نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

تأثیر سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی بر دفع نیترات از اراضی کلزای دیم

فرزاد حق‌نظری[۱]، فاطمه کاراندیش[۲*]، عبداله درزی نفت‌چالی[۳] و ایریکا سیمیونک[٤]

۱) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲*) دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

نویسنده مسئول مکاتبات: pahlf.karandish@uoz.ac.ir

۳) دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

٤) استاد دانشگاه کالیفرنیا ریورساید

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰٤/۱۱

چکیده

توسعه‌ی کشت دیم کلزا در اراضی شالیزاری شمال کشور، نیازمند احداث سیستم‌های زهکشی با هدف رفع شرایط ماندابی در این اراضی در فصول پربارش می‌باشد. در پژوهش حاضر، طی دو فصل زراعی در اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با وسعت ۴/۵ هکتار ، تاثیر سیستم‌های مختلف زهکشی بر روند دفع نیترات به منابع آب سطحی بررسی شد. این سیستم‌ها شامل سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی با عمق و فواصل مختلف زهکش به ترتیب ۰/۹ متر و ۳۰ متر ($D_{0.90}L_{30}$)، و ۰/۶۵ متر و ۳۰ متر ($D_{0.65}L_{30}$)، ۰/۶۵ متر و ۱۵ متر ($D_{0.65}L_{15}$) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی (Bilevel) متشکل از چهار خط زهکش به فاصله ۱۵ متر با اعماق ۰/۹ و ۰/۶۵ متر به صورت یک در میان بودند. علاوه بر اندازه‌گیری روزانه‌ی دبی خروجی از زهکش‌ها، غلظت نیترات زه‌آب نیز با تناوب دو هفته یکبار در طول فصل‌های کشت تعیین شد. تغییرات روزانه‌ی دبی زهکش‌ها در سیستم‌های Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.90}L_{30}$ به ترتیب بین ۲۳۱-۰، ۲۲۰-۰، ۲۲۷-۰ و ۲۵۰-۰ سانتی‌مترمکعب بر ثانیه در نوسان بود. بررسی رابطه‌ی دبی-بارش نشان داد که شدت بارش ۱۰ میلی‌متر در روز، حد آستانه‌ی کاهش توان زهکش بوده و بارش‌های فراتر از این حد می‌تواند مشکلات ماندابی در محدوده‌ی پژوهش ایجاد نماید. احداث سیستم‌های زهکشی منتخب می‌تواند سالانه ۳۴/۷-۲/۲ کیلوگرم در هکتار نیترات را به منابع آب سطحی دفع نماید؛ لکن احداث سیستم زهکشی $D_{0.65}L_{30}$ کم‌ترین مخاطره زیست‌محیطی را از این حیث خواهد داشت. نتایج نشان داد عمق زهکش، تاثیر بیش‌تری در کاهش تلفات نیترات نسبت به افزایش فاصله زهکش‌ها داشت. با این وجود، بیش‌ترین مقدار عملکرد محصول تحت سیستم زهکشی Bilevel به دست آمد. به این ترتیب، بهره‌بردای زیست‌محیطیِ پایدار از این سیستم‌ها برای توسعه‌ی کشت دیم، نیازمند بررسی‌های دقیق در هنگام انتخاب عمق و فواصل نصب زهکش خواهد بود.

کلید واژه‌ها: اراضی شالیزاری؛ تلفات نیترات؛ کشاورزی دیم؛ زهکشی زیرزمینی

مقدمه

در طول دهه‌های اخیر، رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای غذا (Ecker and Breisinger, 2012)، نگرانی‌ها برای تامین امنیت غذایی را افزایش داده است. با این وجود، کمبود منابع آب شیرین، امکان گسترش اراضی کشاورزی فاریاب در چنین شرایطی را محدود می‌سازد (Karandish et al., 2020; Ul Hassan et al., 2007). بنابراین، فرآهم آوردن شرایط مطلوب برای توسعه‌ی کشت دیم در نواحیِ

مستعد و افزایش تولید به واسطه‌ی کشت دوم، می‌تواند راهکاری منطقی محسوب گردد (Shahsavari et al., 2019; Rimidis and et al., 2003; Dabney et al., 2001). برخی محققان بر این باورند که توسعه‌ی کشت دوم، ضمن فرآهم آوردن شرایط مطلوب برای ارتقای بهره‌وری محصول و استفاده‌ی بهینه از منابع آب و خاک و حفاظت از آن‌ها، باعث بهبود وضعیت اشتغال و افزایش سطح امنیت پایدار غذایی خواهد شد (FAO, 2012). همچنین، اتخاذ این استراتژی مدیریتی می‌تواند باعث بهبود کیفیت خاک و متعاقباً کاهش فرسایش خاک و رواناب شیمیایی، مهار رشد علف‌های هرز در مزرعه شده و در نهایت منجر به نیل به اهداف و برنامه‌های حفاظت از منابع آب و خاک شود (Rittera et al., 1998; Hermawan and Bomke, 1997).

ایران، به عنوان دومین کشور بزرگ خاورمیانه، در زمره‌ی کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار داشته و به همین دلیل، در بخش وسیعی از آن، امکان کشت دیم به دلیل مقادیر اندک بارش‌های پاییزه و زمستانه، وجود ندارد (Karandish and Hoekstra, 2017). اگرچه استان‌های شمالی کشور، با دارا بودن اقلیم‌های مرطوب و فرامرطوب و داشتن بالاترین مجموع بارش سالانه در کشور، نقاط مهمی برای ترویج کشت دیم محسوب می‌شوند، لکن اختصاص بخش اعظم اراضی کشاورزی به کشت آبی برنج، چنین فرصتی را محدود می‌سازد (Shahsavari et al., 2019; Darzi-Naftchali et al., 2016; FAO, 2014)؛ زیرا، ویژگی‌هایِ خاص خاک‌های موجود در اراضی شالیزاری از یک‌سو و بارش‌های شدید زمستانه از سویی دیگر، باعث زهکشی طبیعی ضعیف و در نتیجه، غرقاب شدن این اراضی در فصول مرطوب شده و مانع کشت گیاه می‌گردد (Darzi-Naftchali et al., 2014). در چنین شرایطی، احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی با هدف کنترل وضعیت رطوبتی خاک در محدوده‌ی ریشه، علاوه بر تامین شرایط مطلوب برای کشت دیم، می‌تواند باعث ارتقای بهره‌وری آب و محصول در طول فصل کشت برنج نیز شود. بالا بودن سطح آب زیرزمینی در طول فصل کشت برنج، باعث کاهش ظرفیت تحمل‌پذیری خاک شده (Shiratori et al., 2007) و با ایجاد یک لایه‌ی رسی چسبناک در زیر سطح ایستابی، موجب آسیب رساندن به ریشه گیاه برنج (Shiratori et al., 2007) و در نهایت، کاهش عملکرد آن می‌شود (Smedema et al., 2000؛ Konukcu et al., 2006). در چنین شرایطی، خطر تغییر کاربری اراضی به دلیل عدم تامین منافع اقتصادی زارعان زیاد خواهد یافت.

