نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۳، جلد۶، پاییز ۱۳۹۱، ص. ۲۲۵-۲۱۵

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 3, Vol. 6, Fall 2012, p. 215-225

تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج

عبداله درزی نفت‌چالی[۱]، سید مجید میرلطیفی[۲*]، علی شاهنظری[۳]، فرید اجلالی[۴] و محمد حسین مهدیان[۵]

چکیده

زهکشی میان‌فصل و پایان فصل کشت برنج دو عملیات مهم مدیریت آب در شالیزارها هستند که به‌ترتیب سبب افزایش عملکرد محصول و شرایط مناسب‌تر برای برداشت برنج می‌شوند. در این تحقیق، اثر اعمال این اقدامات مدیریتی از طریق سیستم‌های زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر در ۴/۵ هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در تابستان ۱۳۹۰ بررسی شد. تیمارهای مورد آزمایش عبارت بودند از: سه سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی با عمق ۰/۹ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.9}L_{30}$)، عمق ۰/۶۵ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.65}L_{30}$) و عمق ۰/۶۵ متر با فاصله زهکش ۱۵ متر ($D_{0.65}L_{15}$)؛ یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی با فاصله زهکش ۱۵ متر و اعماق نصب ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به‌صورت یک در میان (Bilevel) و سیستم زهکشی سطحی (Control) با عمق ۱/۲ متر. برنج رقم طارم در تاریخ ۳۰ تیر کشت و ۱۸ مهر ماه برداشت شد. در طول فصل کشت برنج، مولفه‌های مختلف بیلان فسفر در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. مقدار فسفر ورودی به کلیه تیمارها برابر ۲۹/۲ کیلوگرم در هکتار بود که به‌ترتیب ۰/۰۰۷، ۰/۰۲، ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۳ و ۰/۱۴۷ کیلوگرم در هکتار آن به‌دلیل زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل از تیمارهای Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.9}L_{30}$ و Control خارج شد. کمترین و بیشترین مقدار مجموع تلفات زهکشی و آبشویی فسفر برابر ۰/۲۰۴ و ۰/۴۲۷ کیلوگرم در هکتار بود که به‌ترتیب در تیمارهای Bilevel و Control رخ داد. براساس نتایج بدست آمده، اعمال زهکشی میان‌فصل و پایان فصل از طریق سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در مقایسه با زهکشی سطحی، اثرات زیست محیطی کمتری از لحاظ دفع فسفر به منابع آب به‌دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: بیلان فسفر، زهکشی، شالیزار، مدیریت آب

مقدمه [۱]

شالیزارهای برنج که یک سوم سطح زیر کشت دنیا را اشغال نموده‌اند، نقش مهمی در تغذیه نیمی از مردم جهان دارند (Guerra et al., 1998). حدود ۵۰ درصد کل شالیزارهای دنیا (Katoh et al., 2003)، فاریاب می‌باشند که تقریبا ۷۵ درصد برنج جهان را تولید می‌کنند (Alberto et al., 2011). با توجه به این‌که آب زیادی برای غرقاب نگهداشتن شالیزار مصرف می‌شود، تلفات آب از این اراضی قابل توجه می‌باشد. در نتیجه، مصرف کودها و سموم شیمیایی مختلف سبب می‌شود که زه‌آب‌های خروجی از این اراضی، مقادیر زیادی از آلاینده‌ها را وارد منابع آب سطحی و زیرزمینی نموده و با در معرض خطر قراردادن کیفیت این منابع آب، تهدید زیست محیطی جدی‌ای را برای سلامت بشر ایجاد نمایند (Kanwar, 1998).

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی که نقش مهمی در پدیده تغذیه‌گرایی منابع آب دارد، فسفر می‌باشد. این پدیده هم زیبایی ظاهری منابع آب و هم پایداری مصرف آب را متاثر می‌نماید (Undercoffer, 2009). تغذیه‌گرایی به رشد بیش از حد پوشش گیاهی یا جلبک در آب اطلاق می‌شود که تجزیه آنها (پس از مرگ) با مصرف اکسیژن آب همراه است (Waldron, 2003). به‌طورکلی، تخلیه اکسیژن محلول، افزایش مواد جامد معلق، کاهش نفوذ نور و کاهش گونه‌های گیاهی و جانوری از اثرات منفی تغذیه‌گرایی می‌باشند. رواناب سطحی، فرسایش خاک، زهکشی زیرزمینی و آب زیرزمینی در انتقال فسفر از اراضی تحت کشت به منابع آب نقش دارند. علاوه براین، کل فسفر خروجی تحت تاثیر فرایندهای نگهداشت و تغییر شکل در داخل خاک قرار می‌گیرد (Gelbrecht et al., 2005). به‌دلیل قدرت ترکیبی (یا چسبندگی) زیاد فسفر با ذرات خاک (Yoon et al., 2006a)، اعتقاد عمومی بر این است

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکترای رشته مهندسی آبیاری و زهکشی و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: (Email: mirlat_m@modares.ac.ir)
۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده مهندسی زراعی، گروه مهندسی آب
۴- استادیار گروه کشاورزی- دانشگاه پیام نور
۵- دانشیار سازمان تحقیق، آموزش و ترویج کشاورزی

Archive of SID
www.SID.ir

که تلفات فسفر از اراضی کشاورزی عمدتا از طریق رواناب‌های سطحی رخ می‌دهد و زهکشی زیرزمینی نقش بسیار کمی در آن دارد (Eastman et al., 2010). با این وجود، تحقیقات قبلی آشکار نمود که در برخی شرایط، سیستم‌های زهکشی زیرزمینی نیز مقدار قابل توجهی فسفر را از اراضی کشاورزی خارج می‌کند (Gardner et al., 2002; Beauchemin et al., 2003). خواص فیزیکی خاک و هیدرولوژی محل دو تا از مهم‌ترین عوامل موثر بر مسیرهای زیرسطحی تلفات فسفر هستند (Dils, 1999). تلفات فسفر از خاکهای رسی عمدتا بصورت فسفر ذره‌ای[1] (PP) می‌باشد. جابجایی PP در خاکهای رسی سنگین را می‌توان به توسعه زیاد خلل و فرج درشت مانند ترک‌های خاک، کانال‌های ریشه و کرم راهه‌ها مرتبط دانست که منجر به حرکت رسوب و PP از میان پروفیل خاک به‌داخل سیستم زهکشی زیرزمینی می‌شود. به غیر از خاک‌های رسی، تلفات فسفر در خاک‌های سبک نیز مشاهده شد که در این حالت، تلفات فسفر محلول[2] (DP) در خاک‌های زیاد کود داده شده‌ای که ظرفیت جذب فسفر آنها کم است، قابل توجه است (Eastman et al., 2010). فسفر محلول می‌تواند به آسانی جذب گیاه شده و بنابراین، بیشتر از PP که کمتر از DP برای گیاهان قابل جذب است، بر رشد جلبکها تاثیر دارد.

