولفات زه‌آب تیمارهای زهکشی در هر دو فصل کشت

جدول۵- میزان سدیم، کلر و سولفات خروجی از تیمارهای زهکشی در مدت مطالعه (کیلوگرم در هکتار)

تیمار زهکشی	$D_{0.9}L_{30}$			Bilevel			$D_{0.65}L_{30}$			$D_{0.65}L_{15}S$			$D_{0.65}L_{15}F$		
	سدیم	کلر	سولفات	سدیم	کلر	سولفات	سدیم	کلر	سولفات	سدیم	کلر	سولفات	سدیم	کلر	سولفات
میان فصل برنج	۱/۸۴	۲/۵	۱/۶۳	۱۱/۴	۱۲/۱	۱۰	۳/۰۴	۳/۴۷	۳/۱	۹/۱	۱۱/۱۳	۱۰/۷۶	۱۱/۵	۹/۶۵	۱۰/۸۸
پایان فصل برنج	۱/۷۸	۲/۵۷	۱/۵۶	۲۱/۴	۲۲/۴	۱۷/۶	۵/۶	۶/۶۵	۵/۹۲	۱۹/۸	۲۵/۷۶	۲۵/۱۶	۲۵/۵	۲۱/۹	۲۴/۵۲
فصل کشت کلزا	۱۹۴	/۶ ۱۶۲	۹۴/۳	۷۱۵	۵۶۱/۹	۷۸۰/۷	۲۳۱	۱۸۷/۱	۲۲۸/۸	۳۹۶	۳۵۶	۶۰۴/۲	۹۸۷	۷۲۲/۸	۱۲۹۰

www.SID.ir

Archive of SID

هرچه عمق و فاصله زهکش بیشتر شود میزان کلر به سولفات آن بیشتر می‌شود. از آنجائی که خروج اکسیدهای سولفید از خاک باعث افزایش تولید محصول برنج می‌شود لذا زهکش‌های با فاصله کم از لحاظ کشاورزی در این مزرعه زهکشی تاثیر مثبتی دارند هر چند این تاثیر مثبت با اثر منفی در پایین‌دست همراه خواهد بود.

در جدول (۵) مقادیر کل سدیم، کلر و سولفات خروجی از تیمارهای مختلف در طول مدت مطالعه ارائه شده است. در زمان‌های زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل کشت برنج کمترین میزان سدیم، کلر و سولفات خروجی مربوط به تیمار $D_{0.9}L_{30}$ بود. بیشترین میزان سدیم و سولفات خروجی در زمان زهکشی میان-فصل از تیمار $D_{0.65}L_{15}F$ و بیشترین میزان کلر خروجی از تیمار دوعمقی بود. بیشترین میزان کلر و سولفات خروجی در زمان زهکشی پایان‌فصل از تیمار $D_{0.65}L_{15}S$ و بیشترین میزان سدیم خروجی از تیمار $D_{0.65}L_{15}F$ بود.

همانند فصل کشت برنج، در فصل کشت کلزا نیز تیمار $D_{0.9}L_{30}$ کمترین میزان سدیم، کلر و سولفات را تخلیه نمود. بیشترین میزان سدیم، کلر و سولفات خروجی در زمان مذکور مربوط به تیمار $D_{0.65}L_{15}F$ بود. در مورد املاح خروجی از زهکش‌ها مشخص می‌شود که تیمار$D_{0.9}L_{30}$، از نظر مسائل زیست محیطی وضعیت مناسب‌تری نسبت به بقیه داشته است. همچنین تیمار $D_{0.65}L_{15}F$ که از نظر میزان املاح خروجی بالاترین مقدار را داشته است برای طرح‌های بعدی توصیه نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق پنج تیمار زهکشی با عمق، فاصله و پوشش متفاوت مورد مقایسه قرار گرفت. با مقایسه برخی پارامترهای کیفیت زه‌آب‌ها مشخص گردید که با افزایش فاصله زهکش، میزان املاح خروجی از زهکش‌ها کاهش و با افزایش عمق در سیستم‌های زهکشی تک عمقی میزان املاح خروجی از زهکش‌ها کاهش می‌یابد. اما در سیستم زهکشی دو عمقی، با افزایش عمق میزان سدیم، کلر و سولفات خروجی از زهکش‌ها افزایش می‌یابد. تیمار $D_{0.9}L_{30}$ از لحاظ غلظت املاح خروجی کمترین میزان را داشت.

در مورد کل سدیم، کلر و سولفات خروجی از زهکش‌ها در واحد سطح، تیمار $D_{0.9}L_{30}$ کمترین مقدار سدیم، کلر و سولفات خروجی را داشت و بهترین گزینه برای مسائل زیست محیطی از نظر طراحی بود. همچنین در یک شرایط یکسان از لحاظ عمق و فاصله، پوشش‌های زهکشی تأثیر معنی‌دار بر دفع املاح داشتند. به دلیل بیشتر بودن حجم زه‌آب تیمار $D_{0.65}L_{15}F$، این تیمار املاح بیشتری نسبت به تیمار زهکش با عمق و فاصله مشابه ($D_{0.65}L_{15}S$) تخلیه نمود. با توجه به اهمیت مسائل زیست محیطی و نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که برای بهبود کیفی زه‌آب زهکش‌ها در حد امکان باید فاصله زهکش‌ها افزایش داده شود. هر چند از لحاظ کشاورزی، کاهش فاصله زهکش‌ها باعث تخلیه بیشتر آب از زمین و خروج بیشتر سولفیدها از خاک شده و در افزایش محصول و تولید مؤثر است، اما خروج بیش از حد آن یا تخلیه زیاد آن در طولانی‌مدت، به محیط زیست پایین-دست آسیب می‌زند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران و پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان به‌خاطر حمایت‌های مالی و آزمایشگاهی، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

۱- اسکندری تربقان، م.، آستارایی، ع.، اسکندری تربقان، م. و ع. گنجعلی. ۱۳۸۸. ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش شوری حاصل از نسبت‌های آنیونی کلر به سولفات و کود نیتروژن در جو رقم نصرت. مجله تنش‌های محیطی در کشاورزی، ۲ (۱): ۲۷-۱۵.

