نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 4، جلد 10، مهر - آبان 1395، ص. 531-520

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 10, Sept.-Oct. 2016, p. 520-531

تحلیل تأثیر مدیریت زهکشی بر شوری زه‌آب در تناوب کشت برنج- کلزا

عبداله درزی نفت‌چالی[1]

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 زه‌آب 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 زه‌آب زهکش‌ها در زمان‌های مختلف تعیین شد. زهکشی متناوب در فصل کشت برنج و افزایش عمق سطح ایستابی در فصل کلزا، باعث افزایش شوری زه‌آب 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

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. براساس 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 شالی‌کاری کشور را در اختیار دارند. آمارهای مختلف نشان‌دهنده کاهش سطح زیر کشت برنج کشور در طی سال‌های گذشته می‌باشد. براساس اطلاعات فائو (FAO, 2014)، سطح زیر کشت برنج کشور در سال 2011 نسبت به سال 2000، 1/4 درصد کاهش یافت. براساس سایر آمارها نیز، سطح زیر کشت برنج در مقایسه با مقدار آن در 10 سال گذشته (حدود 611 هزار هکتار در سال زراعی 83-82 (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 2009-2008 به 160/6 میلیون هکتار در سال 2015-2014 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 طرح‌های 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

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

غرقابی و ماندابی و بهبود کارایی سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در قالب طرح‌های تجهیز و نوسازی، احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی مورد توجه قرار گرفت. تحقیقات متعدد نشان می‌دهد 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 ریشه‌دهی و کاهش پنجه‌دهی غیرمثمر و دفع مواد سمی از ناحیه ریشه (کیا، 1384) و در نهایت افزایش تولید این محصول می‌شود (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 خاک‌های شور سدیمی (Singh et al., 2001) و کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای متان (Furukawa et al., 2008) برخی دیگر از آثار مثبت زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری می‌باشند.

زهکشی زیرزمینی علی‌رغم مزایای مختلف، ممکن است سبب دفع مواد غذایی و ترکیبات شیمیایی مختلف در طی دوره‌های زهکشی شود. با توجه به حساسیت اکوسیستم‌های آبیِ دریافت کننده پساب‌های زهکشی، سیستم‌های زهکشی زیرزمینی اراضی شالیزاری باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که حداقل اثرات زیست محیطی را در پی داشته باشند. این امر، به‌ویژه با توجه به محدودیت منابع آب شیرین و روند روز افزون آلودگی آب‌های سطحی در اثر فعالیت‌های بشری (Colombani et al., 2016) و تغییر اقلیم (Ritzema and Stuyt., 2015)، از اهمیت بسیاری برخوردار است. با وجود این‌که در بسیاری از موارد، هدف از زهکشی کنترل شوری است، لکن شوری زیاد زه‌آب می‌تواند به‌عنوان هزینه مخفی یک طرح آبیاری و زهکشی قلمداد شود (Ritzema et al., 2008). عوامل متعددی بر بار نمک خروجی از سیستم‌های زهکشی تاثیر می‌گذارند. عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی به‌عنوان معیارهای طراحی سیستم زهکشی، بر تجمع نمک در ناحیه ریشه و حجم زه‌آب و در نتیجه شوری آن موثرند. در صورتی‌که این معیارها بیش‌تر 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 بهینه‌ای برای عمق و فاصله زهکش‌ها، انتخاب شود. برخی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که با افزایش عمق و کاهش فاصله زهکش‌ها، حجم زه‌آب خروجی و در نتیجه تلفات برخی مواد غذایی افزایش می‌یابد (Nangia et al., 2010). گزارش شد که زهکش‌های کم‌عمق نیز می‌توانند شوری ناحیه ریشه گیاه را به‌گونه‌ای کنترل کنند که رشد گیاه متاثر نشود (Ritzema et al., 2007).

مساله مهم دیگری که باید در طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری مد نظر قرار گیرد، نوع مدیریت آب و کاربری قابل انتظار از زمین می‌باشد. از مدیریت‌های متفاوتی مانند زهکشی میان‌فصل (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 می‌شود. علاوه بر این، کشت زمستانه گیاهان زراعی مختلفی مانند کلزا در شالیزارهای دارای زهکشی زیرزمینی در حال گسترش است. در این شرایط، برنامه‌ریزی برای دستیابی به استراتژی‌های پایدار، مستلزم آنالیز طولانی‌مدت و قابل اعتمادی از تاثیر پروژه‌های توسعه‌ای مدیریت آب بر حجم و ترکیب زه‌آب‌ها برای اتخاذ تدابیر مناسب جهت دفع آن‌ها می‌باشد. مرور منابع نشان داد که تاکنون تاثیر تلفیقی زهکشی زیرزمینی و برخی از روش‌های مدیریت آب در کشت برنج مانند زهکشی میان-فصل و آبیاری و زهکشی متناوب بر دفع نمک از اراضی شالیزاری ارزیابی نشده‌اند. بر این اساس، در این تحقیق تاثیر این عملیات‌های مدیریتی بر میزان زه‌آب 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 روش‌ها