نتایج بررسی تلفات فسفر از یک مزرعه شالیزاری در چین نشان داد که از ۱/۷۵ کیلوگرم فسفر تلف شده به‌وسیله رواناب سطحی در طول فصل کشت برنج، حدود ۴۲ درصد آن در ده روز ابتدایی کشت به‌وقوع پیوست (Guo et al., 2004). براساس نتایج اندازه‌گیریهای غلظت فسفر غرقاب سطحی و شیرابه‌های اعماق مختلف خاک یک کرت شالیزاری تحت کشت برنج در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰، غلظت فسفر کل غرقاب و شیرابه در دوره آزمایش به‌ترتیب بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۲۶۶ (میانگین ۰/۱۱) میلی‌گرم در لیتر و ۰/۰۱ تا ۰/۰۷۵ (میانگین ۰/۰۳۴) میلی‌گرم در لیتر بود (Yoon et al., 2006b). بررسی مولفه‌های مختلف بیلان فسفر از یک مزرعه شالیزاری در مرکز کره (Cho et al., 2000) نشان داد که از کل فسفر ورودی (۴۰/۹ کیلوگرم در هکتار) که به‌ترتیب ۲۷/۲، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۲ و ۱۲/۳ کیلوگرم در هکتار آن به‌وسیله کود شیمیایی، باران، آبیاری، رسوبات آبیاری و کاه برنج تامین شده بود، به‌ترتیب ۴/۵، ۰/۹ و ۰/۲ کیلوگرم در هکتار به‌وسیله رواناب، رسوبات رواناب و نفوذ عمقی تلف شد و ۱۹/۲ کیلوگرم در هکتار به‌وسیله گیاه برنج جذب شد. مقایسه تلفات فسفر در رواناب سطحی و زه‌آب زهکش زیرزمینی در مزرعه ذرت با جنس خاک لوم رسی (تحت عملیات خاک‌ورزی: بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی پشته‌ای و خاک‌ورزی متداول)، نشان داد که متوسط سه ساله تلفات فسفر از زهکش زیرزمینی برای هر سه نوع عملیات خاک‌ورزی بزرگتر از مقادیر متناظر برای زهکش سطحی بود. دلیل این امر ترک‌های گسترده ایجاد شده به‌وسیله زهکشی زیرزمینی ذکر شد که سبب افزایش جریان ترجیحی فسفر محلول و فسفر چسبیده به رسوب به طرف زهکش‌های زیرزمینی شد (Sims et al., 1998). مقایسه میزان تلفات فسفر در یک خاک لوم رسی دارای زهکش زیرزمینی و زهکش سطحی نشان داد که زهکشی زیرزمینی در انتقال فسفر در خاک‌های لوم رسی نقش مشابهی با زهکشی سطحی داشت ولی، حداکثر غلظت فسفر در رواناب سطحی مشاهده شد (Eastman et al., 2010). نتایج تحقیقات مذکور عمدتا نشان می‌دهد که علی‌رغم میل چسبندگی زیاد فسفر به ذرات خاک، علاوه بر رواناب سطحی، آبشویی و رواناب زیرزمینی نیز می‌تواند به‌عنوان فرایندهای مهمی در دفع فسفر از اراضی کشاورزی در نظر گرفته شوند.

در سال‌های اخیر، به‌منظور بهره برداری بهتر از منابع آب و خاک در هزاران هکتار از اراضی شالیزاری دو استان شمالی گیلان و مازندران، طرح‌های یکپارچه‌سازی شالیزارها انجام شد. به‌دلائل مختلف، همچنان در بخش وسیعی از این شالیزارها، شرایط مناسب برای کشت دوم فراهم نشد. با توجه به وجود بخش اعظم شالیزارهای کشور در دو استان مذکور، ۷۵/۲۶ درصد شالیزارهای کشور (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹)، برقراری شرایط مناسب برای تنوع کاربری اراضی در دوره زراعی سالانه و استفاده بهینه از پتانسیل‌های اقلیمی منطقه می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به خودکفایی در تولید محصولات زراعی قابل کشت در منطقه، ایفا نماید. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به عنوان یک مرکز پیشرو در این زمینه، اقدام به اجرای پایلوت سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در حدود ۴/۵ هکتار از شالیزارهای یکپارچه‌سازی شده دانشگاه نمود. احداث این سیستم‌ها سبب می‌شود که زهکشی میان فصل در زمان رشد برنج که با هدف خروج مواد سمی از قبیل سولفیدها و اسیدهای آلی از ناحیه ریشه صورت می‌گیرد (کیاء، ۱۳۸۲)، به‌خوبی انجام شود و کارایی زهکشی پایان‌فصل برای خشک کردن زمین در موقع برداشت، بهبود یافته و خطرات ضایع شدن محصول در اثر شروع بارندگی زودرس کاهش یابد (Vandersypen et al., 2007). از طرف دیگر، زهکشی زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان یکی از اقدامات مدیریتی بهینه برای کاهش انتقال فسفر از طریق رواناب سطحی نیز قلمداد کرد، زیرا سبب بهبود نفوذ و جلوگیری از شرایط اشباع خاک می‌شود (Jamieson et al., 2003). با این وجود، همانگونه که ذکر شد، بهبود وضعیت نفوذ می‌تواند سبب افزایش تلفات فسفر از طریق زه‌آب زیرزمینی شود. با توجه به این‌که الگوی تلفات فسفر از اراضی کشاورزی به اقدامات مدیریتی، خاک و اقلیم بستگی دارد و با توجه به وضعیت خاص خاک‌های اراضی شالیزاری مانند وجود لایه سخت

1- Particulate Phosphors
2- Dissolved Phosphorus

Archive of SID

www.SID.ir

رسی در زیر لایه شخم و برقراری شرایط احیا در بیشتر زمان از فصل کشت برنج، تعیین تاثیر عمق و فواصل مختلف زهکش‌های زیرزمینی بر تلفات فسفر از این اراضی برای به حداقل رساندن اثرات منفی حاصله بر کیفیت آب، بسیار مهم است. لذا، بررسی میزان تلفات نفوذ عمقی فسفر در طول فصل کشت برنج، اندازه‌گیری فسفر موجود در زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی و رواناب سطحی در زمان زهکشی میان فصل و پایان فصل کشت برنج و مقایسه مولفه‌های مختلف بیلان فسفر در سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی و سطحی به‌عنوان اهداف این تحقیق در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در حدود ۴/۵ هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر ۹ جاده ساری–دریا در تابستان ۱۳۹۰ انجام شد. مزرعه مذکور در سال ۱۳۸۲ تحت عملیات تجهیز و نوسازی یا یکپارچه‌سازی قرار گرفت. به‌واسطه این عملیات، کرت‌های دارای اندازه‌ها و شکل‌های مختلف به کرت‌های با اندازه تقریبا یکسان (به طول ۱۰۰ و عرض ۳۰ متر) و مستطیل شکل تبدیل شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵– متر می‌باشد. طبق آمار هواشناسی ۱۰ ساله (۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰)، متوسط بارندگی منطقه، ۶۱۶ میلی‌متر و متوسط دمای هوا ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه با روش دومارتن از نوع مرطوب تعیین شد (بخت‌فیروز، ۱۳۹۰).

سیستم زهکشی زیرزمینی

در مزرعه مورد مطالعه، سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از عمق ۰/۹ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.9}L_{30}$)، عمق ۰/۶۵ متر با فاصله زهکش ۱۵ متر ($D_{0.65}L_{15}$) و عمق ۰/۶۵ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.65}L_{30}$) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دوعمقی (Bilevel) متشکل از چهار خط زهکش به فاصله ۱۵ متر با اعماق ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به‌صورت یک در میان نصب شد. شماتیک مزرعه مورد مطالعه و سیستم‌های مختلف زهکشی در شکل (۱) ارائه شد. طول کلیه خطوط زهکش، ۱۰۰ متر و جنس لوله‌ها پی‌وی‌سی موجدار با قطر ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد که با شیب ۰/۲ درصد نصب شدند. 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. کانال مذکور به‌عنوان تنها زهکش اراضی مورد مطالعه بود که در زمان اجرای عملیات تجهیز و نوسازی، به‌عنوان زهکش سطحی (Control) حفر شد. برای تعیین تاثیر زهکش سطحی، یکی از کرت‌های فاقد زهکش زیرزمینی (کرت ۱۰) به‌عنوان کرت سطحی در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیریها