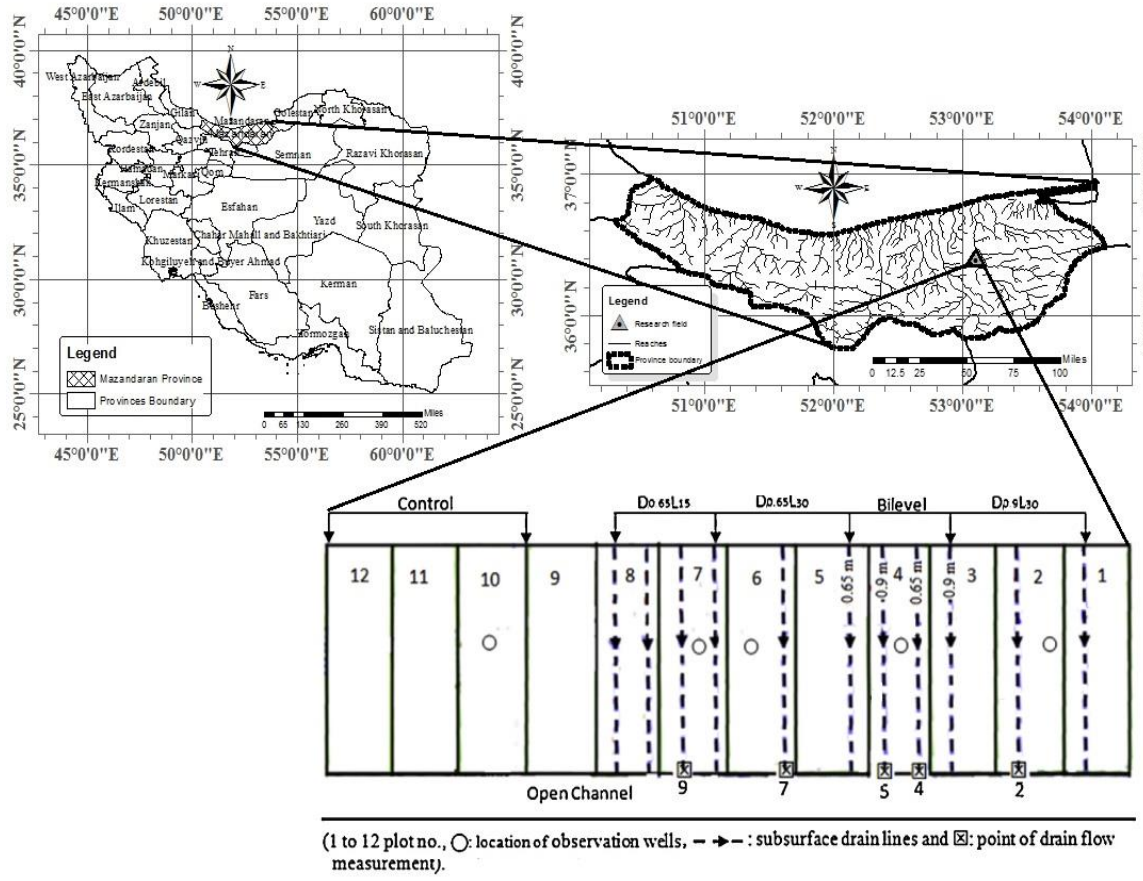
یکی از مهم‌ترین ملاحظات زیست‌محیطی برای احداث سیستم‌های زهکشی، تاثیر آن‌ها بر میزان دفع آلاینده‌ها از اراضی تحت کشت می‌باشد (Hashemi et al., 2020; Darzi-Naftchali et al., 2016; Kro¨ger et al., 2012; Furukawa et al., 2008; Zhang et al. 2007). این مهم، به ویژه از منظر دفع نیتروژن، که مهم‌ترین ماده‌ی غذایی گیاه بوده و اغلب بیشتر از حد نیاز در اراضی کشاورزی مصرف می‌شود (Mosier et al., 2004; Kalita et al., 2006)، اهمیت بیش‌تری دارد. عدم مدیریت چنین سیستم-هایی می‌تواند آن‌ها را به اصلی‌ترین عامل پخش آلودگی به محیط‌زیست تبدیل نموده و با تخریب کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، این منابع ارزشمند کمیاب را از حیز انتفاع خارج نماید (Karandish and Šimůnek, 2018; Yoon et al., 2006). این مساله به ویژه در کشت دیم، به دلیل وجود بارش‌های ناخواسته و گاهاً شدید، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. با این وجود، مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که این مساله، کم‌تر مورد توجه محققان قرار گرفته است. علی‌بخشی و همکاران (۱۳۹۲)، به استناد به داده‌های جمع‌آوری شده طی یک فصل زراعی در کشت کلزای دیم در اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری دریافتند که افزایش فاصله و کاهش عمق زهکش، می‌توانند باعث کاهش مقادیر فصلی تلفات

نیترات از زهکش‌ها شوند.

در پژوهش حاضر، با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده طی دو فصل زراعی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، علاوه بر مقادیر فصلی نیترات، به بررسی تاثیر زهکشی بر روند تغییرات زمانی دبی و تغییرات غلظت نیترات خروجی از زهکش‌ها در طول فصل کشتِ کلزای دیم پرداخته شد. در این راستا، ضمن بررسی تاثیر چهار سیستم زهکشی مختلف روی شار روزانه‌ی جریان و نیترات زه‌آب، بهترین سیستم از دیدگاه زیست‌محیطی بر اساس مقادیر فصلیِ دفع نیترات به منابع آب سطحی تعیین شد. همچنین، ضمن بررسی رابطه بارش و دبی خروجی از زهکش‌ها، حد آستانه‌ی بارش برای تغییر دبی زهکش‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی پژوهش: این پژوهش در مزرعه‌ای با وسعت تقریبی ٤/٥ هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد (شکل ۱). طول و عرض جغرافیایی منطقه به‌ترتیب ٥٣/٠٤ درجه شرقی و ٣٦/٣٩ درجه شمالی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ١٥- متر می‌باشد (Darzi-Naftchali et al., 2016). بر اساس آمار هواشناسی در بازه‌ی سال‌های ١٣٩٦-١٣٨٦، میانگین بارش و دمای هوای سالانه در منطقه به ترتیب ٦١٣ میلی‌متر و ١٧/٤٥ درجه سانتی‌گراد، و میانگین حداقل و حداکثر دمای هوای ثبت شده در این بازه، به ترتیب، ٤/٦- و ٣٩/٥ درجه سانتی‌گراد بود (Jafari-Talukolaee et al., 2015). جدول (۱) ویژگی‌های خاک در محدوده‌های عمقی مختلف در محدوده‌ی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل (۱). موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی در کشور و استان و آرایش سیستم‌های زهکشی در مزرعه آزمایشی و موقعیت نصب تجهیزات مختلف

جدول ۱. ویژگی‌های خاک در محدوده‌های عمقی مختلف در محدوده‌ی پژوهش

شماره لایه	عمق لایه (cm)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	ضریب آبگذری (cm/day)
۱	۰ – ۳۰	٤۱/٥	٤۸	۱۰/٥	Silty Clay	۲٦/٤
۲	۳۰ – ٦۰	٥۰	٤٦	٤	Silty Clay	۷/٥
۳	٦۰ – ۹۰	٤۸	٤۷	٥	Silty Clay	۱۹/۳
٤	۹۰ – ۱۲۰	٤۳/٥	٥٤/٥	۲	Silty Clay	۱٥/٦
٥	۱۲۰ –۱٥۰	٤٦	٤۸	٦	Silty Clay	۱۱/٥
٦	۱٥۰ – ۲۰۰	٤۷/٥	٤٦/٥	٦	Silty Clay	۹/۱

جانمایی طرح و سیستم‌های زهکشی زیر زمینی: در مزرعه مورد مطالعه، سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از عمق ۰/۹ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.90}L_{30}$)، عمق ۰/٦٥ متر با فاصله زهکش ۱٥ متر ($D_{0.65}L_{15}$)، عمق ۰/٦٥ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.65}L_{30}$) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی (Bilevel) متشکل از چهار خط زهکش به فاصله ۱٥ متر با اعماق ۰/٦٥ و ۰/۹ متر به صورت یک در میان در سال ۱۳۹۰ نصب شدند (شکل ۱). طول هریک از خطوط زهکش، ۱۰۰ متر، جنس لوله‌ها پی وی سی (PVC) موجدار با قطر ۱۰۰ میلی‌متر و شیب نصب آن‌ها ۰/۲ درصد بود. از مواد معدنی (شن و ماسه دانه‌بندی شده) به‌عنوان پوشش اطراف لوله‌های زهکش استفاده شد. زه‌آب کلیه خطوط زهکش به درون یک کانال روباز به عمق ۱/۲ متر تخلیه می‌شد.

