

## تحلیل تأثیر مدیریت زهکشی بر شوری زه آب در تناوب کشت برنج - کلزا

عبداله درزی نفت چالی<sup>1</sup>

تاریخ دریافت: 1395/2/28 تاریخ پذیرش: 1395/8/5

### چکیده

زهکشی زیرزمینی علی‌رغم ایجاد شرایط تنوع کشت و بهبود بهره‌وری شالیزارهای شمال کشور، می‌تواند به‌عنوان تهدیدی برای منابع آب پایین دست باشد. در این تحقیق، اثرات اعمال دو نوع از مدیریت‌های آب متداول در سیستم‌های کشت برنج شامل زهکشی میان‌فصل و آبیاری و زهکشی متناوب به‌همراه زهکشی آزاد در فصل کشت کلزا بر شوری زه آب زهکشی زیرزمینی بررسی شد. آزمایش‌های لازم در اراضی شالیزاری مجهز به سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در طول چهار فصل برنج و دو فصل کلزا (از سال 1390 تا 1394) انجام شد. هر یک از این مدیریت‌ها طی دو فصل کشت به اجرا در آمد. در طول دوره‌های زهکشی در فصول کشت مختلف، عمق سطح ایستابی و دبی زهکش‌ها به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. همچنین، شوری زه آب زهکش‌ها در زمان‌های مختلف تعیین شد. زهکشی متناوب در فصل کشت برنج و افزایش عمق سطح ایستابی در فصل کلزا، باعث افزایش شوری زه آب زهکش‌ها شدند. در اثر آبیاری و زهکشی متناوب، دفع نمک از سیستم‌های مختلف زهکشی به میزان 121 تا 420 کیلوگرم در هکتار در مقایسه با زهکشی میان‌فصل افزایش یافت. با توجه به شرایط زهکشی آزاد در فصول کشت کلزا، تخلیه نمک در این فصول به مقدار قابل توجهی بیش‌تر از مقدار آن در فصول کشت برنج بود. کل بار نمک خروجی از سیستم‌های مختلف زهکشی تحت زهکشی میان‌فصل برنج، آبیاری و زهکشی متناوب برنج و کشت کلزا به‌ترتیب از 78/4 تا 365، 240 تا 695 و 3056 تا 5656 کیلوگرم در هکتار متغیر بود. بر اساس نتایج، مدیریت سطح ایستابی از طریق نصب زهکش‌های کم‌عمق دارای فاصله مناسب، می‌تواند در کاهش تخلیه نمک از شالیزارهای دارای زهکشی زیرزمینی موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری و زهکشی متناوب، زهکشی میان‌فصل، شالیزار، عمق سطح ایستابی

### مقدمه

بر اساس سایر آمارها نیز، سطح زیر کشت برنج در مقایسه با مقدار آن در 10 سال گذشته (حدود 611 هزار هکتار در سال زراعی 82-83 (وزارت جهاد کشاورزی، 1384))، حدود 11/8 درصد کاهش یافته است. این در حالی است که سطح زیر کشت برنج جهان از حدود 157/8 میلیون هکتار در سال زراعی 2008-2009 به 160/6 میلیون هکتار در سال 2014-2015 افزایش یافت (FAOSTAT, 2016).

با توجه به روند رشد جمعیت، لازم است میزان تولید برنج برای تامین نیاز غذایی جمعیت آینده افزایش یابد. در حال حاضر، محدودیت اراضی حاصلخیز قابل دسترس و توسعه گسترده سایر زیرساخت‌ها، افزایش سطح زیر کشت را عملاً غیر ممکن می‌نماید. در این شرایط، بهبود بهره‌وری از اراضی تحت کشت، موثرترین راهکار برای افزایش تولید از سرانه زمین قابل کشت می‌باشد. در این راستا، در سال‌های گذشته، بخش قابل توجهی از شالیزارهای کشور تحت پوشش طرح-های تجهیز و نوسازی قرار گرفتند. به‌دلیل توپوگرافی نسبتاً مسطح و زهکشی ناکافی (Darzi-Naftchaliet al., 2013)، این طرح‌ها قادر به فراهم کردن شرایط مناسب برای کشت سالانه و تنوع زراعی در مناطق مرطوب و پرباران شمال کشور نبودند. برای رفع مشکلات

علی‌رغم توسعه صنعت و روند رو به رشد تغییر کاربری اراضی کشاورزی، بخش کشاورزی همچنان نقش قابل توجهی در تولید ناخالص ملی و اشتغال بخش عظیم نیروی کار فعال کشور دارد. بر اساس آخرین آمارهای موجود (وزارت جهاد کشاورزی، 1394)، کل سطح زیر کشت محصولات زراعی کشور حدود 11/84 میلیون هکتار است که حدود 4/55 درصد (539 هزار هکتار) آن به برنج به‌عنوان دومین ماده غذایی مردم کشور، اختصاص دارد. استان‌های مازندران، گیلان، خوزستان، گلستان و فارس به‌ترتیب با 37، 28/2، 13/6، 8/8 و 6/4 درصد از شالیزارهای کشور، در مجموع 93/9 درصد سطح شالی کاری کشور را در اختیار دارند. آمارهای مختلف نشان‌دهنده کاهش سطح زیر کشت برنج کشور در طی سال‌های گذشته می‌باشد. بر اساس اطلاعات فائو (FAO, 2014)، سطح زیر کشت برنج کشور در سال 2011 نسبت به سال 2000، 1/4 درصد کاهش یافت.

1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
Email: abduallahdarzi@yahoo.com

زیرزمینی در اراضی شالیزاری مد نظر قرار گیرد، نوع مدیریت آب و کاربری قابل انتظار از زمین می باشد. از مدیریت های متفاوتی مانند زهکشی میان فصل (Liu et al., 2013) و آبیاری و زهکشی متناوب (Lampayan et al., 2014) برای افزایش تولید محصول و بهره‌وری مصرف آب در فصل کشت برنج استفاده می شود. علاوه بر این، کشت زمستانه گیاهان زراعی مختلفی مانند کلزا در شالیزارهای دارای زهکشی زیرزمینی در حال گسترش است. در این شرایط، برنامه ریزی برای دستیابی به استراتژی های پایدار، مستلزم آنالیز طولانی مدت و قابل اعتمادی از تاثیر پروژه های توسعه ای مدیریت آب بر حجم و ترکیب زه آب ها برای اتخاذ تدابیر مناسب جهت دفع آن ها می باشد. مرور منابع نشان داد که تاکنون تاثیر تلفیقی زهکشی زیرزمینی و برخی از روش های مدیریت آب در کشت برنج مانند زهکشی میان- فصل و آبیاری و زهکشی متناوب بر دفع نمک از اراضی شالیزاری ارزیابی نشده اند. بر این اساس، در این تحقیق تاثیر این عملیات های مدیریتی بر میزان زه آب و شوری آن در شالیزارهای دارای سیستم های مختلف زهکشی زیرزمینی بررسی شد. علاوه بر این، رابطه میزان دفع نمک با عمق سطح ایستابی و دبی زهکش در طی دو فصل کشت کلزا تجزیه و تحلیل شد.

