

## بررسی کیفیت زه آب زهکش های زیرزمینی اراضی شالیزاری براساس پارامترهای طراحی

مهدی جعفری تلوکلایی<sup>۱</sup>، علی شاهنظری<sup>۲\*</sup>، میرخالق ضیاتبار احمدی<sup>۳</sup>، عبدا. درزی نفتچالی<sup>۴</sup>

- 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 فصل های پاییز و زمستان، احداث سیستم های زهکشی زیرزمینی ضروری می باشد. طراحی مناسب عمق و فاصله سیستم زهکشی باعث به حداقل رساندن اثر منفی زه آب ها بر محیط زیست خواهد شد. در این تحقیق، اثر سیستم های مختلف زهکشی بر میزان سدیم، کلر و سولفات زه آب 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<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub>)، عمق ۰/۶۵ متر و فاصله زهکش ۳۰ متر با پوشش معدنی (D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub>)، عمق ۰/۶۵ متر و فاصله زهکش ۱۵ متر با پوشش مصنوعی (D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>F) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی با فاصله زهکش ۱۵ متر و اعماق نصب ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به صورت یک در میان (دو عمقی). در طول مدت مطالعه، میزان سدیم، کلر و سولفات زه آب زهکش ها اندازه گیری شد. براساس نتایج، با افزایش فاصله زهکش ها از ۱۵ متر به ۳۰ متر، میزان متوسط سدیم، کلر و سولفات زه آب زهکش کاهش یافت. همچنین، کمترین مقادیر غلظت سدیم، کلر، سولفات و کل املاح خروجی مربوط به تیمار D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> بود. در نتیجه، این سیستم زهکشی از نظر کیفیت زه آب اثر منفی زیست محیطی کمتری در مقایسه با سیستم های دیگر در پی داشت.

کلید واژه ها: 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 Talukolae<sup>1</sup>, A. Shahnazari<sup>2</sup>, M. Kh. Ziatabar Ahmadi<sup>3</sup> and A. Darzi Naftchali<sup>4</sup>

- 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,

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). کلرید سدیم 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، به دلیل 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 اسپهال 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 کم-عمق 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

فاصله زیاد به زهکش‌های کم عمق با فاصله کم، فواید زیر عاید مزرعه 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 <sub>0.9</sub> L <sub>30</sub>	۰/۹	۳۰	۲	۲
Bi-level	۰/۹ و ۰/۶۵	۱۵	۴	۴ و ۵
D <sub>0.65</sub> L <sub>30</sub>	۰/۶۵	۳۰	۶	۷
D <sub>0.65</sub> L <sub>15</sub> S	۰/۶۵	۱۵	۷	۹
D <sub>0.65</sub> L <sub>15</sub> F	۰/۶۵	۱۵	۸	۱۰

### 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 ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰، ۹۰-۱۲۰، ۱۲۰-۱۵۰، ۱۵۰-۲۰۰ سانتی‌متری خاک مزرعه مورد مطالعه غالباً 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<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub>)، سیستم زهکشی با فاصله ۳۰ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر با پوشش معدنی (D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub>)، سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر با پوشش معدنی (D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>S)، سیستم زهکشی با فاصله ۱۵ متر و عمق نصب ۰/۶۵ متر با پوشش مصنوعی (D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>F) و یک سیستم زهکشی دو عمقی<sup>۱</sup> (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.