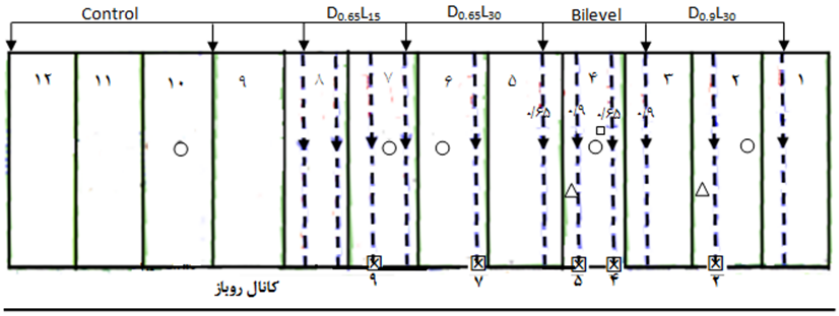
در زمان آماده‌سازی زمین، در مرکز کرت‌های ۲، ۴، ۶، ۷ و ۱۰ (شکل ۱)، یک چاهک مشاهده‌ای به عمق ۳ متر حفر شد. این کرت‌ها به‌ترتیب معرف اراضی تحت پوشش سیستم‌های زهکشی $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}$ و Control می‌باشند. در جدول (۱) مشخصات سیستم‌های زهکشی، شماره کرت محل نصب هر سیستم و شماره خطوط معرف هر سیستم زهکشی ذکر شد.برای تعیین بافت خاک، از لایه‌های ۳۰–۰، ۶۰–۳۰، ۹۰–۶۰، ۱۲۰–۹۰، ۱۵۰–۱۲۰، ۲۰۰–۱۵۰ و ۳۰۰–۲۰۰ سانتی‌متری این چاهک‌ها نمونه‌برداری شد. بافت خاک لایه‌های مختلف تا عمق ۲۰۰ سانتی‌متری غالبا از نوع سیلتی رس و از ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متر، رسی بود. ابتدا و انتهای فصل کشت، مقدار فسفر کل خاک لایه‌های ۳۰–۰، ۶۰–۳۰ و ۹۰–۶۰ سانتی‌متری کرت‌های مذکور به روش اولسن اندازه‌گیری شد.

قبل از عملیات نشا، برای تهیه عصاره اشباع خاک، لوله‌های سرامیکی عصاره‌گیر[1] در دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری مرکز کرت‌های ۲، ۴، ۶، ۷ و ۱۰ (شکل ۱) نصب شد. در طول فصل کشت برنج، ۱۵ روز یکبار از عصاره اشباع جمع شده در لوله‌های سرامیکی نمونه‌برداری شد و غلظت فسفر این نمونه معرف غلظت فسفر کل آب نفوذیافته در بازه زمانی مذکور فرض شد. مقدار نفوذ عمقی آب با استفاده از هشت لایسیمتر فلزی (۲ عدد ته بسته و مابقی ته باز) به ابعاد ۵۰ ۵۰ ۵۰ اندازه‌گیری شد. لایسیمترهای ته‌بسته برای برآورد تبخیر، یکی از لایسیمترهای ته باز برای برآورد تبخیر–تعرق و نفوذ و مابقی برای اندازه‌گیری تبخیر و نفوذ در مزرعه نصب شد (شکل ۱). این لایسیمترها، پس از عملیات آماده‌سازی زمین و قبل از نشا، در محل‌های مورد نظر نصب شدند. کارگذاری لایسیمترها به گونه‌ای انجام گرفت که نیمی از ارتفاع آن در داخل خاک نفوذ نماید. پس از نشا، فاصله سطح آب داخل لایسیمتر تا لبه بالایی آن بصورت روزانه ثبت شد. در طول مدت اندازه‌گیری، سطح آب داخل لایسیمتر با سطح آب داخل کرت تقریبا یکسان نگهداشته شد. میانگین مقادیر تبخیر قرائت شده از دو لایسیمتر ته‌بسته، به‌عنوان تبخیر آب از سطح مزرعه در نظر گرفته شد. با توجه به اعمال مدیریت زراعی و آبیاری مشابه در کلیه کرت‌ها و صرف‌نظر از تغییرات کم احتمالی میان مقادیر تبخیر–تعرق در نقاط مختلف مزرعه، اندازه‌گیری تبخیر–تعرق و نفوذ در یک کرت از مزرعه انجام شد.

1- Soil Moisture Sampler

Archive of SID

www.SID.ir



اعداد۱ تا ۱۲ بالای شکل شماره کرت، □ لایسیمتر ته باز برای اندازه‌گیری تبخیر-تعرق و نفوذ، △ لایسیمتر ته‌بسته برای اندازه-گیری تبخیر، ○ موقعیت چاهک مشاهده‌ای، لوله عصاره‌گیر و لایسیمتر ته باز برای اندازه‌گیری تبخیر و نفوذ، ☒ محل اندازه‌گیری دبی زهکش، ← خطوط زهکش، شماره‌های ۲، ۴، ۵، ۷ و ۹ در قسمت پایین شکل معرف شماره خطوط زهکش بدین ترتیب که: خط ۲ معرف سیستم $D_{0.9}L_{30}$، خطوط ۴ و ۵ به ترتیب معرف زهکش کم عمق و عمیق در سیستم Bilevel، خط ۷ معرف سیستم $D_{0.65}L_{30}$ و خط ۹ معرف سیستم $D_{0.65}L_{15}$ می‌باشد.

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

جدول ۱- مشخصات سیستم‌های مختلف زهکشی مورد مطالعه

شماره کرت	سیستم زهکشی	عمق زهکش (متر)	فاصله زهکش (متر)	شماره خط زهکش
۲	$D_{0.9}L_{30}$	۰/۹	۳۰	۲
۴	Bilevel	۰/۶۵ و ۰/۹	۱۵	۴ و ۵
۶	$D_{0.65}L_{30}$	۰/۶۵	۳۰	۷
۷	$D_{0.65}L_{15}$	۰/۶۵	۱۵	۹
۱۰	سطحی (control)	۱/۲	۲۰۰	-

با کسر مقدار نفوذ اندازه‌گیری شده در آن کرت از مجموع تبخیر-تعرق و نفوذ، مقدار تبخیر-تعرق محاسبه شد. نحوه برآورد مولفه‌های مختلف بیلان آب به‌وسیله لایسیمترها، به‌تفصیل در نشریه شماره ۲-۴۷۱ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۸۸) بیان شد.

با توجه به دبی زهکش‌ها، سه روز متوالی در زمان زهکشی میان-فصل و چهار روز متوالی در زمان زهکشی پایان‌فصل از زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی نمونه‌برداری شد. در هر دو زمان زهکشی، دو روز متوالی از زه‌آب خروجی از کرت دارای زهکش سطحی نمونه-برداری شد. در طول مدت زهکشی، مقدار آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی و رواناب خروجی از کرت ۱۰ با استفاده از پارشال فلوم اندازه‌گیری شد. برای انجام زهکشی میان فصل، ۲۵ روز پس از نشا، آبیاری در کلیه کرت‌ها قطع و با برداشتن درپوش لوله‌های زهکش امکان تخلیه زه‌آب فراهم شد. این مرحله از زهکشی تا ظهور ترک-های کوچک سطحی (به مدت یک هفته) ادامه یافت. برای انجام زهکشی پایان‌فصل، دو هفته قبل از برداشت، آبیاری قطع شد و زهکشی تا زمان برداشت (۱۸ مهر) ادامه یافت. نمونه‌های تهیه شده در آزمایشگاه مورد آنالیز قرار گرفت و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR-4000 HACH مقدار فسفر کل و فسفات آنها تعیین شد.