## مواد و روش ها

### منطقه مطالعه

آزمایش های لازم در طول چهار فصل کشت برنج (1390، 1391، 1393 و 1394) و دو فصل کشت کلزا (1390 و 1394) در 4/5 هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، انجام شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب 36/39 درجه شمالی و 53/04 درجه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا 15- متر می باشد. حداقل، حداکثر و متوسط دمای هوای ثبت شده در منطقه، به ترتیب 6-، 42/5 و 17/6 درجه سانتی گراد می باشد. برخی از خصوصیات اقلیمی مربوط به فصول مختلف کشت در جدول 1 ارائه شد. بافت لایه های مختلف خاک تا عمق 150 سانتی متری، اغلب از نوع سیلتی رس و از 150 تا 300 سانتی متری، رسی است (درزی نفت چالی و همکاران، 1391). این مزرعه در سال 1390 به سیستم های مختلف زهکشی زیرزمینی تجهیز شد. با ترکیب دو عمق زهکش 0/65 و 0/9 متر با دو فاصله زهکش 15 و 30 متر، در مجموع 11 خط زهکش تحت سه سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از عمق 0/9 متر با فاصله زهکش- 30 متر ( $D_{0.9}L_{30}$ )، عمق 0/65 متر با فاصله زهکش 15 متر ( $D_{0.65}L_{15}$ ) و عمق 0/65 متر با فاصله زهکش 30 متر ( $D_{0.65}L_{30}$ ) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی (Bilevel) با فاصله زهکش 15 متر با اعماق زهکش 0/65 ( $Bilevel-D_{0.65}$ ) و 0/9 متر

غرقابی و ماندابی و بهبود کارایی سرمایه گذاری های انجام شده در قالب طرح های تجهیز و نوسازی، احداث سیستم های زهکشی زیرزمینی مورد توجه قرار گرفت. تحقیقات متعدد نشان می دهد که بهبود وضعیت زهکشی شالیزارها نه تنها برای فراهم کردن شرایط کشت در فصول بارندگی ضروری است، بلکه با بهبود سرعت خشک شدن خاک در برخی از مراحل رشد برنج، باعث افزایش ریشه دهی و کاهش پنجه دهی غیرمثمر و دفع مواد سمی از ناحیه ریشه (کیا، 1384) و در نهایت افزایش تولید این محصول می شود (Darzi-Naftchali and Shahnazari., 2014; Azhar et al., 2005; Masanneh-Ceesay., 2004; Ritzema et al., 2008; Mathew et al., 2001; Satyanarayana and Boonstra., 2007). علاوه بر این، بهبود قابلیت تردد و فراهم نمودن شرایط مناسب برای برداشت به موقع برنج (Vandersypen et al., 2007)، کنترل شوری خاک و احیای خاک های شور سدیمی (Singh et al., 2001) و کاهش انتشار گاز گلخانه ای متان (Furukawa et al., 2008) برخی دیگر از آثار مثبت زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری می باشند.

زهکشی زیرزمینی علی رغم مزایای مختلف، ممکن است سبب دفع مواد غذایی و ترکیبات شیمیایی مختلف در طی دوره های زهکشی شود. با توجه به حساسیت اکوسیستم های آبی دریافت کننده پساب های زهکشی، سیستم های زهکشی زیرزمینی اراضی شالیزاری باید به گونه ای طراحی شوند که حداقل اثرات زیست محیطی را در پی داشته باشند. این امر، به ویژه با توجه به محدودیت منابع آب شیرین و روند روز افزون آلودگی آب های سطحی در اثر فعالیت های بشری (Colombani et al., 2016) و تغییر اقلیم (Ritzema and Stuyt., 2015)، از اهمیت بسیاری برخوردار است. با وجود این که در بسیاری از موارد، هدف از زهکشی کنترل شوری است، لکن شوری زیاد زه آب می تواند به عنوان هزینه مخفی یک طرح آبیاری و زهکشی قلمداد شود (Ritzema et al., 2008). عوامل متعددی بر بار نمک خروجی از سیستم های زهکشی تاثیر می گذارند. عمق و فاصله زهکش های زیرزمینی به عنوان معیارهای طراحی سیستم زهکشی، بر تجمع نمک در ناحیه ریشه و حجم زه آب و در نتیجه شوری آن موثرند. در صورتی که این معیارها بیش تر از حد کفایت طراحی شوند، باعث افزایش دفع مواد غذایی و شیمیایی از اراضی کشاورزی خواهند شد. به عبارت دیگر، باید با توجه به اثرات مثبت و منفی زهکشی، مقدار بهینه ای برای عمق و فاصله زهکش ها، انتخاب شود. برخی تحقیقات گذشته نشان می دهد که با افزایش عمق و کاهش فاصله زهکش ها، حجم زه آب خروجی و در نتیجه تلفات برخی مواد غذایی افزایش می یابد (Nangia et al., 2010). گزارش شد که زهکش های کم عمق نیز می توانند شوری ناحیه ریشه گیاه را به گونه ای کنترل کنند که رشد گیاه متاثر نشود (Ritzema et al., 2007).

مساله مهم دیگری که باید در طراحی سیستم های زهکشی

های قبلی مربوط به این مزرعه زهکشی ارایه شد (درزی نفت‌چالی و همکاران، 1391 و 1392).

(Bilevel-D<sub>0.9</sub>) به صورت یک در میان در مزرعه مورد مطالعه نصب شدند. مشخصات سیستم‌های مختلف زهکشی به تفصیل در گزارش -

جدول 1- دمای حداقل و حداکثر، مجموع بارندگی و تبخیر در فصول مختلف کشت

فصل کشت	دمای حداقل (°C)	دمای حداکثر (°C)	دمای متوسط (°C)	بارندگی (میلی‌متر)	تبخیر از تشتک (میلی‌متر)
برنج - 1390	10	37/4	25/3	136/6	401/6
برنج - 1391	17	35/3	25/1	73/7	535/2
برنج - 1393	15/4	35	26/2	86/4	511
برنج - 1394	17/3	37	27/3	88/6	502/5
کلزا - 1390	-3/8	34/3	10/1	394	355/7
کلزا - 1394	-1/4	39/5	12/7	558	323/1

### عملیات زراعی

انجام شد. دو نوع متفاوت مدیریت آب شامل زهکشی میان فصل و آبیاری و زهکشی متناوب در فصول کشت برنج، اجرا شد. در سال‌های 1390 و 1391 از مدیریت زهکشی میان فصل استفاده شد به این صورت که 25 روز پس از نشاکاری، با قطع آبیاری و برداشتن درپوش لوله‌های زهکش زیرزمینی، شرایط زهکشی آزاد به مدت هفت روز فراهم شد. در سال‌های 1393 و 1394، آبیاری و زهکشی متناوب در مزرعه به اجرا درآمد. 25 تا 34 و 43 تا 47 روز پس از نشاکاری در سال 1393 و 28 تا 32 و 39 تا 43 روز پس از نشاکاری در سال 1394، شرایط زهکشی آزاد برقرار شد. تحت هر دو نوع مدیریت آب، حدود دو هفته قبل از برداشت نیز آبیاری قطع شد و امکان زهکشی آزاد فراهم گردید. کشت کلزا به صورت دیم انجام شد و شرایط زهکشی در طول فصول کلزا غالباً آزاد بود. تنها در اواخر فصل کلزا در سال 1390، به دلیل کاهش بارندگی و برای جلوگیری از وارد شدن تنش رطوبتی به گیاه، خروجی زهکش‌ها مسدود شد تا از افت بیش‌تر سطح ایستایی در اثر زهکشی ممانعت شود.

### اندازه‌گیری‌ها و آنالیز داده‌ها

هدایت الکتریکی آب آبیاری در چهار زمان مختلف از فصول کشت برنج تعیین شد. متوسط هدایت الکتریکی آب آبیاری در سال‌های 1390، 1391، 1393 و 1394 به ترتیب 1/12، 1/29، 1/25 و 1/3 دسی‌زیمنس بر متر بود. در زمان‌های زهکشی فصول کشت برنج و در مواقع مختلفی از فصول کشت کلزا (هر پانزده روز یا پس از بارندگی‌ها)، از زه آب زهکش‌ها نمونه‌برداری شد. هدایت الکتریکی نمونه‌ها در آزمایشگاه با استفاده از EC متر تعیین شد. دبی زهکش‌ها به صورت روزانه به روش حجمی اندازه‌گیری شد. همچنین، در فصول کلزا، عمق سطح ایستابی در نقطه میانی فاصله بین دو زهکش در هر سیستم زهکشی، به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. با استفاده از مقادیر هدایت الکتریکی و حجم زه‌آب، بار نمک خروجی از زهکش‌ها از رابطه 1 تعیین شد (Guo et al., 2004):