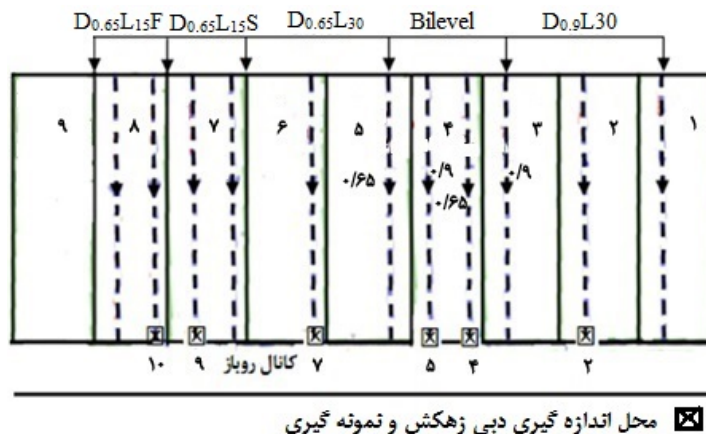
در تاریخ ۳۰ تیر ۱۳۹۰ برنج رقم طارم محلی در کرت‌های مورد مطالعه کشت شد. از چهار حلقه چاه با عمق حدود ۲۰ متر برای آبیاری برنج استفاده شد. برخی از پارامترهای کیفی آب آبیاری در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد که متوسط مقادیر آن‌ها، در جدول (۲) ارائه شد. هفت روز پس از نشاکاری، مقدار ۹۰ کیلوگرم

می‌گردد، لذا تلفات آبیاری کاهش می‌یابد، کاهش حجم زه‌آب سبب کاهش بار نمک خارج شده از طریق زهکش‌ها می‌گردد و سطح ایستایی 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 کوتنا 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 صورتی که 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.

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



شکل ۱- آرایش سیستم های 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 <sup>+</sup> (mg/lit)	Cl (mg/lit)	SO <sub>4</sub> (mg/lit)
آب آبیاری	۳	۷/۲۶	۱۱۱۳	۱۴۳	۱۱۵	۴۸

مقایسه میانگین بین مقادیر سدیم، کلر و سولفات، تحت آزمون کمترین مربعات<sup>۲</sup> در سطح احتمال یک درصد با نرم افزار SPSS، انجام شد. همچنین با بررسی نسبت کلر به سولفات، میزان اثر هر یک از این آنیون ها بر شوری زه آب و سمیت آن تعیین شد.

مقدار خروجی کل املاح، از مجموع حاصل ضرب غلظت سدیم، کلر و سولفات در نمونه معرف یک دوره زمانی خاص در حجم زه آب در آن دوره به صورت زیر محاسبه شد (۱۶):

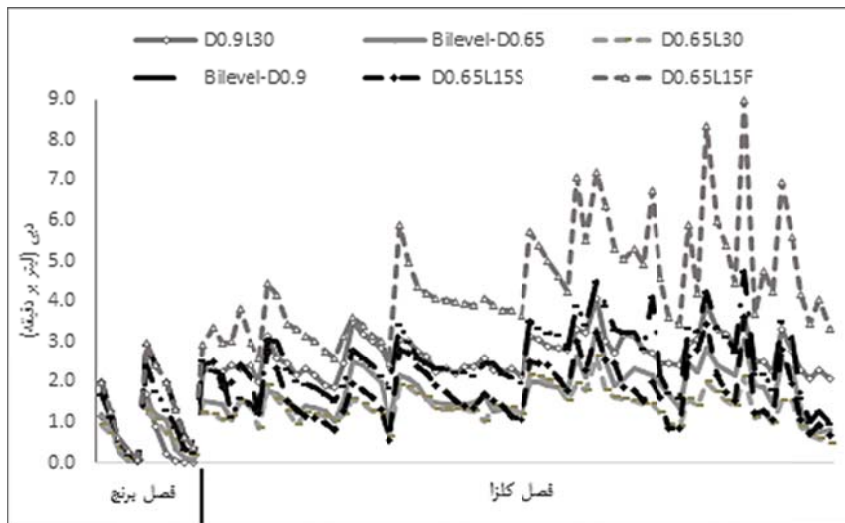
$$L = \sum(C_{di} \times V_{di}) \quad (1)$$

که در آن، L تلفات زهکشی هر یک از املاح مورد نظر (میلی گرم)، C<sub>di</sub> غلظت هر یک از املاح زه آب در دوره زمانی i (میلی گرم در لیتر) و V<sub>di</sub> حجم زه آب در طول دوره i (لیتر) می باشد.

