

## ارزیابی عملکرد محیط زیستی زهکشی لانه موشی در شالیزارها

کسری آهیخته<sup>۱</sup>، مریم نوابیان<sup>۲\*</sup>، محمدحسن بیگلویی<sup>۳</sup>

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲- نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران و عضو وابسته پژوهشی گروه مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان.

۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲

### چکیده

ویژگی های خاک و نوع زهکشی از جمله عوامل مؤثر بر کیفیت زهاب هستند. زهکشی لانه موشی به عنوان یک روش زهکشی ارزان قیمت در خاک های با بافت سنگین مانند شالیزارها پیشنهاد شده است. این پژوهش، با هدف ارزیابی عملکرد محیط زیستی سامانه زهکشی لانه موشی برای زهکشی میان فصل و پایان فصل برنج در شالیزارها اجرا شده است. براین اساس، آزمایشی به صورت کرت های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گیلان در شهر رشت به اجرا درآمد. عامل اصلی، زهکشی در دو سطح یکی سامانه زهکشی لانه موشی سنتی (بدون گراول) و دیگری سامانه زهکشی لانه موشی با گراول و عامل فرعی، مدیریت آبیاری در دو سطح یکی غرقاب دائم و دیگری تناوبی اجرا شد. زهکشی میان فصل و پایان فصل به ترتیب در مرحله پنجه زنی و برداشت محصول اجرا شد. در این پژوهش، سطح ایستابی و پارامترهای کیفی زهاب شامل اسیدیته، هدایت الکتریکی، نیترات، نیتريت، فسفات، سولفات، کلراید، کل جامدات معلق و انحلال پذیر، مقادیر سدیم، کلسیم، منیزیم و آمونیوم پایش شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار در میانگین اسیدیته و نسبت جذب سدیم به ترتیب ۶/۹۹ و ۴/۶۵ میلی اکی والان بر لیتر در میان فصل برای سامانه زهکشی لانه موشی با گراول و آبیاری غرقاب دائم است. بیشترین غلظت آمونیوم و نیترات برای زهکشی میان فصل به ترتیب با ۲۰ و ۲۱/۰ میلی گرم بر لیتر و بیشترین میانگین هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول برای زهکشی پایان فصل به ترتیب ۳۸۴۵ میکروزیمنس بر سانتی متر و ۲۴۷۵ میلی گرم بر لیتر در سامانه زهکشی لانه موشی سنتی و آبیاری غرقاب دائم مشاهده شد. نتایج تجزیه آماری نشان از معنی دار نبودن تیمارهای مورد بررسی برای مقادیر هدایت الکتریکی و نیتريت زهاب داشت. نتایج نشان داد متوسط مقادیر هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، نسبت جذب سدیم، سدیم، آمونیوم، فسفات، سولفات و کلراید زهاب برای میان فصل و پایان فصل زهکشی در سامانه زهکشی لانه موشی با گراول، نسبت به سامانه سنتی، کمتر است اگرچه سامانه زهکشی لانه موشی سنتی با تفاوت ۹ درصد در کنترل سطح ایستابی موفق تر عمل کرد. از دیدگاه محیط زیستی، زهکشی لانه موشی با گراول قابل توصیه است.

**واژه های کلیدی:** بافت خاک سنگین، سطح ایستابی، زهکشی میان فصل، زهکشی پایان فصل، کیفیت زهاب.

### مقدمه

است. با توجه به درصد بالای رس در خاک شالیزارها، زهکشی زیرزمینی برای بهبود مکانیزاسیون در برداشت و افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول برنج اهمیت دارد (Amin Salehi et al., 2017; Darzi-Naftchali and )

کنترل مؤثر آب در شالیزار، جلوگیری از مشکلات غرقابی و ایجاد شرایط بهینه برای رشد محصولات کشاورزی با مدیریت هم زمان و صحیح آبیاری و زهکشی امکان پذیر

دارد و بر عملکرد محصول سویا تاثیرگذار است. مالکویین (Mulqueen, 1985)، گزارش کرد زهکش لانه‌موشی با گراول با طول عمر ده سال یا بیشتر جایگزین مناسبی برای زهکش لانه‌موشی سنتی است و علاوه بر جلوگیری از ریزش و مسدود شدن تونل زهکش در خاک‌های ناپایدار، امکان خروج زهاب با سرعت مناسب را دارد. فلیپوویک و همکاران (Filipović et al., 2014) حرکت آب را به سمت سامانه‌های زهکشی زیرزمینی لوله‌ای، لوله‌ای حفر شده در ترانشه گراول و لانه‌موشی در ترکیب با لوله زیرزمینی نصب شده در ترانشه گراول را در خاک با بافت رسی شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند زهکش لانه‌موشی در ترکیب با ترانشه گراول نسبت به دو سامانه دیگر کارآمدتر است به طوری که شدت زهکشی بیشتری دارد و رواناب سطحی را به میزان ۷۵ درصد کاهش می‌دهد. توهی و همکاران (Tuohy et al., 2016)، با مقایسه اثربخشی زهکش لانه‌موشی سنتی با زهکش لانه‌موشی با گراول، دوازده رویداد بارندگی را در دوره یک ساله در مرتعی در جنوب ایرلند بررسی کردند. این بررسی در بافت خاک لومرسی با چهار تیمار زهکشی بود شامل بدون زهکش، زهکش لانه‌موشی نصب شده در ژانویه ۲۰۱۱ با فاصله و عمق نصب ۱۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری، زهکش لانه‌موشی نصب شده در ژوئیه ۲۰۱۱ با فاصله و عمق نصب ۱۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر و زهکش لانه‌موشی با گراول با فاصله و عمق نصب ۱۲۰ و ۵۵ سانتی‌متر. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول زمان واکنش کوتاه‌تری به بارندگی دارد و به دلیل جریان زهکش قوی و پایدار حجم آب بیشتری را نسبت به زهکش لانه‌موشی سنتی تخلیه می‌کند. لازم است گفته شود که عمق زهکش لانه‌موشی با گراول ۱۵

(Ritzema, 2018). توسعه کشت دوم در شالیزارها نیازمند زهکشی زیرزمینی است تا با تخلیه آب مازاد از نیمرخ خاک، شرایط مناسب برای ریشه و در نتیجه رشد گیاه فراهم آید. به دلیل هزینه اولیه زیاد برای احداث زهکش زیرزمینی (لوله‌ای)، زهکش لانه‌موشی جایگزین مناسب و باصرفه‌تری در خاک‌های رسی (حداقل ۳۰ درصد رس) است (Dhakad et al., 2017; Vlotman et al., 2020). زهکش لانه‌موشی به‌عنوان سامانه زهکش زیرسطحی (کم عمق)، تونل دایره‌ای و بدون پوشش در زیر خاک است که عملکردی مشابه با زهکش زیرزمینی دارد. تونل با استفاده از گاوآهن<sup>۱</sup> متصل به پایه استوانه‌ای که در انتهای آن یک منبسط‌کننده<sup>۲</sup> قرار دارد، به وسیله تراکتور در زمین ایجاد می‌شود (Nada et al., 2014; Dhakad et al., 2023). هدف اصلی زهکش لانه‌موشی، مدیریت و بهبود شرایط خاک با حذف آب اضافی از سطح خاک است که با احداث در عمق بحرانی و عبور آب از درز و ترک ایجاد شده در خاک، ایجاد می‌شود (Vlotman et al., 2020; Nada et al., 2023). ابعاد زهکش لانه‌موشی بسته به عواملی مانند نوع خاک، توپوگرافی مزرعه، نیازهای زهکشی و تجربیات محلی متفاوت است. عمق، فاصله و طول متداول نصب زهکش لانه‌موشی به ترتیب ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، ۲۰۰ تا ۳۵۰ سانتی‌متر و ۲۰ تا ۱۰۰ متر پیشنهاد شده است (Dhakad et al., 2017; Cavelaars et al., 1994). طول عمر زهکش لانه‌موشی به عوامل مختلفی بستگی دارد و در صورت رعایت شرایط مناسب نصب، پنج سال یا بیشتر (تا ده سال) گزارش شده است (Tuohy et al., 2015; Mulqueen, 1985). دکاد و همکاران (Dhakad et al., 2014b) گزارش کردند که عملکرد زهکش لانه‌موشی تحت تأثیر فاصله و عمق قرار

کلزا بررسی کردند و نشان دادند در زهکشی میان فصل و پایان فصل کشت برنج کمترین میزان سدیم، کلراید و سولفات خروجی مربوط بوده است به تیمار زهکشی زیرزمینی با عمق نصب ۹۰ سانتی‌متری و فاصله زهکش ۳۰ متر با پوشش معدنی. در نتیجه‌گیری کلی گفته شده است با افزایش فاصله و عمق زهکش، میزان خروج املاح سدیم، کلراید و سولفات از زهکش‌ها کاهش می‌یابد. علی‌بخشی و همکاران (Alibakhshi, et al. 2013)، با پژوهشی در کشت کلزا در تیمارهای ذکر شده در مزرعه مورد استفاده در پژوهش جعفری تلوکلایی و همکاران (Jafari Talukolaee, et al. 2015) نشان دادند که غلظت نیترات زهاب با افزایش عمق و فاصله زهکش، به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. امین‌صالحی و همکاران (Amin Salehi et al., 2017) در یک مطالعه لایسیمیتری، اثر زهکشی زیرزمینی را بر غلظت نیترات و حجم زهاب در زهکشی میان فصل و پایان فصل برنج ارزیابی و کردند و گزارش دادند با افزایش عمق زهکش از ۴۰ به ۶۰ سانتی‌متر، بار نیترات، میانگین غلظت نیترات و حجم زهاب به‌ترتیب حدود ۱۸، ۱۱ و ۴ درصد افزایش می‌یابد. محمدپور و نوابیان (Mohamadpour, F. & Navabian, M. 2019) با بررسی تاثیر زهکشی زیرزمینی نصب شده در ترانشه‌شن بر غلظت کل جامدات محلول، نیترات و آمونیوم رهاب در خاک با بافت سنگین در زهکشی میان و پایان فصل برنج نشان دادند غلظت نیترات و آمونیوم در زهاب پایان فصل نسبت به زهاب میان فصل به‌ترتیب ۳۹ و ۱۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. میانگین هدایت الکتریکی زهاب در میان فصل ۵۱ درصد بیشتر از هدایت الکتریکی زهاب پایان فصل به دست آمده که متاثر از کیفیت آب آبیاری و شوری خاک حاصل از یک مرحله آبیاری در زهکشی میان فصل بوده است.

سانتی‌متر کمتر از عمق زهکش دو تیمار زهکش لانه‌موشی بود.