منطقه مطالعه

آزمایش‌های لازم در طول چهار فصل کشت برنج (1390، 1391، 1393و 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 می‌باشد. حداقل، حداکثر و متوسط دمای هوای ثبت شده در منطقه، به‌ترتیب 6-، 42/5 و 17/6 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برخی از خصوصیات اقلیمی مربوط به فصول مختلف کشت در جدول 1 ارایه شد. بافت لایه‌های مختلف خاک تا عمق 150 سانتی‌متری، اغلب از نوع سیلتی رس و از 150 تا 300 سانتی‌متری، رسی است (درزی نفت‌چالی و همکاران، 1391). این مزرعه در سال 1390 به سیستم‌های 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

(Bilevel-$D_{0.9}$) به‌صورت یک در میان در مزرعه مورد مطالعه نصب شدند. مشخصات سیستم‌های مختلف زهکشی به‌تفصیل در گزارش‌های قبلی مربوط به این مزرعه زهکشی ارایه شد (درزی نفت‌چالی و همکاران، 1391 و 1392).

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

فصل کشت	دمای حداقل (^{0}C)	دمای حداکثر (^{0}C)	دمای متوسط (^{0}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

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 به‌ترتیب 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 به‌صورت سرک به‌کار برده شد. هم‌چنین، 13 و 31 روز پس از نشاکاری در سال 1393 به‌ترتیب 80 و 30 کیلوگرم در هکتار اوره و 12 روز پس از نشاکاری در سال 1394، 50 کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک استفاده شد. پس از برداشت برنج در سال‌های 1390 و 1393، به‌ترتیب 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 به‌صورت سرک پخش شد. هم‌چنین، در زمان کشت و 52 روز پس از کشت کلزا در سال 1394، به‌ترتیب 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 انجام شد. دو نوع متفاوت مدیریت آب شامل زهکشی میان‌فصل و آبیاری و زهکشی متناوب در فصول کشت برنج، اجرا شد. در سال‌های 1390 و 1391 از مدیریت زهکشی میان‌فصل استفاده شد به این صورت‌که 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 به‌صورت دیم انجام شد و شرایط زهکشی در طول فصول کلزا غالباً آزاد بود. تنها در اواخر فصل کلزا در سال 1390، به‌دلیل کاهش بارندگی و برای جلوگیری از وارد شدن تنش رطوبتی به گیاه، خروجی زهکش‌ها مسدود شد تا از افت بیش‌تر سطح ایستابی 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 به‌ترتیب 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 زه‌آب زهکش‌ها نمونه‌برداری شد. هدایت الکتریکی نمونه‌ها در آزمایشگاه با استفاده از EC متر تعیین شد. دبی زهکش‌ها به‌صورت روزانه به‌روش حجمی اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، در فصول کلزا، عمق سطح ایستابی در نقطه میانی فاصله بین دو زهکش در هر سیستم زهکشی، به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. با استفاده از مقادیر هدایت الکتریکی وحجم زه‌آب، بار نمک خروجی از زهکش‌ها از رابطه 1 تعیین شد (Guo et al., 2004):

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

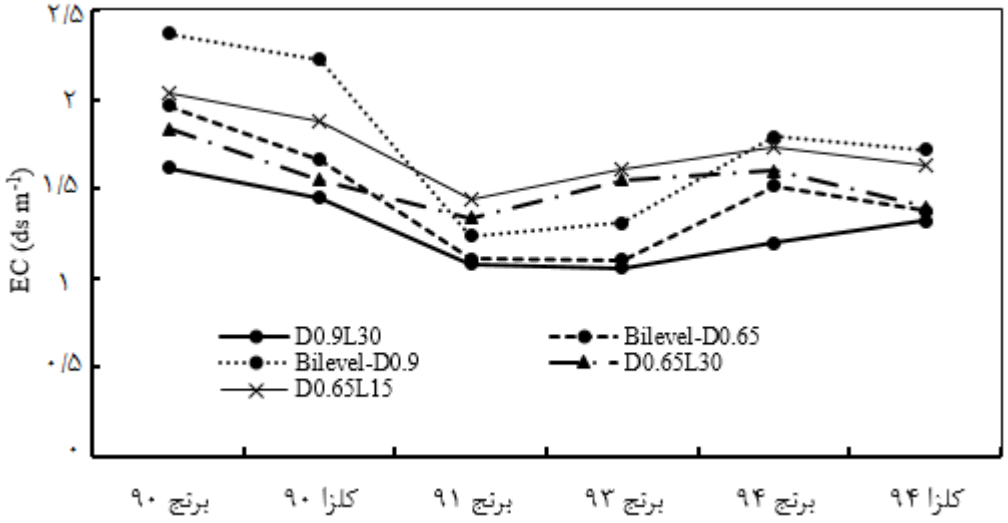
که در آن، L بار نمک خروجی (میلی‌گرم)، C_{di} هدایت الکتریکی زه‌آب در دوره زمانی i (میلی‌گرم در لیتر) و V_{di} حجم زه‌آب در طول دوره i (لیتر) می‌باشد.