### نتایج و بحث

در جدول (۳) حجم زه آب خروجی از تیمارهای مختلف در دوره های زهکشی میان فصل و پایان فصل کشت برنج و کل فصل کشت کلزا نشان داده شد. در فصل کشت برنج، کمترین و بیشترین مقدار حجم زهکشی به ترتیب مربوط به تیمارهای D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>S و D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> بود. کمترین و بیشترین مقدار زه آب در فصل کلزا برابر ۱۶۹۱ و ۵۶۲۰ مترمکعب در هکتار بود که

استفاده از درپوش مسدود شده و تنها در میان فصل و پایان فصل اجازه زهکشی آزاد داده شد. برای انجام زهکشی میان فصل، ۲۵ روز پس از نشاء، آبیاری قطع و درپوش زهکش ها برداشته شد. این مرحله از زهکشی به مدت هفت روز ادامه یافت و بعد از ظهور ترک های کوچک سطحی، زهکش ها مسدود و مجدداً عملیات آبیاری آغاز شد. برای انجام زهکشی پایان فصل نیز دو هفته قبل از برداشت، با برداشتن درپوش زهکش ها، امکان زهکشی فراهم شد. در دومین روز از زهکشی میان فصل و پایان فصل از زه آب تیمارهای زهکشی D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub>، D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub>، Bilevel-D<sub>0.65</sub>، Bilevel-D<sub>0.9</sub>، D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>F و D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>S نمونه برداری شد. بعد از برداشت برنج، بذر کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) با حداقل خلوص فیزیکی ۹۸ درصد و حداقل قوه نامیه ۸۵ درصد به میزان شش کیلوگرم در هکتار در کرت های دارای سیستم های زهکشی زیرزمینی در تاریخ هفت آذر ۱۳۹۰ کشت شد. در تاریخ های ۱۷ اسفند ۱۳۹۰ و ۸ فروردین ۱۳۹۱، هر بار ۳۵ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک در تیمارهای تحت کشت کلزا استفاده شد. در طول مدت کشت کلزا (۱۲۶ روز)، عموماً زهکشی به صورت آزاد انجام شد (تا ۱۵ فروردین ۱۳۹۱). در طول مدت زهکشی، دبی زهکش ها به صورت روزانه اندازه گیری شد. نمودار تغییرات دبی روزانه زهکش ها در شکل (۲) آورده شده است. در این فصل، تقریباً ۱۵ روز یکبار نمونه هایی از زه آب هر یک از سیستم های زهکشی تهیه شد. مقدار سدیم (Na) نمونه ها با دستگاه فلیم فتومتر، کلر (Cl) با روش تیتراسیون و سولفات (SO<sub>4</sub>) نمونه ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد.



شکل ۲- تغییرات دبی روزانه زهکش‌ها

جدول ۳- حجم زه‌آب خروجی از زهکش‌ها (مترمکعب در هکتار)

D <sub>0.65</sub> L <sub>15</sub> F	D <sub>0.65</sub> L <sub>15</sub> S	D <sub>0.65</sub> L <sub>30</sub>	Bilevel	D <sub>0.9</sub> L <sub>30</sub>	تیمار زهکشی
۴۱	۴۰	۱۸	۲۳	۱۳	میان فصل برنج
۹۶	۹۷	۳۵	۴۱	۱۴	پایان فصل برنج
۵۶۲۰	۲۳۸۵	۱۶۹۱	۲۰۳۲	۱۷۴۰	فصل کشت کلزا

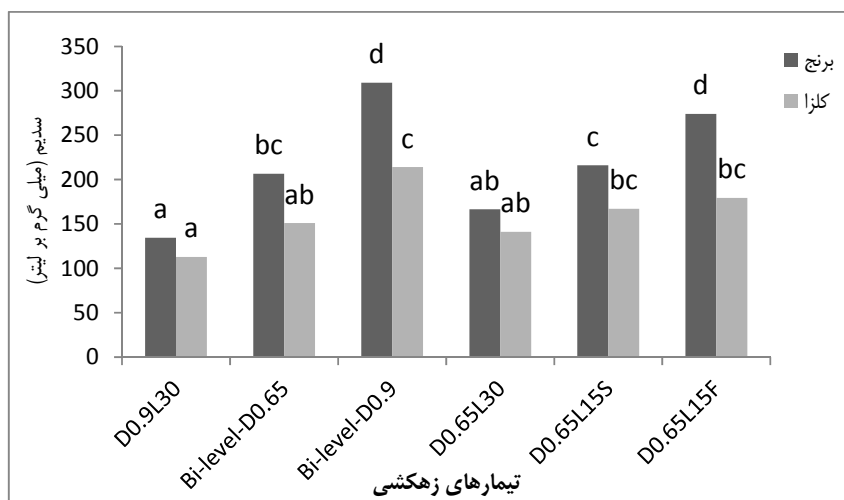
جدول ۴- سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش‌ها در فصل کشت برنج و میانگین مقادیر آن در فصل کشت کلزا (میلی گرم بر لیتر)

