تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر عملکرد برنج و اجزای آن در اراضی شالیزاری

عبداله درزی[۱*]، سید مجید میرلطیفی، علی شاهنظری، فرید اجلالی و محمدحسین مهدیان

دانشجوی دکترای رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی؛
abdullahdarzi@yahoo.com
دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی؛
m.mirlatifi@gmail.com
استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه مهندسی آب؛
aliponh@yahoo.com
استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور؛
farid.ejlali@yahoo.com
دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛
mahdian.mhossein@gmail.com

چکیده

مدیریت مناسب آب در شالیزارها، مهمترین اقداماتی است که نقش مهمی در میزان سودمندی سایر نهاده‌های تولید در کشت برنج دارد. یک عملیات مهم برای مدیریت آب، احداث سیستم‌های زهکشی می-باشد. در این تحقیق، اثر سیستم‌های مختلف زهکشی شامل سه سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی، زهکشی زیرزمینی دوعمقی و زهکشی سطحی به‌عنوان تیمار کنترل بر عملکرد برنج طارم در مزرعه شالیزاری تجهیز و نوسازی شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بررسی شد. آزمایش‌های لازم در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار انجام شد. در زمان برداشت، برخی شاخص‌های گیاهی از قبیل ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، طول خوشه اصلی، تعداد پنجه، تعداد شاخه‌های جانبی خوشه اصلی، عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اغلب شاخص‌های مورد بررسی در تیمارهای زهکشی زیرزمینی اختلاف معنی‌داری با مقدار متناظر در تیمار کنترل داشت. عملکرد دانه در تیمارهای زهکشی زیرزمینی ۰/۹۲ تا ۱/۶۵ تن در هکتار بیشتر از مقدار متناظر در تیمار زهکشی سطحی بود. بیشترین تعداد پنجه، ارتفاع بوته، عملکرد دانه و عملکرد کاه مربوط به زهکشی دوعمقی و کمترین مقدار پارامترهای فوق مربوط به تیمار زهکشی سطحی بود.

کلمات کلیدی: برنج، زهکشی زیرزمینی دوعمقی، شاخص های گیاهی، مدیریت آب

---

۱. مازندران-شهرستان سوادکوه-پل سفید-دانشگاه پیام نور- کدپستی: ۴۷۸۵۱-۴۱۷۶۸

* دریافت: بهمن، ۱۳۹۰ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۱

مقدمه

برنج غذای اصلی تقریبا نیمی از مردم جهان است که اغلب آنها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند (گوئرا و همکاران، ۱۹۹۸). تقریبا ۷۵ درصد برنج جهان (کارملیتا و همکاران، ۲۰۱۱) از شالیزارهای فاریاب تولید می‌شود که حدود ۵۰ درصد کل شالیزارهای دنیا (کاتو و همکاران، ۲۰۰۳) را تشکیل می‌دهند. وسعت اراضی شالیزاری ایران در حدود ۶۴۰۰۰۰ هکتار می‌باشد (کریمی، ۱۳۸۷) که بیش از ۷۵ درصد آن در دو استان شمالی گیلان و مازندران قرار دارد (جواهردشتی و اصفهانی، ۱۳۸۱). بیشترین سطح زیرکشت برنج کشور در استان مازندران قرار دارد، به‌طوری‌که حدود ۲۱۰ هزار هکتار از ۴۷۰ هزار هکتار سطح زیر کشت (بانک کشاورزی، ۱۳۸۸) مساحت ۲۳۸۳۳ کیلومترمربعی این استان (بانک کشاورزی، ۱۳۸۹)، به شالیزارهای برنج اختصاص دارد.

علی‌رغم اینکه برنج غالبا به‌صورت غرقاب کشت می‌شود، کنترل آب مهمترین عملیات مدیریتی است که نقش تعیین کننده‌ای در میزان سودمندی سایر نهاده‌های تولید (مواد غذایی، آفت‌کش، علف‌کش و ...) در کشت برنج دارد. زهکشی ضعیف خاک نه تنها خسارت زیادی بر گیاه برنج وارد می‌کند، بلکه در طولانی مدت سبب تخریب خاک از طریق افزایش شوری و سدیمی شدن خاک می‌شود (ماسانه-سیزی، ۲۰۰۴). بدون سیستم زهکشی مناسب، امکان زهکشی میان فصل برنج که با هدف ریشه‌دهی و کاهش تعداد پنجه‌دهی غیرمثمر در دوره حداکثر پنجه‌دهی و دفع مواد سمی از قبیل سولفیدها و اسیدهای آلی از ناحیه ریشه انجام می‌شود، وجود ندارد (کیاء، ۱۳۸۴).

از طرف دیگر، به‌دلیل افزایش هزینه‌های تولید و کاهش کمیت و کیفیت برنج تولیدی، مشکلات زهکشی در زمان برداشت خسارت‌های اقتصادی زیادی برای کشاورزان به‌دنبال دارد (وندرسیپن و همکاران، ۲۰۰۷). مدیریت مناسب آب در اراضی شالیزاری مانند زهکشی میان فصل، آبیاری متناوب و تخلیه سیلاب درست قبل از برداشت در توسعه فعالیت ریشه، بهبود کیفیت دانه و قابلیت تردد موثر بوده و سبب کاهش تخلیه گاز متان از اراضی شالیزاری می‌شوند (فوروکاوا و همکاران، ۲۰۰۸).