مقایسه میانگین شوری‌های زه‌آب 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 زه‌آب

روند تغییرات میانگین هدایت الکتریکی زه‌آب سیستم‌های مختلف زهکشی در فصول مختلف کشت برنج و کلزا و مقایسه میانگین شوری زه‌آب زهکش‌های مختلف تحت مدیریت‌های مختلف کشت به‌ترتیب در شکل 1 و جدول 2 ارایه شد. اختلاف معنی‌داری بین میانگین شوری زه‌آب زهکش‌های با عمق 0/65 متر تحت دو مدیریت زهکشی میان‌فصل و آبیاری و زهکشی متناوب وجود نداشت ولی میزان شوری زه‌آب 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 زه‌آب مدیریت‌های مختلف وجود نداشت، در سایر سیستم‌های زهکشی، اختلاف شوری زه‌آب فصل کلزا با مدیریت آبیاری و زهکشی متناوب در فصل برنج معنی‌دار بود. همان‌گونه که در شکل 1 مشاهده می‌شود، میزان شوری زه‌آب در اولین فصل پس از نصب زهکش‌ها دارای بیش‌ترین مقدار بود و در فصول کلزا و برنج بعدی به‌تدریج کاهش یافت. کاهش تدریجی شوری زه‌آب به‌دلیل تخلیه مکرر نمک‌های موجود در مسیر جریان آب در خاک در اثر زهکشی بود. در فصول برنج 93 و 94 مقدار شوری زه‌آب مجددا مقداری افزایش یافت که این افزایش در سیستم Bilevel بیش‌تر از بقیه سیستم‌ها بود. متعاقب آن در فصل کلزا 94، متوسط شوری زه‌آب کلیه سیستم‌ها به‌جز سیستم $D_{0.9}L_{30}$ تا حدی کاهش یافت. افزایش مجدد شوری زه‌آب 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 زه‌آب در دوره‌های مختلف زهکشی مربوط به فصول برنج 93 و 94 در کلیه سیستم‌های زهکشی، روند افزایشی داشت.



شکل 1- روند تغییرات متوسط هدایت الکتریکی فصول مختلف کشت

جدول 2- مقایسه میانگین شوری زه‌آب (دسی زیمنس بر متر) تحت مدیریت‌های مختلف کشت

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

حروف مشترک در هر تیمار، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین فصول کشت در سطح پنج درصد می‌باشند.

جدول 3- میانگین شوری (دسی زیمنس بر متر) زه‌آب سیستم‌های زهکشی در دوره‌های مختلف زهکشی در فصول برنج 93 و 94

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

در شرایطی که انجام زهکشی در یک دوره از فصل کشت برنج (زهکشی میان‌فصل)، سبب ایجاد ترک‌های کم‌تری در سخت لایه خواهد شد که نمی‌تواند تاثیر زیادی بر انتقال نمک از پروفیل خاک داشته باشد. به عبارت دیگر، در صورت صرف‌نظر از شوری زه‌آب زهکش‌ها در فصل برنج 90 که مربوط به اولین فصل پس از نصب زهکش‌ها بود، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت زهکشی میان‌فصل اثرات زیست محیطی کم‌تری از نظر دفع نمک در مقایسه با آبیاری و زهکشی متناوب داشت.