عملیات زراعی و جمع‌آوری داده‌ها: بذر گیاه کلزا (رقم هایولا ٤۰۱) با حداقل خلوص فیزیکی ۹۸ درصد و حداقل قوه‌نامیهٔ ۸٥ درصد با تراکم هشت کیلوگرم بذر در هکتار، به ترتیب در روزهای ۱۱و ۱۹ مهر ماه در فصل‌های زراعی ۹٥ و ۹٦ به صورت دیم شد. جدول (۲) تمام فعالیت‌های زراعی صورت گرفته در هر یک از فصول کشت را نشان می‌دهد.

در طول فصل رشد، مقادیر دبی زهکش‌ها به صورت روزانه و به شکل حجمی اندازه‌گیری شد. کلیه نمونه‌برداری زه‌آب با استفاده از بشرهای پلاستیکی به حجم ۳۰۰ میلی‌لیتری انجام شد. با انتقال این نمونه‌های

جدول ۲. خلاصه‌ی فعالیت‌های زراعی مهم در طول دو فصل کشت کلزا

عملیات زراعی	فصل کشت اول	فصل کشت دوم
تاریخ کشت	۱۱مهر ۱۳۹٤	۱۹مهر ۱۳۹٥
مقدار بذر مصرفی	۸ کیلوگرم در هکتار	۸ کیلوگرم در هکتار
روش کاشت	دست پاش	دست پاش
روش آبیاری	بدون آبیاری و بصورت کشت دیم	بدون آبیاری و بصورت کشت دیم
جوانه زنی گیاه	سه تا پنج روز پس از کاشت	سه تا پنج روز پس از کاشت
مرحله ابتدایی رشد گیاه	۲۸در روز پس از کاشت اکثر گیاهان ٥ برگی بودند	در ۳۳ پس از کاشت گیاهان ۳ تا ٦ برگ داشتند
نوبت اول کوددهی	٥۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت	۸٥ کیلوگرم کود اوره در ۲٤ روز پس از کاشت
نوبت دوم کوددهی	٥۰ کیلوگرم کود اوره در ٥۲ روز پس از کاشت	۸٥ کیلوگرم کود اوره در ۹٦ روز پس از کاشت
نوبت سوم کوددهی	–	۱۱٥ کیلوگرم کود اوره در ۱۱٦ روز پس از کاشت

آب جمع‌آوری شده به آزمایشگاه، غلظت نیترات آنها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR-400 HACH در طول موج ۲۲۰ نانومتر با سل کوارتزی تعیین شد. مقدار تلفات نیترات از طریق زهکشی، از مجموع حاصلضرب غلظت نیترات در نمونه زه‌آب یک دوره زمانی خاص در

حجم آب از دست رفته در آن دوره به‌صورت زیر محاسبه شد (*Guo et al., 2004*):

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

که در آن، L کل نیترات خروجی (میلی‌گرم)، C_{di} غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌ها در دوره زمانی i (میلی‌گرم در لیتر)، V_{di} حجم زه‌آب در طول دوره i (لیتر) می‌باشد.