ازهر و همکاران (۲۰۰۵) اثر پروژه‌های زهکشی زیرزمینی بر عملکرد برخی محصولات را در اراضی فاریاب پاکستان بررسی کردند. مقایسه شرایط قبل و بعد از زهکشی نشان داد که در نتیجه زهکشی عملکرد پنبه، نیشکر، گندم و برنج به ترتیب ۸۰، ۹۴، ۶۷ و ۴۶ درصد افزایش یافت. براساس نتایج یک تحقیق مشابه در کشور هند (ریتزما و همکاران، ۲۰۰۸)، به‌دلیل اجرای سیستم زهکشی در مزرعه، عملکرد برنج ۶۹ درصد، پنبه ۶۴ درصد، نیشکر ۵۴ درصد و گندم ۱۳۶ درصد افزایش یافت. کارتر و کمپ (۱۹۹۴) اثر فواصل مختلف زهکش زیرزمینی شامل ۱۴، ۲۸ و ۳۲ متر بر عملکرد نیشکر را با مقدار آن در اراضی فاقد زهکش مقایسه کردند. بر اساس نتایج این تحقیق، تفاوت معنی‌داری میان عملکرد سه تیمار زهکشی زیرزمینی وجود نداشت، لیکن مقدار آن در تیمارهای زهکشی به‌طور قابل توجهی بزرگتر از مقدار متناظر در تیمار بدون زهکشی بود.

طی تحقیقی، ساتیانارایانا و بونسترا (۲۰۰۷) با مقایسه عملکرد برنج قبل و پس از احداث سیستم زهکشی زیرزمینی در ایالت اندراپرادش هند، دریافتند که زهکش زیرزمینی سبب افزایش قابل توجه عملکرد برنج در کلیه مناطق مورد مطالعه شد. مقدار افزایش محصول در مناطق مختلف، از ۳۰ تا ۱۲۰ درصد متغیر بود. نتایج تحقیق ماتیو و همکاران (۲۰۰۱) در جنوب غرب هند نشان داد که زهکشی زیرزمینی ضمن افزایش عملکرد برنج به مقدار ۱/۳۶ تن در هکتار، سبب شد بیشتر پارامترهای رشد گیاه بویژه عملکرد دانه و وزن هزاردانه در تیمارهای زهکشی زیرزمینی به مقدار قابل توجهی بیشتر از مقادیر متناظر در تیمار فاقد زهکشی زیرزمینی گردند.

در سالهای اخیر، به منظور بهره برداری بهتر از منابع آب و خاک در هزاران هکتار از اراضی شالیزاری شمال کشور، طرح‌های تجهیز و نوسازی انجام شد. با این وجود، به دلیل

عدم قابلیت زهکش‌های سطحی در تخلیه سریع آب از منطقه ریشه، شرایط مناسب برای کشت دوم در اراضی شالیزاری فراهم نشد. با توجه به منابع محدود خاک و اراضی حاصلخیز، لزوم حداکثر استفاده از پتانسیل‌های اقلیمی منطقه، لزوم ایجاد شرایط مناسب برای تنوع کاربری اراضی در دوره زراعی سالانه و مهم‌تر از همه تکمیل طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی و به ثمر رساندن هزینه‌های انجام شده، می‌توان با ایجاد سیستم‌های زهکشی زیرزمینی، علاوه بر ایجاد شرایط مناسب‌تر برای کاشت، داشت و برداشت برنج، امکان کشت محصولاتی غیر از برنج را در فصول مرطوب فراهم نمود. بدون در نظر گرفتن کشت دوم، با توجه به این که برنج بعد از گندم مهمترین منبع غذایی در کشور است، بررسی اثر سیستم‌های مختلف زهکشی بر عملکرد برنج موضوع مهمی است که تاکنون در طرح‌های یکپارچه‌سازی شالیزارهای کشور مورد توجه قرار نگرفته است. در این تحقیق، اثر سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دوعمقی بر عملکرد برنج و مقایسه نتایج حاصله از این سیستم‌ها با عملکرد برنج در شالیزارهای تجهیز و نوسازی شده که فقط دارای سیستم زهکشی سطحی می‌باشند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

بررسی‌های لازم برای انجام این تحقیق در یک مزرعه با مساحتی 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 انجام 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 موجود، متوسط بارندگی ثبت شده از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰، ۴۸۲ میلی‌متر و متوسط دمای هوا در طول دوره مذکور ۱۷/۶ درجه سانتی‌گراد بوده است. بافت خاک لایه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰، ۱۲۰-۹۰، ۱۵۰-۱۲۰،۲۰۰-۱۵۰ خاک کرت‌های ۲، ۴، ۶، ۷ و ۱۰ (شکل ۱)، غالبا از نوع سیلتی رس و از ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متر، رسی است.