مجموع عمق زه‌آب و بار نمک خروجی از سیستم‌های مختلف زهکشی طی چهار فصل کشت برنج (دو فصل تحت هر یک از مدیریت‌های زهکشی میان‌فصل 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 بیش‌تری در مقایسه با زهکشی میان‌فصل داشت. عمق زه‌آب تحت شرایط زهکشی میان‌فصل به مقدار قابل توجهی کم‌تر از مقدار آن در شرایط آبیاری و زهکشی متناوب بود. این مساله سبب شد که علی‌رغم بیش‌تر بودن میزان شوری زه‌آب در فصل اول کشت برنج، مجموع نمک تخلیه شده تحت زهکشی میان‌فصل کم‌تر از آبیاری و زهکشی متناوب باشد. مقایسه مجموع دوساله دفع نمک نشان می‌دهد که کل نمک خروجی از سیستم‌های زهکشی $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ در اثر آبیاری و زهکشی متناوب به‌ترتیب به مقدار 268/6، 420، 121 و 187 کیلوگرم در هکتار بیش‌تر از مقدار متناظر در شرایط مدیریت زهکشی میان‌فصل بود. بیش‌تر بودن میزان این افزایش در سیستم‌های دارای زهکش عمیق‌تر، می‌تواند به‌دلیل تاثیر این زهکش‌ها بر محدوده بیش‌تری از خاک و نقش زهکشی متناوب در بهبود وضعیت زهکشی این منطقه باشد. اگرچه با توجه به طولانی‌تر بودن طول مدت زهکشی و زه‌آب بیش‌تر در شرایط آبیاری و زهکشی متناوب، تخلیه بیش‌تر نمک در این حالت می‌تواند بدیهی باشد، لکن توجه به این نکته نیز لازم است که مدیریت زهکشی میان‌فصل در دو سال ابتدایی پس از نصب زهکش‌ها انجام شد که پروفیل خاک برای اولین بار در معرض زهکشی قرار می‌گرفت. بهره‌برداری از اراضی مورد مطالعه در فصول مرطوب، مستلزم فعالیت دایمی زهکش‌ها در طی این فصول است. مقایسه‌ها نشان می‌دهد که سیستم‌های مختلف زهکشی در طول دو فصل کشت کلزا، مقادیر متنابهی از آب و نمک را از مزرعه مورد مطالعه تخلیه کردند. به‌عبارت دیگر، مخاطرات زیست محیطی مربوط به دفع آب مازاد و نمک تحت مدیریت‌های مختلف در فصل کشت برنج، در مقایسه با میزان آن در فصل کلزا قابل توجه نمی‌باشد. در طول شش فصل کشت برنج و کلزا، کم‌ترین (398/2 میلی‌متر) و بیش‌ترین (695/3 میلی‌متر) مقدار زه‌آب به‌ترتیب مربوط به سیستم‌های زهکشی $D_{0.65}L_{30}$ و Bilevel بود در حالی‌که سیستم‌های زهکشی $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به‌ترتیب کم‌ترین (3481/4 کیلوگرم در هکتار) و بیش‌ترین (6573 کیلوگرم در هکتار) نمک را از مزرعه مورد مطالعه خارج کردند.

ارتباط عمق سطح ایستابی و دبی زهکش با شوری زه‌آب

شکل 2 رابطه عمق سطح ایستابی و هدایت الکتریکی زه‌آب (EC) سیستم‌های مختلف زهکشی در فصول کلزا را نشان می‌دهد. عدم تغییر قابل توجه هدایت الکتریکی با تغییرات عمق سطح ایستابی

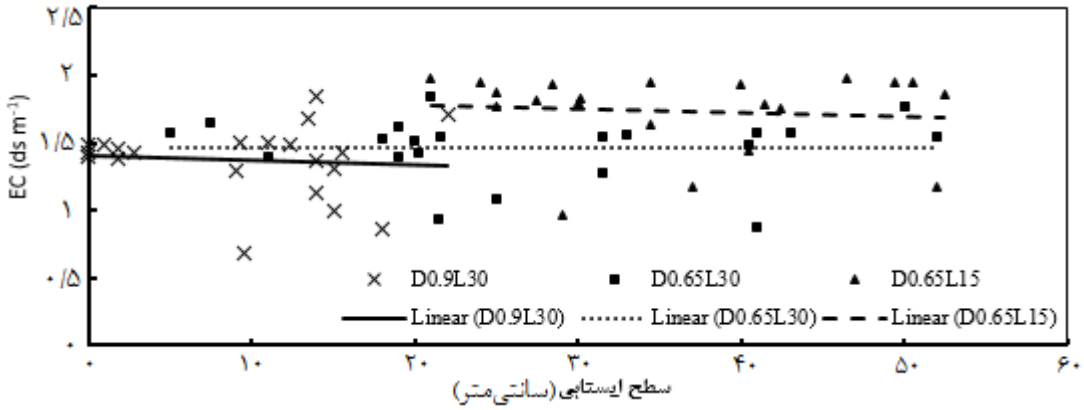
در هر سیستم زهکشی را می‌توان به کم‌عمق بودن زهکش‌ها و تخلیه آب حاصل از بارندگی توسط آن‌ها ارتباط داد به‌طوری که در اغلب مواقع، سطح ایستابی در فاصله کمی از سطح زمین قرار داشت.