نتایج و بحث

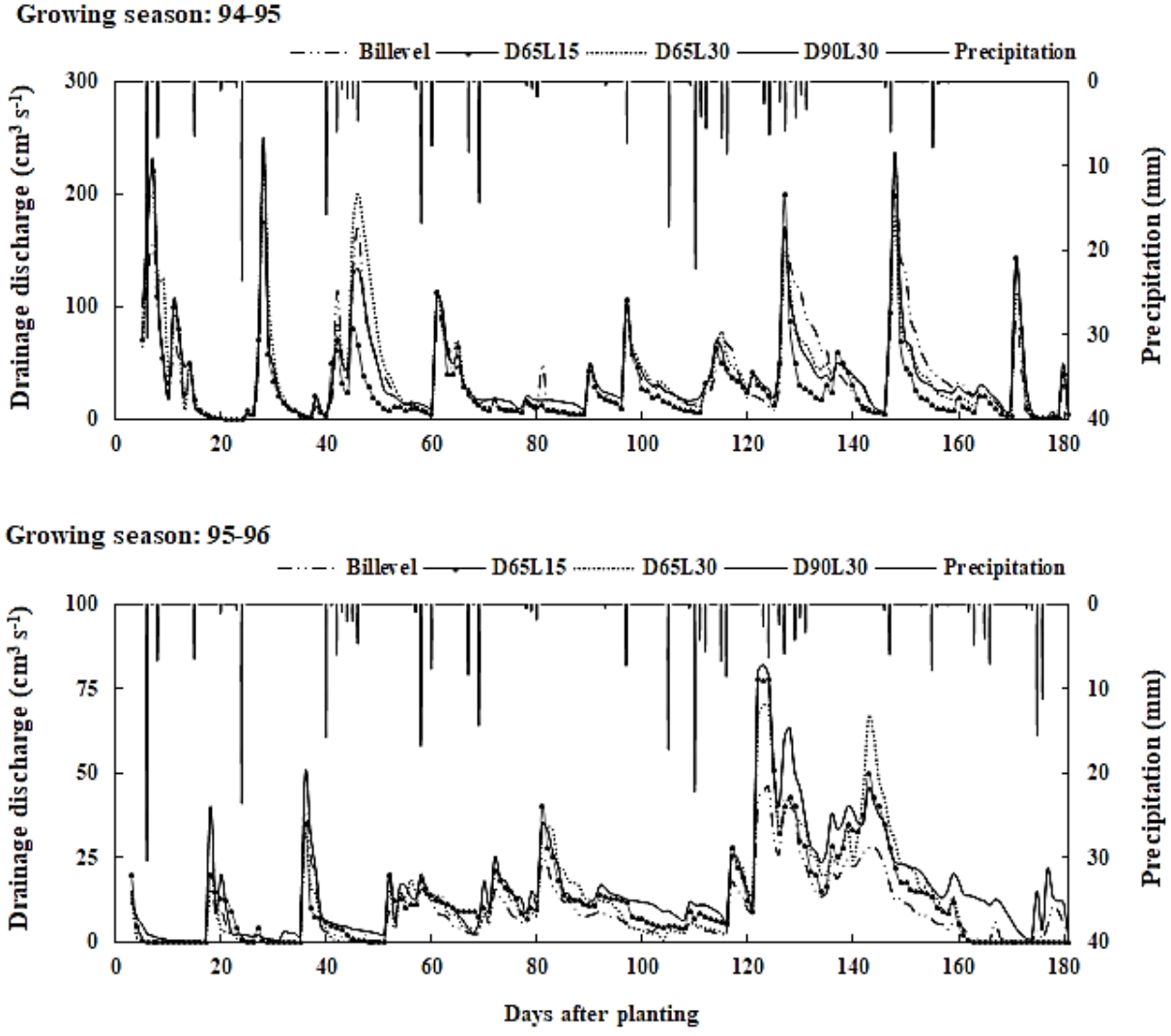
روند تغییرات دبی زهکش‌ها

شکل ۲ روند تغییرات زمانی جریان خروجی از زهکش‌ها در سیستم‌های زهکشی مختلف در مدت مطالعه را نشان می‌دهد. محدوده‌ی تغییرات دبی زهکش‌ها در طول فصل زراعی ۹۵-۱۳۹٤ برای سیستم‌های زهکشی Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.90}L_{30}$ به ترتیب برابر ۰-۲۳۱، ۰-۲۲۰، ۰-۲۲۷ و ۰-۲۵۰ سانتی‌مترمکعب بر ساعت و در فصل زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به ترتیب برابر ۰-٤٦، ۰-۷۸، ۰-۷۰ و ۰-۸۲ سانتی‌مترمکعب بر ثانیه بود. به طور کلی، مقادیر کم‌ترِ دبیِ زهکش‌ها در دومین فصل کشت را می‌توان به کم‌تر بودن بارش در این فصل ز تا ٤۵ درصد در مقایسه با فصل کشت اول منسوب نمود. صرف‌نظر از نوع سیستم زهکشی، نوسانات دبی خروجی از زهکش‌ها را می‌توان به نوسانات بارش در طول فصل رشد منسوب نمود به نحوی‌که وقوع بارندگی، سیر صعودی دبی زهکش‌ها را افزایش داده و پس از توقف آن و گذر دبی از حد پیک، سیر نزولی آغاز می‌گردد. شکل ۲ نشان می‌دهد که علاوه بر ارتباط مستقیم بین دبی خروجی با شدت بارش، دبی روزانه‌ی زهکش‌ها تابع زمان از کشت گیاه نیز می‌باشد. در مراحل اولیه و انتهایی فصل کشت که شدت جذب آب به وسیله‌ی ریشه‌ی گیاه از خاک کم‌تر از بازه‌ی رشد میانی است، بارندگی تاثیر بیش‌تری بر دبی زهکش‌ها داشت. به عنوان مثال، حداکثر دبیِ روزانه‌ی خروجی از سیستم‌های زهکشی پس از بارش‌هایی با مقادیر ۲۳ و ۱۷ میلی‌متر که به ترتیب در روزهای ۲٤ (مرحله رشد ابتدایی) و ۵۸ (مرحله‌ی رشد میانی) روز پس از کاشت رخ داد، به ترتیب برابر با ۲۵۰ و ۱۱۰ سانتی‌مترمکعب بر ثانیه بود. بخشی از این اختلاف قابل توجه می‌تواند منشعب از فراهم بودن شرایط مناسب برای وقوع جریان‌های ترجیحی در ابتدای فصل کشت کلزا به‌دلیل افت سطح ایستابی و خشک شدن خاک در انتهای فصل کشت برنج، باشد. افت سطح ایستابی و خشک شدن خاک به‌واسطه تبخیر و زهکشی انتهای فصل کشت برنج، شرایط مساعدی را برای ایجاد ترک در خاک سنگین مزرعه مورد مطالعه ایجاد نمود که انتقال سریع آب به زهکش‌ها موثر می‌باشد. علاوه بر این، لخت بودن سطح خاک یا نبود پوشش گیاهی متراکم در ابتدای دوره کشت نیز می‌تواند سبب ایجاد تفاوت‌های در اجزای بیلان آب گردد.

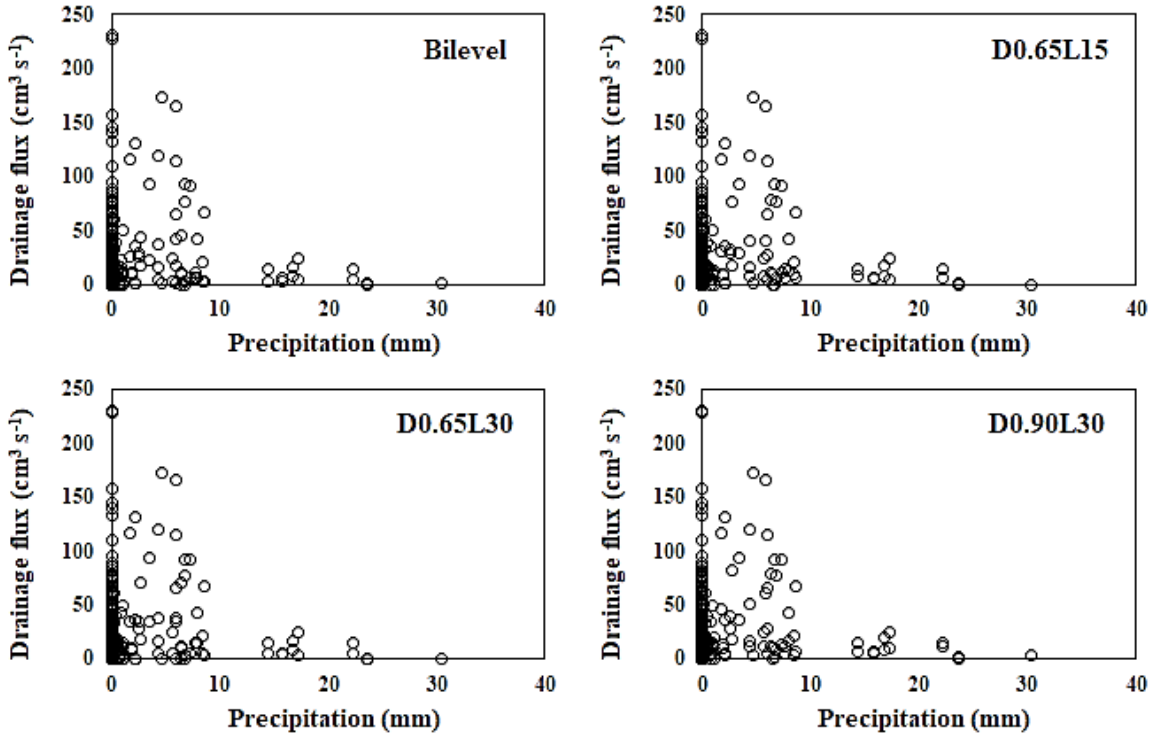
شکل ۲ همچنین اختلاف بارزی در میزان دبیِ سیستم‌های مختلف زهکشی را نشان می‌دهد. به استثنای برخی بازه‌های زمانی محدود در مرحله‌ی رشد انتهایی، دبی روزانه‌ی سیستم زهکشی $D_{0.90}L_{30}$، اغلب بالاتر از مقادیر متناظر در دیگر سیستم‌های زهکشی بود. همچنین، سیستم زهکشی $D_{0.65}L_{15}$ نیز توان زهکشی کم‌تری در مقایسه با دیگر سیستم‌های زهکشی داشت. عمق نصب و فاصله‌ی زهکش‌ها، از جمله عوامل اثرگذار بر دبی خروجی از زهکش‌ها می‌باشد (Wahba and Christen, 2006). بر اساس یافته‌های محققان، کاهش فاصله‌ی زهکش‌ها و عمق نصب آن‌ها می‌تواند حجم زه‌آب را کاهش دهد (Christen and Skehan, 2001).

برای بررسی دقیق‌تر عکس‌العمل سیستم‌های زهکشی به مقدار بارندگی، رابطه‌ی متقابل شدت بارش و دبی زهکش برای در شکل ۳ به تصویر کشیده شد. براساس این شکل، افزایش شدت بارش تا ۱۰ میلی‌متر در روز، به سرعت باعث افزایش دبی زهکش شد لکن افزایش فراتر از این حد، تاثیر چندانی بر تغییر دبی زهکش نداشت. به بیانی دیگر، می‌توان شدت بارش ۱۰ میلی‌متر در روز را

حد آستانه کاهش توان زهکش دانست. دلیل این امر آن است که هر نوع خاکی، دارای ظرفیت زهکشی و شدت نفوذپذیری مشخصی بوده و قادر به ذخیره‌سازی مقدار معینی رطوبت در خود می‌باشد. به این ترتیب، هنگامی که شدت و مقدار بارش از حدی معین فراتر رود، خاک قادر به ذخیره‌ی آن نبوده و زهکش‌ها توانایی تخلیه‌ی آن را نخواهند داشت. این مساله در نهایت باعث افزایش مشکلات ماندابی و غرقابی زمین خواهد شد (Jafari-Talukolaee et al., 2016). چنین شرایطی، به دلیل تاثیر منفی شرایط غرقابی بر عملکرد گیاه (Blokhina, 2000 ; Huang & Wilkinson, 2000)، می‌تواند باعث خسارت‌های اقتصادی قابل‌توجهی شود. به این ترتیب، قبل از انتخاب نوع سیستم زهکشی، باید شدت‌های رایج بارش در رخدادهای بارندگی در منطقه، حد مقاومت گیاه منتخب به غرقابی و درصد قابل قبول کاهش عملکرد گیاه در حالت غرقابی را تعیین نموده و سپس، متناسب با هزینه‌ی نصب زهکش‌ها و هزینه‌های زیست‌محیطی، بهترین سیستم زهکشی را تعیین نمود.