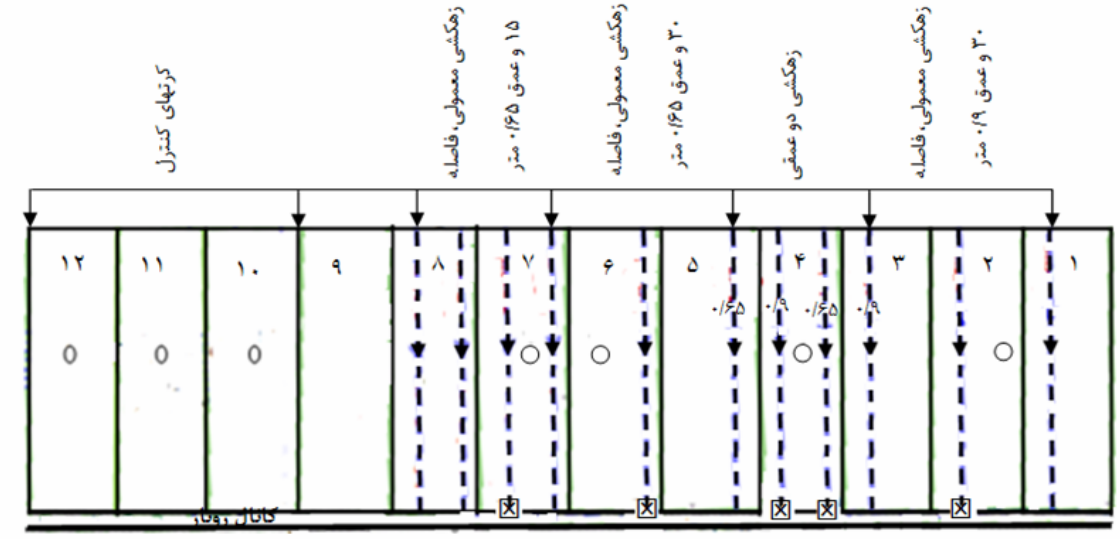
در مزرعه مورد مطالعه، سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از عمق ۰/۹ متر و فاصله ۳۰ متر، عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۱۵ متر و عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۳۰ متر و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دوعمقی متشکل از چهار خط زهکش به فاصله ۱۵ متر و با اعماق ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به‌صورت یک در میان نصب شد. شماتیک مزرعه مورد مطالعه و سیستم‌های مختلف زهکشی در شکل (۱) ارائه شده است. طول کلیه خطوط زهکش، ۱۰۰ متر و جنس لوله‌ها پی‌وی‌سی موجدار با قطر ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشند که با شیب ۰/۲ درصد نصب شد. 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 می‌شود که این کانال نقش زهکش سطحی را برای کرت‌های انتخاب شده به‌عنوان تکرارهای مربوط به تیمار زهکشی سطحی (کرت‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در شکل ۱) انجام می‌دهد. کانال مذکور به عنوان تنها زهکش اراضی مورد مطالعه بود که در زمان اجرای عملیات تجهیز و نوسازی، به عنوان زهکش سطحی حفر شد. عمق سطح ایستابی در زمان زهکشی، در چاهک‌های حفر شده در نقطه میانی فاصله بین دو زهکش زیرزمینی، اندازه‌گیری شد. برای کرت‌های متاثر از زهکش سطحی (کرتهای کنترل)، چاهک‌هایی در وسط کرت حفر شد.

برای ارزیابی اثر سیستم‌های زهکشی بر عملکرد محصول، برنج طارم در اراضی مورد مطالعه کشت شد. آزمایش‌های مربوط به تعیین تاثیر زهکش‌ها بر عملکرد محصول در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام گردید. در کرت‌های دارای سیستم زهکشی زیرزمینی، فاصله بین دو خط زهکش به نوارهایی مساوی به عرض ۲/۵ متر تقسیم شد که در نتیجه آن برای فواصل زهکشی ۱۵ و ۳۰ متر به ترتیب ۳ و ۶ نوار در طرفین هر خط زهکش تا خط وسط بین دو زهکش قرار

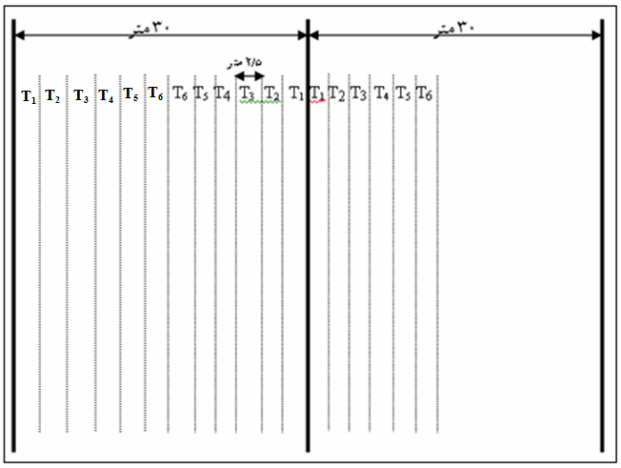
گرفت که بصورت تیمارهای T_1، T_2، T_3 و T_1، T_2، T_3، T_4، T_5 ، T_6 نامگذاری شد. شماتیک این طرح برای فاصله زهکش ۳۰ متر در شکل (۲) ارائه شد. برای سیستم زهکشی دو عمقی، فاصله بین دو خط زهکش به شش نوار مساوی به عرض ۲/۵ متر تقسیم و نوارها به صورت تیمارهای T_1، T_2، T_3، T_4، T_5 و T_6 نامگذاری شد. برای هر سیستم زهکشی زیرزمینی، در ۱۸ نوار مختلف (برای هر نوار، سه تکرار در نظر گرفته شد) برخی شاخص‌های گیاهی مانند ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول خوشه اصلی، طول برگ پرچم، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد شاخه‌های جانبی هر خوشه در مترمربع و عملکرد دانه در مترمربع اندازه‌گیری شد. شاخص‌های مذکور در منطقه‌ای به مساحت یک مترمربع در هر یک از کرت‌های متاثر از زهکش سطحی اندازه‌گیری شد.