از زمان نصب زهکش‌های زیرزمینی، اراضی مورد مطالعه تحت کشت متناوب برنج و کلزا قرار گرفتند. کشت برنج مطابق با فعالیت‌های زراعی متداول در منطقه انجام شد. قبل از نشاکاری، برای کاهش تلفات نفوذ عمقی آب، عملیات گل‌خرابی انجام شد. پس از آن، برنج رقم طارم دیلمانی در تاریخ‌های 30 تیر 1390، 8 خرداد 1391، 20 اردیبهشت 1393 و 14 خرداد 1394 کشت و به ترتیب در تاریخ‌های 18 مهر 1390، 20 مرداد 1391، 14 مرداد 1393 و 6 شهریور 1394 برداشت شد. قبل از نشاکاری در سال 1390، 140 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، در سال 1393، 100 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، 100 کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و 80 کیلوگرم در هکتار اوره و در سال 1394، 50 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، 50 کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و 100 کیلوگرم در هکتار اوره در مزرعه پخش شد. 8 و 9 روز پس از نشاکاری در سال‌های 1390 و 1391، 90 کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک به کار برده شد. همچنین، 13 و 31 روز پس از نشاکاری در سال 1393 به ترتیب 80 و 30 کیلوگرم در هکتار اوره و 12 روز پس از نشاکاری در سال 1394، 50 کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک استفاده شد. پس از برداشت برنج در سال‌های 1390 و 1393، به ترتیب شش و هشت کیلوگرم در هکتار بذر کلزا (رقم هایولا 401) با خلوص فیزیکی 98 درصد و قوه نامیه 85 درصد در تاریخ‌های 7 آذر 1390 و 11 مهر 1394 در اراضی مورد مطالعه کشت شد. 100 و 121 روز پس از کشت در سال 1390، 35 کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک پخش شد. همچنین، در زمان کشت و 52 روز پس از کشت کلزا در سال 1394، به ترتیب 50 کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و 50 کیلوگرم در هکتار اوره استفاده شد.

### مدیریت آب

آبیاری برنج با استفاده از پمپاژ آب زیرزمینی از چاه‌های کم‌عمق

بعدي به تدریج کاهش یافت. کاهش تدریجی شوری زه آب به دلیل تخلیه مکرر نمک‌های موجود در مسیر جریان آب در خاک در اثر زهکشی بود. در فصول برنج 93 و 94 مقدار شوری زه آب مجدداً مقداری افزایش یافت که این افزایش در سیستم Bilevel بیش‌تر از بقیه سیستم‌ها بود. متعاقب آن در فصل کلزا 94، متوسط شوری زه آب کلیه سیستم‌ها به جز سیستم  $D_{0.9}L_{30}$  تا حدی کاهش یافت. افزایش مجدد شوری زه آب سیستم‌های مختلف زهکشی، پس از کاهش اولیه آن، را تا حدودی می‌توان به بهبود وضعیت زهکشی لایه‌های زیرین خاک در اثر اعمال آبیاری و زهکشی متناوب در فصول برنج 93 و 94 ارتباط داد. با توجه به بیش‌تر بودن دمای هوا در فصل کشت برنج در مقایسه با فصل کشت کلزا و به دنبال آن تبخیر - تعرق بیش‌تر گیاه برنج، سرعت خشک شدن خاک در دوره‌های زهکشی فصل برنج نسبت به فصل کلزا بیش‌تر خواهد بود. مساله مهم دیگر، تکرار این دوره‌های زهکشی در فواصل زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد. به‌طور معمول، فرایند زهکشی در فصل کشت برنج تا زمانی ادامه می‌یافت که ترک‌هایی در سطح خاک پدیدار گردد. تعدد دوره‌های زهکشی یا فرایند خشک و مرطوب شدن متناوب سبب توسعه این ترک‌ها، کاهش بازدارندگی سخت لایه، بهبود وضعیت زهکشی خاک و در نهایت، انتقال بیش‌تر نمک به سمت زهکش در اثر جریان‌های ترجیحی گردید (جدول 3). همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، میانگین شوری زه آب در دوره‌های مختلف زهکشی مربوط به فصول برنج 93 و 94 در کلیه سیستم‌های زهکشی، روند افزایشی داشت.

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

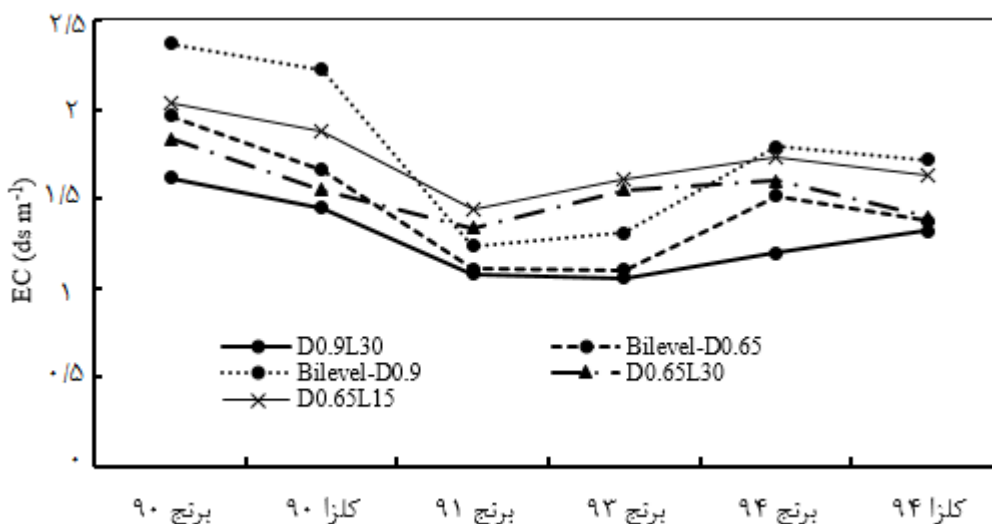
که در آن،  $L$  بار نمک خروجی (میلی‌گرم)،  $C_{di}$  هدایت الکتریکی زه آب در دوره زمانی  $i$  (میلی‌گرم در لیتر) و  $V_{di}$  حجم زه آب در طول دوره  $i$  (لیتر) می‌باشد.

مقایسه میانگین شوری‌های زه آب در فصول مختلف کشت، با روش مقایسات مستقل به‌وسیله نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2004) انجام شد.

## نتایج و بحث

### تاثیر تلفیقی مدیریت زهکشی و الگوی کشت بر شوری زه آب

روند تغییرات میانگین هدایت الکتریکی زه آب سیستم‌های مختلف زهکشی در فصول مختلف کشت برنج و کلزا و مقایسه میانگین شوری زه آب زهکش‌های مختلف تحت مدیریت‌های مختلف کشت به‌ترتیب در شکل 1 و جدول 2 ارائه شد. اختلاف معنی‌داری بین میانگین شوری زه آب زهکش‌های با عمق 0/65 متر تحت دو مدیریت زهکشی میان‌فصل و آبیاری و زهکشی متناوب وجود نداشت ولی میزان شوری زه آب زهکش‌های با عمق 0/9 در مدیریت زهکشی میان‌فصل به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از مقدار آن در آبیاری و زهکشی متناوب بود. به‌جز در سیستم زهکشی  $D_{0.65}L_{30}$  که اختلاف چندانی بین میانگین شوری زه آب مدیریت‌های مختلف وجود نداشت، در سایر سیستم‌های زهکشی، اختلاف شوری زه آب فصل کلزا با مدیریت آبیاری و زهکشی متناوب در فصل برنج معنی‌دار بود. همان‌گونه که در شکل 1 مشاهده می‌شود، میزان شوری زه آب در اولین فصل پس از نصب زهکش‌ها دارای بیش‌ترین مقدار بود و در فصول کلزا و برنج



شکل 1- روند تغییرات متوسط هدایت الکتریکی فصول مختلف کشت

جدول 2- مقایسه میانگین شوری زه آب (دسی زیمنس بر متر) تحت مدیریت های مختلف کشت

سیستم زهکشی					مدیریت کشت
$D_{0.65}L_{15}$	$D_{0.65}L_{30}$	Bilevel- $D_{0.9}$	Bilevel- $D_{0.65}$	$D_{0.9}L_{30}$	
1/667 <sup>ab</sup>	1/476 <sup>a</sup>	1/685 <sup>a</sup>	1/358 <sup>ab</sup>	1/238 <sup>a</sup>	برنج - زهکشی میان فصل
1/554 <sup>b</sup>	1/458 <sup>a</sup>	1/382 <sup>b</sup>	1/140 <sup>b</sup>	0/999 <sup>b</sup>	برنج - آبیاری و زهکشی متناوب
1/701 <sup>a</sup>	1/418 <sup>a</sup>	1/890 <sup>a</sup>	1/438 <sup>a</sup>	1/321 <sup>a</sup>	کلزا

حروف مشترک در هر تیمار، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین فصول کشت در سطح پنج درصد می باشند.