والبوئنا-پارالخو و همکاران (Valbuena-Parralejo et al., 2019) اثر سامانه‌های زهکشی را بر تلفات فسفر و نیتروژن در رواناب در سه تیمار ۱- بدون زهکشی، ۲- زهکشی لانه‌موشی سنتی (عمق و فاصله ۵۵ و ۱۲۰ سانتی‌متر) و ۳- زهکشی لانه‌موشی با گراول (عمق و فاصله ۴۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر) روی مرتع دائمی در خاک لومرسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، طی ۱۵ رویداد بارندگی متوالی طی یک سال بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که زهکش لانه‌موشی سنتی و زهکش لانه‌موشی با گراول باعث افزایش عمق سطح ایستابی و کاهش رواناب و همچنین افزایش تلفات نیترات و آمونیوم به میزان ۲۲ و ۱۴ درصد در آب‌های زیرزمینی شده‌اند. نوری و همکاران (Noory et al., 2007) اثر مدیریت سطح ایستابی را بر کیفیت زهاب در یک مطالعه لایسیمیتری کشت گیاه یونجه در کرج در خاکی با بافت سیلتی‌رسی لومی بررسی کردند و نشان دادند غلظت نیترات زهاب در تیمارهای کنترل سطح ایستابی نسبت به تیمار زهکشی آزاد به‌طور معنی‌داری کمتر است. در تیمارهای کنترل سطح ایستابی ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر، میزان تلفات نیترات به‌ترتیب ۹۰ و ۸۲ درصد کمتر بود تا در تیمار زهکشی آزاد. متوسط غلظت فسفات خروجی از زهکش‌ها نسبت به تیمار زهکشی آزاد، اگرچه حدود ۱۱ درصد کاهش نشان داد، اما تفاوت معنی‌دار نبود. در مطالعه‌ای، جعفری تلوکلایی و همکاران (Jafari Talukolaee, et al. 2015) اثر پنج تیمار زهکشی زیرزمینی با عمق‌های (۰/۶۵ و ۰/۹ متر)، فاصله‌های (۱۵ و ۳۰ متر) و پوشش دور زهکش (معدنی و مصنوعی) را بر میزان سدیم، کلراید و سولفات زهاب شالیزارها در دو فصل کشت برنج و

زهاب خروجی و کنترل سطح ایستابی شالیزار در زهکشی میان فصل و پایان فصل برنج بررسی شده است.

### مواد و روشها

برای ارزیابی عملکرد زهکشی لانه‌موشی در کشت برنج، پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. موقعیت این مزرعه از این قرار است: عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۴/۸ متر از سطح دریا. میانگین داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در جدول (۱) و روند تغییرات روزانه دمای حداکثر و دمای حداقل و بارش در دوره پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول و شکل مشخص است در ماه‌های مرداد و شهریور بر میزان دمای هوا و بارش افزوده شده است که می‌تواند بر فرآیندهای شیمیایی خاک و در نتیجه کیفیت زهاب تأثیرگذار باشد. آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی زهکشی است در دو سطح: سامانه زهکش لانه‌موشی سنتی (بدون گراول) ( $D_1$ ) و سامانه زهکش لانه‌موشی با گراول ( $D_2$ ). عامل فرعی مدیریت آبیاری است در دو سطح: غرقاب دائم ( $I_1$ ) و مدیریت متناوب آبیاری ( $I_2$ ) (شکل ۲). زهکش‌های لانه‌موشی با قطر ۱۰ سانتی‌متر با فاصله سه متر به صورت بدون گراول (سنتی) و پُر شده با گراول به قطر سه تا شش میلی‌متر، در عمق ۴۰ سانتی‌متر از خاک در زمانی که محدوده رطوبتی خاک ۳۵-۳۰ درصد بود، حفر شدند. انتهای سه خط زهکش حفر شده در هر کرت توسط لوله پلی‌اتیلنی به هم وصل و زهاب خروجی از آنها توسط لوله جمع‌کننده به زهکش روباز مجاور مزرعه انتقال داده شد (شکل ۲). قبل از کشت برنج، نمونه خاک از مزرعه در عمق‌های ۵ تا ۱۵ و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد. برخی از

در شالیزارها مطالعات محدودی در خصوص زهکشی دیده می‌شود. ناگهوری (Nagahori, 1989) سه نوع زهکشی شامل لانه‌موشی سنتی، لانه‌موشی پر شده با مواد متخلخل و زهکش متخلخل (Filter Material Drain) را روش‌های رایج زهکشی در شالیزارها در ژاپن معرفی کرده است. کانموری و همکاران (Kanmuri et al., 2010) در بررسی اثر زهکش لانه‌موشی بر شدت نفوذپذیری در شالیزارها نشان دادند که شدت نفوذپذیری می‌تواند به میزان ۴۸۰-۳۵۰ میلی‌متر بر ساعت در اراضی بدون شخم (Puddling) باشد اما پس از هر بار شخم از میزان آن کاسته می‌شود. استیاوان و همکاران (Setiawan et al., 2017) با ساخت لوله پلی‌اتیلنی با شکل و اندازه خاص سوراخ و نصب آن در عمق ۴۰ سانتی‌متری شالیزارهای اندونزی به این نتیجه رسیدند که این نوع زهکشی می‌تواند سرعت نفوذپذیری را حداکثر به ۰/۹۴ سانتی‌متر بر ساعت افزایش دهد ولی هدایت الکتریکی کم و به میزان ۳۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. سوی و همکاران (Soe et al., 2022) با بررسی زهکشی لوله‌ای نصب شده در عمق ۴۰ سانتی‌متری شالیزارها در ژاپن به این نتیجه رسیدند که جرم مخصوص ظاهری و هدایت آبی اشباع قبل و بعد از کشت برنج در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار پیدا می‌کند.

از آنجا که مطالعات در زمینه زهکشی لانه‌موشی شالیزارها، به خصوص در ایران، محدود است و نیز به دلیل اهمیت کشت برنج در استان‌های شمالی و نیاز به زهکشی برای بهبود عملکرد و شرایط برداشت آن، این مطالعه با هدف ارزیابی عملکرد زهکشی زیرسطحی کم هزینه لانه‌موشی برای تخلیه آب اضافی از شالیزارها و تعیین آثار محیط‌زیستی آن به اجرا در آمد. در این مطالعه، اثر زهکش لانه‌موشی سنتی و زهکش لانه‌موشی با گراول بر کیفیت

## ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها

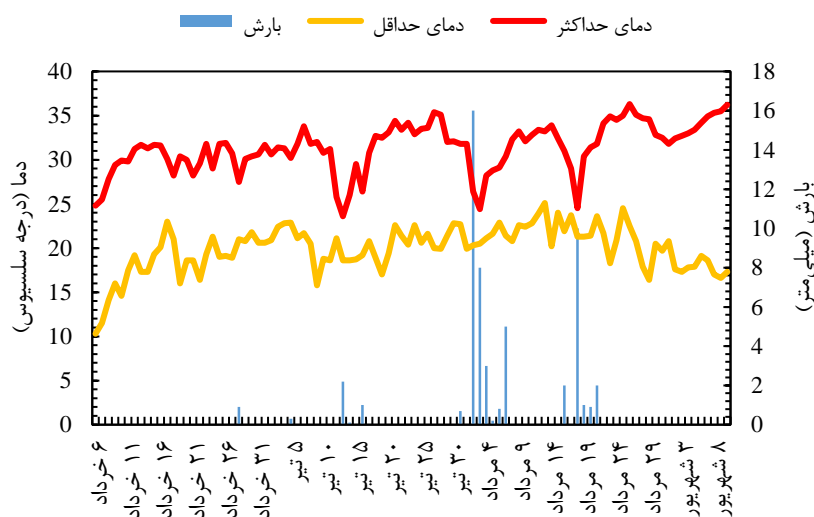
بیشتر است. برنج رقم هاشمی در ۱۲ کرت مستطیلی شکل به ابعاد ۹×۶ متر در تاریخ ۶ خردادماه ۱۴۰۱ نشاکاری شد. فاصله بین بوته‌ها و ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین تکرارها ۲ متر و فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از نشت آب و رشد علف‌های هرز، پوشش پلاستیکی روی پشته‌ها قرار داده شد.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس میزان رس خاک (بالای ۵۰ درصد)، زهکشی لانه‌موشی می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای زهکشی باشد. مقادیر بالای رس نشان دهنده هدایت آبی اشباع کم و خروج آهسته آب از پروفیل خاک است. مقادیر شوری و نترات خاک کم است ولی مقدار آمونیوم در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری

جدول ۱- میانگین اطلاعات هواشناسی مربوط به دوره کاشت برنج (سال زراعی ۱۴۰۲ - ۱۴۰۱)

Table1- Average meteorological information related to rice planting period (crop year 2022-2023)

ماه	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	رطوبت نسبی (درصد)	تبخیر از تشت (میلی‌متر)	ساعات آفتابی (ساعت)	بارش (میلی‌متر)	دمای حداقل (سلسیوس)	دمای حداکثر (سلسیوس)
خرداد	۱/۳۷	۷۲/۸۳	۵/۲۸	-	۰/۰۴	۱۸/۱۸	۲۹/۸۱
تیر	۱/۴۱	۷۲/۹۲	۵/۲۶	-	۰/۱۴	۲۰/۴۶	۳۱/۴۶
مرداد	۱/۰۹	۷۶/۵۸	۴/۱۱	۸/۲۶	۱/۵۸	۲۱/۴۸	۳۱/۷۷
شهریور	۱/۴۶	۷۵/۸۲	۳/۹۰	۷/۳۱	۳/۳۴	۱۸/۶۳	۳۱/۰۱



شکل ۱- اطلاعات ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در دوره مطالعه (۶ خرداد تا ۹ شهریور)

Figure1-Information of Rasht agricultural meteorological station during the study period (May 27 to August 31)

منطقه در دو مرحله، ابتدای کاشت و پنجه‌زنی، به زمین اضافه شد. مدیریت آبیاری با غرقاب دائم پیش از زهکشی

بر اساس وضعیت حاصلخیزی خاک، کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس عرف

زهاب، از آن نمونه برداری شد. نمونه های زهکشی تحت شرایط استاندارد به آزمایشگاه منقل و پارامترهای کیفی زهاب شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کل جامدات محلول (TDS)، کل جامدات معلق (TSS)، نیترات، نیتريت، فسفات، سولفات، کلراید، آمونیوم، سدیم، کلسیم و منیزیم مطابق با روش های استاندارد اندازه گیری شدند (Baird et al., 2017). اسیدیته با pH متر، هدایت الکتریکی با EC سنج، کلسیم، منیزیم و آمونیوم به روش تیتراسیون، نیترات با دستگاه اسپکتروفوتومتر، غلظت نیتريت، فسفات، سولفات و کلراید با دستگاه یون کروماتوگراف و مقادیر سدیم با دستگاه فلیم فوتومتر اندازه گیری شدند. نسبت جذب سدیم (SAR) با استفاده از رابطه (۱) بر حسب ریشه میلی اکی والان گرم بر لیتر به دست آمد. در رابطه گفته شده، Na، Mg و Ca به ترتیب غلظت سدیم، منیزیم و کلسیم بر حسب میلی اکی والان بر لیتر هستند. نتایج تیمارهای مورد آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS از لحاظ آماری تجزیه و تحلیل شد.

$$SAR = \frac{Na^{+1}}{\sqrt{\frac{Mg^{+2} + Ca^{+2}}{2}}} \quad (1)$$

میان فصل به ارتفاع ۳ تا ۵ سانتی متر و پس از آن به ارتفاع ۱ تا ۳ سانتی متر و همچنین مدیریت آبیاری متناوب با دوره تناوب پنج روز و در ارتفاع مشابه با مدیریت آبیاری غرقاب دائم اجرا شد. مشخصات شیمیایی آب آبیاری در جدول (۳) نشان داده شده است. طبق نتایج این جدول، مقادیر نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی آب آبیاری مطابق با نمودار ریچارد (Richards, 1954) دارای پتانسیل پراکندگی ذرات خاک و کاهش نفوذ است. شوری آب آبیاری در حد آستانه تحمل گیاه برنج است و امکان تأثیر بر عملکرد محصول را دارد. زهکشی میان فصل و پایان فصل برنج به ترتیب در مرحله پنجه زنی (تاریخ ۲۷ و ۲۸ تیر ۱۴۰۱) به مدت ۷ روز (پس از مشاهده درز و ترک در کرت ها) و برداشت (۳۱ مرداد تا ۳ شهریور ۱۴۰۱) اعمال شد. برای زهکشی میان فصل، آبیاری در همه کرت ها قطع و با باز کردن شیر خروجی لوله های زهکش جمع کننده امکان زهکشی فراهم شد. این مرحله از زهکشی به مدت هفت روز ادامه پیدا کرد و پس از آن شیر خروجی لوله های زهکش بسته شد و شرایط غرقابی به وجود آمد. در زمان زهکشی، سطح ایستابی در پیزومترها اندازه گیری شد (چهار پیزومتر نصب شده در عمق زهکش مطابق شکل ۲). برای بررسی وضعیت کیفی