در طول فصل کشت، دوبار زهکشی انجام شد. اولین بار ۲۵ روز پس از نشا برای انجام زهکشی میان‌فصل، آبیاری در کلیه تیمارها قطع و با برداشتن درپوش لوله‌های زهکش امکان تخلیه زه‌آب فراهم شد. این مرحله از زهکشی تا ظهور ترک‌های کوچک سطحی (به مدت یک هفته) ادامه یافت و به‌دنبال ظاهر شدن ترک‌های مذکور، مجددا عملیات آبیاری در کلیه تیمارها آغاز شد. برای انجام زهکشی پایان فصل، دو هفته قبل از برداشت، آبیاری در کلیه تیمارها قطع و زهکشی تا زمان برداشت ادامه یافت. در طول مدت زهکشی میان فصل، عمق سطح ایستابی در کلیه چاهک‌های مشاهداتی بصورت روزانه اندازه‌گیری شد.

داده‌های به دست آمده در این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام و ضرایب همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری شده تعیین شد.



شکل ۱- آرایش سیستم‌های زهکشی در مزرعه آزمایشی (شماره‌های ۱ تا ۱۲ شماره کرت، ← ـ خطوط زهکش زیرزمینی، ☒ محل اندازه‌گیری دبی زهکش و O موقعیت حفر چاهک‌های مشاهده‌ای می‌باشد)



شکل ۲- شماتیک طرح آزمایشی برای سیستم زهکشی زیرزمینی با فاصله ۳۰ متر

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

سیستم‌های زهکشی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشتند (جدول ۱). کمترین و بیشترین ارتفاع بوته برابر ۱۳۴/۳۹ و ۱۵۸/۷۸ سانتی‌متر بود که به‌ترتیب مربوط به تیمار کنترل و سیستم زهکشی دوعمقی می‌باشد(جدول ۲). ارتفاع بوته در کلیه تیمارهای زهکشی زیرزمینی اختلاف معنی‌داری با ارتفاع بوته در تیمار کنترل داشت، لیکن اختلاف ارتفاع بوته میان تیمارهای زهکشی زیرزمینی معنی‌دار نبود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و تعداد پنجه (r=0.41)، ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی خوشه در مترمربع (r=0.36)، ارتفاع بوته و طول خوشه اصلی (r=0.47) و ارتفاع بوته و عملکرد کاه (r=0.43) وجود داشت (جدول ۳). اوسو- سکر (۲۰۰۵) گزارش کرد که ارتفاع بوته برنج در زمان برداشت در تیمار با عمق کنترل سطح ایستابی ۳۰ سانتی‌متر بیشتر از مقدار متناظر در تیمار با عمق کنترل ۱۵ سانتی‌متر و مقدار مربوط به این تیمار بیشتر از تیمار غرقاب بوده است. براساس نتایج تحقیق، ماتیو و همکاران (۲۰۰۱) ارتفاع بوته در تیمارهای زهکشی زیرزمینی با فواصل ۱۵ و ۳۰ متر اختلاف معنی‌داری با ارتفاع بوته در اراضی فاقد زهکشی زیرزمینی داشت.

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر سیستم های زهکشی روی ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، طول خوشه اصلی، عملکرد کاه و بیولوژیک برنج.

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول برگ پرچم	طول خوشه اصلی	عملکرد کاه	عملکرد بیولوژیک
بلوک	۱۷	۱۱۴/۸۴^{ns}	۲۱/۴۱^{ns}	۶/۵۲^{ns}	۶۲۴۳۱۴/۹۷*	۱۱۶۱۲۶۰/۸۱^{ns}
تیمار	۴	۳۶۴/۲۷**	۳۶/۶۴^{ns}	۱۶/۲۳**	۸۲۰۹۴۷۱/۸۱**	۲۰۰۵۵۲۴۸/۱۶**
خطا	۴۴	۹۴/۷۸	۲۸/۵۸	۴/۰۷	۲۹۲۱۸۶/۸۰	۷۵۰۲۷۲/۶
ضریب تغییرات (٪)		۶/۲	۱۶/۲۶	۸/۳۵	۸/۸۶	۸/۸۳

ns، غیرمعنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. *، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. **، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۲- اثر سیستم‌های زهکشی روی میانگین حداقل مربعات ± خطای استاندارد ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، طول خوشه اصلی، عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیک برنج