جدول 3- میانگین شوری (دسی زیمنس بر متر) زه آب سیستم های زهکشی در دوره های مختلف زهکشی در فصول برنج 93 و 94

سیستم زهکشی					مرحله زهکشی	فصل کشت برنج
$D_{0.65}L_{15}$	$D_{0.65}L_{30}$	Bilevel- $D_{0.9}$	Bilevel- $D_{0.65}$	$D_{0.9}L_{30}$		
1/463	1/459	0/898	0/766	0/713	اول	
1/654	1/519	1/406	1/225	1/197	دوم	1393
1/702	1/629	1/614	1/313	1/261	سوم	
1/655	1/538	1/736	1/506	1/223	اول	
1/761	1/649	1/758	1/455	1/105	دوم	1394
1/780	1/621	1/925	1/612	1/292	سوم	

محدوده بیش تری از خاک و نقش زهکشی متناوب در بهبود وضعیت زهکشی این منطقه باشد. اگرچه با توجه به طولانی تر بودن طول مدت زهکشی و زه آب بیش تر در شرایط آبیاری و زهکشی متناوب، تخلیه بیش تر نمک در این حالت می تواند بدیهی باشد، لکن توجه به این نکته نیز لازم است که مدیریت زهکشی میان فصل در دو سال ابتدایی پس از نصب زهکش ها انجام شد که پروفیل خاک برای اولین بار در معرض زهکشی قرار می گرفت. بهره برداری از اراضی مورد مطالعه در فصول مرطوب، مستلزم فعالیت دائمی زهکش ها در طی این فصول است. مقایسه ها نشان می دهد که سیستم های مختلف زهکشی در طول دو فصل کشت کلزا، مقادیر متناهی از آب و نمک را از مزرعه مورد مطالعه تخلیه کردند. به عبارت دیگر، مخاطرات زیست محیطی مربوط به دفع آب مازاد و نمک تحت مدیریت های مختلف در فصل کشت برنج، در مقایسه با میزان آن در فصل کلزا قابل توجه نمی باشد. در طول شش فصل کشت برنج و کلزا، کم ترین (398/2 میلی متر) و بیش ترین (695/3 میلی متر) مقدار زه آب به ترتیب مربوط به سیستم های زهکشی  $D_{0.65}L_{30}$  و Bilevel بود در حالی که سیستم های زهکشی  $D_{0.65}L_{15}$  و  $D_{0.9}L_{30}$  به ترتیب کم ترین (3481/4 کیلوگرم در هکتار) و بیش ترین (6573 کیلوگرم در هکتار) نمک را از مزرعه مورد مطالعه خارج کردند.

#### ارتباط عمق سطح ایستابی و دبی زهکش با شوری زه آب

شکل 2 رابطه عمق سطح ایستابی و هدایت الکتریکی زه آب (EC) سیستم های مختلف زهکشی در فصول کلزا را نشان می دهد. عدم تغییر قابل توجه هدایت الکتریکی با تغییرات عمق سطح ایستابی

در شرایطی که انجام زهکشی در یک دوره از فصل کشت برنج (زهکشی میان فصل)، سبب ایجاد ترک های کم تری در سخت لایه خواهد شد که نمی تواند تاثیر زیادی بر انتقال نمک از پروفیل خاک داشته باشد. به عبارت دیگر، در صورت صرف نظر از شوری زه آب زهکش ها در فصل برنج 90 که مربوط به اولین فصل پس از نصب زهکش ها بود، می توان نتیجه گرفت که مدیریت زهکشی میان فصل اثرات زیست محیطی کم تری از نظر دفع نمک در مقایسه با آبیاری و زهکشی متناوب داشت.

مجموع عمق زه آب و بار نمک خروجی از سیستم های مختلف زهکشی طی چهار فصل کشت برنج (دو فصل تحت هر یک از مدیریت های زهکشی میان فصل و آبیاری و زهکشی متناوب) و دو فصل کشت کلزا در جدول 4 ارایه شد. از لحاظ تخلیه آب و نمک، آبیاری و زهکشی متناوب تاثیر منفی بیش تری در مقایسه با زهکشی میان فصل داشت. عمق زه آب تحت شرایط زهکشی میان فصل به مقدار قابل توجهی کم تر از مقدار آن در شرایط آبیاری و زهکشی متناوب بود. این مساله سبب شد که علی رغم بیش تر بودن میزان شوری زه آب در فصل اول کشت برنج، مجموع نمک تخلیه شده تحت زهکشی میان فصل کم تر از آبیاری و زهکشی متناوب باشد. مقایسه مجموع دوساله دفع نمک نشان می دهد که کل نمک خروجی از سیستم های زهکشی  $D_{0.65}L_{30}$ ، Bilevel،  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15}$  در اثر آبیاری و زهکشی متناوب به ترتیب به مقدار 420، 268/6 و 121 و 187 کیلوگرم در هکتار بیش تر از مقدار متناظر در شرایط مدیریت زهکشی میان فصل بود. بیش تر بودن میزان این افزایش در سیستم های دارای زهکش عمیق تر، می تواند به دلیل تاثیر این زهکش ها بر

در هر سیستم زهکشی را می توان به کم عمق بودن زهکش ها و تخلیه آب حاصل از بارندگی توسط آن ها ارتباط داد به طوری که در اغلب

جدول 4- مجموع عمق زه آب (میلی متر) و کل بار نمک خروجی (کیلوگرم در هکتار) تحت تاثیر مدیریت های مختلف کشت

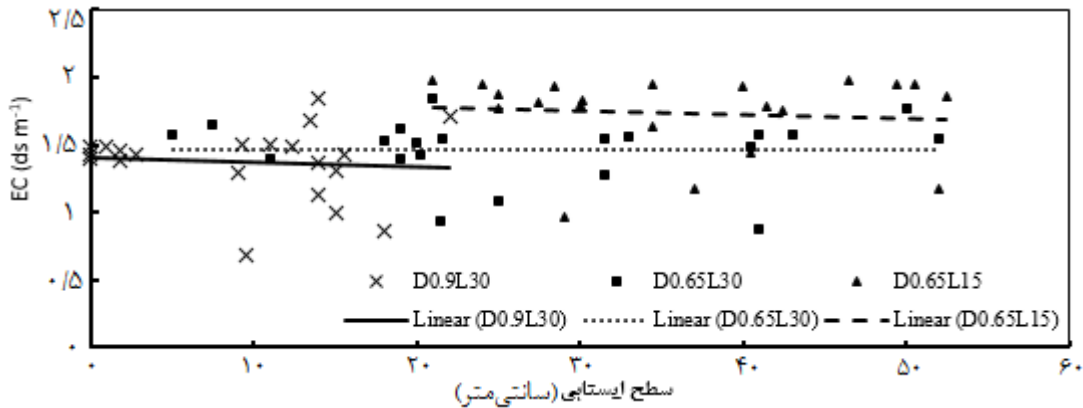
سیستم زهکشی				مدیریت کشت	
D <sub>0.65</sub> L <sub>15</sub>	D <sub>0.65</sub> L <sub>30</sub>	Bilevel	D <sub>0.9</sub> L <sub>30</sub>		
29/1	12	31/1	9/5	عمق زه آب	برنج - زهکشی میان فصل
365	119	275	78/4	نمک خروجی	
55/1	24/4	97/4	59/4	عمق زه آب	برنج - آبیاری و زهکشی متناوب
552	240	695	347	نمک خروجی	
525/4	361/8	566/8	363	عمق زه آب	کلزا
5656	3293	5564	3056	نمک خروجی	