شکل ۲. روند تغییرات زمانی دبیِ روزانه‌ی سیستم‌های مختلف زهکشی در فصل‌های زراعی ۹۵-۱۳۹٤ و ۹٦-۱۳۹۵.



شکل ۳. رابطه‌ی مقدار بارندگی و دبی زهکش‌های زیرزمینی.

روند تغییرات غلظت نیترات خروجی از زهکش‌ها

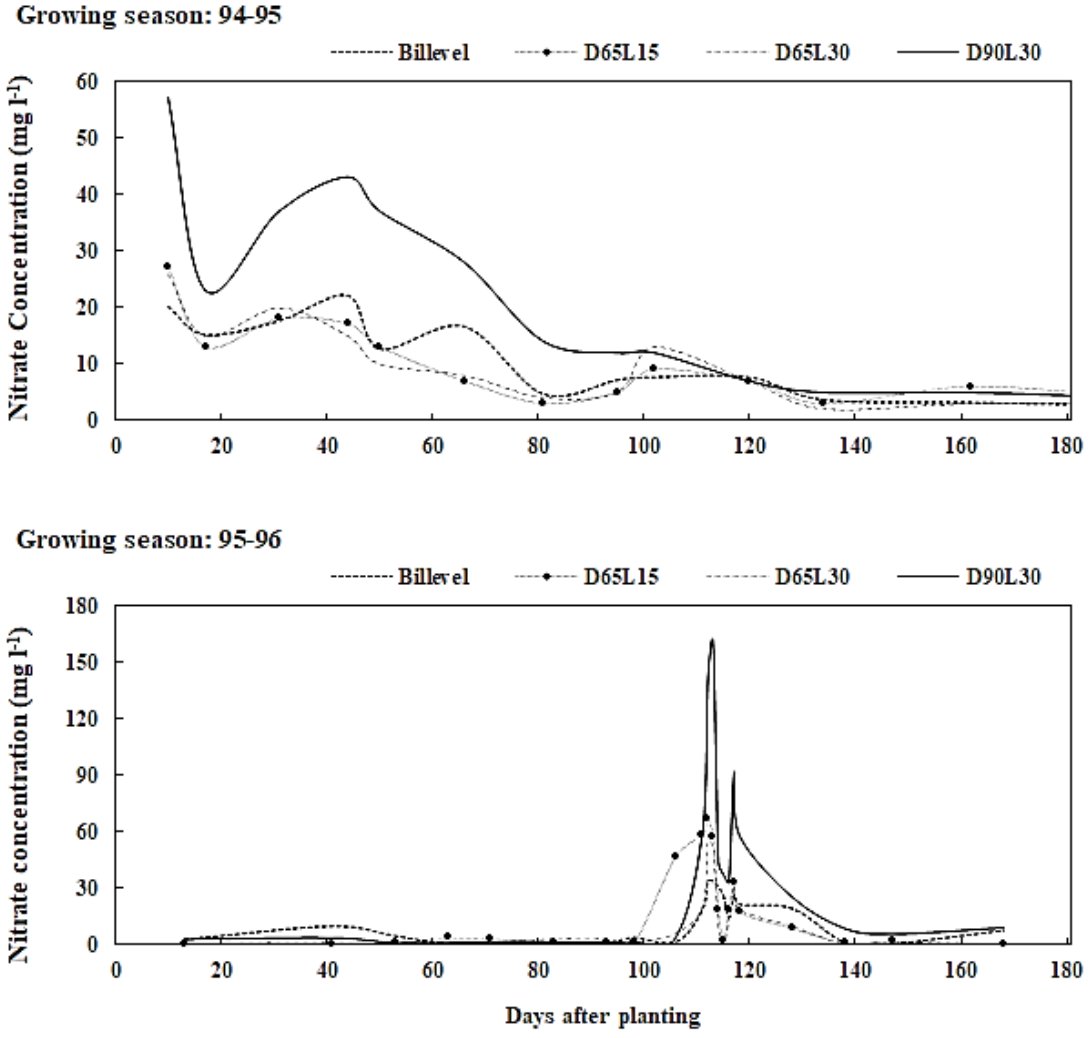
شکل ٤ روند تغییرات روزانه‌ی غلظت نیترات خروجی از زهکش‌ها تحت سیستم‌های مختلف زهکشی در طول دو فصل رشد را نشان می‌دهد. محدوده‌ی تغییرات غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌ها در فصل کشت ۹۵-۱۳۹٤ برای سیستم‌های زهکشی Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.90}L_{30}$ به ترتیب برابر با ۲۲-۲/۵، ۲۷-۳، ۲٦-۲ و ٥۷-٤ میلی‌گرم بر لیتر و در فصل زراعی ۹٦-۹۵ به ترتیب برابر با ۳٤-۰/۵، ٦٦/٦-۰، ۵۵-۰ و ۱۵۹-۰/٤ میلی‌گرم بر لیتر بود. محدوده بدست آمده برای غلظت نیترات در زه‌آب، با مقادیر گزارش شده توسط محققان پیشین همخوانی دارد. بر اساس منابع موجود، این مقادیر در محدوده‌های ٦۲-۰/٦ میلی‌گرم بر لیتر (Baker, 1980)، ۲۰-۸ میلی‌گرم بر لیتر (Gilliam et al., 1999) و ۲۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (Bardowicks et al., 2006).

صرف‌نظر از نوع سیستم زهکشی، غلظت نیترات زه‌آب متناسب با دبی زهکش‌ها بود به نحوی‌که افزایش دبی، غلظت نیترات خروجی را نیز افزایش داد. تاثیر مستقیم دبی زهکش بر شدت نیترات خروجی از زهکش‌ها توسط دیگر محققان نیز به اثبات رسیده است (Skaggs and Chescheir, 2003). شکل ٤ همچنین تاثیر عمق نصب و فاصله‌ی زهکش‌ها بر غلظت نیترات زه‌آب در محل زهکش‌ها را نشان می‌دهد. به طور کلی، غلظت نیترات زه‌آب در سیستم زهکشی $D_{0.65}L_{15}$، کم‌ترین و در سیستم زهکشی $D_{0.9}L_{30}$ بیش‌ترین مقادیر را داشت. همچنین، مقایسه‌ی سیستم‌های زهکشی $D_{0.90}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{30}$ نشان می‌دهد که با یک فاصله‌ی ثابت، افزایش عمق نصب زهکش‌ها می‌تواند خطر ورود نیترات از اراضی تحت سیستم‌های زهکشی زیرزمینی به منابع آب سطحی را افزایش دهد. برخی محققان پیشین نیز گزارش نمودند که