جدول 4- مجموع عمق زه‌آب (میلی‌متر) و کل بار نمک خروجی (کیلوگرم در هکتار) تحت تاثیر مدیریت‌های مختلف کشت

مدیریت کشت		سیستم زهکشی			
		$D_{0.9}L_{30}$	Bilevel	$D_{0.65}L_{30}$	$D_{0.65}L_{15}$
برنج- زهکشی میان‌فصل	عمق زه‌آب	9/5	31/1	12	29/1
	نمک خروجی	78/4	275	119	365
برنج- آبیاری و زهکشی متناوب	عمق زه‌آب	59/4	97/4	24/4	55/1
	نمک خروجی	347	695	240	552
کلزا	عمق زه‌آب	363	566/8	361/8	525/4
	نمک خروجی	3056	5564	3293	5656

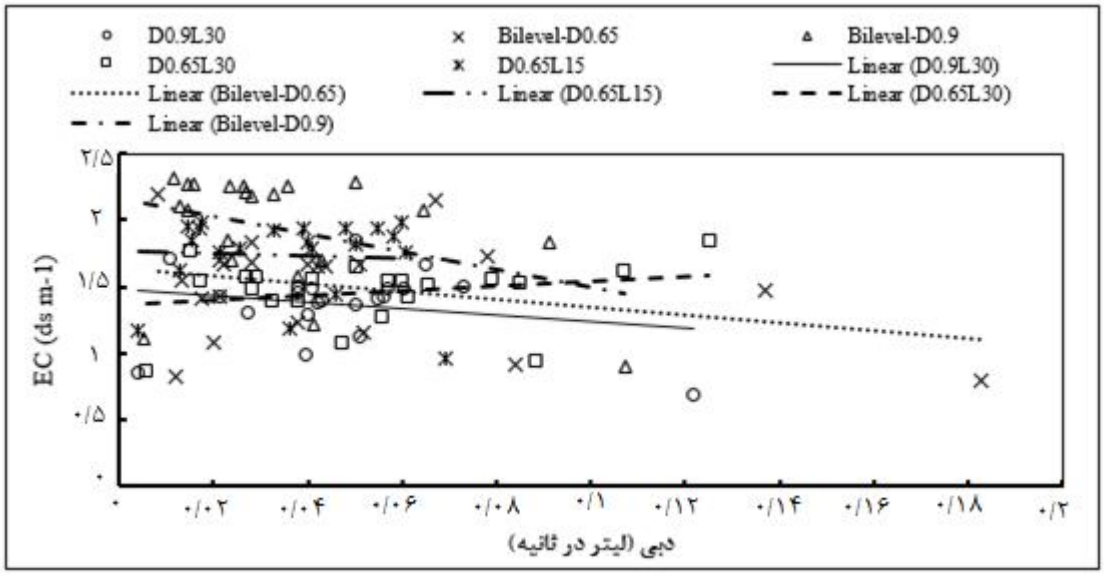
به عبارت دیگر، با توجه به بالا بودن سطح ایستابی در زمان‌های نمونه‌برداری و تغذیه مداوم آب به سمت آب زیرزمینی، میزان جریان رو به بالا قابل توجه نبوده و کیفیت آب زیرزمینی تاثیر چندانی بر کیفیت زه‌آب نداشت. عمق کم زهکش‌ها سبب می‌شود که نمک ناحیه زیر ریشه گیاه که تخلیه آن سود کمی برای رشد و عملکرد گیاه دارد (Hornbuckle et al., 2007)، از طریق سیستم‌های زهکشی وارد جریان‌های سطحی نشود. دامنه تغییرات عمق سطح ایستابی در سیستم‌های زهکشی $D_{0.9}L_{30}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به‌ترتیب 22-0، 52-5 و 52/5-21 سانتی‌متر و دامنه تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب در این سیستم‌ها به‌ترتیب 1/845-0/689، 1/843- 0/869 و 1/98-0/968 دسی زیمنس بر متر بود. کاهش عمق و فاصله زهکش‌ها سبب بهبود کنترل سطح ایستابی و البته افزایش میزان شوری زه‌آب شد. مسیر جریان آب به سمت زهکش‌ها که خود تابعی از عمق و فاصله زهکش‌ها هست (Jury., 1975)، تاثیر قابل توجهی بر شوری زه‌آب دارد (Hornbuckle et al., 2007). بنابراین، کاهش عمق زهکش‌ها به معنی کاهش مسیر جریان آب به سمت زهکش‌ها است. بیش‌تر بودن شوری زه‌آب سیستم $D_{0.65}L_{30}$ در مقایسه با سیستم $D_{0.9}L_{30}$ می‌تواند موید این موضوع باشد. با توجه به بافت سنگین خاک مزرعه مورد مطالعه، افزایش عمق و فاصله زهکش‌ها در سیستم $D_{0.9}L_{30}$، سبب افزایش طول مسیر و زمان سیر نمک به سمت زهکش و خروج آن از طریق زه‌آب شد. به عبارت دیگر، با افزایش فاصله زهکش‌ها، احتمال آبشویی بخشی از املاح از پروفیل خاک و