توجه افزایش شدت زهکشی بر شوری زه آب می باشد به طوری که بیشترین شوری زه آب مربوط به سیستم زهکشی دارای بیشترین شدت زهکشی (Bilevel) بود. به طور کلی، مقایسه وضعیت شوری زه آب سیستم های مختلف زهکشی نشان دهنده این مهم است که، بدون توجه به عمق زهکش، با افزایش عمق کنترل سطح ایستابی، شوری زه آب افزایش یافت. متوسط عمق سطح ایستابی در سیستم های زهکشی دارای عمق زهکش 0/65 متر بیش تر از مقدار متناظر در سیستم D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> بود که نتیجه آن شوری کم تر زه آب این سیستم بود. عمق کم تر سطح ایستابی به این معنی است که ضخامت کمتری از خاک در حال زهکشی می باشد. کنترل عمق سطح ایستابی در نزدیکی سطح زمین یا در اعماق کم، به عنوان یکی از روش های موثر در کاهش دفع نمک از سیستم های زهکشی کنترل شده مورد استفاده قرار گرفت (Ayars et al., 2006). نشان داده شد که در شرایط اعمال زهکشی کنترل شده در یک مزرعه فاریاب (عمق زهکش 1/8 متر و فاصله زهکش 20 متر)، با افزایش عمق کنترل سطح ایستابی، شوری زه آب افزایش یافت (Christen and Skehan., 1999) که دلیل آن، افزایش عمق خاک تحت آبشویی با پایین تر رفتن عمق کنترل سطح ایستابی بود. همچنین، در تحقیقی لایسمتری (Noory and Liaghat., 2009)، گزارش شد کنترل سطح ایستابی سبب کاهش شوری زه آب شد. از سوی دیگر، کم تر بودن شوری زه آب در سیستم D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> نسبت به سیستم D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub>، برخلاف نتیجه برخی تحقیقات (Ayars et al., 1997) در اراضی غیرشالیزاری است که گزارش کردند با افزایش عمق زهکش ها، شوری زه آب افزایش می یابد. همچنین، نتایج تحقیقی دیگر (Kamra et al., 1995) نیز نشان داد که زه آب زهکش های عمیق با فاصله زیاد (عمق 2/5 و فاصله 85 متر)، شورتر از زه آب زهکش های با عمق یک و فاصله 48 متر بود. دلیل این امر، تاثیر بیش تر زهکش های

به عبارت دیگر، با توجه به بالا بودن سطح ایستابی در زمان های نمونه برداری و تغذیه مداوم آب به سمت آب زیرزمینی، میزان جریان رو به بالا قابل توجه نبوده و کیفیت آب زیرزمینی تاثیر چندانی بر کیفیت زه آب نداشت. عمق کم زهکش ها سبب می شود که نمک ناحیه زیر ریشه گیاه که تخلیه آن سود کمی برای رشد و عملکرد گیاه دارد (Hornbuckle et al., 2007)، از طریق سیستم های زهکشی وارد جریان های سطحی نشود. دامنه تغییرات عمق سطح ایستابی در سیستم های زهکشی D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub> و D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub> و D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> به ترتیب 22-0، 52-5 و 52/5-21 سانتی متر و دامنه تغییرات هدایت الکتریکی زه آب در این سیستم ها به ترتیب 1/843-0/689 و 1/845-0/869 و 1/98-0/968 دسی زیمنس بر متر بود. کاهش عمق و فاصله زهکش ها سبب بهبود کنترل سطح ایستابی و البته افزایش میزان شوری زه آب شد. مسیر جریان آب به سمت زهکش ها که خود تابعی از عمق و فاصله زهکش ها هست (Jury., 1975)، تاثیر قابل توجهی بر شوری زه آب دارد (Hornbuckle et al., 2007). بنابراین، کاهش عمق زهکش ها به معنی کاهش مسیر جریان آب به سمت زهکش ها است. بیش تر بودن شوری زه آب سیستم D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub> در مقایسه با سیستم D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub> می تواند موید این موضوع باشد. با توجه به بافت سنگین خاک مزرعه مورد مطالعه، افزایش عمق و فاصله زهکش ها در سیستم D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub>، سبب افزایش طول مسیر و زمان سیر نمک به سمت زهکش و خروج آن از طریق زه آب شد. به عبارت دیگر، با افزایش فاصله زهکش ها، احتمال آبشویی بخشی از املاح از پروفیل خاک و انتقال آن به لایه های زیر زهکش ها افزایش یافت. متوسط هدایت الکتریکی زه آب خطوط معرف سیستم های زهکشی D<sub>0.9</sub>L<sub>30</sub>، D<sub>0.65</sub>L<sub>30</sub>، D<sub>0.65</sub>L<sub>15</sub>، Bilevel-D<sub>0.65</sub> و Bilevel-D<sub>0.9</sub> در طول مدت نمونه برداری در فصول مختلف کلزا به ترتیب 1/373، 1/462، 1/735، 1/497 و 1/934 دسی زیمنس بر متر بود که نشان دهنده تاثیر قابل

زهکش‌هایی که با فاصله کم‌تری در زیر این لایه سخت قرار می‌گیرند، توانایی بهتری در تخلیه آب مازاد ناحیه ریشه و کنترل سطح ایستابی دارند.

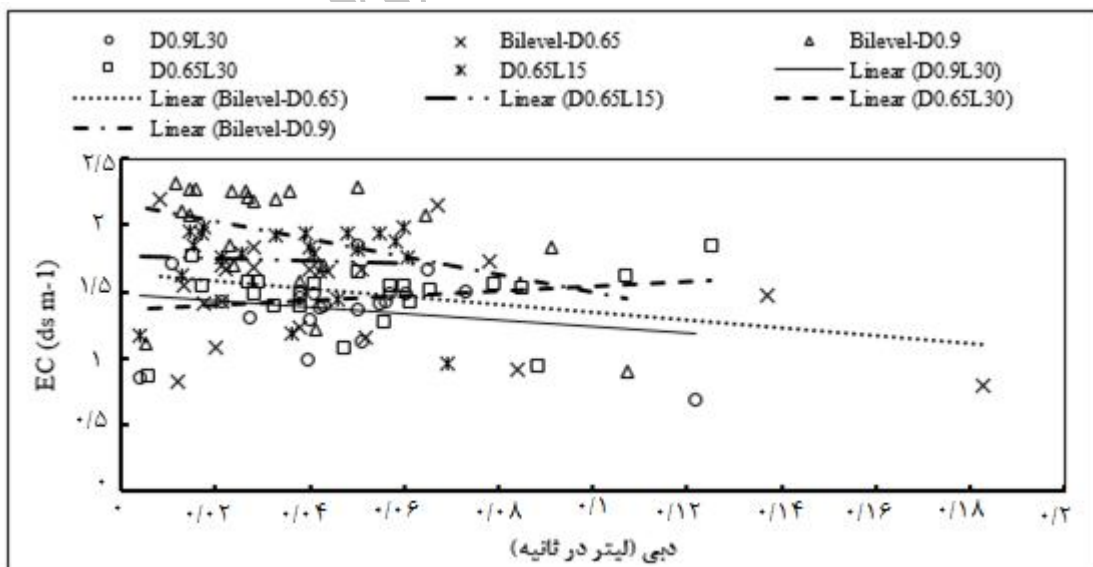
عمیق‌تر بر کنترل سطح ایستابی در خاک‌های غیرشالیزاری است در حالی که در اراضی شالیزاری مورد مطالعه، وجود یک لایه سخت در زیر لایه شخم که در اثر عملیات گل‌خرابی ایجاد می‌شود، عاملی محدود کننده در کارکرد زهکش‌های عمیق‌تر می‌باشد. بنابراین



شکل 2- رابطه سطح ایستابی و هدایت الکتریکی زه‌آب در سیستم‌های مختلف زهکشی

معمول، انتظار می‌رود بیش‌ترین دبی زهکش‌ها در شرایطی رخ دهد که در کل پروفیل خاک، جریان اشباع برقرار گردد که عمدتاً از خلل و فرج درشت خاک جریان می‌یابد. در این وضعیت، نمک‌های چسبیده به ذرات خاک، کم‌تر در معرض آبشویی قرار خواهند گرفت. کاهش دبی زهکش‌ها می‌تواند به این معنی باشد که جریان عمدتاً از خلل و فرج ریزتر اتفاق می‌افتد که نتیجه آن شستشوی املاح چسبیده به ذرات خاک می‌باشد.