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

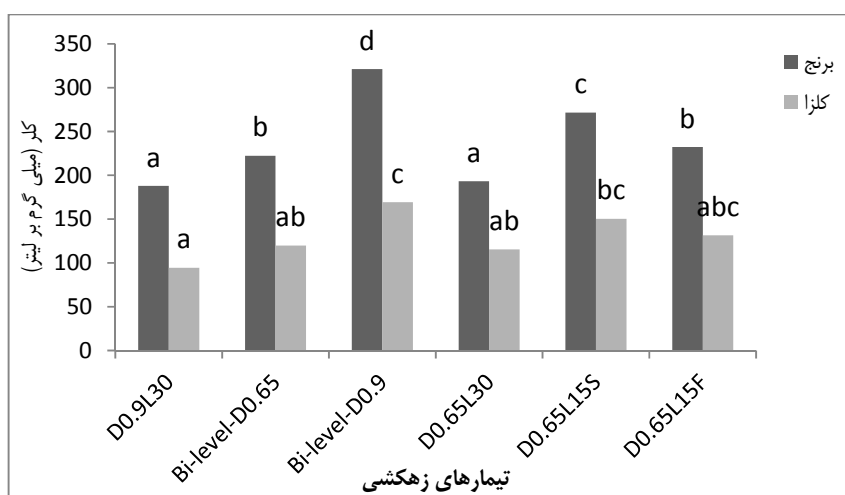
مقدار آن در فصل کشت کلزا ارائه شد. در فصل کشت برنج، کمترین و بیشترین مقدار سدیم، کلر و سولفات زه‌آب به ترتیب مربوط به تیمارهای D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> و Bilevel-D<sub>0.9</sub> می‌باشد. مقدار سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش‌های مختلف در زمان زهکشی پایان فصل کشت برنج تا حدودی کمتر از مقادیر آن در زمان زهکشی میان فصل بود. مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره در ابتدای فصل کشت برنج، به دلیل وجود کلر و سولفات پتاسیم در آن، سبب حلالیت بیشتر سدیم و افزایش میزان کلر و سولفات زه‌آب در زمان زهکشی میان فصل شد.

به ترتیب مربوط به تیمارهای D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub> و D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>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<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> و D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub> در فصل کشت کلزا گواه این مطلب است.

در جدول (۴) مقادیر غلظت سدیم، کلر و سولفات زه‌آب تیمارهای مختلف در میان فصل و پایان فصل کشت برنج و متوسط



شکل ۳- میانگین ها و نتایج آزمون کمترین مربعات برای سدیم زه آب زهکش ها در هر دو فصل کشت در سطح یک درصد



شکل ۴- میانگین ها و نتایج آزمون LSD برای کلر زه آب زهکش ها در هر دو فصل کشت در سطح یک درصد

کیفیت زه آب داشتند. در فصل کشت برنج، بین میانگین سدیم زه آب تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$  و  $Bilevel-D_{0.9}$  اختلاف معنی دار در سطح یک درصد وجود داشت. همچنین، میانگین سدیم زه آب تیمارهای  $Bilevel-D_{0.65}$ ،  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15S}$  با میانگین تیمار  $Bilevel-D_{0.9}$  اختلاف معنی دار داشت. اختلاف میانگین سدیم زه آب تیمار  $D_{0.65}L_{30}$  با تیمارهای  $D_{0.65}L_{15S}$  و  $D_{0.65}L_{15F}$  و دو تیمار  $D_{0.65}L_{15S}$  و  $D_{0.65}L_{15F}$  نیز معنی دار بود.