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	طول خوشه اصلی (سانتی‌متر)	عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
Bilevel	۱۵۸/۷۸±۲/۲۹^{a}	۳۱/۶۷±۱/۲۶^{a}	۲۴/۱۷±۰/۴۸^{ab}	۶۷۸۸/۳۳±۱۲۷/۴۱^{a}	۱۱۰۲۸/۸۹±۲۰۴/۱۶^{a}
$D_{65}L_{15}$	۱۵۸/۲۴±۳/۳۱^{a}	۳۱/۱۳±۱/۹۲^{a}	۲۴/۸۰±۰/۷۳^{ab}	۶۱۸۳/۴۶±۱۹۴/۶۱^{b}	۱۰۱۰۳/۶۷±۳۱۱/۸۶^{b}
$D_{65}L_{30}$	۱۵۸/۱۷±۲/۲۹^{a}	۳۴±۱/۲۶^{a}	۲۵/۵۰±۰/۴۸^{a}	۶۰۸۴/۷۲±۱۲۷/۴۱^{b}	۹۶۰۰/۲۲±۲۰۴/۱۶^{b}
$D_{90}L_{30}$	۱۵۸/۶۷±۲/۲۹^{a}	۳۴/۱۷±۱/۲۶^{a}	۲۲/۹۴±۰/۴۸^{bc}	۶۱۱۷/۷۸±۱۲۷/۴۱^{b}	۱۰۰۰۹/۴۴±۲۰۴/۱۶^{b}
control	۱۳۴/۳۹±۶/۲۱^{b}	۲۸/۴۱±۳/۴۱^{a}	۲۳/۱۰±۱/۲۹^{c}	۳۲۷۲/۴۱±۳۴۵/۰۲^{c}	۵۸۶۲/۳۹±۵۵۲/۸۷^{c}

در جدول ۲، Bilevel سیستم زهکشی دو عمقی، $D_{65}L_{15}$، سیستم زهکشی زیرزمینی با عمق زهکش ۰/۶۵ متر و فاصله زهکش ۱۵ متر، $D_{65}L_{30}$ سیستم زهکشی زیرزمینی با عمق زهکش ۰/۶۵ متر و فاصله زهکش ۳۰ متر، $D_{90}L_{30}$ سیستم زهکشی زیرزمینی با عمق زهکش ۰/۹ متر و فاصله زهکش ۳۰ متر و control سیستم زهکشی سطحی است. میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

طول برگ پرچم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای زهکشی اثر معنی‌داری بر طول برگ پرچم نداشتند (جدول ۱). اختلاف معنی‌داری بین طول برگ پرچم در تیمارهای مختلف وجود نداشت. کمترین و بیشترین مقدار طول برگ پرچم برابر ۲۸/۴۱ و ۳۴/۱۷ سانتی‌متر بود (جدول ۲) که به ترتیب مربوط به تیمار کنترل (زهکش سطحی) و سیستم زهکشی زیرزمینی با عمق ۰/۹ متر و فاصله ۳۰ متر می‌باشد.

طول خوشه اصلی

طول خوشه اصلی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای زهکشی قرار گرفت (جدول ۱). کمترین طول خوشه برابر ۲۲/۹۴ سانتی‌متر و بیشترین آن برابر ۲۵/۵ سانتی‌متر بود (جدول ۲) که به‌ترتیب مربوط به سیستم زهکشی با عمق ۰/۹ و فاصله ۳۰ متر وسیستم زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۳۰ متر می‌باشند. اختلاف طول خوشه اصلی در زهکشی دو عمقی و تیمارهای زهکشی دارای عمق ۰/۶۵ متر با تیمار زهکش سطحی معنی‌دار بود ولی این اختلاف برای تیمار زهکش با عمق ۰/۹ متر با زهکش سطحی معنی‌دار نبود.

عملکرد کاه

تیمارهای زهکشی اثر معنی‌داری بر عملکرد کاه داشتند (جدول ۱). کمترین عملکرد کاه برابر ۳۲۷۲ و بیشترین مقدار آن برابر ۶۷۸۸ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب مربوط به تیمار کنترل و سیستم زهکشی دوعمقی است. لازم به ذکر است که کمترین و بیشترین ارتفاع بوته نیز مربوط به دو تیمار مذکور بوده است. همچنین، عملکرد کاه در کلیه تیمارهای زهکشی زیرزمینی اختلاف معنی‌داری با مقدار متناظر در تیمار کنترل داشت (جدول ۲). علاوه بر این، اختلاف عملکرد کاه در تیمار دو عمقی با سایر تیمارهای زهکشی زیرزمینی نیز معنی‌دار بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد کاه و عملکرد دانه ($r=0.42$)، تعداد خوشه ($r=0.50$) و تعداد شاخه‌های جانبی خوشه در مترمربع ($r=0.46$) وجود داشت (جدول ۳).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک کل قسمت هوایی گیاه را تشکیل می‌دهد. براساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر تیمارهای زهکشی قرار گرفت (جدول ۱). تیمار کنترل و تیمار زهکشی دوعمقی کمترین و بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ($r=0.82$)، تعداد خوشه ($r=0.61$)، تعداد شاخه‌های جانبی خوشه در مترمربع ($r=0.55$) و عملکرد کاه ($r=0.86$) وجود داشت (جدول ۳).

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری شده در برنج (n = ۶۶).