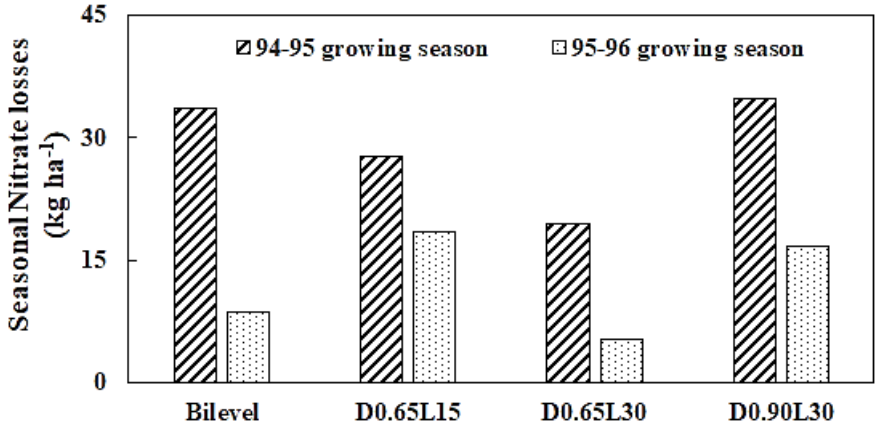
تلفات نیتروژن از زهکش‌های کم‌عمق، کم‌تر از زهکش‌های عمیق است (Skaggs and Chescheir, 2003; Nangia et al., 2009). به عقیده‌ی ایشان، با نصب زهکش در عمق کم، ضخامت ناحیه‌ی اشباع زیر زهکش بیشتر شده و منطقه بیشتری برای دنیتریفیکاسیون فراهم می‌شود؛ به این ترتیب، خطر آبشویی نیترات کاهش می‌یابد (Skaggs and Chescheir, 2003).

مقادیر فصلی تلفات نیترات تحت سیستم‌های مختلف زهکشی

جدول (۳)، مقادیر فصلی تلفات نیترات در سیستم‌های مختلف زهکشی را نشان می‌دهد. مجموع نیترات خروجی از سیستم‌های زهکشی Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.90}L_{30}$ در فصل زراعی ۹۵-۱۳۹٤ به ترتیب برابر ۳۳/۷، ۲۷/۸، ۱۹/۵ و ۳٤/۷ کیلوگرم در هکتار و در فصل زراعی ۹٦-۱۳۹۵ به ترتیب برابر ۸/۷، ۱۸/٤، ۵/۲ و ۱٦/٦ کیلوگرم در هکتار بود. جدول (۳) نشان می‌دهد که نصب زهکش‌ها در عمق‌های کم‌تر و با فاصله‌ی کم‌تر می‌تواند مخاطرات زیست‌محیطی را از دیدگاه مجموع دفع نیترات به منابع آب سطحی، کاهش دهد که این یافته، با نتایج دیگر محققان نیز مطابقت دارد (Cooke et al. 2002; Burchell 2003; Yoon et al., 2006).



شکل ٤. روند تغییرات زمانی غلظت نیترات زه‌آب زهکش‌ها در سیستم‌های مختلف زهکشی در مدت مطالعه.

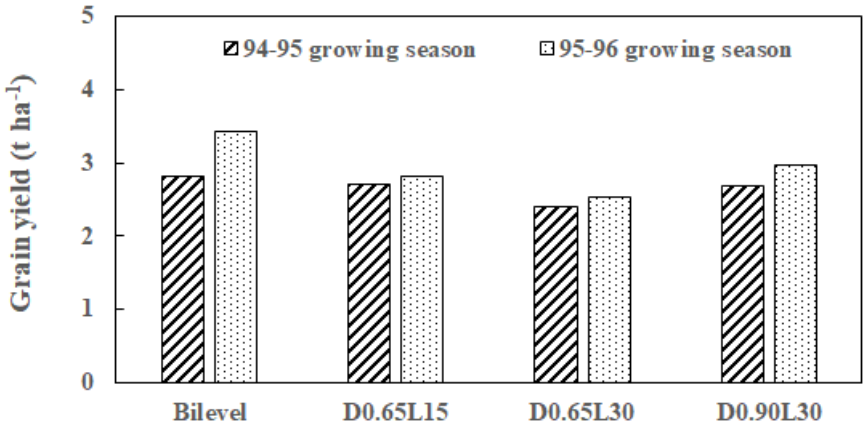


شکل ۵. مقادیر فصلی تلفات نیترات (kg ha-1) در سیستم‌های مختلف زهکشی.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، اگرچه نصب سیستم-های زهکشی، ضمن کاهش شرایط ماندابی، امکان کشت دوم و در نتیجه، افزایش منابع اقتصادی کشاورزان فرآهم می‌نماید لکن، هرگونه مدیریت ناصحیح در انتخاب عمق و فاصله‌ی نصب این زهکش‌ها، می‌تواند اثرات مخربی را از دیدگاه زیست‌محیطی و حفاظت خاک و مدیریت منابع آب به همراه داشته باشد. در این راستا، علاوه بر انتخاب مقادیر مطلوب برای عمق و فاصله‌ی نصب زهکش‌ها، هرگونه مدیریتی که باعث کاهش دفع نیترات توسط زهکش‌ها شود، می‌تواند متضمن پایداری این منابع و سیستم‌های زهکشی گردد. به عنوان نمونه، بهبود وضعیت خاک با اعمال فعالیت‌های خاک‌ورزی مناسب (Liu et al., 2013) و یا افزودن مواد آلی مختلفی مانند کودآلی یا گچ (Udayasoorian et al., 2009) و مالچ‌های ارگانیک (De Vita et al., 2007; Mitchell et al., 2012; Chukalla et al., 2015) می‌تواند باعث افزایش قابلیت نگهداشت آب در خاک شده و در نهایت، میزان آبشویی نیترات را کاهش دهد. همچنین، اصلاح شدت و مقدار کوددهی نیتروژن با هدف حفظ عملکرد گیاه در سطح مطلوب از یک‌سو و پرهیز از مصرف کود مازاد از سویی دیگر، نیز می‌تواند علاوه بر حفظ منافع اقتصادی زارعان، میزان دفع نیترات به منابع آب از اراضی تحت کشت را کاهش دهد (Mosier et al., 2002; Gasser et al., 2002; Haverkort et al., 2003; Daudén and Quilez, 2004; Alva et al., 2006; Barton et al., 2006; Hutton et al., 2008; Wei et al., 2009; Jia et al., 2014; Karandish and Šimůnek, 2017).

۳-٤. عملکرد محصول تحت سیستم‌های مختلف زهکشی

شکل ٦ مقادیر عملکرد محصول تحت سیستم‌های مختلف زهکشی را نشان می‌دهد. این مقادیر برای سیستم‌های زهکشی Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.90}L_{30}$ در سال زراعی ۹۵-۹٤ به ترتیب، ۲/۸۲، ۲/۷، ۲/٤۱ و ۲/٦۸ تن بر هکتار، و در سال زراعی ۹٦-۹۵ به ترتیب، ۳/٤۲، ۲/۸۲، ۲/٥٤ و ۲/۹۷ تن بر هکتار بود. به این ترتیب، بیش‌ترین عملکرد اقتصادی را می‌توان از سیستم Bilevel انتظار داشت. با این حال، این سیستم می‌تواند به واسطه‌ی مخاطرات زیست‌محیطیِ بیش‌تر، از یک‌سو، پایداری کشاورزی را به مخاطره بیندازد و از سویی دیگر، چنانچه هزینه‌های رفع یا بهبود این خسارت‌ها نیز در محاسبات لحاظ شود، این سیستم زهکشی به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه نخواهد بود. با این حال، این مساله نیازمند پژوهش‌های بیشتر با هدف تعیین دقیق‌ترِ هزینه‌های واقعی سیستم‌های مختلف زهکشی از منظر زیست‌محیطی می‌باشد.