انتقال آن به لایه‌های زیر زهکش‌ها افزایش یافت. متوسط هدایت الکتریکی زه‌آب خطوط معرف سیستم‌های زهکشی $D_{0.9}L_{30}$، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}$، Bilevel-$D_{0.65}$ و Bilevel-$D_{0.9}$ در طول مدت نمونه‌برداری در فصول مختلف کلزا به‌ترتیب 1/373، 1/462، 1/735، 1/497 و 1/934 دسی زیمنس بر متر بود که نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه افزایش شدت زهکشی بر شوری زه‌آب می‌باشد به‌طوری که بیش‌ترین شوری زه‌آب مربوط به سیستم زهکشی دارای بیش‌ترین شدت زهکشی (Bilevel) بود. به‌طور کلی، مقایسه وضعیت شوری زه‌آب سیستم‌های مختلف زهکشی نشان‌دهنده این مهم است که، بدون توجه به عمق زهکش، با افزایش عمق کنترل سطح ایستابی، شوری زه‌آب افزایش یافت. متوسط عمق سطح ایستابی در سیستم‌های زهکشی دارای عمق زهکش 0/65 متر بیش‌تر از مقدار متناظر در سیستم $D_{0.9}L_{30}$ بود که نتیجه آن شوری کم‌تر زه‌آب این سیستم بود. عمق کم‌تر سطح ایستابی به این معنی است که ضخامت کم‌تری از خاک در حال زهکشی می‌باشد. کنترل عمق سطح ایستابی در نزدیکی سطح زمین یا در اعماق کم، به‌عنوان یکی از روش‌های موثر در کاهش دفع نمک از سیستم‌های 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 1/8متر و فاصله زهکش 20 متر)، با افزایش عمق کنترل سطح ایستابی، شوری زه‌آب افزایش یافت (Christen and Skehan., 1999) که دلیل آن، افزایش عمق خاک تحت آبشویی با پایین‌تر رفتن عمق کنترل سطح ایستابی بود. هم‌چنین، در تحقیقی لایسیمتری (Noory and Liaghat., 2009)، گزارش شد کنترل سطح ایستابی سبب کاهش شوری زه‌آب شد. از سوی دیگر، کم‌تر بودن شوری زه‌آب در سیستم $D_{0.9}L_{30}$ نسبت به سیستم $D_{0.65}L_{30}$، برخلاف نتیجه برخی تحقیقات (Ayars et al., 1997) در اراضی غیرشالیزاری است که گزارش کردند با افزایش عمق زهکش‌ها، شوری زه‌آب افزایش می‌یابد. هم‌چنین، نتایج تحقیقی دیگر (Kamra et al., 1995) نیز نشان داد که زه‌آب زهکش‌های عمیق با فاصله زیاد (عمق 2/5 و فاصله 85 متر)، شورتر از زه‌آب زهکش‌های با عمق یک و فاصله 48 متر بود. دلیل این امر، تاثیر بیش‌تر زهکش‌های