صفات	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)	(۱۰)	(۱۱)
عملکرد دانه (شلتوک) (۱)	۱										
تعداد پنجه (۲)	-۰/۰۶	۱									
تعداد خوشه (۳)	۰/۵۲**	۰/۰۴	۱								
تعداد شاخه‌های جانبی خوشه در مترمربع (۴)	۰/۴۷**	۰/۰۷	۰/۹۱**	۱							
وزن هزار دانه (۵)	-۰/۰۸	-۰/۰۰۱	-۰/۲۹*	-۰/۲۹*	۱						
شاخص برداشت (۶)	۰/۷۱**	-۰/۳۱*	۰/۲۱	۰/۲۱	-۰/۰۹	۱					
ارتفاع بوته (۷)	۰/۰۵	۰/۴۱**	۰/۲۹*	۰/۳۶**	-۰/۱۱	-۰/۲۹*	۱				
طول برگ پرچم (۸)	-۰/۱۳	۰/۲۴	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۲۲	۰/۳۶**	۱			
طول خوشه اصلی (۹)	-۰/۲۲	۰/۲۵*	-۰/۱۴	-۰/۰۵	۰/۲۶*	-۰/۳۱*	۰/۴۷**	۰/۲۲	۱		
عملکرد کاه (۱۰)	۰/۴۲**	۰/۲۹*	۰/۵۰**	۰/۴۶**	-۰/۰۷	-۰/۳۲**	۰/۴۳**	۰/۱	۰/۰۷	۱	
عملکرد بیولوژیک (۱۱)	۰/۸۲**	۰/۱۵	۰/۶۱**	۰/۵۵**	-۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۳۰*	-۰/۰۱	-۰/۰۸	۰/۸۶**	۱

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد. **معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

عملکرد دانه (شلتوک) و اجزای آن

تیمارهای مختلف زهکشی به‌طور معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای آن به جز تعداد دانه در خوشه تاثیر داشتند (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار زهکشی دو عمقی (۴۲۴۰/۵۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار کنترل (۲۵۸۹/۹۸) بود (جدول ۵). همچنین، عملکرد دانه در کلیه تیمارهای زهکشی زیرزمینی اختلاف معنی‌داری با مقدار متناظر در تیمار کنترل یا زهکش سطحی داشت. به‌طور کلی، عملکرد دانه در تیمارهای زهکشی دوعمقی، زهکشی با عمق ۰/۹ متر و فاصله ۳۰ متر، زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۳۰ متر و زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۱۵ متر به ترتیب ۶۴، ۵۰، ۳۶ و ۴۷ درصد بیشتر از عملکرد دانه در تیمار زهکشی سطحی بود.

عملکرد نهایی شلتوک در محصول برنج، عموماً با استفاده از اجزای عملکرد که شامل تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه است، تا حدودی قابل استفاده و پیشگویی است. عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد خوشه و تعداد شاخه‌های جانبی خوشه در مترمربع نشان داد (جدول ۳). تعداد پنجه در کلیه تیمارهای زهکشی زیرزمینی اختلاف معنی‌داری با مقدار آن در تیمار کنترل داشت. به نظر می‌رسد که بهتر بودن شاخص‌های گیاهی و عملکرد در تیمارهای زهکشی زیرزمینی نسبت به زهکشی سطحی در نتیجه شرایط تهویه بهتر در کرتهای تحت پوشش سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در زمان زهکشی میان فصل باشد. بررسی تغییرات عمق سطح ایستابی در چاهک‌های مشاهداتی واقع در نقطه میانی فاصله بین زهکش‌ها در زمان زهکشی میان فصل نشان دهنده افت سریع‌تر سطح ایستابی در کرت‌های دارای زهکش زیرزمینی در مقایسه با کرت‌های متاثر از زهکش سطحی است. در جدول (۶)، مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده پس از قطع آبیاری (۲۵ روز پس از کشت) ارائه شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هفت روز پس از قطع آبیاری، عمق سطح ایستابی در تیمار دوعمقی به ۸۴ سانتی‌متر، در تیمار با عمق ۰/۶۵ و فاصله ۱۵ متر به ۵۰ سانتی‌متر، در تیمار با عمق ۰/۹ و فاصله ۳۰ متر به ۴۰ سانتی‌متر و در تیمار با عمق ۰/۶۵ و فاصله ۳۰ متر به ۳۹ سانتی‌متر رسید، درحالی‌که متوسط عمق سطح ایستابی در وسط کرت‌های متاثر از زهکش سطحی به نه سانتی‌متر

رسیده بود. افت سطح ایستابی در تیمارهای زهکشی زیرزمینی ضمن کمک به دفع مواد سمی از قبیل سولفیدها و اسیدهای آلی از ناحیه ریشه گیاه، اکسیژن کافی را در اختیار ریشه برنج قرار داده و ریشه‌زنی و در نتیجه جذب مواد غذایی را بهبود خواهد داد.

ماتیو و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کرده‌اند که مقدار عملکرد در تیمارهای زهکشی زیرزمینی با فواصل زهکش ۱۵ و ۳۰ متر بیشتر از مقدار متناظر در تیمار زهکش سطحی بود. بر اساس گزارش آنها، عملکرد برنج در تیمار زهکشی زیرزمینی با فاصله ۳۰ متر، ۱/۳۶ تن در هکتار بیشتر از عملکرد برنج در تیمار زهکش سطحی بود. اوسو-سکر (۲۰۰۵) با مقایسه تعداد پنجه در دو تیمار مربوط به کنترل، سطح ایستابی در اعماق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر، گزارش نمود که تعداد پنجه در تیمار با عمق ۳۰ سانتی‌متر بیشتر از مقدار متناظر در تیمار با عمق ۱۵ سانتی‌متر است. مقدار عملکرد با افزایش تعداد پنجه‌های بارور افزایش می‌یابد زیرا با افزایش تعداد پنجه در هر کپه، جذب مواد غذایی افزایش و در نهایت عملکرد زیاد می‌شود.