پس از نمونه‌برداری‌های ابتدای فصل و نصب تجهیزات اندازه-گیری مورد نیاز، برنج رقم طارم محلی که واریته‌ای زودرس و کم-محصول می‌باشد در تاریخ ۳۰ تیر، در کلیه تیمارها کشت شد. آبیاری کل اراضی به روش غرقابی و با استفاده از چهار حلقه چاه سطحی به عمق حدود ۲۰ متر انجام شد. در طول فصل کشت، دبی چاه‌ها به-صورت روزانه اندازه‌گیری شد. همچنین مقدار بارندگی در طول فصل کشت در ایستگاه هواشناسی دانشگاه ثبت شد. با فرض توزیع یکنواخت آب خروجی از چاه‌ها بر سطح کلیه کرت‌ها، عمق آب آبیاری در طول فصل کشت برابر ۶۱۸ میلی‌متر برآورد شد. از زمان نشاکاری تا برداشت برنج در مجموع ۱۳۶/۶ میلی‌متر بارندگی رخ داد. در نتیجه کل آب مصرفی در فصل کشت برنج به جز آب مصرفی برای عملیات آماده‌سازی زمین برابر ۷۵۴/۶ میلی‌متر برآورد شد. از کل آب مصرفی، ۴۶۵/۳ میلی‌متر صرف تبخیر- تعرق شد و مابقی به‌صورت نفوذ عمقی، نشت و رواناب سطحی تلف شد. در جدول (۲) پارامترهای مربوط به بیلان آب تیمارهای مورد مطالعه، ارائه شد. در سه زمان مختلف از فصل کشت، از آب کلیه چاه‌ها نمونه‌برداری و مقدار فسفر کل نمونه‌ها تعیین شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- مولفه‌های بیلان آب در تیمارهای مختلف مورد مطالعه

تیمار	بارندگی (mm)	آبیاری (mm)	آبیاری + بارندگی(mm)	تبخیر- تعرق (mm)	زهکشی (mm)	نفوذ (mm)	محاسبه نشده*
Bilevel	۱۳۶/۶	۶۱۸	۷۵۴/۶	۴۶۵/۳	۶/۴	۱۴۴/۱	۱۳۸/۸
$D_{0.65}L_{15}$	۱۳۶/۶	۶۱۸	۷۵۴/۶	۴۶۵/۳	۶/۹	۱۴۲/۷	۱۳۹/۷
$D_{0.65}L_{30}$	۱۳۶/۶	۶۱۸	۷۵۴/۶	۴۶۵/۳	۵/۳	۱۳۲/۲	۱۵۱/۸
$D_{0.9}L_{30}$	۱۳۶/۶	۶۱۸	۷۵۴/۶	۴۶۵/۳	۲/۷	۱۳۶/۲	۱۵۰/۴
control	۱۳۶/۶	۶۱۸	۷۵۴/۶	۴۶۵/۳	۵۵.۷	۱۲۲/۱	۱۱۱/۵

*- در این تحقیق، مقادیر تبخیر-تعرق، زهکشی و نفوذ اندازه‌گیری شدند و سایر تلفات مانند نشت جانبی از کرت‌ها و آب خروجی از کرت‌ها در مواقع پرآبیاری، اندازه‌گیری نشد.

همچنین مقدار فسفر کل دو نمونه آب باران اندازه‌گیری شد. متوسط غلظت فسفر کل آب آبیاری و بارندگی به‌ترتیب برابر ۰/۱۲۸ و ۰/۲۲ میلی‌گرم در لیتر بود. در زمان برداشت، با نمونه‌گیری از قسمت هوایی گیاه برنج در تیمارهای مختلف، مقدار فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه اندازه‌گیری شد.

بیلان جرمی فسفر با استفاده از مقادیر مولفه‌های ورودی و خروجی به‌وسیله معادله (۱) برآورد شد:

$$P_a+P_i+P_r=P_p+P_l\pm\Delta P_s \quad (۱)$$

که در آن: P_a مقدار فسفر تامین شده، P_i فسفر موجود در آب آبیاری، P_r فسفر موجود در آب باران، P_p فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه، P_l تلفات فسفر (از طریق زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی یا رواناب سطحی و نفوذ عمقی) و ΔP_s تغییر فسفر خاک می‌باشد. مقدار فسفر تامین شده، با توجه به فسفر موجود در کود فسفره مصرفی (۱۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل) محاسبه شد. فسفر آب آبیاری و باران از حاصل‌ضرب حجم آب آبیاری و باران در متوسط غلظت فسفر آنها تعیین شد. فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه از حاصل‌ضرب غلظت فسفر نمونه برنج در جرم خشک قسمت هوایی برنج در سطح مورد نظر محاسبه شد. تلفات آبشویی (زهکشی) فسفر، از مجموع حاصل-ضرب غلظت فسفر در نمونه معرف یک دوره زمانی خاص در حجم آب از دست رفته (نفوذ عمقی یا زهکشی) در آن دوره به‌صورت زیر محاسبه شد (Guo et al., 2004):

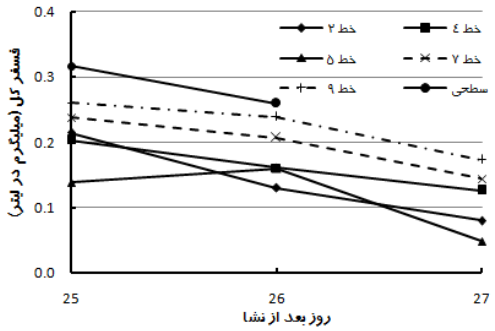
$$L=\sum(C_{di}\times V_{di}) \quad (۲)$$

که در آن، L تلفات آبشویی (زهکشی) فسفر (میلی‌گرم)، C_{di} غلظت فسفر عصاره اشباع خاک (زه‌آب) در دوره زمانی i (میلی-گرم در لیتر) و V_{di} حجم نفوذ عمقی (زه‌آب) در طول دوره i (لیتر) می‌باشد. آخرین ترم معادله بیلان فسفر براساس اندازه‌گیری میزان فسفر لایه‌های مختلف خاک در ابتدا و انتهای فصل کشت محاسبه شد.

نتایج و بحث

فسفر خروجی از زهکش‌ها

شکلهای (۲) و (۳) غلظت فسفر زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی و رواناب سطحی را در زمان زهکشی میان‌فصل و پایان فصل نشان می‌دهند. در هر دو زمان زهکشی، بیشترین غلظت فسفر اندازه‌گیری شده مربوط به رواناب سطحی بود. در زمان زهکشی میان‌فصل، غلظت فسفر زه‌آب زهکش ۴ (زهکش کم عمق در تیمار زهکشی دوعمقی) در روز دوم افزایش یافت، ولی در سایر موارد بیشترین غلظت فسفر در زه‌آب اولین روز زهکشی میان‌فصل مشاهده شد و بتدریج مقدار آن کاهش یافت. به‌طورکلی غلظت فسفر زه‌آب خطوط زهکش با عمق ۰/۹ متر کمتر از مقدار متناظر در خطوط زهکش با عمق ۰/۶۵ متر بود که ممکن است به دلیل قابلیت چسبندگی زیاد فسفر به ذرات خاک (Yoon et al., 2006a) و در نتیجه، انتقال عمودی کمتر آن باشد.