عمیق‌تر بر کنترل سطح ایستابی در خاک‌های غیرشالیزاری است در حالی‌که 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 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.



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

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 جایی‌که در سیستم $D_{0.65}L_{30}$ که از نظر تئوری دارای کم‌ترین شدت زهکشی است، شیب این رابطه تا حدی معکوس شد. به‌طور معمول، انتظار می‌رود بیش‌ترین دبی زهکش‌ها در شرایطی رخ دهد که در کل پروفیل خاک، جریان اشباع برقرار گردد که عمدتا 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 عمدتا از خلل و فرج ریزتر اتفاق می‌افتد که نتیجه آن شستشوی املاح چسبیده به ذرات خاک می‌باشد.

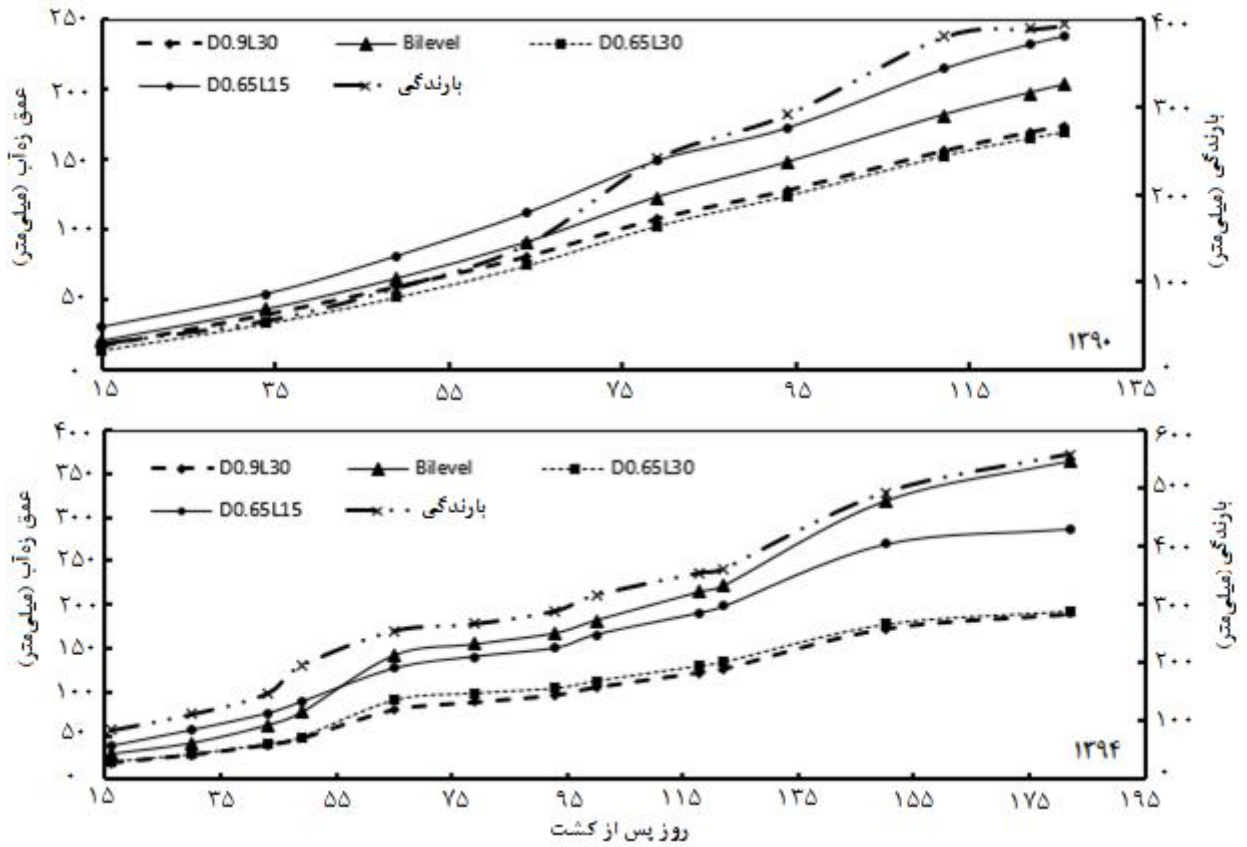


شکل 3- رابطه دبی زهکش با هدایت الکتریکی زه‌آب در سیستم‌های مختلف زهکشی

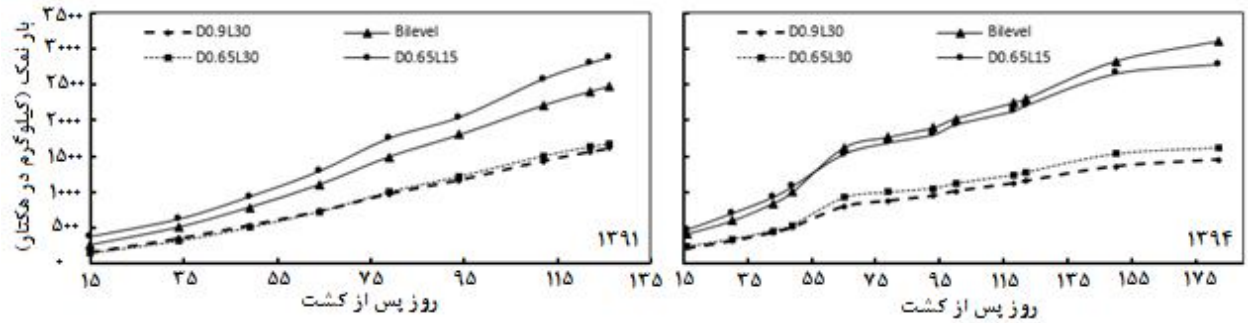
آنالیز حجم زه‌آب و دفع نمک در فصل کلزا

مقادیر تجمعی زه‌آب سیستم‌های مختلف زهکشی و بارندگی طی دو فصل کشت کلزا (1390 و 1394) در شکل 4 ارایه شد. مجموع بارندگی در فصول 1390 و 1394 کلزا به‌ترتیب 394 و 558 میلی‌متر بود. در فصل اول کلزا، سیستم‌های زهکشی $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به‌ترتیب 44/2، 51/6، 42/9 و 60/5 درصد کل بارندگی را تخلیه کردند. این مقادیر در فصل کلزا 1394 به‌ترتیب 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 حالی‌که در سایر سیستم‌ها، علی‌رغم اینکه عمق زه‌آب مربوط به سال 1394 بیش‌تر از مقدار متناظر در سال 1390 بود، درصدی از بارندگی که به زه‌آب تبدیل شد کاهش یافت. عمق زه‌آب سیستم‌های زهکشی $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ در سال 1394، به‌ترتیب به‌میزان 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 حالی‌که 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، به‌صورت 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 زه‌آب 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 زه‌آب سیستم Bilevel در مقایسه با $D_{0.65}L_{15}$ می‌باشد. طی این دو دوره، به‌ترتیب 59/7 و 130/7 میلی‌متر بارندگی به‌وقوع پیوست که درصد بیش‌تری از آن در سیستم Bilevel در مقایسه با سایر سیستم‌ها تخلیه شد. عمق زه‌آب سیستم $D_{0.9}L_{30}$ به مقدار قابل توجهی کم‌تر از میزان آن در سیستم‌های زهکشی دارای فاصله 15 متر و تقریبا مشابه سیستم $D_{0.65}L_{30}$ بود در حالی‌که از نظر تئوریکی، انتظار می‌رود حجم زه‌آب 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 زهکش‌ها 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 زه‌آب این سیستم می‌باشد. تاثیر کنترل سطح ایستابی در اعماق کم‌تر بر کاهش حجم زه‌آب خروجی، در یک مطالعه لایسیمتری 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 عموما تابعی از روند تغییرات زه‌آب این سیستم‌ها بود. در سال 1390 که سیستم $D_{0.65}L_{15}$ بیش‌ترین مقدار زه‌آب را ایجاد کرد، میزان نمک تخلیه شده به‌وسیله 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 زه‌آب 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 $D_{0.65}L_{15}$ به‌ترتیب 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 به‌طوری 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 