شکل ٦. مقادیر عملکرد محصول تحت سیستم‌های مختلف زهکشی.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، تغییر عمق و فاصله‌ی زهکش‌ها، می‌تواند دبی روزانه‌ی خروجی از زهکش را بین ۳۰–۷ سانتی‌مترمکعب بر ثانیه، و مجموع مقادیر فصلی تلفات نیترات را بین ۱۲۵–۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر تغییر دهد. همچنین، بارش یکی از عوامل موثر بر توان زهکشی در منطقه بوده و بارش‌های فراتر از ۱۰ میلی‌متر بر روز، قدرت زهکشی را کاسته و باعث ماندابی خواهد شد. نصب سیستم‌های زهکشی همچنین می‌تواند با تاثیر بر عملکرد محصول، منافع اقتصادی کشاورزان را نیز متاثر سازد. مقادیر عملکرد محصول تحت سیستم مختلف زهکشی بین ۲/٤۱ تا ۳/٤۲ تن بر هکتار متغیر بوده و کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار آن به ترتیب، تحت سیستم‌های $D_{0.65}L_{30}$ Bilevel بدست آمد. به این ترتیب، نتایج بدست آمده حاکی از آن است که اگرچه نصب سیستم‌های زهکشی، ضمن کاهش شرایط ماندابی، امکان کشت دوم و در نتیجه، افزایش منابع اقتصادی کشاورزان فرآهم می‌نماید لکن، هرگونه مدیریت ناصحیح در انتخاب عمق و فاصله‌ی نصب این زهکش‌ها، می‌تواند اثرات مخربی را از دیدگاه زیست‌محیطی و حفاظت خاک و مدیریت منابع آب به همراه داشته باشد. عدم دقت در انتخاب این پارامترهای طراحی، می‌تواند دفع نیترات به منابع آب سطحی را تا چندین برابر افزایش داده و باعث تخریب کیفیت این منابع گردد. در این راستا، علاوه بر انتخاب مقادیر مطلوب برای عمق و فاصله‌ی نصب زهکش‌ها، هرگونه مدیریتی که باعث کاهش دفع نیترات توسط زهکش‌ها شود، می‌تواند متضمن پایداری این منابع و سیستم‌های زهکشی گردد.

فهرست منابع

علی‌بخشی، ح.، شاه‌نظری، ع.، طهماسبی، ر. ۱۳۹۲. تأثیر عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی بر تلفات نیترات در اراضی شالیزاری در فصل کشت کلزا. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۰(٦): ۲۳۷–۲۵۲.

Alva, A.K., Paramasivam, S., Obreza, T.A., Schumann, A.W., 2006. Nitrogen best management practice for citrus trees I. Fruit yield, quality, and leaf nutritional status. Sci Horti 107, 233– 244.

Baker, J.L. 1980. Agricultural areas as nonpoint sources of pollution.. In Environmental impact of nonpoint source pollution. Overcash M.R. and Davidson J.M. (ed.) Ann Arbor Science Publication, Inc., Ann Arbor, MI. 275-310.

Bardowicks, K., Trautmann, N., Arumí, J. L., Billib, M., Holzapfel, E. 2006. Simulation of nitrate losses using HYDRUS-2D. Int. Conference CIACH on Agricultural Engineering in a Globalized World, Chillán/Chile, 10.-12.

Barton, L., Colmer, T.D., 2006. Irrigation and fertilizer strategies for minimizing nitrogen leaching from turfgrass. Agr Water Manage. 80, 160–175.

Blokhina, Olga. 2000. Anoxia and oxidative stress: lipid peroxidation, antioxidant status and mitochondrial function in plants. Helsinki. pp. 1-74.

Burchell, M.R. 2003. Practices to reduce Nitrate-nitrogen losses from drained agricultural lands. Phd diss. Raleigh, N.C., North Carolina State University.1-333.

Christen, E.W., Skehan, D., 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 127, 148–155.

Chukalla, A.D., Krol, M.S. and Hoekstra, A.Y. 2015. Green and blue water footprint reduction 536 in irrigated agriculture: Effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching, Hydrology and Earth System Sciences, 19(12): 4877–4891.

Cooke, R., Nehmelman, J., Kalita, P. 2002. Effect of tile depth on nitrate transport from tile 546 drainage systems. ASAE Paper No. 022017.

Dabney, S. M. Delgado, J. A. Reeves, D. W. 2001. USING WINTER COVER CROPS TO IMPROVE SOIL AND WATER QUALITY. ',Communications in Soil Science and Plant Analysis,32:7,1221 - 1250

Darzi A, Ejlali F, Ahmadi MZ, Najafi G., 2007. The suitability of controlled drainage and subirrigation in paddy fields. Pak J Biol Sci 10:492–497.

Darzi-Naftchali A, Mirlatifi SM, Asgari A., 2014. Comparison of steady and unsteady state drainage equations for determination of subsurface drain spacing in paddy fields—a case study in Northern Iran. Paddy Water Environ, 12:103–111.

Darzi-Naftchali, A., Shahnazari, A., and Karandish, F. 2016. Nitrogen loss and its health risk in paddy fields under different drainage managements. Paddy Water Environ, The International Society of Paddy and Water Environment Engineering and Springer Japan. 145-157

Darzi-Naftchali, A., and Shahnazari, A. (2014). Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drainedpaddy fields. Europ. J. Agronomy 56. 1–8.

Daudén, A., Quilez, D., 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. Eur J Agron 21, 7–19.

De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., Pisante, M., 2007. No-tillage and conven-571 tional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in south-572 ern Italy. Soil Tillage Res. 92, 69–78.

Ecker and Breisinger . 2012. The food security system .Washington , D.D:.International Food Policy. 1-25.

FAO, 2012. Fao Statistical Year Book. Food and Agriculture Organization of the UnitedNations, Rome, 352 pp.

FAO. (2014). FAO Statistical Year Book; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Bangkok, Thailand, 1995; p.

Furukawa, Y., Shiratori, Y., Inubushi, K. 2008. Depression of methane productionpotential in paddy soils by subsurface drainage systems. Soil Sci. Plant Nutr. 54: 950-959.

Gilliam JW, Baker JL and Reddy KR. 1999. Water Quality Effects of Drainage in Humid Regions. In R. W. p 345.

Guo H.Y., 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.

Hashemi, S.Z., Darzi-Naftchali, A., Zhiming Qi. 2020. Assessing water and nitrate-N losses from subsurface-drained paddy lands by DRAINMOD-N II. Irrigation and Drainage. 137-149.

Hermawan, B., and Bomke, A. A. 1997. Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. Soil Tillage Res, 44: 109–120.

Huang, B & Wilkinson, R. E . 2000. Plant Environment Intractions. Manhattan, Kansas. pp. 263-280.

Hutton, R., Holzapfel, B., Smith, J., Hutchinson, P., Barlow, K., Bond, W., 2008. Influence of 611 irrigation and fertilizer management on the movement of water and nutrients within and 612 below rootzone of vines for sustainable grape production. CRC for Viticulture Report 613 S2.3.6.

Jafari-Talukolaee, M. Shahnazari, A. Z. Ahmadi, M. Darzi-Naftchali, A. 2015. Drain Discharge and Salt Load in Response to Subsurface Drain Depth and Spacing in Paddy Fields. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 141(11): 04015017. 1-12.

Jafari-Talukolaee, M., Ritzema, H., Darzi-Naftchali, A., and Shahnazari, A. 2016. Subsurface drainage to enable the cultivation of winter crops in consolidated paddy fields in northern Iran. Sustainability, 8, 249.1-19..

Jia, X., Shao, L., Liu, P., Zhao, B., Gu, L., Dong, Sh., Bing, S.H., Zhang, J., Zhao, B., 2014. 624 Effect of different nitrogen and irrigation treatments on yield and nitrate leaching of summer 625 maize (Zea mays L.) under lysimeter conditions. Agr Water Manage 137, 92–103.

