

مقاله علمی- پژوهشی

## اثر بخشی زهکشی لانه‌موشی اراضی شالیزاری بر تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد

### برنج

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹

### چکیده

عملیات آبیاری و زهکشی اراضی کشاورزی با تاثیر بر انتقال املاح در خاک می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای بر عملکرد محصول و خروج املاح از اراضی و مخاطرات محیط‌زیستی داشته باشند. پژوهش حاضر، با هدف ارزیابی اثر سامانه زهکشی لانه‌موشی در مدیریت‌های متداول آبیاری کشت برنج بر خصوصیات شیمیایی خاک اراضی شالیزاری و عملکرد برنج به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گیلان در شهر رشت به اجرا درآمد. تیمارها شامل شاهد (بدون زهکشی (D<sub>0</sub>))، زهکش لانه‌موشی در دو حالت سنتی (D<sub>1</sub>) (بدون گراول) و پر شده با گراول (D<sub>2</sub>) و مدیریت آبیاری غرقاب دائم (I<sub>1</sub>) و غرقاب تناوبی (I<sub>2</sub>) بودند. زهکشی میان‌فصل در مرحله پنجه‌زنی به مدت ۷ روز و زهکشی پایان‌فصل در زمان برداشت محصول اعمال شد. برای بررسی تغییرات شیمیایی خاک، در چهار مرحله در طول دوره رشد گیاه برنج و در دو عمق خاک نمونه‌برداری انجام و پارامترهای اسیدیته، هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های نیترات، آمونیوم، مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم خاک اندازه‌گیری شدند. همچنین پس از برداشت برنج، از کرت‌ها نمونه برداری و عملکرد دانه برنج اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه آماری لایه سطحی و عمقی خاک نشان داد که اثر سامانه زهکشی لانه‌موشی (به غیر از نیترات و اسیدیته)، اثر زمان (به غیر از اسیدیته) و اثر متقابل سامانه زهکشی لانه‌موشی و زمان بر تمام پارامترهای شیمیایی خاک مورد اندازه‌گیری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. مقایسه پیش و پس از زهکشی میان‌فصل نشان داد که زهکشی به‌طور میانگین منجر به کاهش غلظت آمونیوم (۴۳ و ۲۶ درصدی) و افزایش غلظت نیترات (۴۷ و ۴۶ درصدی) به ترتیب در لایه سطحی و عمقی خاک شد. همچنین زهکشی هدایت الکتریکی خاک در لایه سطحی را ۲۷ درصد کاهش و در لایه عمقی ۱۲ درصد افزایش داد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هر دو تیمار زهکشی لانه‌موشی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه برنج معنی‌دار بودند. بیشترین عملکرد دانه با مقدار ۵۱۸۷/۲۴ کیلوگرم بر هکتار در تیمار زهکشی لانه‌موشی با گراول (D<sub>2</sub>) به دست آمد که نسبت به زهکشی لانه‌موشی سنتی و تیمار شاهد به ترتیب ۲/۸ و ۱۰/۵ درصد افزایش داشت. استفاده از زهکش لانه‌موشی به خصوص در ترکیب با گراول، خصوصیات شیمیایی خاک را تغییر داد و منجر به افزایش محصول برنج شد.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری غرقاب تناوبی، آبیاری غرقاب دائم، آمونیوم، زهکشی میان و پایان‌فصل، هدایت الکتریکی

### مقدمه

دارد که عامل مشکلاتی مانند آب‌ماندگی، عدم تهویه کافی و شوری خاک هستند. استفاده از سامانه زهکشی مناسب برای کنترل شرایط اشباع و آبشویی املاح خاک که باعث ایجاد وضعیت مناسب برای کشت گیاه برنج و توسعه کشت دوم در شالیزارها خواهد شد، امری ضروری است (محمدپور و نوایان، ۱۳۹۹). با احداث سامانه‌های زهکشی زیرزمینی سرعت حرکت آب در خاک به‌مرور زمان بهبود یافته و تخلیه سریع‌تر آب از نیمرخ خاک روی می‌دهد (آقاجانی مازندرانی، ۱۳۹۵). ترک‌های انقباضی در شالیزارهای با بافت خاک رسی، مسیره‌های اصلی زهکشی آب اضافی هستند و در صورت مسدود شدن درز و ترک‌ها جریان آب کاهش پیدا می‌کند (Unhanand and Kadir, 1975; Yoshida and Adachi, )

بافت سنگین خاک و لایه سخت در شالیزارها پیامدهایی چون سرعت نفوذ کم، زهکشی ضعیف، تراکم و چسبندگی زیاد به همراه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- دانشیار، 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، گیلان، ایران

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

\* نویسنده مسئول: [Email: Navabian@guilan.ac.ir](mailto:Navabian@guilan.ac.ir)

DOI: [10.22034/ijid.2025.522530.2585](https://doi.org/10.22034/ijid.2025.522530.2585)