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

همانند فصل کشت برنج، در فصل کشت کلزا نیز کمترین و بیشترین مقدار متوسط غلظت سدیم، کلر و سولفات زه آب به ترتیب در تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$  و  $Bilevel-D_{0.9}$  مشاهده شد. متوسط کلر و سولفات زه آب تیمارهای مختلف در فصل کشت کلزا کمتر از مقدار کلر و سولفات زه آب در زمان های زهکشی میان فصل و پایان فصل کشت برنج بود که دلیل آن وقوع بارندگی زیاد در فصل کشت کلزا و شستشوی دائمی پروفیل خاک می باشد. کلرید در خاک به وسیله محل های تبدلی نگهداری نمی شود و به آسانی از خاک شسته می شود (۱۴). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای زهکشی بر غلظت سدیم، کلر و سولفات زه آب برای هر دو فصل کشت در سطح یک درصد به ترتیب در شکل های (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده است. به طور کلی، تیمارهای زهکشی اثر معنی دار بر

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.

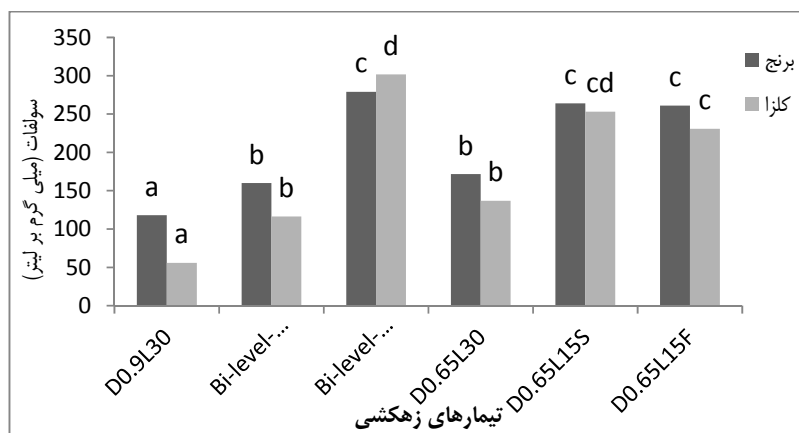
مقایسه مقادیر سدیم، کلر و سولفات زه‌آب هر دو فصل نشان داد که افزایش تراکم زهکش‌ها (کاهش فاصله زهکش‌ها) به‌همراه افزایش عمق زهکش، بیشتر از افزایش عمق زهکش به‌تنهایی، بر کیفیت زه‌آب تأثیر داشت. گواه این مطلب، بیشتر بودن سدیم، کلر و سولفات زه‌آب زهکش با عمق ۰/۹ متر در تیمار دوعمی در مقایسه با مقدار متناظر 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 سولفات 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 آن-ها 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، ( $D_{0.9}L_{30}$ ) عموماً روند کاهشی داشته است اما تغییرات آن در بقیه تیمارها منظم نبوده است. با وجود سولفات در کودهای آورده و سوپرفسفات تریپل (۸)، کوددهی باعث افزایش میزان سولفات در خاک می‌شود.

$D_{0.9}$  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.