همچنین، کاتسورا و ناکادی (۲۰۱۱) با مقایسه عملکرد برنج در دو تیمار غرقاب و کشت هوازی با کنترل سطح ایستابی در عمق ۲۰ سانتی‌متر، گزارش کردند که در حالت دوم به‌دلیل تهویه مناسب‌تر، عملکرد برنج اختلاف معنی‌داری نسبت به حالت اول داشت.

جدول ۴- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس اثر سیستم‌های زهکشی روی عملکرد دانه (شلتوک) و اجزای آن در برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	تعداد پنجه	تعداد خوشه	تعداد شاخه‌های جانبی خوشه اصلی	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت
بلوک	۱۷	۳۷۲۳۸۵/۵۳^{ns}	۶/۳۷^{ns}	۱۴۱۶/۳۲^{ns}	۱۴۶۵۵۴/۸۲^{ns}	۲۱۹/۷۱^{ns}	۱/۰۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
تیمار	۴	۲۹۳۳۷۴۹/۵۵**	۳۴/۴۹*	۷۹۸۹/۴۹**	۵۷۴۶۹۰/۶۱**	۲۳۸/۵۵^{ns}	۲۱/۲۲**	۰/۰۰۳^{ns}
خطا	۴۴	۴۶۶۹۲۲/۳۰	۱۰/۵۵	۷۷۰/۸۳	۹۸۹۴۵/۶۲	۱۷۲/۴۹	۱/۰۳	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۴۴	۱۹/۷۱	۱۲/۶۲	۱۵/۲۲	۱۸/۸۵	۴/۱۶	۱۱/۱۹

ns، غیرمعنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. *، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. **، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۵- اثر سیستم های زهکشی روی میانگین حداقل مربعات ± خطای استاندارد عملکرد دانه (شلتوک) و اجزای آن در برنج.

سیستم های زهکشی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تعداد پنجه در کپه	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد شاخه‌های جانبی خوشه اصلی در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	وزن هزار دانه (گرم)	شاخص برداشت
Bilevel	۴۲۴۰/۵۶±۱۶۱^{a}	۱۷±۰/۷۷^{a}	۲۳۷/۸۹±۶/۵۴^{a}	۲۱۹۸/۵±۷۴^{a}	۷۶/۲۴±۳/۰۹^{a}	۲۴/۱۱±۰/۲۴^{b}	۰/۳۸±۰/۰۱^{ab}
D65L15	۳۹۲۱/۲۰±۲۴۶^{ab}	۱۶/۸۹±۱/۱۷^{a}	۲۳۵/۶۹±۱۰^{a}	۱۹۴۲/۲۴±۱۱۳^{ab}	۷۰/۶۳±۴/۷۳^{ab}	۲۵/۹۳±۰/۳۷^{a}	۰/۳۹±۰/۰۱^{ab}
D65L30	۳۵۱۵/۰۵±۱۶۱^{bc}	۱۶/۶۵±۰/۷۷^{a}	۲۰۴/۹۴±۶/۵۴^{b}	۱۹۴۷/۸۳±۷۴^{ab}	۶۶/۴۷±۳/۰۹^{ab}	۲۵/۸۳±۰/۲۴^{a}	۰/۳۶±۰/۰۱^{ab}
D90L30	۳۸۹۱/۶۷±۱۶۱^{ab}	۱۶/۲۲±۰/۷۷^{a}	۲۴۰/۲۲±۶/۵۴^{a}	۲۲۵۵/۵±۷۴^{a}	۷۰/۰۹±۳/۰۹^{ab}	۲۳/۲۲±۰/۲۴^{bc}	۰/۳۹±۰/۰۱^{ab}
control	۲۵۸۹/۹۸±۴۳۶^{d}	۹/۲۸±۲/۰۷^{b}	۱۵۵/۴۴±۱۷/۷۲^{c}	۱۴۹۹/۵۲±۲۰۰^{c}	۷۰/۹۲±۸/۳۸^{ab}	۲۳/۲۵±۰/۶۵^{c}	۰/۴۲±۰/۰۳^{a}

در جدول (۵) میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد توسط آزمون LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

شاخص برداشت

شاخص برداشت، نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک بالای سطح زمین می‌باشد. مقدار این صفت معمولاً بین ۰/۱۷ و ۰/۵۶ تغییر می‌کند (یانگ و ژانگ، ۲۰۱۰). تیمارهای زهکشی اثر معنی‌داری روی این صفت نداشتند (جدول ۴). مقدار این شاخص از ۰/۳۶ در تیمار زهکشی با

عمق ۰/۶۵ و فاصله ۳۰ متر تا ۰/۴۲ در تیمار کنترل متغیر بود (جدول ۵). از بین متغیرهای مختلف مورد بررسی، شاخص برداشت بعد از عملکرد بیولوژیک بیشترین همبستگی (r=0.71) را با عملکرد دانه داشت.