هدایت الکتریکی خاک به میزان ۱۳/۷۸ و ۱۷/۲۷ درصد در مقایسه با S/G در زمان میان فصل و گلدهی شد. همچنین مقایسه مقادیر هدایت الکتریکی زهکش S+G و S/G در مقایسه با تیمار بدون زهکش به ترتیب ۱۵/۱۸ و ۲۶/۸۷ درصد در میان فصل و به میزان ۱۹/۰۹ و ۳۳/۰۶ درصد در زمان گلدهی کاهش نشان داد. کثیرول و همکاران با ارزیابی عملکرد سامانه زهکشی زیرزمینی به روش شبکه موازی در اراضی شالیزاری تحت آبیاری غرقابی نتیجه گرفتند که پس از احداث سامانه زهکشی زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی خاک ۳۰ درصد افزایش و pH، هدایت الکتریکی و درصد سدیم قابل تبادل به ترتیب به ۱۲، ۵۴ و ۲۰ درصد کاهش پیدا کردند (Kathirvel et al., 2021).

راشد دو آزمایش در دو فصل متوالی کشت در سه تیمار اصلی (فاصله زهکش ۳، ۶ و ۹ متر) و سه تیمار فرعی (اصلاح کننده خاک شامل کمپوست، گچ و ترکیب گچ و کمپوست) با هدف بررسی تاثیر فاصله زهکش لانه‌موشی بر برخی ویژگی‌های خاک (فیزیکی و شیمیایی) و بهره‌وری کشت چغندر قند در خاک شور با بافت رسی در قالب طرح اسپیلت-اسپیلت پلات (کرت‌های دوبار خرد شده) در مصر انجام داد (Rashed, 2020). نتایج نشان داد که مقادیر هدایت الکتریکی، درصد سدیم قابل تبادل، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل کل، میزان نفوذ و پارامترهای حاصلخیزی خاک (NPK) به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارها قرار گرفتند و فاصله زهکش لانه‌موشی سه متر در ترکیب با اصلاح کننده خاک کمپوست و گچ، توانست بیشترین کاهش را در اثر تنش شوری بر عملکرد چغندر قند ایجاد کند. بایومی آزمایش مزرعه‌ای در کرت‌های خرد شده روی خاک شور در دو فصل رشد متوالی کشت گندم و آفتابگردان در سطوح مختلف آبیاری جویچه‌ای به بررسی اثر عمق و فاصله زهکش لانه‌موشی و استفاده از بهساز خاک جایگزین گچ<sup>۳</sup> پرداخت (Bayoumi, 2019). نتایج نشان داد فاصله دو متری با عمق زهکش ۵۰ سانتی متری در شرایط استفاده از بهساز جایگزین گچ و آبیاری ۲۰ درصد مازاد بر رطوبت ظرفیت زراعی، منجر به کاهش شوری، اسیدیته، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل کل و مقاومت به فروری<sup>۴</sup> و باعث افزایش هدایت هیدرولیکی، مواد آلی، عملکرد دانه، بهره‌وری آب (عملکرد محصول در واحد آب مصرفی) و راندمان مصرف آب شد. عبدالرازق به بررسی تاثیر زهکشی لانه‌موشی بر بهبود برخی خواص خاک با فرآیند آبشویی در مزرعه پرداخت (Abdel-Razek, 2019). هدایت الکتریکی خاک در طول دوره آبشویی برای عمق ۳۰- و ۶۰- سانتی متر به ترتیب ۴۱/۸۴ و ۴۱/۷۶ درصد و در فصل کشت سورگوم ۲۷/۳۲ و ۲۵/۵۹ درصد کاهش یافت. مقادیر میانگین تخلخل

در زمین‌هایی با لایه نفوذناپذیر کم عمق، هزینه اجرای سامانه زهکشی زیرزمینی (لوله‌ای) برای کنترل سطح ایستابی و عملکرد رضایت‌بخش آن، به دلیل نیاز به ایجاد فاصله نزدیک در زهکش‌ها عموماً فرآیندی پر هزینه است. بنابراین استفاده از شیوه‌های زهکشی مانند زهکشی لانه‌موشی که مقرون به صرفه و در مدت زمان کوتاه پاسخ‌گو باشد، توصیه می‌شود (Tuohy et al., 2015). زهکش لانه‌موشی به‌عنوان یک سامانه زهکشی 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 میله توسعه‌دهنده<sup>۲</sup> قرار دارد، به وسیله تراکتور در زمین ایجاد می‌شود (Kolekar et al., 2011; Dhakad et al., 2014). در واقع هدف اصلی زهکش‌های لانه‌موشی مدیریت و بهبود شرایط خاک با حذف آب اضافی از سطح خاک است که با احداث زهکش در عمق بحرانی نصب و حرکت آب در درز و ترک ایجاد شده در خاک، انجام می‌شود (Smedema et al., 2005). بافت خاک (میزان رس خاک)، پایداری خاکدانه‌های خاک در برابر خیس شدن و وضعیت رطوبت خاک در زمان احداث زهکش، عوامل موثر بر طول عمر و کارکرد طولانی مدت زهکش‌های لانه‌موشی هستند (Tuohy et al., 2015).