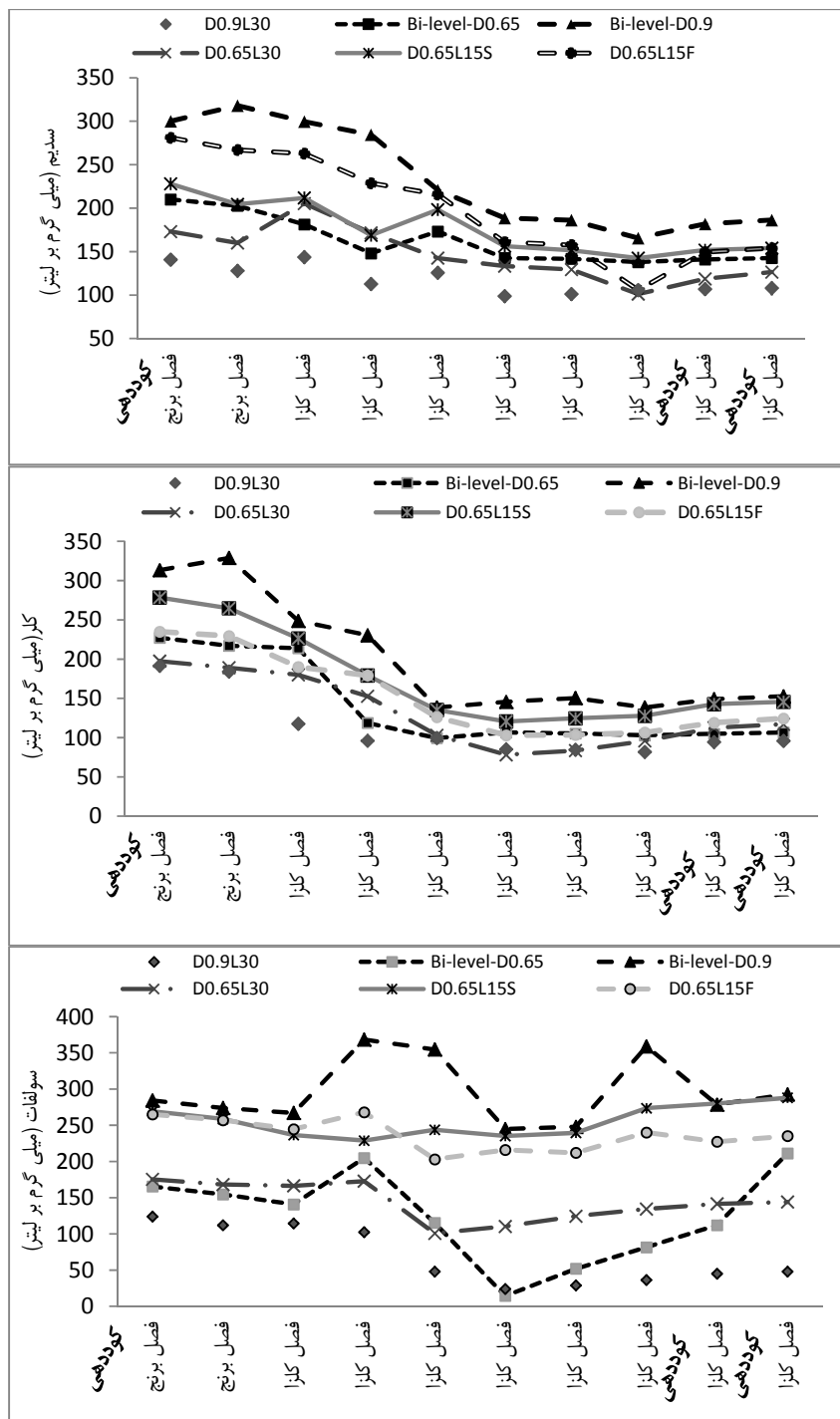
در فصل کشت کلزا، میانگین کلر زه‌آب تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$ ،  $Bilevel-D_{0.65}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  با مقدار متناظر آن در تیمار  $Bilevel-D_{0.9}$  اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین، اختلاف میانگین کلر زه‌آب بین تیمارهای  $D_{0.9}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15}S$  معنی‌دار بود. با توجه به شکل (۵) در فصل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