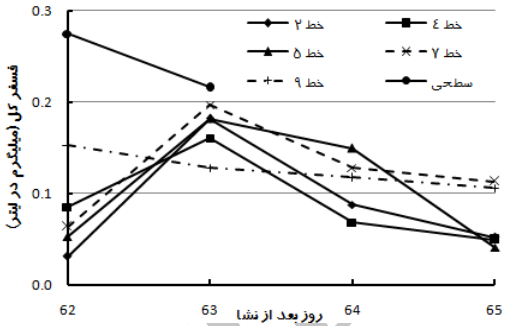
شکل ۲- غلظت فسفر زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی و رواناب کرت سطحی در زمان زهکشی میان‌فصل

در زمان زهکشی انتهای فصل، روند نسبتا مشابهی برای کلیه خطوط زهکش زیرزمینی به جز خط زهکش ۹ (تیمار $D_{0.65}L_{15}$) مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین مقدار غلظت فسفر در روز دوم زهکشی رخ داد و پس از آن کاهش یافت. لازم به ذکر است که در اولین روز از زهکشی پایان فصل، بارندگی شدیدی به مقدار ۲۳/۶ میلی‌متر رخ داد و با توجه به اینکه در زمان بارندگی آب سطح کرت‌ها تخلیه شده بود، افزایش غلظت فسفر زه‌آب زهکش‌ها پس از بارندگی را می‌توان به اثر بارندگی و ترک‌های ایجاد شده در خاک در زمان

Archive of SID

www.SID.ir

زهکشی میان‌فصل مرتبط دانست که احتمالا سبب حرکت سریع فسفر محلول به‌طرف زهکش‌های زیرزمینی شد. فسفر موجود در زه‌آب خط زهکش ۹ کلا روند نزولی داشت به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در روز اول مشاهده شد و سپس با شیب کمی کاهش یافت.



شکل ۳- غلظت فسفر زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی و رواناب کرت سطحی در زمان زهکشی پایان‌فصل

میانگین غلظت فسفات و فسفر کل زه‌آب زهکش‌ها در زمان زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل برنج در جدول (۳) ارائه شد.

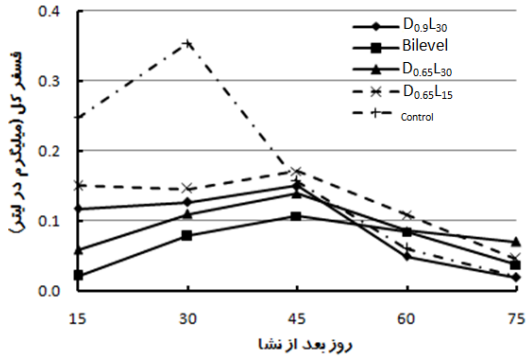
جدول ۳- میانگین غلظت فسفات و فسفر کل زه‌آب (میلی‌گرم در لیتر)

زهکش	میان فصل		پایان فصل	
	فسفات	فسفر کل	فسفات	فسفر کل
۲	۰/۱۳۶	۰/۱۴۱	۰/۰۸۵	۰/۰۸۸
۴	۰/۱۵۹	۰/۱۶۳	۰/۰۸۸	۰/۰۹۱
۵	۰/۱۱۳	۰/۱۱۶	۰/۱۰۲	۰/۱۰۶
۷	۰/۱۹۲	۰/۱۹۶	۰/۱۲۲	۰/۱۲۵
۹	۰/۲۱۹	۰/۲۲۴	۰/۱۲۱	۰/۱۲۶
سطحی	۰/۲۸۳	۰/۲۸۸	۰/۲۴	۰/۲۴۶

میانگین غلظت فسفر کل رواناب سطحی در زمان زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل به‌ترتیب برابر ۰/۲۸۸ ۰/۲۴۶ میلی‌گرم در لیتر بود. این مقادیر، قابل مقایسه با نتایج یک تحقیق مزرعه‌ای (Cho et al., 2000) که در آن غلظت فسفر رواناب در طول یک فصل کشت برنج برابر ۰/۱۷ تا ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد، می‌باشد. جنس خاک مزرعه آزمایشی در تحقیق مذکور، سیلتی لوم بوده و کل فسفر ورودی به آن برابر ۴۰/۹ کیلوگرم در هکتار بود. همان‌گونه که در جدول (۳) مشاهده می‌شود در کلیه موارد، بخش اعظم تلفات فسفر، به‌صورت فسفات بود. مقدار متوسط غلظت فسفر کل خطوط زهکش ۲، ۴، ۵، ۷، ۹ و کرت سطحی در زمان زهکشی میان‌فصل به‌ترتیب به مقدار ۳۷/۶، ۴۴/۵، ۸/۴، ۳۶/۱، ۴۳/۸ و ۱۴/۸ درصد بیشتر از مقادیر متناظر مربوط به زهکشی پایان فصل بود. لازم به ذکر است که سه روز قبل از نشا، کود فسفره (۱۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل) به‌صورت دستی در مزرعه مورد مطالعه بکار برده شد. در نتیجه، تلفات کمتر فسفر در زمان زهکشی پایان‌فصل را می‌توان با موجودیت کمتر فسفر در آن زمان مرتبط دانست. بررسی رابطه عمق زهکش با تلفات فسفر نشان داد که هم در زمان زهکشی میان‌فصل و هم در زمان زهکشی پایان‌فصل، متوسط غلظت فسفر کل زه‌آب زهکش‌های دارای عمق ۰/۶۵ متر بیشتر از میزان آن در زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر بود که با توجه به قابلیت جابجایی کم فسفر در خاک طبیعی به نظر می‌رسد. از میان زهکش‌های زیرزمینی، متوسط غلظت فسفر کل خروجی از خط زهکش ۹ در زمان زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل به‌ترتیب برابر ۰/۲۲۴ و ۰/۱۲۶ میلی‌گرم در لیتر بود که بیشتر از مقادیر متناظر سایر خطوط زهکش زیرزمینی می‌باشد. مقایسه غلظت فسفر زه‌آب سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی نشان می‌دهد که با کاهش عمق و فاصله زهکش، غلظت فسفر زه‌آب افزایش یافت.

تلفات آبشویی فسفر

مقادیر غلظت فسفر کل عصاره اشباع خاک تهیه شده از اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک تیمارهای مختلف در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شد. در سایر تیمارها به‌جز تیمار Control، با گذشت ۴۵ روز از نشا، مقدار فسفر عصاره اشباع عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک به حداکثر مقدار خود رسید. کمترین و بیشترین مقدار غلظت فسفر اندازه‌گیری شده از این نمونه‌های عصاره اشباع، برابر ۰/۰۱۹ و ۰/۳۵۴ میلی‌گرم در لیتر بود که به‌ترتیب ۷۵ و ۳۰ روز بعد از نشا مشاهده شد. مقدار فسفر عصاره اشباع تهیه شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری تیمار Control در دو نمونه‌برداری اول بیشتر از سایر نمونه‌ها بود. در سایر نمونه‌برداری‌ها، اختلاف قابل توجهی میان غلظت فسفر شیرابه‌های عمق ۳۰ سانتی‌متری تیمارهای مختلف وجود نداشت.



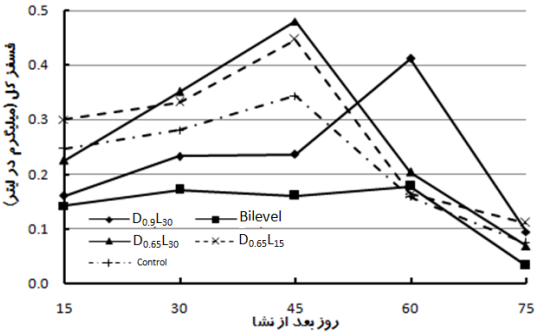
شکل ۴- مقادیر غلظت فسفر کل عصاره اشباع خاک تهیه شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک تیمارهای مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

متوسط غلظت فسفر شیرابه‌های تهیه شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}$ و Control به‌ترتیب برابر ۰/۰۹۲، ۰/۰۶۵، ۰/۰۹۳، ۰/۱۲۴ و ۰/۱۶۸ میلی‌گرم در لیتر بود.