رابطه دبی زهکش‌ها و شوری زه‌آب سیستم‌های مختلف زهکشی در شکل 3 ارایه شد. به‌جز در سیستم زهکشی  $D_{0.65}L_{30}$  که با افزایش دبی زهکش، میزان شوری زه‌آب تا حدی افزایش یافت، در کلیه سیستم‌های زهکشی، افزایش دبی منجر به کاهش شوری زه‌آب شد. بررسی رابطه بین دبی زهکش و شوری زه‌آب در سیستم‌های مختلف، دلالت بر کاهش شیب این رابطه با کاهش شدت زهکشی دارد تا جایی که در سیستم  $D_{0.65}L_{30}$  که از نظر تئوری دارای کم‌ترین شدت زهکشی است، شیب این رابطه تا حدی معکوس شد. به‌طور



شکل 3- رابطه دبی زهکش با هدایت الکتریکی زه‌آب در سیستم‌های مختلف زهکشی

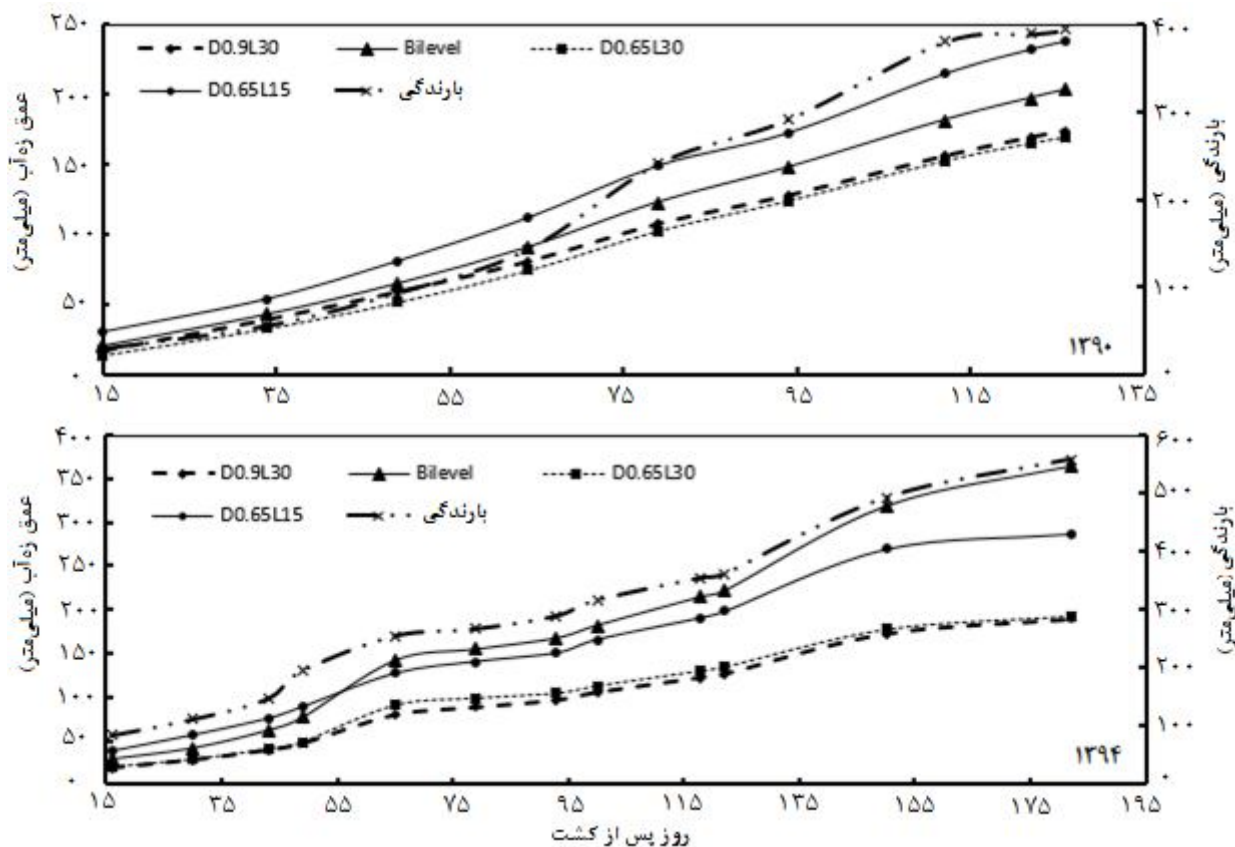
## آنالیز حجم زه آب و دفع نمک در فصل کلزا

مقادیر تجمعی زه آب سیستم‌های مختلف زهکشی و بارندگی طی دو فصل کشت کلزا (1390 و 1394) در شکل 4 ارائه شد. مجموع بارندگی در فصول 1390 و 1394 کلزا به ترتیب 558 و 394 میلی‌متر بود. در فصل اول کلزا، سیستم‌های زهکشی  $D_{0.9}L_{30}$ ، Bilevel،  $D_{0.65}L_{15}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  به ترتیب 42/9، 51/6، 44/2 و 60/5 درصد کل بارندگی را تخلیه کردند. این مقادیر در فصل کلزا 1394 به ترتیب برابر 33/9، 65/2، 34/5 و 51/4 درصد بود. مقایسه کارایی سیستم‌های مختلف زهکشی نشان‌دهنده بهبود قابل ملاحظه وضعیت زهکشی خاک در سیستم Bilevel می‌باشد در حالی که در سایر سیستم‌ها، علی‌رغم اینکه عمق زه آب مربوط به سال 1394 بیش‌تر از مقدار متناظر در سال 1390 بود، درصدی از بارندگی که به زه آب تبدیل شد کاهش یافت. عمق زه آب سیستم‌های زهکشی  $D_{0.9}L_{30}$ ، Bilevel،  $D_{0.65}L_{15}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  در سال 1394، به ترتیب به میزان 8/6، 79، 13/9 و 20/2 درصد بیش‌تر از مقدار متناظر در سال 1390 بود. تفاوت در کارایی سیستم‌های زهکشی را می‌توان به عوامل مختلفی نظیر تفاوت در تراکم کشت، میزان تبخیر - تعرق و عملیات‌های مربوط به مدیریت مزرعه مرتبط دانست. علاوه بر این، الگو و میزان بارندگی در دو سال متفاوت بود. در طول فصل کلزا 1390، تنها پنج بارندگی با تداوم سه روزه یا بیش‌تر رخ داد در حالی که این مساله 13 مرتبه در سال 1394 تکرار شد. افزایش تداوم و مقدار بارندگی می‌تواند سبب شود بخشی از بارندگی در سیستم‌های زهکشی دارای ظرفیت تخلیه ناکافی، به صورت رواناب از مزرعه خارج شود. به عبارت دیگر، سیستمی که قادر به دفع سریع‌تر آب مازاد باشد، توانایی بیش‌تری در تخلیه بارندگی‌های مازاد و مداوم دارد. بررسی روند تغییرات منحنی زه آب تجمعی سیستم‌های Bilevel و  $D_{0.65}L_{15}$  در سال 1394 در بازه‌های زمانی روزهای 43 تا 65 و روزهای 150 تا 182 پس از کشت کلزا، نشان‌دهنده افزایش بیش‌تر زه آب سیستم Bilevel در مقایسه با  $D_{0.65}L_{15}$  می‌باشد. طی این دو دوره، به ترتیب 59/7 و 130/7 میلی‌متر بارندگی به وقوع پیوست که درصد بیش‌تری از آن در سیستم Bilevel در مقایسه با سایر سیستم‌ها تخلیه شد. عمق زه آب سیستم  $D_{0.9}L_{30}$  به مقدار قابل توجهی کم‌تر از میزان آن در سیستم‌های زهکشی دارای فاصله 15 متر و تقریباً مشابه سیستم  $D_{0.65}L_{30}$  بود در حالی که از نظر تئوریک، انتظار می‌رود حجم زه آب سیستم  $D_{0.9}L_{30}$  با توجه به زهکشی ناحیه بیش‌تری از پروفیل خاک، بیش‌تر از مقدار آن در سیستم  $D_{0.65}L_{30}$  باشد. همان‌گونه که ذکر شد، با توجه به سنگین بودن بافت خاک لایه‌های مختلف، عمق بیش‌تر زهکشی‌ها در این سیستم سبب شد که عمق سطح ایستابی در مقایسه با سایر