جدول ۲- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

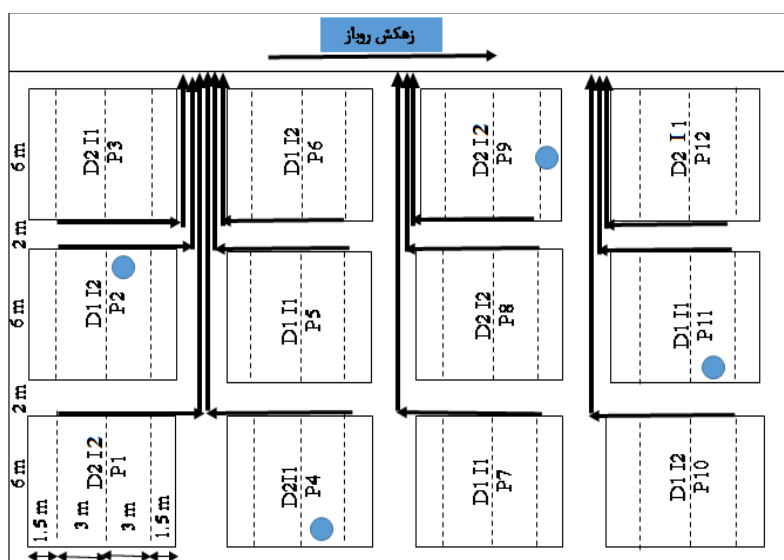
Table 2- Some physical and chemical characteristics of farm soil

عمق خاک (Cm)	بافت خاک	رسی (%)	سیلت (%)	شن (%)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	تخلخل (%)	هدایت الکتریکی (µS/cm)	اسیدیته	آمونیم (mg/l)	نیترات (mg/l)	نسبت جذب سدیم (meq/10 <sup>5</sup> )
۵-۱۵	Silty Clay Loam	۳۰	۵۹	۱۱	۱/۶۶	۴۷/۵	۴۵	۳۸۵/۸	۷/۰۲	۳/۷	۰/۲۵	۱/۳۵
۲۰-۳۰	Silty Clay Loam	۳۱	۵۷	۱۳	۱/۶۳	۴۵/۳	۴۴	۳۱۲/۷	۷/۰۱	۵/۲	۰/۲۰	۱/۰۹

جدول ۳- میانگین خصوصیات شیمیایی آب آبیاری در دوره رشد

Table3- Average chemical properties of irrigation water during the growth period

اسیدیته	هدایت الکتریکی ( $\mu\text{S/cm}$ )	کل جامدات محلول ( $\text{mg/l}$ )	کلسیم ( $\text{meq/l}$ )	منیزیم ( $\text{meq/l}$ )	سدیم ( $\text{meq/l}$ )	نسبت جذب سدیم ( $\text{meq/l}^{0.5}$ )	نترات ( $\text{mg/l}$ )	نیتريت ( $\text{mg/l}$ )	آمونیم ( $\text{mg/l}$ )
۷/۶	۳۲۸۰	۲۱۰۰	۱۱/۳۵	۵/۷۰	۹/۰۶	۳/۱۰	۰/۹۴	۰/۳۷	۱۴/۴۸



شکل ۲- کرت‌بندی، زهکش لانه‌موشی، جمع‌کننده‌ها و موقعیت جانمایی پیزومترها (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D2: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I1: مدیریت آبیاری غرقاب دائم، I2: مدیریت آبیاری متناوب، P: کرت و پیزومتر)

Figure2- Plot, mole drain, collectors and placement position of piezometers (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management, P: plot and piezometer)

## نتایج و بحث

### روند تغییرات سطح ایستابی

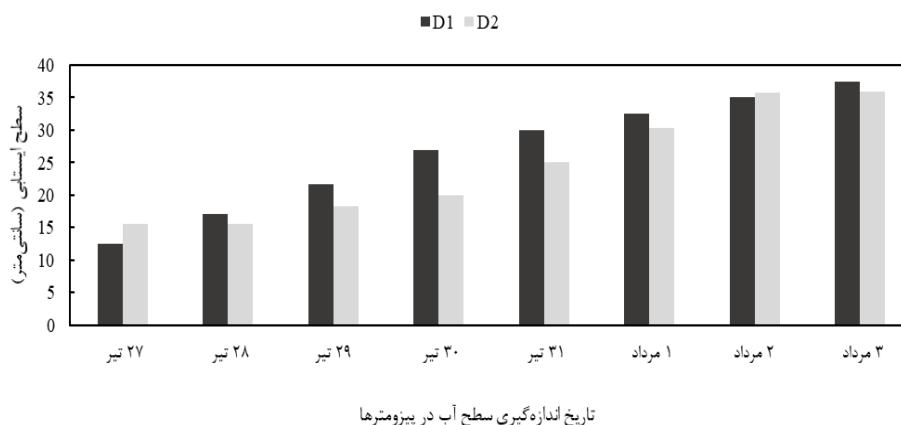
و افزایش محسوس در روند کاهش سطح ایستابی در زهکش مشاهده نمی‌شود. در تیمار D<sub>1</sub>، حداکثر و حداقل عمق سطح ایستابی نسبت به سطح زمین به ترتیب به میزان ۷ ۳/۵ و ۱۲/۵ سانتی‌متر در تاریخ ۲۷ تیر و ۳ مرداد روی داده‌است. با شروع زهکشی میان‌فصل در تاریخ ۲۷ و ۲۸ تیرماه و پس از گذشت یک روز از زهکشی، سطح ایستابی به میانه نیم‌رخ خاک (۱۵ تا ۱۷ سانتی‌متری) رسیده‌است و بیش از نیمی از عمق توسعه ریشه در شرایط بی‌هوازی قرار

روند تغییرات سطح ایستابی نسبت به زمان برای تیمارهای D<sub>1</sub> و D<sub>2</sub> در زمان زهکشی میان‌فصل در شکل (۳) نشان داده شده است. مطابق شکل (۱) در تاریخ‌های ۳۱ تیر، ۲ و ۳ مردادماه مقادیر بارش به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱۶ و ۸ میلی‌متر رخ داده است و مقایسه آن با شکل (۳) نشان می‌دهد که زهکش‌ها قادر به تخلیه آب باران بوده‌اند



گراول، نسبت به زهکشی لانه‌موشی سنتی، در خاک رسی بهتر است که دلیل آن را نسبت داده‌اند به عمق نصب کمتر آن، درمقایسه با تیمار سنتی (۴۰ سانتی‌متر در مقایسه با ۵۵ سانتی‌متر).

گرفته است. پنج روز پس از زهکشی در تیمار زهکشی لانه‌موشی سنتی، عمق توسعه ریشه برنج (۳۰ سانتی‌متری که عمق گلخرابی مزرعه نیز در این محدوده است) شرایط هوازی را تجربه کرد. توهی و همکاران (Tuohy et al., 2015) گزارش کردند که عملکرد زهکشی لانه‌موشی پر شده با



شکل ۳- تغییرات سطح ایستابی در زهکشی میان فصل (حروف اختصار D1: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D2: زهکشی لانه‌موشی با گراول)

Figure 3- Changes in the watertable level in mid-season drainage (D1: traditional mole drain and D2: Gravel mole drain)

نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات دینگ و همکاران (Ding et al., 2019) همخوانی دارد. تیمارهای زهکشی نیز در سطح پنج درصد اثر معنی‌دار بر میزان اسیدیته زهاب داشته‌اند. میزان اسیدیته در میان فصل در زهکشی لانه‌موشی با گراول، نسبت به زهکشی لانه‌موشی سنتی، افزایش حدود ۳ درصد و در پایان فصل با کاهش ناچیز همراه بوده است. مقادیر اسیدیته زهاب در زهکشی میان فصل و پایان فصل در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، بیشترین و کمترین میزان اسیدیته به ترتیب مربوط به تیمار D<sub>2</sub>I<sub>1</sub> و D<sub>1</sub>I<sub>2</sub> با مقادیر ۶/۹۹ و ۶/۶۴ در زمان زهکشی میان فصل است. در تمام تیمارهای آزمایش، مقدار اسیدیته

روند تغییرات پارامترهای کیفی زهاب نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کیفیت زهاب در تیمارهای مورد بررسی در زهکشی میان فصل و پایان فصل در جدول ۴ آمده است. در ادامه، در باره هر یک از پارامترها بر اساس نتیجه تجزیه واریانس بحث می‌شود. نتایج تجزیه آماری اسیدیته نشان داد اثر متقابل تیمارهای آبیاری و زمان بر آن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. میانگین مقدار اسیدیته در تیمارهای آبیاری تناوبی نسبت به آبیاری غرقابی در میان فصل ۲/۵ درصد کاهش نشان می‌دهد اما در پایان فصل افزایش حدود ۳ درصدی است که با توجه به مقدار اولیه اسیدیته خاک، این



## ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها

خاک به سمت اسیدی شدن تمایل پیدا می‌کند و سپس به حدود ۷ افزایش می‌یابد. این در حالی است که در شرایط زهکشی، اسیدیته خاک‌های اسیدی با کاهش رطوبت خاک کاهش پیدا می‌کند و در خاک‌های خنثی و یا قلیایی افزایش می‌یابد. مقدار اولیه اسیدیته خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی و زمان غرقاب و زهکشی بر تغییرات اسیدیته خاک موثر هستند (Ding et al., 2019). با مشاهده مقادیر سطح ایستابی می‌توان دریافت که مقدار رطوبت بالاتر خاک در تیمار D<sub>2</sub> دلیل بیشتر بودن مقدار اسیدیته نسبت به تیمار D<sub>1</sub> است.

زهاب برخلاف آب آبیاری و مقدار اولیه اسیدیته خاک، که بیشتر از حد نرمال (۷) بوده است، در محدوده اسیدی قرار گرفتند. اسیدیته زهاب به‌طور غیرمستقیم منعکس‌کننده اسیدیته خاک است و با افزایش رطوبت خاک به دلیل افزایش شرایط بی‌هوازی مقدار اسیدیته خاک افزایش می‌یابد (Tao et al., 2019; Seaton et al., 2023). شبیه‌سازی اسیدیته طی تیمارهای غرقابی و زهکشی در شالیزارها نشان داده است که در شرایط غرقابی، در خاک‌های با اسیدیته کمتر از ۶/۵ وضعیت خاک به سمت مقدار اسیدیته حدود ۷ و در خاک‌های با اسیدیته بیشتر از ۶/۵ در ابتدا وضعیت

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کیفی زهاب در تیمارهای مختلف زهکشی لانه‌موشی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

**Table 4- The results of the analysis of the variance of the quality parameters of drainage water in different treatments of mole drain in the crop year 2022-2023**

میانگین مربعات (MS)						درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
نیتریت	نیترات	آمونیم	کل جامدات محلول	هدایت الکتریکی	اسیدیته (pH)		
۰/۳۶۷ns	۰/۰۰۲ns	۴/۹۴۱ns	۰/۱۳۵ns	۰/۳۴۷ns	۰/۲۶۷ns	۲	تکرار سامانه
۵/۲۱۲ns	۰/۰۰۱ns	۱۲/۹۶۵ns	۰/۲۰۱ns	۰/۴۱۳ns	۰/۲۲۴*	۱	زهکشی لانه موشی (D)
۴/۹۶۴ns	۰/۰۰۸**	۸/۹۳۰ns	۰/۰۱۱ns	۰/۰۱۰ns	۰/۴۱۶**	۱	آبیاری (I)
۰/۸۹۹ns	۰/۰۰۱ns	۱۰۲/۵۸۹**	۰/۱۶۹ns	۰/۳۹۰ns	۰/۰۶۸ns	۱	زمان (T)
۰/۰۱۳ns	۰/۰۰۲ns	۳۲/۰۶۲*	۰/۰۷۵ns	۰/۱۸۰ns	۰/۱۳۵ns	۱	D×I
۱/۲۱۲ns	۰/۰۱۵**	۰/۶۹۳ns	۰/۰۷۶ns	۰/۲۱۸ns	۰/۰۰۵ns	۱	D×T
۱/۰۱۸ns	۰/۰۰۱ns	۱۰/۹۳۵ns	۰/۰۱۴ns	۰/۰۴۷ns	۰/۲۴۸*	۱	I×T
۲/۲۹۳ns	۰/۰۰۵**	۲۴/۵۲۱*	۰/۰۸۹ns	۰/۲۰۷ns	۰/۱۷۷*	۱	D×I×T
۱/۱۸۳	۰/۰۰۱	۵/۷۵۰	۰/۱۲۵	۰/۳۱۸	۰/۰۴۲	۱۵	خطا
۱۳/۸۳	۱۷/۴۹	۱۵/۰۲	۱۱/۹۲	۱۱/۹۹	۳/۵۳	-	ضریب تغییرات (CV%)

\*\* و \* معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی‌دار نیست.