غلظت فسفر کل شیرابه‌های عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک، با گذشت زمان از ابتدای فصل کشت افزایش یافت به‌طوری‌که با گذشت ۴۵ تا ۶۰ روز از نشاکاری به بیشترین مقدار خود رسید و پس از آن کاهش یافت. متوسط غلظت فسفر شیرابه‌های تهیه شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$، Bilevel، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.65}L_{15}$ و Control به‌ترتیب برابر ۰/۲۲۷، ۰/۱۳۷، ۰/۲۶۵، ۰/۲۷۰ و ۰/۲۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود. به‌طورکلی، متوسط غلظت فسفر شیرابه‌های تهیه شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری تیمارهای مختلف، به مقدار قابل توجهی بیشتر از مقادیر متناظر برای عمق ۳۰ سانتی‌متری بود (جدول ۴) که برخلاف نتایج ارائه شده توسط برخی محققین می‌باشد. متوسط غلظت کل فسفر در طول فصل کشت برنج در عمق‌های ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ سانتی‌متری به‌ترتیب برابر ۰/۰۵۲، ۰/۰۳۸، ۰/۰۲۹ و ۰/۰۱۷ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد (Yoon et al., 2006b) که نشان‌دهنده روند کاهش غلظت فسفر با افزایش عمق خاک می‌باشد. در این تحقیق، کمترین میانگین غلظت فسفر کل عصاره اشباع اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر ۰/۰۶۵ و ۰/۱۳۵ میلی‌گرم در لیتر بود که در تیمار Bilevel مشاهده شد. بیشترین میانگین غلظت فسفر کل عصاره اشباع اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری به‌ترتیب برابر ۰/۱۶۰ و ۰/۲۷۰ میلی‌گرم در لیتر بود که اولی در تیمار Control و دومی در تیمار $D_{0.65}L_{15}$ مشاهده شد.



شکل ۵- مقادیر غلظت فسفر کل عصاره اشباع خاک تهیه شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک تیمارهای مختلف

در یک تحقیق مزرعه‌ای، حداقل و حداکثر غلظت فسفر شیرابه‌های تهیه شده از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک شالیزار، ۰/۰۳ و ۰/۰۶ گزارش شد (Cho et al., 2000) که کمتر از مقادیر مشاهده در این تحقیق می‌باشد. عوامل متعددی مانند خصوصیات خاک، روش کوددهی و مقدار کود مصرفی، مدیریت آبیاری و غیره می‌تواند بر آبشویی فسفر موثر باشد. با توجه به جدول (۴)، بخش اعظم غلظت فسفر کل شیرابه‌ها را فسفات تشکیل داد.

جدول ۴- میانگین غلظت فسفات و فسفر کل شیرابه‌ها (میلی‌گرم در لیتر)

تیمار	عمق ۳۰ سانتی‌متر		عمق ۶۰ سانتی‌متر	
	فسفات	فسفر کل	فسفات	فسفر کل
$D_{0.9}L_{30}$	۰/۰۹	۰/۰۹۲	۰/۲۱۷	۰/۲۲۷
Bilevel	۰/۰۶۲	۰/۰۶۵	۰/۱۳۱	۰/۱۳۷
$D_{0.65}L_{30}$	۰/۰۸۹	۰/۰۹۳	۰/۲۵۴	۰/۲۶۵
$D_{0.65}L_{15}$	۰/۱۱۹	۰/۱۲۴	۰/۲۵۹	۰/۲۷۰
Control	۰/۱۵۸	۰/۱۶۸	۰/۲۱۴	۰/۲۲۰

بیلان فسفر

بیلان فسفر را می‌توان با در نظر گرفتن سه مولفه فسفر ورودی، فسفر خروجی و تغییرات مقدار فسفر خاک بررسی کرد. در این تحقیق، مقدار فسفر ورودی از طریق آبیاری، بارندگی و مصرف کود شیمیایی و تلفات آن از طریق زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی و رواناب کرت سطحی، نفوذ عمقی و جذب به‌وسیله گیاه محاسبه و در جدول (۵) ارائه شد. دفع فسفر از طریق نفوذ عمقی و زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی در زمان زهکشی میان فصل و انتهای فصل کشت برنج به‌عنوان مسیرهای اصلی تلفات فسفر از سیستم‌های زهکشی زیرزمینی و دفع فسفر از طریق رواناب سطحی کرت دارای زهکش سطحی و نفوذ عمقی به‌عنوان مسیرهای اصلی تلفات فسفر از طریق سیستم زهکشی سطحی در نظر گرفته شد. با توجه به فرض عمق مساوی آب آبیاری در تیمارهای مختلف، فسفر ورودی به‌وسیله آبیاری، بارندگی و کود شیمیایی به‌ترتیب برابر ۰/۸، ۰/۳ و ۲۸/۱ کیلوگرم در هکتار بود. در نتیجه مقدار کل فسفر ورودی به کلیه تیمارها برابر ۲۹/۲ کیلوگرم در هکتار بود. تلفات فسفر از طریق زه‌آب سیستم‌های زهکشی Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.9}L_{30}$ و Control به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۷، ۰/۰۲، ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۳ و ۰/۱۴۷ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار فسفر و قابلیت حل آن در لایه ۵ سانتی‌متری سطح خاک (Undercoffer, 2009) و ظرفیت جذب سطحی زیاد آن (Dils, 1999) اساسی‌ترین عوامل موثر در انتقال فسفر به‌وسیله رواناب سطحی می‌باشد. از طرف دیگر، در شرایط اشباع خاک به‌دلیل برقراری وضعیت احیا، فعالیت میکروارگانیسم‌های غیرهوازی که از الکترون گیرنده‌هایی غیر از اکسیژن (مانند آهن و منگنز) برای تنفس استفاده می‌کنند افزایش می‌یابد. آهن و منگنز در فرم احیا نسبت به فرم اکسید انحلال‌پذیرتر می‌باشند (Waldron, 2003). بنابراین، پیوند فسفر به هر یک از این الکترون گیرنده‌ها، شرایط مناسبی را