۲- اسماعیلیان، آ. و ع. نظام‌زاده. ۱۳۸۹. بررسی جذب آلاینده آنیونی سولفات با استفاده از زئولیت سنتزی 13X به روش پتانسیومتری. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ۲۰ (۷۶): ۲۸-۲۱.

۳- اصلانی، ف.، ناظمی، ا.ح.، صدرالدینی، س.ع.ا.، فاخری‌فرد، ا. و م. قربانی. ۱۳۸۹. برآورد عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی بر اساس کیفیت زه‌آب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۲ (۴۱): ۱۴۶-۱۳۹.

۴- بی‌نام. ۱۳۸۹. وضعیت بخش کشاورزی در استان مازندران. بانک کشاورزی، ۴۱ صفحه.

۵- جواهردشتی، م. و م. اصفهانی. ۱۳۸۱. برنج دیم. نشر علوم کشاورزی. ۱۲۸ صفحه.

۶- صباحی، ح.، فیضی، م.، ویسی، ه. و ک. سادات اسیلان. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه سیکان. مجله علوم محیطی. ۷ (۴): ۳۰-۲۳.

۷- کریمی، و. ۱۳۸۷. مدیریت آبیاری در دوره گل آب کردن اراضی شالیزاری. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه های آبیاری سطحی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۲۴۸-۲۳۷.

۸- معزاردلان، م. و غ. ثواقبی‌فیروزآبادی. ۱۳۸۱. مدیریت حاصلخیزی خاک برای کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۸۸ صفحه.

۹- نوذری، ح.، لیاقت، ع. و م. خیاط خلقی. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی حرکت آب و نمک‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۲): ۳۹-۲۸.

www.SID.ir

Archive of SID

10- Anonymous. 2000. Ambient water quality criteria recommendations: Rivers and streams in nutrient ecoregion XIV. Washington: Health and Ecological Criteria Division.
11- Anonymous. 1973. Irrigation, drainage and salinity. An International Source Book, 39(1): 510 p.
12- Boman, A., Astrom, M. and S. Frojdo. 2008. Sulfur dynamics in boreal acid sulfate soils rich in metastable iron sulfide-The role of artificial drainage. Chemical Geology, 255:68-77.
13- Christen, E. and D. Skehan. 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 127(3):148-155.
14- Fageria, N. K., Baligar, V. C. and R. B. Clark. 2002. Micronutrient in crop production. Advance Agronomy, 77:185 – 268.
15- Grismer, M. E. 1993. Subsurface drainage system design and drain water quality. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 119(3):537-543.
16- Guo, H. Y., Zhu, J. G., Wang, X. R., Wu, Z. H. and Z. Zhang. 2004. Case study on nitrogen and phosphorus emissions from paddy field in Taihu region. Environmental Geochemistry and Health, 26:209–219.
17- Jia, Z. and R. O. Evans. 2006. Effect of controlled drainage and vegetative buffers on drainage water quality from wastewater irrigation fields. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 132(2):159-170.
18- Jury, W. A., Tuli, A. and J. Letey. 2003. Effect of travel time on management of a sequential reuse drainage operation. Soil Science Social American Journal, 67:1122-1126.
19- Konukcu, F., Gowing, J. W. and D. A. Rose. 2006. Dry drainage: a sustainable solution to water logging and salinity problems in irrigation areas. Agricultural Water Management, 83:1–12.
20- Mass, E.V. 1986. Physiological response of plants to chloride in "chloride and crop production". Potash and phosphate institute. 4-20.
21- Mathew, E. K., Panda, R. K. and M. Nair. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. Agriculture Water Management, 47:191-209.
22- Ninghu, S., Bethune, M., Mann, L. and A. Heuperman. 2005. Simulating water and salt movement in tile drained fields irrigated with saline water under a serial Biological concentration management scenario. Agricultural Water Management, 78:165-180.
23- Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A. and G. Murtaza. 2001. Amelioration strategies forsodic soils: A review. Land Degrade. Development, 12:357-386.
24- Siliberabush, M. and J. Ben-Asher. 1987. The effect of salinity on parameters of potassium and nitrate uptake of cotton commum. In soil science plant analysis, 18(1):65-81.
25- Smedema, L. K., Abdel-Dayem, S. and W. Ochs. 2000. Drainage and agricultural development. Irrigation Drainage System, 14:223–235.
26- Tanji, K. K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. In K. K. Tanji. Agricultural Salinity Assessment and Management, New York, ASCE, 1-17.
27- Wahba, M. A. S. and E. W. Christen. 2006. Modeling subsurface drainage for salt load management in southeastern Australia. Irrigation Drainage System, 20:267-282

www.SID.ir