ادامه جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کیفی زهاب در تیمارهای مختلف زهکشی لانه موشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Continue the Table4- The results of the analysis of the variance of the quality parameters of drainage water in different treatments of mole drain in the crop year 2022-2023

میانگین مربعات (MS)					درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
کل جامدات معلق	نسبت جذب سدیم	سدیم	منیزیم	کلسیم		
۵۸۳۸/۲۱۸ns	۰/۴۱۲ns	۶/۲۳۰ns	۳/۸۲۶ns	۰/۰۶۳ns	۲	تکرار
۵۶۲۱۱/۷۶۰*	۴/۲۸۴*	۳۹/۸۲۲*	۴/۱۲۵ns	۰/۰۷۵ns	۱	سامانه زهکشی لانه موشی (D)
۹۵۸۲۳/۸۴۳*	۰/۰۶۴ns	۱/۰۵۲ns	۲/۹۷۵ns	۱۴/۶۴۸*	۱	آبیاری (I)
۱۹۵۳۹۱/۲۶۰**	۲۰/۲۰۳**	۱۷۸/۷۸۷**	۰/۱۱۳ns	۱/۱۰۵ns	۱	زمان (T)
۱۸۳۳۱۲/۷۶۰***	۰/۲۰۹ns	۴/۳۷۳ns	۵/۳۶۷*	۰/۰۱۲ns	۱	D×I
۱۵۳۳۶۰/۰۹۳**	۸/۲۸۳**	۶۱/۵۸۴**	۰/۷۵۲ns	۳/۷۲۰ns	۱	D×T
۸۴۱۹۴/۲۶۰*	۰/۰۵۲ns	۰/۰۱۵ns	۰/۰۰۲ns	۳/۲۶۳ns	۱	I×T
۱۳۰۴۸۴/۷۹۰*	۵/۵۰۷*	۴۹/۱۶۸*	۲/۱۵۲ns	۴/۴۰۲ns	۱	D×I×T
۱۲۵۵۴/۱۶۶	۰/۷۴۹	۶/۳۳۷	۱/۱۶۷	۲/۰۲۹	۱۵	خطا
۲۷/۷۵	۱۸/۹۸	۱۵/۷۸	۲۳/۱۴	۶/۵۷	-	ضریب تغییرات (CV%)

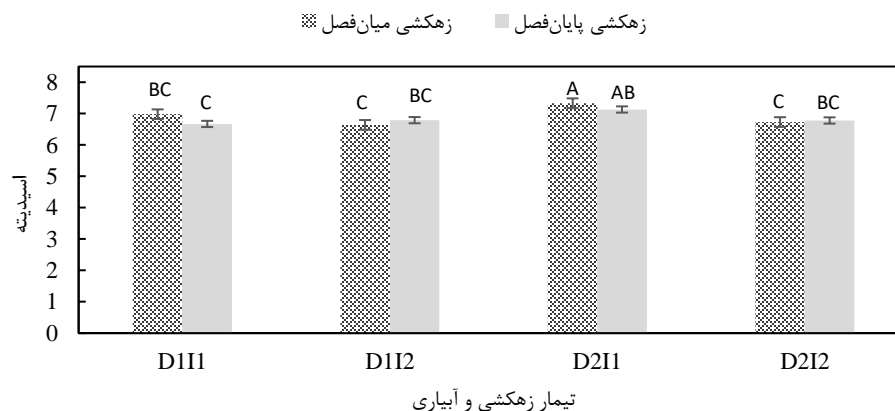
\*\*\* و \*\* معنی دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی دار نیست.

ادامه جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کیفی زهاب در تیمارهای مختلف زهکشی لانه موشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Continue the Table4- The results of the analysis of the variance of the quality parameters of drainage water in different treatments of mole drain in the crop year 2022-2023

میانگین مربعات (MS)			درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
کلراید	سولفات	فسفات		
۴۱۶۰/۰۵۸ns	۳/۳۲۸ns	۰/۰۰۲ns	۲	تکرار
۲۱۹۰۴/۰۶۲ns	۰/۰۱۰ns	۰/۷۱۵*	۱	سامانه زهکشی لانه موشی (D)
۳۸۷۹/۳۴ns	۱۱/۳۵۷**	۰/۰۱۳ns	۱	آبیاری (I)
۴۳۹۱۱/۹۵۹*	۱۰/۲۵۷**	۰/۸۸۷*	۱	زمان (T)
۲۹۸/۷۰۸ns	۲/۰۳۵ns	۰/۸۸۷*	۱	D×I
۱۴۶۵۷/۴۷۸ns	۲۳/۰۳۰**	۰/۷۷۹*	۱	D×T
۳۵۶۸۱/۱۱۰*	۲/۴۶۴ns	۰/۰۶۸ns	۱	I×T
۱۷۳۳۵/۸۵۱ns	۷/۳۲۸*	۰/۵۰۹*	۱	D×I×T
۶۰۱۶/۸۸۶	۱/۳۴۵	۰/۱۰۵	۱۵	خطا
۱۱/۶۷	۲۵/۰۴	۲۳/۴۴	-	ضریب تغییرات (CV%)

\*\*\* و \*\* معنی دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و ns معنی دار نیست.

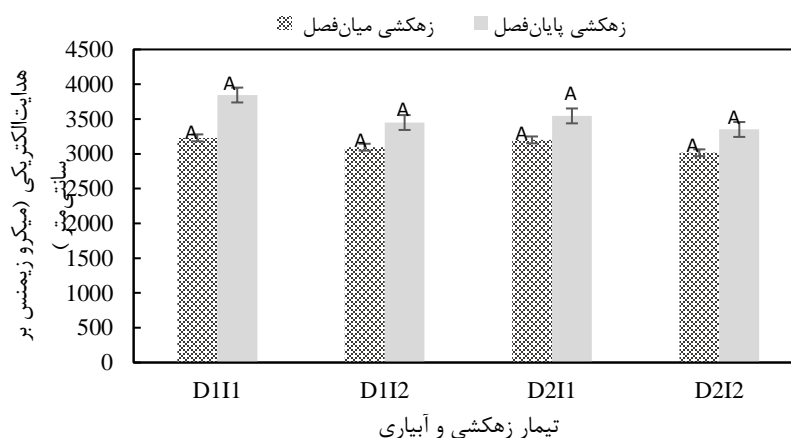


شکل ۴- تغییرات اسیدیته زهاب خروجی از زهکش‌ها در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: آبیاری متناوب)

Figure 4- Changes in the acidity of the drain water exiting the drains in the investigated treatments during the test period (D<sub>1</sub>: traditional mole drain, D<sub>2</sub>: Gravel mole drain, I<sub>1</sub>: Flood irrigation management, I<sub>2</sub>: Alternative irrigation management)

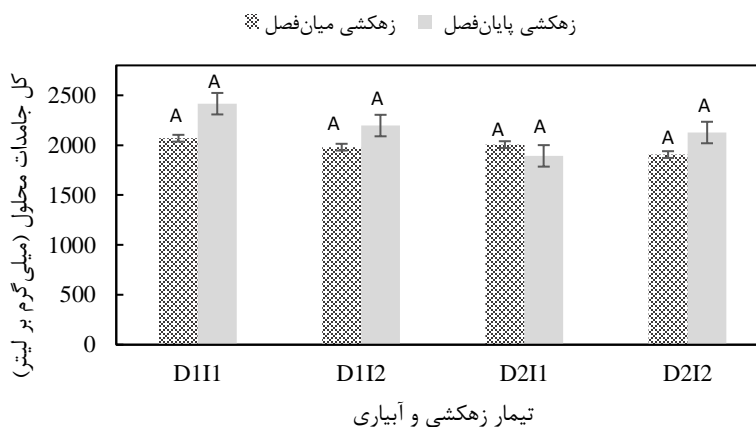
و از این رو کم بودن املاح خروجی قابل توجه است. بیشترین و کمترین میزان هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به تیمار D1I1 در پایان فصل و D2I2 در میان فصل با مقدار ۳۸۴۵ و ۳۰۱۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. در زهکشی میان فصل و پایان فصل، زهکش لانه‌موشی با گراول به ترتیب ۲ و ۵ درصد کمتر از زهکش لانه‌موشی سنتی املاح را از خاک خارج کرده است. روند تغییرات کل جامدات محلول زهاب (شکل ۶) از روند تغییرات هدایت الکتریکی پیروی می‌کند. بیشترین و کمترین میزان کل جامدات محلول به ترتیب مربوط به تیمار D1I1 در پایان فصل و D2I1 در میان فصل با مقدار ۲۴۷۵ و ۱۴۸۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

مقادیر هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول زهاب در زمان زهکشی میان و پایان فصل در شکل (۵) و (۶) نشان داده شده است. نتایج تجزیه آماری نشان داد تیمارهای آبیاری، زهکشی و زمان زهکشی (میان فصل و پایان فصل) و اثر متقابل آن‌ها بر شوری و کل جامدات محلول زهاب اثر معنی‌داری ندارند. هدایت الکتریکی زهاب خروجی (شکل ۵) در هر چهار تیمار D1I1، D1I2، D2I1 و D2I2 در پایان فصل نسبت میان فصل به ترتیب ۱۹، ۱۱، ۱۰ و ۱۱ درصد افزایش نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی زهاب خروجی در همه تیمارها در محدوده ۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در نوسان است که در محدوده نزدیک به هدایت الکتریکی آب آبیاری قرار دارد. در مقایسه با میانگین هدایت الکتریکی آب آبیاری، هدایت الکتریکی زهاب در بدترین شرایط حدود ۱۷ درصد بیشتر است. مطابق با جدول (۲)، خاک دارای مقادیر املاح زیادی (۳۸۵-۳۱۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) نبود



شکل ۵- هدایت الکتریکی زهاب در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه موشی سنتی، D2: زهکشی لانه موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

Figure 5- Electrical conductivity of the water drain in the investigated treatments during the experimental period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)



شکل ۶- کل جامدات محلول زهاب در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه موشی سنتی، D2: زهکشی لانه موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

Figure 6- Total dissolved solids of the drainage water in the investigated treatments during the experimental period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)