جدول ۶- مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در چاهک‌های مشاهده‌ای

سیستم های زهکشی	روز پس از قطع آبیاری و باز کردن دریچه زهکش‌ها						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
Bilevel	۰	۱۳	۳۱	۵۴	۷۰	۸۰	۸۴
D65L15	۰	۸	۲۱	۳۰	۳۷	۴۳	۴۸
D65L30	۰	۳	۹	۱۸	۲۶	۳۲	۳۹
D90L30	۰	۵	۱۴	۲۳	۲۹	۳۵	۴۰
control	-	-	-	-	-	-	۹

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثر سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از عمق ۰/۹ و فاصله ۳۰ متر، عمق ۰/۶۵ و فاصله ۱۵ متر و عمق ۰/۶۵ و فاصله ۳۰ متر و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دوعمقی متشکل از چهار خط زهکش به فاصله ۱۵ متر با اعماق ۰/۶۵ و ۰/۹ متر به صورت یک در میان، با اثر سیستم زهکشی سطحی بر عملکرد برنج در اراضی شالیزاری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بسیاری از شاخص‌های مورد بررسی بویژه ارتفاع بوته، تعداد پنجه در کپه، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد خوشه‌های جانبی خوشه اصلی در مترمربع، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در کرت‌های دارای سیستم زهکشی زیرزمینی به مقدار قابل توجهی بیشتر از مقادیر متناظر در تیمار زهکش سطحی بودند. بهبود وضعیت تهویه و تخلیه سریع‌تر آب اضافی خاک در زمان زهکشی میان فصل سبب افزایش قابل توجه عملکرد برنج در تیمارهای زهکشی زیرزمینی شد. به‌طور کلی، عملکرد دانه در تیمارهای زهکشی دوعمقی، زهکشی با عمق ۰/۹ متر و فاصله ۳۰ متر، زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۳۰ متر و زهکشی با عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۱۵ متر به ترتیب ۶۴، ۵۰، ۳۶ و ۴۷ درصد بیشتر از عملکرد دانه در تیمار زهکشی سطحی بود. از میان سیستم‌های مختلف مورد بررسی، سیستم زهکشی دو عمقی، به دلیل کنترل سریعتر عمق سطح ایستابی در زمان زهکشی میان فصل، بهترین نتایج را در مزرعه مورد مطالعه حاصل نمود. با توجه به نتایج این تحقیق، بهبود وضعیت زهکشی اراضی شالیزاری، با توجه به وسعت زیاد این اراضی در شمال کشور، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار اساسی در راستای افزایش تولید برنج و دستیابی به خودکفایی در این امر، مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

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

فهرست منابع

1. Agricultural Bank. 1388. A summary of Mazandaran weather, climate, and water resources condition, 10 pp.
2. Agricultural Bank. 1389. The status of agricultural sector in Mazandaran Province, 41 pp.

3. Azhar, A. H., M. M. Alam, and M., Rafiq. 2005. Agricultural impact assessment of subsurface drainage projects in Pakistan– crop yield analysis. Pakistan Journal of Water Resources, 9(1): 1-7.
4. Carmelita, Ma., R., Albertoa, R., Wassmanna, T., Hiranob, A., Miyatac, R., Hatanob, A., Kumara, A. Padrea and M., Amante. 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. Agricultural Water Management, (98): 1417–1430.
5. Carter, C. E. and C. R., Camp. 1994. Drain spacing effects on water table control and sugarcane yields. Transactions of the ASAE, 37(5): 1509-1513.
6. Furukawa, Y., Y. Shiratori and K., Inubushi. 2008. Depression of methane production potential in paddy soils by subsurface drainage systems. Soil Science and Plant Nutrition, 54:950–959.
7. Guerra, L.C., S. I., Bhuiyan, T. P. Tuong, and R., Tuong. 1998. Producing more rice with less water. SWIM Paper 5. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
8. Javaherdashti, M. and M. Esfahani. 1381. Rainfed rice. Agric. Sci. publication, 128 Pp.
9. Karimi, V. 1387. Irrigation management in puddling period of paddy fields. Proceeding of 2nd conference on improvement strategy of surface irrigation systems.
10. Katoh, M., A., Iwata, I., Shaku, Y., Nakajima, K. Matsuya and M., Kimura. 2003. Impact of water percolation on nutrient leaching from an irrigated paddy field in Japan. Soil Use and Management, (19): 298-304.
11. Katsura, K. and Y., Nakaide. 2011. Factors that determine grain weight in rice under high-yielding aerobic culture: The importance of husk size. Field Crops Research, (123): 266–272.
12. Kia, A. 1384. Subsurface drainage in paddy fields. Haraz Human- Agricultural Resources Development Center, Pp: 22.
13. 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.
14. 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.
15. Mathew, E.K., R. K. Panda, and M., Nair. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. Agricultural Water Management, 47: 191-209.
16. Ritzema, H.P., T. V., Satyanarayana, S. Raman, and J., Boonstra. 2008. Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers' fields. Agricultural Water Management, 95 (3): 179-189.
17. Satyanarayana, T. V. and J., Boonstra. 2007. Subsurface drainage pilot area experiences in three irrigated project commands of Andhra Pradesh in India. Irrig. and Drain. 56: 245–252.
18. 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.
19. Yang, J. and J., Zhang. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. Journal of Experimental Botany, 61: 3177-3189.