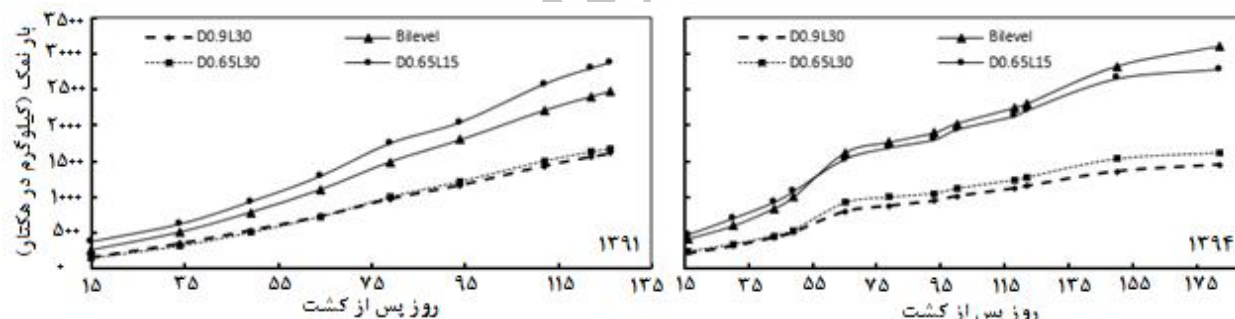
سیستم‌های زهکشی، به سطح زمین نزدیک‌تر باشد که نتیجه آن، کاهش حجم زه آب این سیستم می‌باشد. تاثیر کنترل سطح ایستابی در اعماق کم‌تر بر کاهش حجم زه آب خروجی، در یک مطالعه لایسمتری نیز گزارش شد (Noory and Liaghat., 2009). در صورت وجود آب آبیاری کافی و با کیفیت مناسب یا بارندگی برای شستشوی نمک‌ها از خاک، در طراحی سیستم زهکشی نیازی نیست که عمق کنترل سطح ایستابی را خیلی زیاد در نظر گرفت. این به آن مفهوم است که می‌توان از زهکش‌های کم‌عمق در این شرایط استفاده کرد.

شکل 5 بار تجمعی کل نمک خروجی از سیستم‌های مختلف زهکشی در فصول کلزا 1390 و 1394 را نشان می‌دهد. الگوی تخلیه نمک از سیستم‌های مختلف زهکشی نیز عموماً تابعی از روند تغییرات زه آب این سیستم‌ها بود. در سال 1390 که سیستم  $D_{0.65}L_{15}$  بیش‌ترین مقدار زه آب را ایجاد کرد، میزان نمک تخلیه شده به وسیله این سیستم، بیش‌تر از سایر سیستم‌ها بود. این موضوع در سال 1394 در سیستم Bilevel به وقوع پیوست. در هر دو فصل کشت کلزا، کم‌ترین میزان نمک خروجی در سیستم  $D_{0.9}L_{30}$  مشاهده شد (1606 و 1450 کیلوگرم در هکتار در فصول کلزا 1390 و 1394) که دارای عمق زهکش بیش‌تری در مقایسه با سایر سیستم‌های زهکشی بود. با وجود افزایش عمق زه آب در سیستم‌های مختلف زهکشی در سال 1394 در مقایسه با 1390، نمک خروجی در سال 1394 در سیستم‌های زهکشی  $D_{0.9}L_{30}$ ،  $D_{0.65}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{15}$  به ترتیب به میزان 9/8، 2/8 و 3 درصد کم‌تر از مقدار متناظر در سال 1390 بود. عکس این روند در سیستم Bilevel مشاهده شد به طوری که نمک خروجی در سال 1394 به میزان 25 درصد بیش‌تر از مقدار آن در سال 1390 بود. میزان نمک خروجی از سیستم‌های زهکشی، تابعی از شوری زه آب و حجم آن است. با توجه به افزایش حجم زه آب کلیه سیستم‌ها در سال 1394، کاهش تخلیه نمک در برخی سیستم‌ها در این سال، به کاهش شوری زه آب سیستم‌های مختلف زهکشی در این سال در مقایسه با 1390 مرتبط می‌باشد. با این وجود، افزایش قابل توجه حجم زه آب سیستم Bilevel در سال 1394، اثر کاهش شوری زه آب این سیستم را خنثی نمود که نتیجه آن افزایش قابل توجه تلفات نمک در این سیستم در سال 1394 بود. هم‌چنین، اختلاف میزان نمک خروجی در سیستم‌های دارای فاصله 15 و 30 متر در هر دو فصل کشت کلزا، قابل ملاحظه بود. این موضوع، نقش بارز کاهش فاصله زهکش‌ها در افزایش خطرات زیست محیطی مرتبط با دفع نمک را کاملاً نمایان می‌سازد.





شکل 4- میزان زه آب و بارندگی تجمعی در طول دو فصل کشت کلزا



شکل 5- بار تجمعی کل نمک خروجی از سیستم‌های مختلف زهکشی در طی دو فصل کشت کلزا

### نتیجه گیری

متر به صورت یک در میان) بررسی شد. عملیات‌های مختلف مدیریتی تأثیرات متفاوتی از منظر حجم و شوری زه آب و بار نمک خروجی از سیستم‌های مختلف زهکشی ایجاد نمودند. مدیریت زهکشی میان- فصل اثرات زیست محیطی کمتری از نظر دفع نمک در مقایسه با آبیاری و زهکشی متناوب داشت. در اثر آبیاری و زهکشی متناوب، کل نمک خروجی در طی دو فصل کشت از سیستم‌های  $D_{0.9L_{30}}$ ، Bilevel،  $D_{0.65L_{30}}$  و  $D_{0.65L_{15}}$  به ترتیب به مقدار 102، 153، 343 و 51 درصد بیش‌تر از مقدار متناوب در شرایط مدیریت زهکشی میان- فصل بود. همچنین، تناوب دوره‌های زهکشی در فصل کشت برنج،

در این تحقیق که طی سال‌های 1390 تا 1394 انجام شد، اثرات اعمال زهکشی میان فصل و آبیاری و زهکشی متناوب در فصل کشت برنج به همراه زهکشی آزاد در فصل کشت کلزا بر شوری زه آب و دفع نمک از یک مزرعه شالیزاری مجهز به سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی شامل  $D_{0.65L_{30}}$ ،  $D_{0.65L_{15}}$ ،  $D_{0.9L_{30}}$  (اندیس‌های D و L به ترتیب معرف عمق و فاصله زهکش بر حسب متر می‌باشند) و Bilevel (چهار خط زهکش با فاصله 15 متر و اعماق 0/9 و 0/65