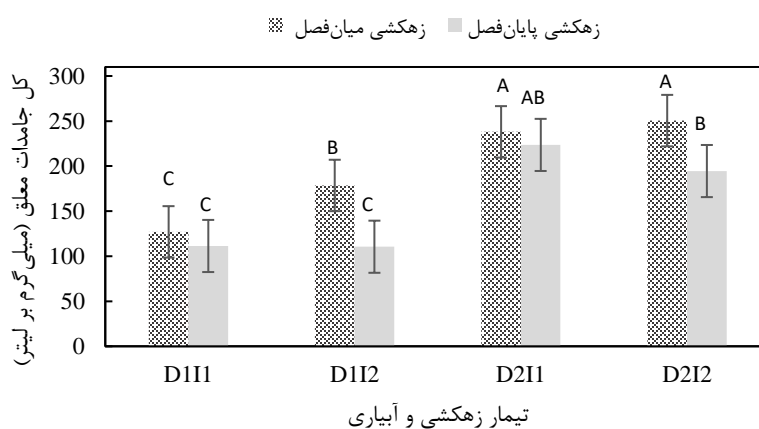
بیشترین میزان کل جامدات معلق در تیمار D2I2 با مقدار ۲۵۰/۵ میلی گرم بر لیتر در زمان زهکشی میان فصل و کمترین مقدار آن در پایان فصل در تیمار D1I2 با مقدار ۱۱۰/۵ میلی گرم بر لیتر به دست آمده است. نتایج تجزیه آماری نشان داد که اثر متقابل تیمار زهکشی، آبیاری و زمان

مقادیر کل جامدات معلق زهاب در شکل (۷) نشان داده شده است. مقدار ذرات جامد معلق زهاب در پایان فصل، نسبت به میان فصل، در هر چهار تیمار D1I1، D1I2، D2I1 و D2I2 به ترتیب ۱۲، ۳۸، ۶ و ۲۲ درصد کاهش پیدا کرده است که میزان کاهش در تیمار آبیاری غرقاب بیشتر است.

## ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها

جامدات معلق در زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل در آبیاری غرقابی نسبت به آبیاری تناوبی به ترتیب افزایش ۱۷ درصد و کاهش ۹ درصد را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که در تیمار آبیاری غرقاب در زهکشی میان‌فصل برای بار نخست جریان زیاد آب به سمت زهکش حرکت می‌کند و از این رو پتانسیل فرسایش خاک و حضور جامدات معلق در زهاب بیشتر است. این در حالی است که در تیمار آبیاری تناوبی بیشتر بودن جامدات معلق در زمان زهکشی پایان‌فصل روی داده‌است که خاک چندین مرتبه خشک شده و درز و ترک در آن ایجاد شده است و احتمال جدا شدن ذرات خاک از هم افزایش پیدا کرده است.

در سطح یک درصد و اثر متقابل تیمار آبیاری و زمان در سطح پنج درصد معنی‌دار است. بنابراین، مدیریت آبیاری (تر و خشک شدن زمین)، زهکشی و گذشت زمان (تعداد خشک شدن خاک، رشد گیاه، واکنش‌های بیولوژیکی و شیمیایی در خاک و در نتیجه تغییر خصوصیات خاک) می‌تواند بر فرسایش ذرات خاک و حرکت آنها به سمت زهکش لانه‌موشی موثر باشد. در زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل، میزان کل جامدات معلق خروجی در زهکش لانه‌موشی با گراول به ترتیب ۶۰ و ۸۸ درصد نسبت به زهکش لانه‌موشی سنتی بیشتر است. بیشتر بودن کل جامدات معلق در زهاب در تیمار زهکشی با گراول می‌تواند ناشی از ذرات معدنی موجود در گراول باشد. میزان کل



شکل ۷- مقادیر کل جامدات معلق زهاب در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D2: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

Figure 7- Amounts of total suspended solids in drain water in the studied treatments during the experimental period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)

بر لیتر در نوسان بوده است. مقدار نسبت جذب سدیم زهاب در پایان فصل نسبت به میان فصل در هر چهار تیمار D1I1، D2I1، D2I2 و D2I2 به ترتیب ۳۹، ۵۹، ۳۷ و ۴۶ درصد کاهش

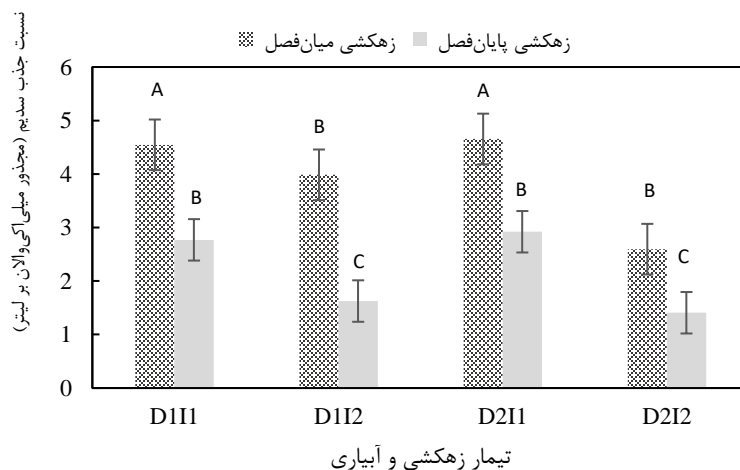
نسبت جذب سدیم زهاب در شکل (۸) نشان داده شده است. دامنه تغییرات نسبت جذب سدیم در میان فصل بین ۲/۶ تا ۴/۶ و در پایان فصل ۱/۴ تا ۲/۹ مجذور میلی‌اکی‌والان

در پایان فصل، نسبت به میان فصل، در تیمارهای  $D_1I_2$ ،  $D_1I_1$  و  $D_2I_2$  به ترتیب ۱۵، ۹ و ۷ درصد افزایش داشته است و در تیمار  $D_2I_1$  دارای روند کاهشی است. کاهش غلظت سدیم و افزایش مجموع کلسیم و منیزیم زهاب در زهکشی پایان فصل، نسبت به میان فصل، نشان از برتری سدیم در تبادل یونی با ذرات رس خاک نسبت به کلسیم و منیزیم با گذشت زمان دارد که در نتیجه آن کلسیم و منیزیم به فاز محلول خاک وارد و در زهاب مشاهده می شود. مقادیر نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی آب آبیاری مطابق با نمودار ریچارد (Richards, 1954) دارای پتانسیل پراکندگی ذرات خاک و کاهش نفوذ است که تأییدی بر برتری سدیم نسبت به کلسیم و منیزیم در تبادل کاتیونی در خاک مورد بررسی است.

پیدا کرده است. طبق نتایج آنالیز آماری، اختلاف معنی دار در سطح یک درصد در اثر متقابل زهکشی و زمان و همچنین اثر زمان مشاهده شد. تیمار زهکشی نیز در سطح پنج درصد بر نسبت جذب سدیم اثر داشت. بنابراین، شیوه آبیاری تأثیری بر نسبت جذب سدیم زهاب نداشته است. مقایسه زهکشی میان فصل و پایان فصل نشان می دهد مقدار نسبت جذب سدیم در زهکش لانه موشی با گراول نسبت به زهکش لانه موشی سنتی به ترتیب ۱۵ و ۲ درصد کم تر است. دلیل این امر را می توان به جذب سطحی کاتیون های سدیم، کلسیم و منیزیم یا تاخیر در خروج این املاح در حضور گراول در زهکش نسبت داد. موذنی و همکاران (Moazeni, et al 2016) روند کاهشی نسبت جذب سدیم را به روند کاهشی مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم نسبت دادند.

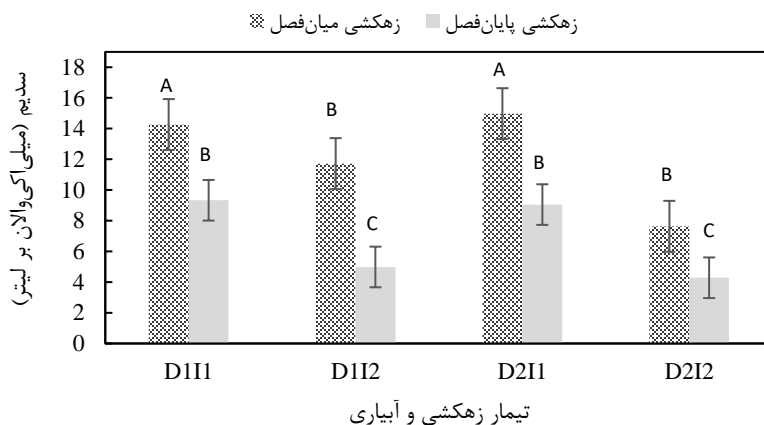
روند تغییرات غلظت سدیم  $ih$  در شکل (۹) نشان داده شده است. همانند نسبت جذب سدیم، نتایج آنالیز آماری اختلاف معنی دار را در سطح یک درصد میان تیمار زهکشی و زمان نشان می دهد. مقدار غلظت سدیم زهاب در پایان فصل نسبت به میان فصل در هر چهار تیمار  $D_1I_1$ ،  $D_1I_2$ ،  $D_2I_1$  و  $D_2I_2$  به ترتیب ۳۵، ۵۷، ۴۰ و ۴۴ درصد کاهش پیدا کرده است. بیشترین غلظت سدیم خروجی زهاب در میان فصل با مقدار ۱۵ میلی اکی والان بر لیتر در تیمار  $D_2I_1$  و کمترین مقدار آن در پایان فصل در تیمار  $D_2I_2$  مشاهده شده است. مقایسه نتایج به دست آمده در میان فصل و پایان فصل نشان داد زهکش لانه موشی با گراول نسبت به زهکش لانه موشی سنتی به ترتیب ۱۳ و ۷ درصد غلظت سدیم خروجی از زهکش را کاهش داده است. در مقایسه با کاهش غلظت سدیم در پایان فصل، نسبت به میان فصل، تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم اغلب روند افزایشی دارد (شکل ۱۰). میزان غلظت کلسیم و منیزیم خروجی از زهاب

ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها



شکل ۸- مقادیر نسبت جذب سدیم زهاب در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D2: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

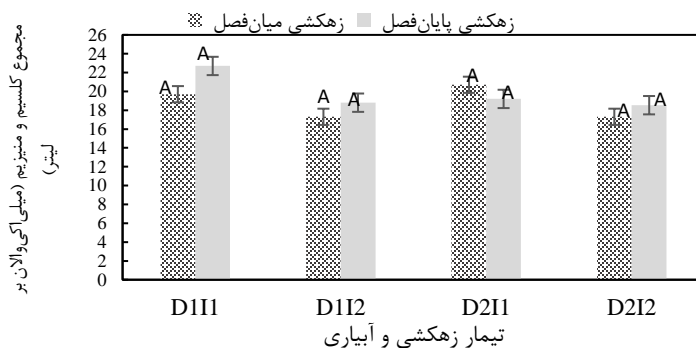
Figure8- The values of sodium absorption ratio of drain water in the studied treatments during the test period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)



شکل ۹- مقادیر غلظت سدیم زهاب در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D2: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

Figure9- Sodium concentration values of drain water in the examined treatments during the experimental period





شکل ۱۰- مقادیر مجموع کلسیم و منیزیم زهاب در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه موشی سنتی، D2: زهکشی لانه موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

**Figure 10- The total amounts of calcium and magnesium in the drain water in the investigated treatments during the experimental period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)**

کاهش در میان و پایان فصل دیده می شود. کوددهی قبل از زهکشی میان فصل و بیشتر بودن جامدات معلق زهاب و انتقال آمونیوم همراه با آنها به سمت خروجی زهکش منجر به افزایش غلظت آمونیوم در زهاب میان فصل شده است که در ادامه به دلیل جذب آمونیوم توسط ریشه گیاه و فرآیند نیتریفیکاسیون از میزان غلظت آمونیوم زهاب کاسته شده است. محمدپور و نوابیان (Mohamadpour, & Navabian, 2019) نیز گزارش کردند که میانگین غلظت آمونیوم در زهکشی میان فصل به میزان ۱۲ درصد بیشتر است تا در زهکشی پایان فصل.