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

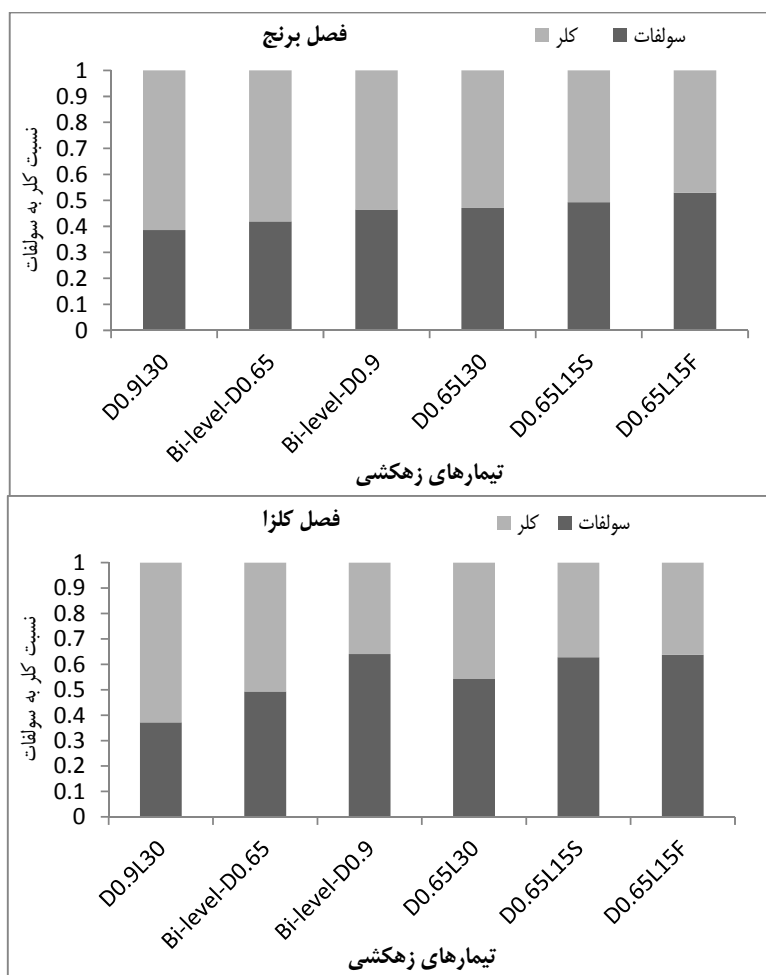


شکل ۶- تغییرات سدیم، کلر و سولفات زه‌آب تیمارهای زهکشی در هر دو فصل کشت

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. احتمالاً به دلیل 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

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





شکل ۲- نسبت کبر به سولفات زه آب تیمارهای زهکشی در هر دو فصل کشت

جدول ۵- میزان سدیم، کبر و سولفات خروجی از تیمارهای زهکشی در مدت مطالعه (کیلوگرم در هکتار)

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

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 زه آب 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 زه آب 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.

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 تأثیر مثبتی دارند هر چند این تأثیر مثبت با اثر منفی در پایین دست 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 میان فصل و پایان فصل 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 دو عمقی بود. بیشترین میزان کلر و سولفات خروجی در زمان زهکشی پایان فصل 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 زه آب‌ها مشخص گردید که با افزایش فاصله زهکش،

### منابع

- 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.
- 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.
- اصلائی، ف.، ناظمی، ا.ح.، صدرالدینی، س.ع.ا.، فاخری‌فرد، ا. و م. قربانی. ۱۳۸۹. برآورد عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی بر اساس کیفیت زه آب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۲ (۴۱): ۱۴۶-۱۳۹.
- بی‌نام. ۱۳۸۹. وضعیت بخش کشاورزی در استان مازندران. بانک کشاورزی، ۴۱ صفحه.
- جوهردشتی، م. و م. اصفهانی. ۱۳۸۱. برنج دیم. نشر علوم کشاورزی. ۱۲۸ صفحه.
- صباحی، ح.، فیضی، م.، ویسی، ه. و ک. سادات اسیلان. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه سیکان. مجله علوم محیطی، ۷ (۴): ۳۰-۲۳.
- کریمی، و. ۱۳۸۷. مدیریت آبیاری در دوره گل آب کردن اراضی شالیزاری. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۲۴۸-۲۳۷.
- مزاردلان، م. و غ. ثواقبی‌فیروزآبادی. ۱۳۸۱. مدیریت حاصلخیزی خاک برای کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۸۸ صفحه.
- 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.

- 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- Silibrabush, 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