Karandish, F., Hogeboom, Hoekstra, A. Y., Hogeboom, R.J. 2020. Reducing food waste and changing cropping patterns to reduce water consumption and pollution in cereal production in Iran. Journal of Hydrology. 586, doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124881. 1-27.

Karandish, F., Šimůnek, J. 2017. Two-dimensional modeling of nitrogen and water dynamics 645 for various N-managed water-saving irrigation strategies using HYDRUS. Agricultural Wa-646 ter Management, 193, 174-190.

Karandish, F., Šimůnek, J. 2019. An application of the water footprint assessment to optimize production of crops irrigated with saline water: A scenario assessment with HYDRUS. Agricultural Water Management. 208, 67-82.

Konukcu, F., Gowing, J. W., Rose, D. A. 2006 Dry drainage: a sustainable solution to waterlogging and salinity problems in irrigation areas?. Agric Water Manag, 83:1–12.

Kro¨ger R, Pierce SC, Littlejohn KA, Moore MT, Farris JL. 2012 Decreasing nitrate-N loads to coastal ecosystems with innovative drainage management strategies in agricultural landscapes: an experimental approach. Agric Water Manag 103:162–166.

Liu, Y., Gao, M., Wu, W., Tanweer, S.T., Wen, X., Liao, Y. 2013. The effects of conservation 655 tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the 656 Loess Plateau, China. Soil & Tillage Research, 130, 7-12.

Mitchell, J., Singh, P., Wallender, W., Munk, D., Wroble, J., Horwath, W., Hogan, P., Roy, R., 672 Hanson, B., 2012. No-tillage and high-residue practices reduce soil water evaporation. Ca-673 lif. Agric. 66, 55–61.

Mosier AR, Syers JK and Freney JR (Eds). 2004 Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment. Washington DC, USA: Island Press. 244p.

Mosier, A.R., Bleken, M.A., Chaiwanakupt, P., Ellis, E.C., Freney, J.R., Howarth, R.B., Mat- son, P.A., Minami, K., Naylor, R., Weeks, K.N., Zhu, Z.L., 2002. Policy implications of human-accelerated nitrogen cycling. Biogeochemistry 57, 477–516.

Nangia, V., Gowda, P. H., Mulla, D. J. and Sands, G. R. 2009 'Modeling Impacts of Tile Drain Spacing and Depth on nitrate-Nitrogen Losses', *Vadose Zone*, 9, 61-72.

Research Institute. 1-14

Rimidis, A.; Dierickx, W. 2003 Evaluation of Subsurface Drainage Performance in Lithuania. Agric. Water Manag.59, 15–31

Rittera, W. F., Scarborough, R. W., and Chirnside, A. E. M. 1998. Winter cover crops as a best management practice for reducing nitrogen leaching. J Contam Hydrol, 34: 1-15.

Shahsavari, F., Karandish, F., Haghighatjou, P. 2019. Potentials for expanding dry-land agriculture under global warming in water-stressed regions: a quantitative assessment based on drought indices. Theoretical and Applied Climatology. **137**, 1555–1567.

Shiratori, Y., Watanabe, H., Furukawa, Y., Tsuruta, H., and Inubushi, K. 2007. Soil Science and Plant Nutrition, 53, 387–400.

Skaggs and J. Van Schilfgaarde (eds.) Agricultural Drainage. Agronomy Monograph No. 38. American Society of Agronomy. Madison, WI. Pp. 801-830.

Skaggs, R.W, and Chescheir, G.M. 2003 'Effects of subsurface drain depth on nitrogen losses from drained lands', *Transactions of ASAE*, 46:2, 237-244.

Smedema, L. K., Abdel-Dayem, S., Ochs, W. 2000. Drainage and agricultural development. Irrig Drain Syst, 14:223–235.Tabuchi T., Takamura S., Kubota H. and Suzuki S. 1975. The water quality and load of rivers during manuring period. Trans JSIDRE, 58:8–13.

Udayasoorian, C., Sebastian, S.P., Jayabalakrishnan, R.M. 2009. Effect of amendments on 707 problem soils with poor quality irrigation water under sugarcane crop. Am.-Eurasian J. 708 Agric. And Environ. Sci. 5, 618–626.

Ul Hassan M., Qureshi A.S., and Heydari N. 2007. A Proposed Framework for Irrigation Management Transfer in Iran: Lessons from Asia and Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI Working Paper 118).

Wahba, M.A.S., Christen, E.W., 2006. Modeling subsurface drainage for salt load management 712 in southeastern Australia. Irrig. Drain. Syst. J. 20, 267–282.

Wei, Y.P., Chen, D.L., Hu, K.L., Willett, I.R., Langford, J., 2009. Policy incentives for reducing 717 nitrate leaching from intensive agriculture in desert oases of Alxa, InnerMongolia, China. 718 Agr Water Manage 96, 1114–1119.

Yoon, K.S., Choi J.K., Son J.G. and Cho J.Y. 2006. Concentration profile of nitrogen and phosphorus in leachate of a paddy plot during the rice cultivation period in southern Korea. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 1957–1972.

Zhang Q, Jimenez JL, Canagaratna MR . 2007. Ubiquity and dominance of oxygenated species in organic aerosols in anthropogenically-influenced Northern Hemisphere midlatitudes. Geophys Res Lett, 34: L13801.1-6.

ISSN 2251-7480

Influence of different subsurface drainage systems on nitrate losses from rainfed-canola croplands

Farzad Haghnazari[1], Fatemeh Karandish[2*], Abdullah Darzi-Naftchali[3] and Jiří Šimůnek[4]

1) Ph. D candidate, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
2*) Associate professor, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
Corresponding author, E-mail address: f.karandish@uoz.ac.ir
3) Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
4) Department of Environmental Sciences, University of California Riverside

Received: 27-12-2020 Accepted: 01-07-2020

Abstract

Developing rainfed-canola cropping in the paddy fields of the Northern Iran requires consolidating drainage systems in order to retrieve water logging conditions in these lands during rainy seasons. in this research, which was carried out in the 4.5-ha consolidated paddy fields of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University during two cropping cycles, the influence of different drainage systems on total nitrate loss into local surface water resources was investigated. These systems included three regular subsurface drainage systems with different drain depths and spacings of, respectively, 0.9 m and 30 m ($D_{0.90}L_{30}$), 0.65 m and 30 m ($D_{0.65}L_{30}$), and 0.65 m and 15 m ($D_{0.65}L_{15}$), and a bilevel drainage system consisting of four drain lines with 15 m spacing and 0.65 and 0.9 m alternative depth (Bilevel). In addition to daily measuring drainage fluxes, nitrate concentrations in the collected drainage water were also measured every other weeks during the cropping cycles. Daily average drainage discharges under Bilevel, $D_{0.90}L_{30}$, $D_{0.65}L_{30}$, and $D_{0.65}L_{15}$ varied in the ranges of 0-231 $cm^3\ s^{-1}$, 0-220 $cm^3\ s^{-1}$, 0-227 $cm^3\ s^{-1}$ and 0-250 $cm^3\ s^{-1}$, respectively. Analyzing precipitation-drainage discharge correlations reveals that the precipitation intensity of 10 mm d^{-1} is the threshold of drainage capacity reduction, and precipitation intensities beyond this threshold may result in water logging challenges in the study area. Consolidating the selected drainage systems may result in annual nitrate losses of 2.2-34.7 kg ha^{-1} into the surface water resources; however, the $D_{0.65}L_{30}$ systems may have less environmental consequences in this view of point which indicates that drain depth had more effect on reducing nitrate losses compared to drain distance. Nevertheless, the highest grain yield obtained under Bilevel system. Therefore, environmentally sustainable operations of these systems for expanding rainfed-cropping requires precious investigations when selecting drain depths and spacings.

Keywords: paddy fields, nitrate losses, rainfed cropping, subsurface drainage