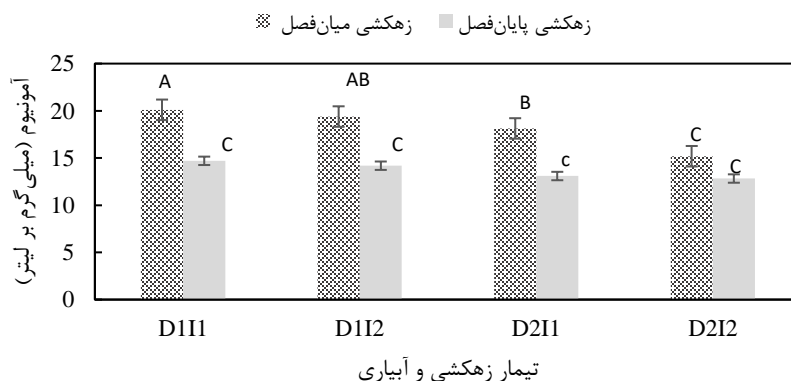
میانگین غلظت نیتريت در شکل (۱۲) نشان داده شده است. بیشترین مقدار غلظت نیتريت در تیمار D2I1 با مقدار ۶/۷۵ میلی گرم بر لیتر در زمان زهکشی میان فصل و کمترین آن در پایان فصل در تیمار D2I2 با مقدار ۵/۱ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. اسیدیته و ایجاد شرایط هوایی بیشتر در تیمار آبیاری تناوبی می تواند دلیلی بر کمتر بودن غلظت نیتريت در تیمار D2I2 باشد. نتایج تجزیه آماری اختلاف معنی دار را بین تیمارهای مختلف در میزان نیتريت

در شکل (۱۱)، روند تغییرات غلظت آمونیوم زهاب خروجی در زمان زهکشی میان فصل و پایان فصل ارائه شده است. با توجه به این شکل، میانگین غلظت آمونیوم در تمام تیمارها در زمان زهکشی میان فصل بیشتر است تا در زمان زهکشی پایان فصل. بیشترین مقدار غلظت آمونیوم خروجی از زهکش ها در تیمار D1I1 با ۲۰ میلی گرم بر لیتر در زمان زهکشی میان فصل و کمترین مقدار آن در پایان فصل در تیمار D2I2 با مقدار ۱۲/۸ میلی گرم بر لیتر به دست آمده است. نتایج آنالیز آماری اختلاف معنی دار را در سطح یک درصد در زمان و سطح پنج درصد میان تیمار آبیاری و زهکشی نشان می دهد. غلظت آمونیوم زهاب در پایان فصل نسبت به میان فصل در هر چهار تیمار D1I1، D1I2، D2I1 و D2I2 به ترتیب ۲۷، ۲۸ و ۱۶ درصد کاهش پیدا کرده است. مقایسه میانگین غلظت آمونیوم در میان فصل و پایان فصل نشان داده است زهکش لانه موشی با گراول نسبت به زهکش لانه موشی سنتی به ترتیب ۱۶ و ۱۰ درصد کاهش دارد. این تغییرات نیز در تیمار آبیاری تناوبی نسبت به آبیاری غرقابی با روندی مشابه به ترتیب ۱۰ و ۳ درصد

## ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها

فصل می‌تواند به دلیل بیشتر بودن دمای هوا و اضافه کردن کود اوره در زمان پنجه‌زنی (پیش از زهکشی میان‌فصل) باشد. کمتر بودن غلظت نیترات در زهاب پایان‌فصل و آبیاری تناوبی می‌تواند متأثر از هوازی شدن خاک و در نتیجه امکان استفاده فرم نیترات توسط ریشه گیاه علاوه بر جذب مستقیم آمونیوم باشد. میانگین غلظت نیترات در میان‌فصل نشان می‌دهد زهکشی لانه‌موشی با گراول نسبت به زهکشی لانه‌موشی سنتی ۱۰ درصد کاهش و در پایان‌فصل حدود یک درصد افزایش دارد. دوستی پاشاکلایی و همکاران ((Dousti Pashakolaee et al 2017) استفاده از کود در ابتدای فصل کشت برنج را به بیشتر بودن غلظت نیترات در میان‌فصل نسبت به پایان‌فصل نسبت داده‌اند. در مطالعه‌ای دیگر، محمدپور و نوایان (Mohamadpour. & Navabian. 2019) تفاوت ۴۷ درصدی میانگین غلظت نیترات در زهاب میان‌فصل و پایان‌فصل را به مقادیر نیترات خاک پیش از زهکشی نسبت دادند به طوری که بعد از زهکشی میان‌فصل نیترات‌زدایی در شرایط بی‌هوازی باعث کاهش نیترات خاک شده‌است.

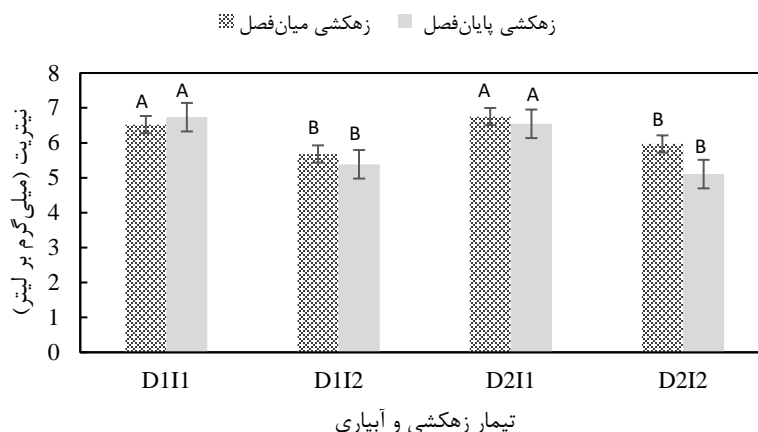
خروجی از زهکش نشان نداده است و به نظر می‌رسد ناپایداری نیتريت در خاک دلیل معنی‌داری نبودن تفاوت بین تیمارها باشد. همان‌گونه که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، مشابه با تغییرات غلظت آمونیوم، بیشترین مقدار غلظت نیترات خروجی از زهکش‌ها در تیمار D1I1 با مقدار ۰/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر در زمان زهکشی میان‌فصل و کمترین آن در پایان‌فصل در تیمار D2I2 با مقدار ۰/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمده است. نتایج تجزیه آماری اختلاف معنی‌دار را در سطح یک درصد در تیمار آبیاری و همچنین زهکشی نسبت به زمان نشان داده است. غلظت نیترات در میان‌فصل در آبیاری تناوبی نسبت به آبیاری غرقابی ۱۷ درصد و در پایان‌فصل حدود ۵ درصد کمتر به دست آمده است. غلظت نیترات زهاب در پایان‌فصل نسبت به میان‌فصل در تیمارهای D1I1 و D1I2 به ترتیب ۲۶ و ۱۰ درصد و در تیمارهای D2I1 و D2I2 به ترتیب ۱۱ و ۳ درصد کاهش نشان می‌دهد. بنابراین، میانگین غلظت نیترات زهاب در هر چهار تیمار در زمان پایان‌فصل کمتر از میان‌فصل است. افزایش غلظت نیترات در میان‌فصل نسبت به پایان



شکل ۱۱- میانگین غلظت آمونیوم در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D2:

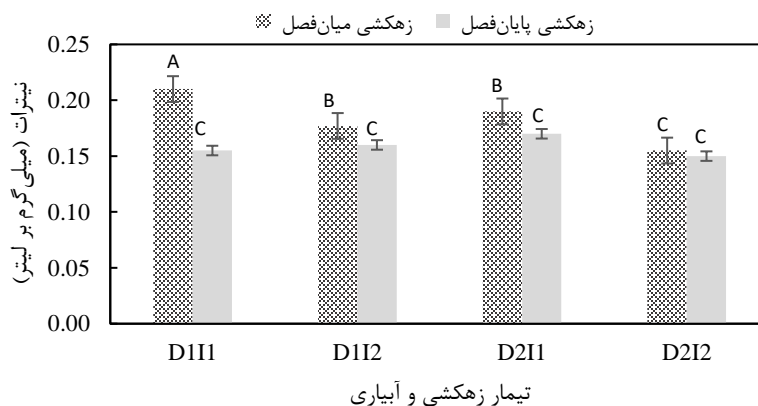
زهکشی لانه‌موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری تناوب)

**Figure 11- The average concentration of ammonium in the studied treatments during the experimental period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)**



شکل ۱۲- میانگین غلظت نیتريت در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه موشی سنتی، D2: زهکشی لانه موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

Figure 12- The average concentration of nitrite in the studied treatments during the experimental period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)



شکل ۱۳- میانگین غلظت نترات در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D1: زهکشی لانه موشی سنتی، D2: زهکشی لانه موشی با گراول، I1: آبیاری غرقاب دائم، I2: آبیاری متناوب)

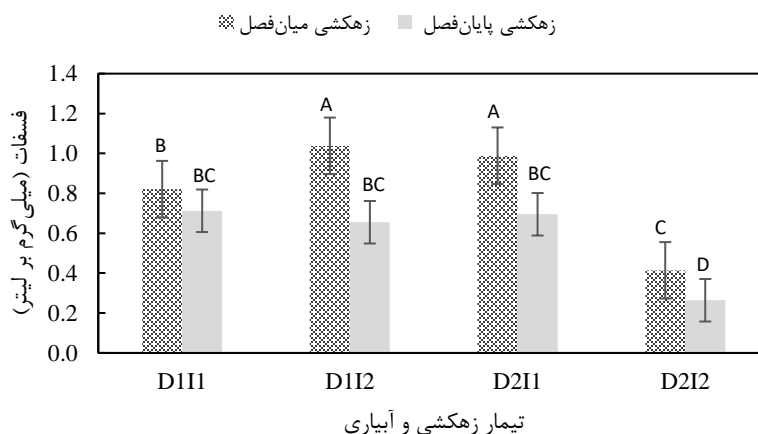
Figure 13- The average concentration of nitrate in the studied treatments during the experimental period (D1: traditional mole drain, D2: Gravel mole drain, I1: Flood irrigation management, I2: Alternative irrigation management)

میانگین غلظت فسفات زهاب در شکل (۱۴) نشان داده شده است. بیشترین مقدار غلظت فسفات خروجی از زهکشها در تیمار D1I2 با مقدار ۱/۰۴ میلی گرم بر لیتر در زمان زهکشی میان فصل و کمترین آن در زمان پایان فصل در تیمار D2I2 با مقدار ۰/۲۶ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. غلظت فسفات زهاب در پایان فصل نسبت به میان فصل در تیمارهای D1I1 و D1I2 به ترتیب ۱۳ و ۳۷ درصد و در تیمارهای D2I1 و D2I2 به ترتیب ۳۰ و ۳۷ درصد کاهش

## ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها

سنتی بیشتر از میزان فسفات خروجی در زهاب زهکش لانه‌موشی با گراول بوده است. والبوئنا-پارالخو و همکاران (Valbuena-Parralejo et al., 2019) تلفات بیشتر ذرات فسفر در تونل زهکش لانه‌موشی سنتی نسبت به زهکش لانه‌موشی با گراول را نبود گراول در دیواره تونل و امکان فرسایش بیشتر گزارش کرده‌اند. درزی نفت‌چالی و همکاران (Darzi, N. et al 2012) می‌گویند بخش زیاد تلفات فسفر در شالیزار به صورت فسفات است و میانگین آن در زهکشی میان‌فصل بیشتر است تا در پایان‌فصل، و دلیل آن را به اثر بارندگی و درز و ترک ایجاد شده در زمان زهکشی میان‌فصل نسبت دادند.