- Griffith.
- Colombani, N., Osti, A., Volta, G and Mastrocicco, M. 2016. Impact of climate change on salinization of coastal water resources. *Water Resources Management*. 30: 2483–2496.
- Darzi-Naftchali, A., Shahnazari, A. 2014. Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. *European Journal of Agronomy*. 56:1-8.
- Darzi-Naftchali, A., Mirlatifi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F., Mahdian, M.H. 2013. Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly drained paddy fields. *Agricultural Water Management*, 130: 61– 68.
- FAO. 2014. Fao statistical year book, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Faostat. 2016. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Date visited: 1/10/2016. (January 10, 2016).
- Furukawa, Y., Shiratori, Y and Inubushi, K. 2008. Depression of methane production potential in paddy soils by subsurface drainage systems. *Soil Science and Plant Nutrition*. 54:950–959.
- Guo, H.Y., Zhu, J.G., Wang, X.R., Wu, Z.H and Zhang, Z. 2004. Case study on nitrogen and phosphorus emissions from paddy field in Taihu region. *Environmental Geochemistry and Health*. 26: 209–219.
- Hornbuckle, J.W., Christen, E.W and Faulkner, R.D. 2007. Evaluating a multilevel subsurface drainage system for improved drainage water quality. *Agricultural Water Management*. 89.3: 208–216.
- Jury, W.A. 1975. Solute travel-time estimates for tile-drained fields. I. Theory. *Soil Science Society of America Proceeding*. 39: 1020–1023.
- Kamra, S.K., Rao, K.V.G.K and Singh, S.R. 1995. Modeling solute transport in sub-surface drained soil aquifer system of irrigated lands. *Irrigation and Drainage systems*. 9: 189-204.
- Lampayan, R.M., Samoy-Pascual, K.C., Sibayan, E.B., Ella, V.B., Jayag, O.P., Cabangon, R.J and Bouman, B.A.M. 2014. Effect of alternate wetting and drying (AWD) threshold level and plant seedling age on crop performance, water input, and water productivity of transplanted rice in Central Luzon Philippines. *Paddy Water Environment*. 13: 215-227.
- Liu, Y., Wan, K.Y., Tao, Y., Li, Z.G., Zhang, G.S., Li, S.I., Chen, F. 2013. Carbon dioxide flux from rice paddy soils in Central China: effects of intermittent flooding and draining cycles. *PLOS ONE*. 8.2: e56562, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0056562>.
- منجر به افزایش شوری زه آب شد. در کل دوره مطالعه، حجم زه آب و نمک خروجی از سیستم‌های  $D_{0.9}L_{30}$  و  $D_{0.65}L_{30}$  کم‌تر از سیستم‌های Bilevel و  $D_{0.65}L_{15}$  بود. برای هر فاصله ثابت زهکش، کاهش عمق زهکش‌ها یا ترکیب زهکش‌های کم‌عمق و عمیق سبب کنترل بهتر سطح ایستابی و افزایش شوری زه آب شد. با مقایسه کل حجم زه آب و نمک خروجی می‌توان نتیجه گرفت که از میان سیستم‌های زهکشی مورد مطالعه، سیستم زهکشی  $D_{0.65}L_{30}$  تناسب بهتری با اراضی مورد مطالعه داشت. با این وجود، انتخاب مناسب‌ترین سیستم زهکشی منوط به ارزیابی جامع تاثیر ترکیب‌های مختلفی از عمق و فاصله زهکش‌ها بر انتقال سایر آلاینده‌ها و بهره‌وری زمین در شرایط کشت سالانه می‌باشد.
- ### منابع
- درزی نفت‌چالی، ع، میرلطیفی، س.م، شاهنظری، ع، اجاللی، ف و مهدیان، م.ج. 1391. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 3. 6: 215-225.
- درزی نفت‌چالی، ع، میرلطیفی، س.م، شاهنظری، ع، اجاللی، ف و مهدیان، م.ج. 1392. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات نیتروژن از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 3. 7: 294-305.
- کیاء، ع. 1384. زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری. مرکز توسعه منابع انسانی کشاورزی هراز، 22 ص.
- وزارت جهاد کشاورزی. 1384. آمارنامه کشاورزی (جلد اول)، محصولات زراعی و باغی، سال زراعی 1382-83.
- وزارت جهاد کشاورزی. 1394. آمارنامه کشاورزی (جلد اول)، محصولات زراعی، سال زراعی 1392-93.
- Ayars, J.E., Grismer, M.E., Guitjens, J.C. 1997. Water quality as design criterion in drainage water management system. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123: 148–153.
- Ayars, J.E., Christen, E.W. and Hornbuckle, J.W. 2006. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*. 86: 128-139.
- Azhar, A.H., Alam, M.M and Rafiq, M. 2005. Agricultural impact assessment of subsurface drainage projects in Pakistan– crop yield analysis. *Pakistan Journal of Water Resources*. 9.1: 1-7.
- Christen, E.W and Skehan, D. 1999. Design and management of subsurface drainage for improved water quality: a field trial. CSIRO Land and Water Technical Report 6/99. CSIRO Land and Water,

- Lessons learned in farmers' fields. *Agricultural Water Management*. 95.3: 179-189.
- Ritzema, H.P. and Stuyt, L.C.P.M. 2015. Land drainage strategies to cope with climate change in the Netherlands. *Acta Agriculturae, Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science*. 65.1: 80-92.
- Ritzema, H.P., Wolters, W., Bhutta, M.N., Gupta, S.K. and Abdel-Dayem, S. 2007. The added value of research on drainage in irrigated agriculture. *Irrigation and Drainage*. 56: S205–S215.
- SAS Institute. 2004. Version 9.1.3. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Satyanarayana, T.V. and Boonstra, J. 2007. Subsurface drainage pilot area experiences in three irrigated project commands of Andhra Pradesh in India. *Irrigation and Drainage*. 56: 245–252.
- Singh, M., Bhattacharya, A.K., Nair, T.V.R. and Singh, A.K. 2001. Ammonium losses through subsurface drainage effluent from rice fields of coastal saline sodic clay soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 127: 1–14.
- Vandersypen, K., Keita, A.C.T., Coulibaly, B., Raes, D. and Jamin, J.Y. 2007. Drainage problems in the rice schemes of the Office du Niger (Mali) in relation to water management. *Agricultural Water Management*. 89: 153–160.
- Masanneh-Ceesay, M. 2004. Management of rice production systems to increase productivity in the Gambia, West Africa. A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, Pp: 159.
- Mathew, E.K., Panda, R.K. and Nair, M. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Agricultural Water Management*. 47: 191-209.
- Nangia, V., Gowda, P.H., Mulla, D.J. and Sands, G.R. 2010. Modeling Impacts of Tile Drain Spacing and Depth on Nitrate-Nitrogen Losses. *Vadose Zone Journal*. 9: 61–72.
- Noory, H. and Liaghat, A. 2009. Water Table Management to Improve Drainage Water Quality in Semiarid Climatic Conditions of Iran. *Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 135.5: 665-670.
- Owusu-Sekyere, J.D. 2005. Water table control for rice production in Ghana. Cranfield University, Silsoe College, National Soil Resources Institute. Ph.D. Thesis, Pp: 225.
- Ritzema, H.P., Satyanarayana, T.V., Raman, S. and Boonstra, J. 2008. Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India:

Archive

## Analysis of the Effect of Drainage Management on Drainage Water Salinity in Rice-canola Cropping Rotation

A. Darzi-Naftchali<sup>1</sup>

Received: May.17, 2016

Accepted: Oct.26, 2016

### Abstract

While providing conditions for crop diversification and improving productivity of northern Iran's paddy fields, subsurface drainage can be a threat to downstream water resources. This research was done to quantify the effects of two types of conventional water management in rice cultivation systems including midseason drainage and alternate irrigation and drainage as well as free drainage in canola growing season on salinity of subsurface drainage effluents. Required experiments were conducted on subsurface drained paddy fields during 4 rice growing seasons and two canola growing seasons (2011- 2015). Each type of management strategy was repeated twice during the study period. Measurements of water table depth and drain discharge were done during drainage periods of different growing seasons. Moreover, drainage water salinity was measured in due times. Alternate drainage and increase in water table depth raised drainage water salinity in rice and canola seasons, respectively. Compared with midseason drainage, alternate irrigation and drainage resulted in 121- 420 kg ha<sup>-1</sup> increase in salt loss in different drainage systems. Salt discharge was considerably higher in canola season than rice season due to free drainage condition in canola seasons. Total salt load under midseason drainage, alternate irrigation and drainage and canola cropping through different drainage systems ranged, respectively, 78.4-365, 240- 695 and 3056- 5656 kg ha<sup>-1</sup>. Based on the results, water table management through installation of shallow- suitable spaced drains can be effective to decrease salt load from subsurface drained paddy fields.

**Keywords:** Alternate irrigation and drainage, Midseason drainage, Paddy field, Water table depth

Archive of SID

1- Assistant Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
Email: abduallahdarzi@yahoo.com