Archive of SID

www.SID.ir

برای تلفات فسفر از طریق رواناب سطحی فراهم می‌کند. در تحقیق‌های مختلف، متوسط تلفات فسفر از طریق رواناب در طول فصل کشت برنج برابر ۱/۴۳ کیلوگرم در هکتار (Yoon et al., 2006a)، ۱/۷۵ کیلوگرم در هکتار (Guo et al., 2004) و ۴/۱ کیلوگرم در هکتار (Cho et al., 2000) گزارش شد. مقادیر کمتر تلفات فسفر رواناب در تحقیق حاضر، به‌دلیل اندازه‌گیری مقدار آن در رواناب زمان‌های زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل و صرفنظر از تلفات احتمالی آن در سایر مواقع می‌باشد. به غیر از این، تلفات فوق نشان‌دهنده تاثیر مثبت کنترل و مدیریت آب در شالیزارهای یکپارچه‌سازی شده نسبت به شالیزارهای سنتی می‌باشد. در شالیزارهای یکپارچه‌سازی شده، هر کرت دارای ورودی و خروجی مستقل می‌باشد، در نتیجه، امکان جلوگیری از تلفات آب میسر می‌باشد ولی در شالیزارهای سنتی، به‌دلیل آبیاری کرت به کرت اراضی، همواره مقداری آب از انتهای کرت تلف می‌شود که نتیجه آن تلفات بیشتر مواد غذایی خواهد بود. مقایسه اعداد مذکور نشان می‌دهد که اعمال مدیریت آب زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل از طریق سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در مقایسه با اعمال مدیریت آب مشابه از طریق سیستم زهکشی سطحی تاثیر بسیار کمی بر دفع فسفر از اراضی شالیزاری مورد مطالعه داشت. همچنین، از میان سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی، تیمار $D_{0.65}L_{15}$ فسفر بیشتری را از مزرعه خارج نمود. اگرچه تلفات فسفر در زه‌آب این سیستم زهکشی نیز ناچیز بود ولی نشان‌دهنده این واقعیت است که تلفات فسفر با کاهش عمق و فاصله نصب زهکش، افزایش خواهد یافت. مقدار تلفات آبشویی فسفر از عمق ۶۰ سانتی‌متری کرت‌های تحت پوشش سیستم‌های زهکشی Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.9}L_{30}$ و Control به‌ترتیب برابر ۰/۱۹۷، ۰/۳۹۲، ۰/۳۶۹، ۰/۲۹۶ و ۰/۲۸ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین مقدار تلفات آبشویی فسفر در تیمار Bilevel و بیشترین مقدار آن در تیمار $D_{0.65}L_{15}$ رخ داد. در تحقیقات مختلفی مقدار تلفات آبشویی فسفر از شالیزارهای فاقد زهکش زیرزمینی؛ ۰/۳ تا ۰/۵ کیلوگرم در هکتار (Yoon et al., 2006a)، ۰/۱۹ تا ۱/۳۸ کیلوگرم در هکتار (Kunimatsu, 1986)، ۰/۰۳۶ تا ۰/۰۴۸ کیلوگرم در هکتار (Yoon et al., 2006b)، ۲/۰۶ کیلوگرم در هکتار در خاک لوم رسی شنی (Shin and Kwun, 1990) و ۰/۲ کیلوگرم در هکتار (Cho et al., 2000) گزارش شد. از میان سیستم‌های مختلف زهکشی، کمترین مقدار مجموع تلفات زهکشی و آبشویی فسفر برابر ۰/۲۰۴ کیلوگرم در هکتار بود که مربوط تیمار Bilevel می‌باشد و بیشترین مقدار آن برابر ۰/۴۲۷ کیلوگرم در هکتار بود که در تیمار Control رخ داد. مقدار فسفر جذب شده به‌وسیله گیاه در تیمارهای Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.9}L_{30}$ و Control به‌ترتیب برابر ۲۵/۴، ۲۳/۲۴، ۱۸/۲۴، ۱۸/۰۲ و ۱۱/۷ کیلوگرم در هکتار بود که به‌ترتیب ۸۷، ۸۰، ۶۲/۵، ۶۲ و ۴۰ درصد کل فسفر ورودی می‌باشند. کمترین مقدار جذب فسفر در تیمار Control و بیشترین مقدار آن در تیمار Bilevel رخ داد. جذب کمتر فسفر سبب می‌شود که فسفر آزاد بیشتری برای آبشویی یا تلفات دیگر مهیا باشد. یکی از دلایل جذب کمتر فسفر در تیمار Control، بیشتر بودن تلفات فسفر رواناب می‌باشد.

جدول ۵: بیلان فسفر در تیمارهای مختلف (اعداد متن جدول بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشند)

اجزای معادله بیلان		سیستم های زهکشی				
		Bilevel	$D_{0.65}L_{15}$	$D_{0.65}L_{30}$	$D_{0.9}L_{30}$	Control
ورودی	کود	۲۸/۱	۲۸/۱	۲۸/۱	۲۸/۱	۲۸/۱
	آبیاری	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸
	بارندگی	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
مجموع		۲۹/۲	۲۹/۲	۲۹/۲	۲۹/۲	۲۹/۲
تغییرات فسفر لایه‌های خاک*	۰-۳۰	۰/۷۶	۱/۵۱	۵/۲۱	۶/۷۲	۹/۳۲
	۳۰-۶۰	۰/۴۸	-۰/۷۲	۰/۸۱	۲/۰۱	۱/۹۷
	۶۰-۹۰	۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۶۶	-۰/۱۲	-۰/۲۹
فسفر اضافه شده به خاک		۱/۲۸	۰/۶۷	۶/۶۸	۸/۶۱	۱۱
خروجی	زهکشی	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۱۴۷
	نفوذ عمقی	۰/۱۹۷	۰/۳۹۲	۰/۳۶۹	۰/۲۹۶	۰/۲۸
	جذب گیاه	۲۵/۴	۲۳/۲۴	۱۸/۲۴	۱۸/۰۲	۱۱/۷
مجموع خروجی		۲۵/۶	۲۳/۶۵	۱۸/۶۲	۱۸/۳۲	۱۲/۱۳
مقدار محاسبه نشده		۲/۳۲	۴/۸۸	۳/۹	۲/۲۷	۶/۰۷

*- علامت منفی نشان‌دهنده کاهش فسفر خاک در انتهای فصل کشت می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

مولفه دیگر معادله بیلان فسفر، تغییرات فسفر خاک می‌باشد. مجموع تغییرات غلظت فسفرکل لایه‌های مختلف خاک تیمارهای مختلف (جدول ۵)، نشان‌دهنده افزایش مقدار فسفر خاک در انتهای فصل کشت می‌باشد. کمترین و بیشترین مقدار افزایش ذخیره فسفر خاک برابر ۰/۶۷ و ۱۱ کیلوگرم در هکتار بود که به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $D_{0.65}L_{15}$ و Control می‌باشند. با توجه به نتایج محاسبه مولفه‌های مختلف بیلان فسفر، اختلاف قابل توجهی میان فسفر خروجی از تیمارهای مختلف وجود دارد. در این تحقیق، مقدار تلفات فسفر رواناب سطحی خروجی از کرت Control، تنها در زمان زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل اندازه‌گیری شد. در غیر این زمان‌ها، بالاخص در مواقع آبیاری، مقداری آب از انتهای کلیه کرت‌ها خارج می‌شد که مورد محاسبه قرار نگرفت. همچنین، از تلفات نشت صرف‌نظر شد. علاوه براین، نمونه‌برداری از خاک و گیاه به‌صورت نقطه‌ای انجام شد که مطمئنا نشان‌دهنده وضعیت فسفر در همان نقاط بود. از طرف دیگر، کود فسفره بصورت دستی در مزرعه پخش شد که عدم یکنواختی پخش آن نیز می‌تواند در عدم امکان محاسبه دقیق بیلان فسفر با توجه به مساحت زیاد اراضی مورد مطالعه، اثرگذار باشد.

نتیجه‌گیری

پایش غلظت زه‌آب‌های زیرزمینی و رواناب سطحی در طول مدت مطالعه نشان داد که در هر دو زمان زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل، بیشترین غلظت فسفر اندازه‌گیری شده مربوط به رواناب سطحی بود. همچنین، متوسط غلظت فسفر کل زه‌آب زهکش‌های دارای عمق ۰/۶۵ متر بیشتر از میزان آن در زهکش‌های با عمق ۰/۹ متر بود. متوسط غلظت فسفر شیرابه‌های تهیه شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک کرت‌های ۲، ۴، ۶، ۷ و ۱۰ به‌ترتیب به مقدار ۵۹/۴، ۵۲/۲، ۶۵/۱، ۵۴/۱ و ۲۳/۹ درصد بیشتر از مقادیر متناظر برای عمق ۳۰ سانتی‌متری بود که نشان‌دهنده قابلیت جابجایی عمودی فسفر در خاک‌های سنگین شالیزار می‌باشد. برآورد مولفه‌های فسفر ورودی نشان داد که ۴ درصد از کل فسفر ورودی به مزرعه به‌واسطه آبیاری و بارندگی و مابقی از طریق کود شیمیایی تامین شد. بخش اعظم فسفر ورودی بوسیله گیاه جذب شد و تلفات زهکشی و آبشویی در مجموع ۰/۷، ۱/۴، ۱/۲۹، ۱/۰۲ و ۱/۵ درصد از کل فسفر ورودی به تیمارهای Bilevel، $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$، $D_{0.9}L_{30}$ و Control را تشکیل داد. نتایج این تحقیق نشان داد که احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده، در مقایسه با زهکشی سطحی تاثیر منفی کمتری از لحاظ دفع فسفر به‌همراه دارد. در نتیجه، با اعمال سیستم‌های مدیریت آب زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل کشت برنج به‌وسیله سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در کلیه اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده، می‌توان ضمن حفظ مقدار زیادی از مواد غذایی جهت استفاده گیاه، اثرات منفی دفع مواد غذایی بر تغذیه‌گرایی منابع آب سطحی را کاهش داد.