پیدا کرد. بنابراین، غلظت فسفات نیز مانند غلظت نیترات در هر چهار تیمار در زمان زهکشی پایان‌فصل نسبت به میان‌فصل کمتر است. تجزیه آماری میان تیمارهای آبیاری و زهکشی و زمان بر میزان غلظت فسفات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است. میانگین غلظت فسفات در آبیاری تناوبی نسبت به آبیاری غرقابی در میان‌فصل ۲۰ درصد و در پایان‌فصل ۳۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. میانگین غلظت فسفات در زهکش لانه‌موشی با گراول نسبت به زهکش لانه‌موشی سنتی در میان‌فصل و پایان‌فصل به ترتیب ۲۵ و ۳۰ درصد کاهش داشته‌است. به عبارتی، میزان فسفات خروجی در زهاب زهکش لانه‌موشی



شکل ۱۴- میانگین غلظت فسفات در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: آبیاری تناوب)

**Figure 14- The average concentration of phosphate in the studied treatments during the experimental period (D<sub>1</sub>: traditional mole drain, D<sub>2</sub>: Gravel mole drain, I<sub>1</sub>: Flood irrigation management, I<sub>2</sub>: Alternative irrigation management)**

بر لیتر در تیمار D<sub>1</sub>I<sub>1</sub> در پایان‌فصل و کمترین آن به میزان ۴ میلی‌گرم بر لیتر در زمان میان‌فصل در تیمار D<sub>2</sub>I<sub>1</sub> به دست آمده است. مقدار غلظت سولفات در پایان‌فصل نسبت

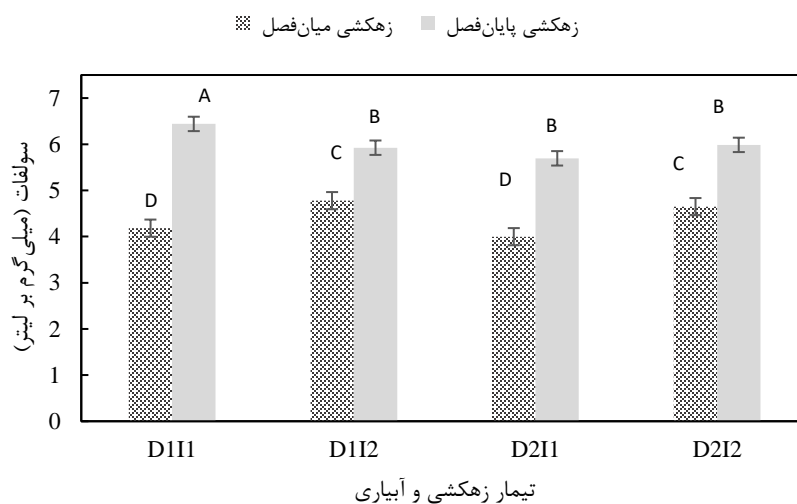
روند تغییرات غلظت سولفات خروجی از زهکش در زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل در شکل (۱۵) نشان داده شده است. بیشترین مقدار سولفات به میزان ۶/۴ میلی‌گرم

میزان کلراید زهاب خروجی از زهکش دارد. دلیل بیشتر بودن میزان کلراید در تیمار آبیاری غرقابی دائم، حجم بیشتر آب آبیاری در این شیوه مدیریتی است، به طوری که در نتیجه آن آبشویی موثرتر کلراید (به عنوان آنیونی که به دلیل بار منفی جذب سطحی خاک (Ayers and Westcot, 1985) نیز نمی شود) و انتقال آن به سمت زهکش روی داده است.

به مقدار آن در میان فصل در تیمارهای  $D_1I_1$ ،  $D_1I_2$ ،  $D_2I_1$  و  $D_2I_2$  به ترتیب ۵۴، ۲۴، ۴۳ و ۲۹ درصد افزایش نشان می دهد. بیشتر بودن غلظت کلسیم و منیزیم در فاز محلول خاک در پایان فصل می تواند در راستای غلظت بیشتر سولفات در زهاب باشد. نتایج آنالیز آماری اختلاف معنی دار در سطح یک درصد را در تیمار آبیاری و میان تیمار زهکشی و زمان نشان می دهد. مقایسه تیمارهای آبیاری غرقابی و تناوبی نشان از افزایش ۱۵ درصد و کاهش ۲ درصد در غلظت سولفات در میان فصل و پایان فصل دارد. رفتار گراول داخل تونل زهکش در میان فصل و پایان فصل مشابه است به طوری که میانگین غلظت سولفات در زهکش لانه موشی با گراول نسبت به زهکش لانه موشی سنتی در زهکشی میان فصل و پایان فصل به ترتیب ۳ و ۵/۵ درصد کمتر است. به نظر می رسد خروج بیشتر آب در زهکش لانه موشی سنتی، نسبت به زهکش لانه موشی پر شده با گراول، در خروج سولفات موثر بوده است.

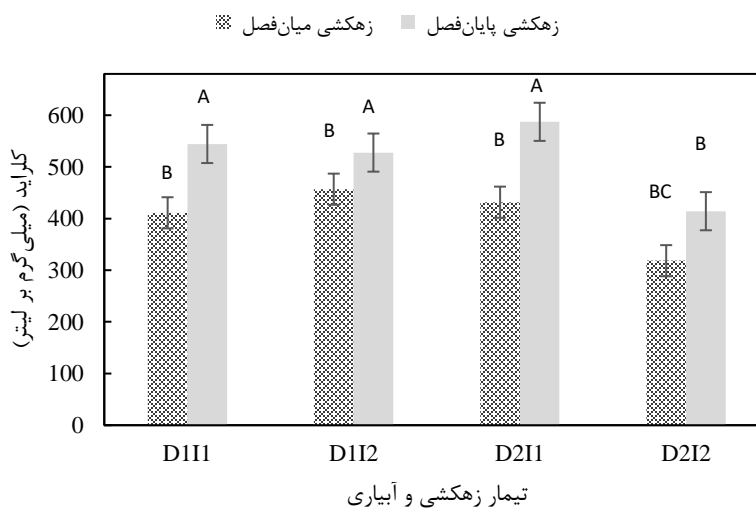
غلظت کلراید زهاب در شکل (۱۶) نشان داده شده است. به طور متوسط مقدار کلراید در تیمار زهکشی با گراول نسبت به تیمار زهکشی سنتی کمتر است. نتایج آنالیز آماری نشان داد تیمار زهکشی بر کلراید خروجی از زهکش تفاوت معنی دار ندارد اما میان تیمار آبیاری و زمان در سطح یک درصد معنی دار است. مقدار متوسط کلراید در پایان فصل نسبت به میان فصل در چهار تیمار  $D_1I_1$ ،  $D_1I_2$ ،  $D_2I_1$  و  $D_2I_2$  به ترتیب ۳۲، ۱۶، ۳۶ و ۳۰ درصد افزایش نشان می دهد. مقدار کلراید در پایان فصل نسبت به مقدار کلراید در میان فصل در تیمار آبیاری غرقابی و تناوبی به ترتیب افزایش ۳۴ و ۲۱ درصد دارد. مقایسه نتایج تیمار آبیاری غرقابی دائم نسبت به تناوبی نشان می دهد، تیمار آبیاری غرقابی در میان فصل ۹ درصد و در پایان فصل ۲۰ درصد افزایش در

ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها



شکل ۱۵- میانگین غلظت سولفات در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: آبیاری متناوب)

Figure15- The average concentration of Sulphate in the studied treatments during the experimental period (D<sub>1</sub>: traditional mole drain, D<sub>2</sub>: Gravel mole drain, I<sub>1</sub>: Flood irrigation management, I<sub>2</sub>: Alternative irrigation management)



شکل ۱۶- میانگین غلظت کلراید در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: آبیاری متناوب)

Figure16- The average concentration of chloride in the studied treatments during the experimental period (D<sub>1</sub>: traditional mole drain, D<sub>2</sub>: Gravel mole drain, I<sub>1</sub>: Flood irrigation management, I<sub>2</sub>: Alternative irrigation management)

## نتیجه گیری

این پژوهش به بررسی تأثیر زهکشی لانه موشی بر کیفیت زهاب شالیزارها در زمان زهکشی میان فصل و پایان فصل کشت برنج پرداخته است. عملکرد چهار تیمار شامل دو تیمار زهکش لانه موشی سنتی و زهکش لانه موشی با گراول و دو تیمار آبیاری غرقابی و آبیاری تناوبی مقایسه شدند. نتایج بررسی کیفیت زهاب نشان داد بیشترین مقدار اسیدیته و نسبت جذب سدیم به ترتیب ۶/۹۹ و ۴/۶۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در میان فصل در زهکش لانه موشی با گراول و آبیاری غرقابی دیده شده است. بیشترین غلظت آمونیوم و نترات در میان فصل به ترتیب با ۲۰ و ۰/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر و بیشترین مقدار هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول در پایان فصل به ترتیب با ۳۸۴۵ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر و ۲۴۷۵ میلی‌گرم بر لیتر در زهکش لانه موشی سنتی و آبیاری غرقابی مشاهده شده است. غلظت آمونیوم، نترات، فسفات، سدیم، مقادیر کل جامدات معلق، نسبت جذب سدیم در هر چهار تیمار در زمان زهکشی پایان فصل، نسبت به زهکشی میان فصل، کمتر است. غلظت سولفات و کلراید در زمان زهکشی پایان فصل بیشتر از غلظت آنها در زمان زهکشی میان فصل مشاهده شده است. به‌طور متوسط، مقادیر هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، نسبت جذب سدیم، سدیم، آمونیوم، فسفات، سولفات و کلراید زهاب در زهکشی میان فصل و پایان فصل در تیمار زهکشی با گراول، نسبت به تیمار زهکشی سنتی، کمتر است. نتایج تجزیه آماری نشان داد که تیمار زهکشی، آبیاری و زمان (زهکشی میان و پایان فصل) در سطح یک و پنج درصد بر اکثر پارامترها اثرگذار هستند در حالی که اختلاف مقادیر هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و نیتريت زهاب معنی‌دار نیست. آنالیز آماری نشان داد که

زهکشی روی پارامترهای اسیدیته، سدیم، کل جامدات معلق و فسفات و مدیریت آبیاری روی اسیدیته، نترات، کل جامدات معلق و سولفات و زمان روی آمونیوم، سدیم، کل جامدات معلق، فسفات، سولفات و کلراید زهاب تأثیر دارند. اثر متقابل زمان و زهکشی بر پارامترهای نترات، منیزیم، سدیم، کل جامدات معلق، فسفات و سولفات مشاهده شده است در حالی که اثر متقابل مدیریت آبیاری و زمان تنها بر پارامترهای اسیدیته، کل جامدات معلق و کلراید بوده است. زهکش لانه موشی سنتی در هر دو شیوه مدیریت آبیاری، در کنترل سطح ایستابی موفق‌تر عمل کرده است و توانسته است، نسبت به زهکش با گراول، مقدار بیشتری (۹ درصد) از زهاب را از نیم‌رخ خاک خارج کند. خروج بیشتر آب از نیم‌رخ خاک در پی کاهش سطح ایستابی توانسته است شرایط هوازای بهتری را در عمق توسعه ریشه، که هدف زهکشی میان فصل و پایان فصل است، فراهم آورد. مقایسه پارامترهای کیفی زهاب با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۸۹) برای دفع پساب‌ها و آب‌های برگشتی به آب‌های سطحی نشان داد که پارامترهای اسیدیته، کلسیم، منیزیم، نیتريت، نترات، فسفات، سولفات و کلراید در زمان زهکشی میان فصل و پایان فصل در محدوده مجاز و قابل تخلیه به آب‌های سطحی است ولی از نظر پارامترهای آمونیوم و کل جامدات معلق فراتر از حد مجاز و غیرقابل تخلیه به آب‌های سطحی است. با در نظر گرفتن عملکرد زهکش‌ها، مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی احداث سامانه زهکشی لانه موشی در شالیزارهای استان گیلان و خاک‌های دارای رس بیشتر توصیه شده است و این مطالعه شروعی برای بررسی بیشتر عملکرد زهکش لانه موشی در شالیزارهاست.