زه‌آب و حجم آن است. با توجه به افزایش حجم زه‌آب کلیه سیستم‌ها در سال 1394، کاهش تخلیه نمک در برخی سیستم‌ها در این سال، به کاهش شوری زه‌آب سیستم‌های مختلف زهکشی در این سال در مقایسه با 1390 مرتبط می‌باشد. با این وجود، افزایش قابل توجه حجم زه‌آب سیستم Bilevel در سال 1394، اثر کاهش شوری زه‌آب 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 15و 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 زه‌آب 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

نتیجه‌گیری

در این تحقیق که طی سال‌های 1390 تا 1394 انجام شد، اثرات اعمال زهکشی میان‌فصل و آبیاری و زهکشی متناوب در فصل کشت برنج به‌همراه زهکشی آزاد در فصل کشت کلزا بر شوری زه‌آب و دفع نمک از یک مزرعه شالیزاری مجهز به سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی شامل $D_{0.9}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ (اندیس‌های D و L به‌ترتیب معرف عمق و فاصله زهکش بر حسب متر می‌باشند) و Bilevel (چهار خط زهکش با فاصله 15 متر و اعماق 0/65 و 0/9 متر به‌صورت یک در میان) بررسی شد. عملیات‌های مختلف مدیریتی تاثیرات متفاوتی از منظر حجم و شوری زه‌آب 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 $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به‌ترتیب به مقدار 343، 153، 102 و 51 درصد بیش‌تر از مقدار متناظر در شرایط مدیریت زهکشی میان-فصل بود. هم‌چنین، تناوب دوره‌های زهکشی در فصل کشت برنج،

منجر به افزایش شوری زه‌آب شد. در کل دوره مطالعه، حجم زه‌آب و نمک خروجی از سیستم‌های $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.9}L_{30}$ کم‌تر از سیستم-های 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 زه‌آب شد. با مقایسه کل حجم زه‌آب 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.، اجلالی،ف و مهدیان،م.ح. 1391. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 3. 6 :225-215.

درزی نفت‌چالی،ع.، میرلطیفی،س.م.، شاهنظری،ع.، اجلالی،ف و مهدیان،م.ح. 1392. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات نیتروژن از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 3. 7: 305-294.

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 83-1382.

وزارت جهاد کشاورزی. 1394. آمارنامه کشاورزی (جلد اول)، محصولات زراعی، سال زراعی 93-1392.

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. andHornbuckle,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, 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 AmericaProceeding. 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.

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:

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 10, Sept.-Oct. 2016, p. 520-531

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 4، جلد 10، مهر - آبان 1395، ص. 531-520

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

A. Darzi-Naftchali[1]

Recived: 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^{-1} 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^{-1}. 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

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