سپاسگزاری

مولفان از دانشگاه تربیت مدرس برای تامین هزینه‌های طرح، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌دلیل در اختیار قرار دادن اراضی برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای و پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان و شرکت آب منطقه‌ای مازندران به‌دلیل مساعدت‌های مالی و آزمایشگاهی، کمال تشکر را دارند.

مراجع

بخت‌فیروز، ع.، ۱۳۹۰. بررسی اثر سامانه‌های زهکشی بر گسیل گاز متان و دی‌اکسید کربن از شالیزارها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۵۰ صفحه.

کیاء، ع.، ۱۳۸۴. زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری. مرکز توسعه منابع انسانی کشاورزی هراز، ۲۲ صفحه.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۸. مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری (نشریه شماره ۲-۴۷۱)، جلد دوم، آبیاری، ۲۰۶ صفحه.

وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۹. آمارنامه کشاورزی (جلد اول): محصولات زراعی، سال زراعی ۸۸-۱۳۸۸.

Alberto, Ma.C.R.,Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumar, A., Padre, A. and Amante, M., 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. Agricultural Water Management, 98: 1417–1430.

Beauchemin, S., Simard, R.R., Bolinder, M.A., Nolin, M.C. and Cluis, D., 2003. Prediction of phosphorus concentration in tile-drainage water from the Montreal lowlands soils. Can. J. Soil Sci., 83: 73–87.

Cho, J.Y., Han, K.W. and Choi, J.K., 2000. Balance of nitrogen and phosphorus in a paddy field of central Korea. Soil Sci. Plant Nutr., 46:343–354.

Dils, R.M., 1999. Phosphorus transport from diffuse agricultural sources: shallow subsurface pathways in grassland soils. Proceedings of IUGG 99 Symposium HS3, Birmingham, IAHS Publ. no. 257.

Eastman, M., Gollamudi, A., Stampfli, N., Madramootoo, C.A. and Sarangi, A., 2010.Comparative evaluation of phosphorus losses from subsurface and naturally drained

Archive of SID

www.SID.ir

Kunimatsu, T., 1986: Management and runoff of nutrients from farming land. Water Management Technol., 27: 713-720.

Shin, D.S. and Kwun, S.K., 1990.Input/output of nitrogen and phosphorus in a paddy field. Korean J. Environ. Agric., 9: 133-141.

Sims, J.T., Simard, R.R. and Joern, B.C., 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. Published in J. Environ. Qual., 27: 277-293.

Undercoffer, J.S., 2009. Monitoring phosphorus transport and soil test phosphorus from two distinct drinking water treatment residual application methods. Master of Science thesis in the Graduate School of the Ohio State University, 91 pp.

Vandersypen, K., A.C.T. Keita, B. Coulibaly, D. Raes and J.-Y.Jamin, 2007.Drainage problems in the rice schemes of the Office du Niger (Mali) in relation to water management. Agricultural Water Management, 89: 153–160.

Waldron, G.J., 2003. Phosphorus transport and variability in two Louisiana coastal plain soils.Master of Science thesis in the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 59 pp.

Yoon, K.S., Cho, J.Y., Choi, J.K. and Son, J.G., 2006a. Water management and N, P losses from paddy fields in Southern Korea. Journal of the American Water Resources Association: 1205-1216.

Yoon, K.S., Choi, J.K., Son, J.G. and Cho, J.Y., 2006b. 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.

agricultural fields in the Pike River watershed of Quebec, Canada. Agricultural Water Management (97): 596–604.

Gardner, C.M.K., Cooper, K.M., and Hughes, S., 2002.Phosphorus in soil and field drainage water in the Thames catchment, UK. Science of Total Environment, 282: 253–262.

Gelbrecht, J., Lengsfeld H., Pothig, R. and Optiz, D., 2005. Temporal and spatial variation of phosphorus input, retention and loss in a small catchment of NE Germany. Journal of Hydrology, 304:151–165.

Guerra, L.C., Bhuiyan, S.I., Tuong, T.P. and Tuong, R., 1998. Producing more rice with less water. SWIM Paper 5. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

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.

Jamieson, A., Madramootoo, C.A. and Enright, P., 2003.Phosphorus losses in surface and subsurface runoff from a snowmelt event on an agricultural field in Quebec.Can.Biosyst. Eng., 45: 1.1–1.7.

Kanwar, R.S., 1998. Impact of agricultural developments on water contamination and environmental sustainability. Water and the Environment: Innovative Issues in Irrigation and Drainage. Edited by Luis S.Pereira and John W.Gowing.Published by E & FN Spon.ISBN 0419237100.

Katoh, M.,Iwata, A., Shaku, I., Nakajima, Y., Matsuya K. and Kimura, M., 2003.Impact of water percolation on nutrient leaching from an irrigated paddy field in Japan. Soil Use and Management, 19: 298-304.

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۷

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and drainage
No. 3, Vol. 6, Fall 2012, p. 215-225

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره ۳، جلد۶، پاییز ۱۳۹۱، ص. ۲۲۵-۲۱۵

Influence of Surface and subsurface Drainage on Phosphorus losses from Paddy Fields in Rice Season

A. Darzi Naftchally [1], S. M. Mirlatifi[2*] , A. Shahnazari[3] , F. Ejlali[4] , M. H. Mahdian[5]

Abstract

Mid-season and end-season drainage are two major water management practices in paddy fields so that, the former increases crop yield and the latter provides more suitable conditions for rice harvest. In this research, the implementation effect of these management practices through surface and subsurface drainage systems on phosphorus losses was evaluated at the 4.5 ha consolidated paddy field of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, at summer of 1390. Drainage treatments were: three conventional subsurface drainage systems including drainage system with drain depth of 0.9 m and drain spacing of 30 m ($D_{0.9}L_{30}$), drain depth of 0.65 m and drain spacing of 30 m ($D_{0.65}L_{30}$), and drain depth of 0.65 m and drain spacing of 15 m ($D_{0.65}L_{15}$); a bi-level subsurface drainagesystem with drain spacing of 15 m and drain depths of 0.65 and 0.9 m as alternate depths (Bilevel), and surface drainage system (Control). Tarom rice cultivar was planted on Tir, 30 and was harvested on Mehr, 18. During rice growing season, the various components of total phosphorus (TP) balance were measured in drainage treatments. The value of TP input to all treatments was 29.4 kg.ha-1, of which 0.007, 0.02, 0.007, 0.003, and 0.147 kg.ha-1 was lost through mid-season and end season drainage in Bilevel, $D_{0.65}L_{15}$, $D_{0.65}L_{30}$, $D_{0.9}L_{30}$, and Control treatments, respectively. The minimum and maximum of total drainage and leaching losses of TP were 0.204 and 0.427 kg ha^{-1} which were occurred in the Bilevel and control treatments, respectively. Based on the results, performing mid-season and end-season drainage through subsurface drainage systems had less environmental impacts on water resources from phosphorus release point of view, compared with surface drainage.

Key words: Phosphorus balance, Drainage, Paddy field, Water management

Archive of SID

1,2- Ph.D. student and Associate professor, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, College of Agriculture, Tarbiat Modares University
(* - Corresponding Author Email: mirlat_m@modares.ac.ir)
3- Assistant professor, Water Engineering Dept., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Assistant professor, College of Agriculture, Payame Noor University
5- Associate professor, Agriculture Research, Education and Extension Organization

www.SID.ir