## تشکر و قدردانی

از سازمان هواشناسی کشور برای ارائه اطلاعات هواشناسی و شرکت مهندسیین مشاور سامان آبراه و آقای مهندس علیرضا مریدنژاد به دلیل حمایت مالی و معنوی اجرای این طرح قدردانی می‌شود.

## منابع

- Alibakhshi, H. Shahnazari, A. & Tahmasebi, R. (2013). Influence of subsurface drain depth and spacing on nitrate losses from paddy fields during canola growth season. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(6), 237-252. (In Persian)
- Amin Salehi, A. Navabian, M. Esmaili Varaki, M. & Pirmoradian, N. (2017). Evaluation of HYDRUS-2D model to simulate the loss of nitrate in subsurface controlled drainage in a physical model scale of paddy fields. *Paddy and water environment*, 15, 433-442.
- Ayers, R. S. & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Baird, R. Rice, E. & Eaton, A. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewaters*. Water Environment Federation, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association.
- Cavelaars, J. C. Vlotman, W. F. & Spoor, G. (1994). Subsurface drainage systems. In *Drainage principles and applications*. Edited by Ritzema, H.P. Wageningen: International Institute for Land Reclamation & Improvement. 827-929
- Darzi-Naftchali, A. Mirlatifi, S. Shahnazari, A. Ejlali, F. & Mahdian, M. (2012). Influence of surface and subsurface drainage on phosphorus losses from Paddy Fields in Rice Season. *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 6(3), 215-225. (In Persian)
- Darzi-Naftchali, A. & Ritzema, H. (2018). Integrating irrigation and drainage management to sustain agriculture in northern Iran. *Sustainability*, 10(6), 1775.
- Dhakad, S. S. Rao, K. V. R. Mishra, K. P. Agrawal, V. K. & Verma, S. K. (2014). Parameters that influence the mole drain (pipeless) formation in vertisols of MP. *International Journal of Agricultural Engineering*, 7(1), 33-37.
- Dhakad, S. S. Rao, K. V. R. & Mishra, K. P. (2014b). Effectiveness of mole drains for soybean crop in temporary waterlogged vertisols of Madhya Pradesh. *Current World Environment*, 9(2), 387-393.
- Dhakad, S. S. Rao, K. V. R. & Sanjeev, V. (2017). Design and crop response parameters of mole drainage systems in heavy clay soils-a review. *Indian Journal of Ecology*, 44(Special Issue 6), 619-630.
- Ding, C. Du, S. Ma, Y. Li, X. Zhang, T. & Wang, X. (2019). Changes in the pH of paddy soils after flooding and drainage: modeling and validation. *Geoderma*, 337, 511-513.
- Dousti Pashakolaee, S. Shahnazari, A. & Jafari Talukolaee, M. (2017). Nitrate Losses in Drained Paddy Fields during Rice and Canola Growing Seasons. *Journal of Water Research in Agriculture*, 31(1), 59-73. (In Persian)
- Filipović, V. Mallmann, F. J. K. Coquet, Y. & Šimůnek, J. (2014). Numerical simulation of water flow in tile and mole drainage systems. *Agricultural water management*, 146, 105-114.
- Jafari Talukolaee, M. Shahnazari, A. Ziatabar Ahmadi, M. K. & Darzi Naftchali, A. (2015). Investigation of Subsurface Drainage Water Quality in Paddy Fields Based on the Design Parameters. *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(4), 109-119. (In Persian)

- Kanmuri, H. Iwasa, I. Hoshi, N. & Kato, M. (2010). Durability and significance of mole drains for the drainage-function improvement in rotational paddy fields. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering*, 250: 107-115.
- Soe, Y. M. Shinogi, Y. & Taniguchi, T. (2022). Changes in certain soil properties under perforated sheet pipe as subsurface shallow drainage. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 56 (1), 59-66.
- Moazeni, S. M. R. Navabian, M. & Esmaili Varaki, M. (2016). Evaluate of subsurface drainage performance at second crop of paddy field (Case study: Triticale in physical model scale). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2), 397-405. (In Persian)
- Mohamadpour, F. & Navabian, M. (2019). The effect of trenched subsurface drainage on the drain water quality and solute transport in Soil in mid and end season drainage of rice. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(4), 973-986. (In Persian)
- Mulqueen, J. (1985). The development of gravel mole drainage. *Journal of agricultural engineering research*, 32(2), 143-151.
- Nada, W. M. Tantawy, M. F. Hamad, M. M. & Abo-Elela, E. G. (2023). Integrated Effect of Mole Drains Systems and Planting Methods on Saline Soil Chemical Properties and Wheat Productivity. *Egyptian Journal of Soil Science*, 63(2).
- Nagahori, K. (1989). *Subsurface Drainage. Irrigation Engineering and Rural Planning No.16*, 42-52.
- Noory, H. Liaghat, A. & Noory, H. (2007). Improving the quality of drainage water using water table management in arid and semi-arid regions of Iran. The second water resources management conference, Sanati Esfahan University. (In Persian)
- Richards, L.A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, Agriculture, Handbook 60*; US Department of Agriculture: Washington, D.C., WA, USA, pp: 1-160
- Seaton, F. M. Robinson, D. A. Monteith, D. Lebron, I. Bürkner, P. Tomlinson, S. & Smart, S. M. (2023). Fifty years of reduction in sulphur deposition drives recovery in soil pH and plant communities. *Journal of Ecology*, 111(2), 464-478.
- Setiawan, B. I. Saptomo, S. K. Arif1, C. Sulaiman, A. A. Herodian, S. Matsuda, H. Tamura, K. & Inoue, Y. (2019). Waterflow in the Paddy Field Installed with Sheetpipe Mole Drains. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 355: 1-11, doi:10.1088/1755-1315/355/1/012077.
- Tao, Y. Wang, S. Guan, X. Xu, D. Chen, H. & Ji, M. (2019). Study on characteristics of nitrogen and phosphorus loss under an improved subsurface drainage. *Water*, 11(7), 1467.
- Tuohy, P. Humphreys, J., Holden, N. M., & Fenton, O. (2015). Mole drain performance in a clay loam soil in Ireland. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65(sup1), 2-13.
- Tuohy, P., Humphreys, J. Holden, N. M. & Fenton, O. (2016). Runoff and subsurface drain response from mole and gravel mole drainage across episodic rainfall events. *Agricultural Water Management*, 169, 129-139.
- Valbuena-Parralejo, N. Fenton, O. Tuohy, P. Williams, M. Lanigan, G. J. & Humphreys, J. (2019). Phosphorus and nitrogen losses from temperate permanent grassland on clay-loam soil after the installation of artificial mole and gravel mole drainage. *Science of the Total Environment*, 659, 1428-1436.
- Vlotman, W. F. Smedema, L. K. & Rycroft, D. W. (2020). *Modern land drainage: Planning, design and management of agricultural drainage systems*. CRC Press.



Original Research

## **Evaluation of drain water quality of mole drain on rice cultivation in paddy fields**

**Kasra Ahikhteh, Maryam Navabian\*, Mohammad Hassan Biglouei**

**\* Corresponding Author:** Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture Science, University of Guilan, Rasht, Iran, Dep. of Water Eng. and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran

**Received:** 30 March 2024, **Accepted:** 21 April 2024

**Email:** Navabian@guilan.ac.ir

**<https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.365355.1575>**

### **Introduction**

It is possible to effectively control water in paddy fields, prevent flooding problems, and create optimal conditions for the growth of agricultural products with simultaneous and correct management of irrigation and drainage. Due to the high initial cost of the construction of subsurface drainage, Mole drainage is a suitable and more economical alternative in clay soils. Constructing the mole drain at a critical depth and passing the water through the cracks, improves the soil conditions and removes excess water from the soil surface. Mulqueen (1985), reported that gravel mole drain is a suitable alternative to traditional mole drain. Considering the limited studies in the field of mole drainage, the purpose of this study is to evaluate the performance of low-cost mole drainage for draining excess water from paddy fields and its environmental effects. Therefore, the effect of traditional mole and gravel mole drain on drainage water quality and control of the water table of paddy fields in the mid and end of rice season was investigated.

### **Materials and Methods**

The experiment was conducted in the agricultural year of 2022-2023 in the research farm of the Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan (IRAN). The split-plot experiment was implemented in a randomized complete block design in three replications under the main drainage treatment on two levels: (1) Traditional mole drain (without gravel) and (2) Gravel mole drain and the sub-treatment of irrigation method in two levels: (1) Flood irrigation and (2) Alternative irrigation. In the stages of tillering and harvesting, mid and end season drainage were done respectively. During the drainage period, the water table was measured with a piezometer. By sampling the drainage water, its quality parameters including acidity, electrical conductivity, nitrate, nitrite, phosphate, sulfate, chloride, total suspended and dissolved solids, sodium, calcium, magnesium, and ammonium were measured. The results of the investigated treatments were statistically analyzed using SAS software.

### **Results and Discussion**

With the start of mid season drainage, after one day, the water table reached the middle of the soil profile and more than half of the root development depth was in anaerobic conditions. Five days after the drainage in the traditional mole drain, the depth of root development was in aerobic conditions. The highest value in average acidity and sodium adsorption ratio was 6.99 and 4.65 meq/l respectively in mid season in gravel mole drain and flood irrigation. The highest concentration of ammonium and nitrate in mid season drainage was 0.20 and 0.21 mg/l, respectively, and the highest average electrical conductivity and total dissolved solids at the end season

### *Evaluation of drain water quality of mole drain on rice cultivation in paddy fields*

were 3845  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and 2475 mg/l, respectively, in traditional mole drain and flood irrigation. In mid and end season drainage, the amount of total suspended solids in the mole drain with gravel was 60% and 88% higher than the traditional mole drain, respectively. The highest concentration of nitrite was obtained in the gravel mole drain and flood irrigation with a value of 6.75 mg/l during mid season drainage. The average concentration of phosphate and sulfate in gravel mole drain compared to the traditional mole in mid and end season decreased by 25 and 30%, respectively, and sulfate by 3 and 5.5%. Also, the average concentration of chloride in the gravel mole drain was lower than the traditional one.

#### **Conclusion**

The comparison of results indicated that the average amounts of electrical conductivity, total dissolved solids, sodium adsorption ratio, sodium, ammonium, phosphate, sulfate, and chloride of drainage water in mid and end season were lower in gravel mole drain than that in traditional one. The results of statistical analysis showed that the treatment of drainage, irrigation, and time at the level of one and five percent were effective on most of the parameters, while the values of electrical conductivity, total dissolved solids, and nitrite of the drainage water showed that their difference was not significant. The traditional mole drain was more successful in controlling the water table. A comparison of the quality parameters of drainage water with the standard of the Iranian Environmental Protection Organization for the discharge of drainage water into surface waters showed that most of the parameters, except for ammonium and total suspended solids, were within the permissible limits.

**Keywords:** Drainage water quality, Heavy soil texture, Mid and end season drainage, Water table