تا کنون پژوهش‌های متعددی در خصوص اثر فاصله و عمق زهکش‌های لانه‌موشی انجام شده که نتایج آن‌ها نشان می‌دهد، افزایش عمق و کاهش فاصله میان زهکش‌ها در کنار افزایش نفوذ آب و همچنین آبشویی نمک‌های اضافی از خاک باعث کاهش هدایت الکتریکی خاک و افزایش عملکرد محصول می‌شود (Nada et al., 2023; Bayoumi, 2019; Tarbush and Morad, 2017; Aiad, 2014). نادا و همکاران اثر سامانه‌های زهکشی لانه‌موشی (با فواصل و اعماق مختلف) و روش‌های آبیاری (کرتی و جویچه‌ای) را طی دو فصل رشد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک شور و عملکرد گندم بررسی کردند (Nada et al., 2023). نتایج بررسی‌ها نشان داد که افزایش عمق و کاهش فاصله بین زهکش‌های لانه‌موشی باعث کاهش اسیدیته خاک، هدایت الکتریکی، درصد سدیم قابل تبادل و مقدار مواد آلی و نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک شد. روش کاشت جویچه‌ای همراه با زهکش‌های لانه‌موشی در فاصله دو متری و عمق ۴۰ سانتی متری منجر به افزایش عملکرد گندم و جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و تولید پروتئین در شرایط خاک شور شد. عاشور و همکاران در پژوهش خود به بررسی تاثیر زهکشی لانه‌موشی پر شده با گراول و ماسه به صورت مخلوط (S+G) و لایه لایه (S/G) بر هدایت الکتریکی خاک در کشت ذرت پرداختند (Ashour et al., 2022). نتایج بررسی آن‌ها نشان داد زهکش S+G منجر به کاهش

3- Alternative Gypsum  
4- Penetration Resistances

1- Mole Plough  
2- Expander

## مواد و روش‌ها

برای بررسی تاثیر زهکشی لانه‌موشی بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گیاه برنج رقم هاشمی، پژوهشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در شهر رشت (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی) به اجرا درآمد. آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار که عامل اصلی شامل تیمارهای ۱- شاهد (بدون زهکشی (D<sub>0</sub>))، ۲- سامانه زهکش لانه‌موشی سنتی (بدون گراول) (D<sub>1</sub>) و ۳- سامانه زهکش لانه‌موشی با گراول (D<sub>2</sub>) و عامل فرعی مدیریت آبیاری در دو سطح: ۱- غرقاب دائم (I<sub>1</sub>) و ۲- آبیاری تناوبی (I<sub>2</sub>) در نظر گرفته شد. تیمارهای مورد نظر در ۱۸ کرت مستطیلی شکل به ابعاد ۹×۶ متر با فاصله بین تکرارها ۲ متر و فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر اجرا شدند. با توجه به بافت خاک مزرعه (لوم رسی سیلتی) و بر اساس میزان رس خاک (بالای ۳۰ درصد) (Bennett et al., 2005)، زهکش لانه‌موشی قابل اجرا برای زهکشی بود. زهکش‌های لانه‌موشی یک سال قبل با قطر ۱۰ سانتی‌متر با فاصله سه متر به صورت بدون گراول 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. در هر کرت سه خط زهکش حفر شد که پس از جمع‌آوری زه‌آب آن‌ها توسط لوله پلی‌اتیلنی، تمام خطوط زهکش به نهر جمع‌کننده هدایت شدند (شکل ۱).

پیش از کشت برنج در تاریخ ۴ خرداد ماه، نمونه خاک از مزرعه در عمق‌های صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد. برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است. در زمان شروع آزمایش مقادیر شوری و نترات خاک کم و غلظت آمونیوم در لایه پایینی بیشتر بود. در تاریخ ۶ خردادماه ۱۴۰۱، برنج رقم هاشمی با فاصله بین بوته‌ها و ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر، نشاکاری شد. برای جلوگیری از نشت آب و رشد علف‌های هرز، پوشش پلاستیکی روی پشته‌ها قرار داده شد. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش پرتیلاکتر ۵۰ درصد دو روز پس از نشاکاری و به میزان دو لیتر در هکتار استفاده شد. بر اساس وضعیت حاصلخیزی خاک، کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس عرف منطقه در دو مرحله، ابتدای کشت (۸ خرداد ماه) و پنجه‌زنی (۱۵ تیر ماه)، به مزرعه اضافه شد.

دو تیمار آبیاری به صورت غرقاب دائم با ارتفاع ۳ تا ۵ سانتی‌متر پس از نشاکاری و پیش از زهکشی میان فصل و پس از آن به ارتفاع ۱ تا ۳ سانتی‌متر و همچنین آبیاری متناوب با دوره تناوب پنج روز و با ارتفاع مشابه با آبیاری غرقاب دائم اجرا شد. برخی از مشخصات

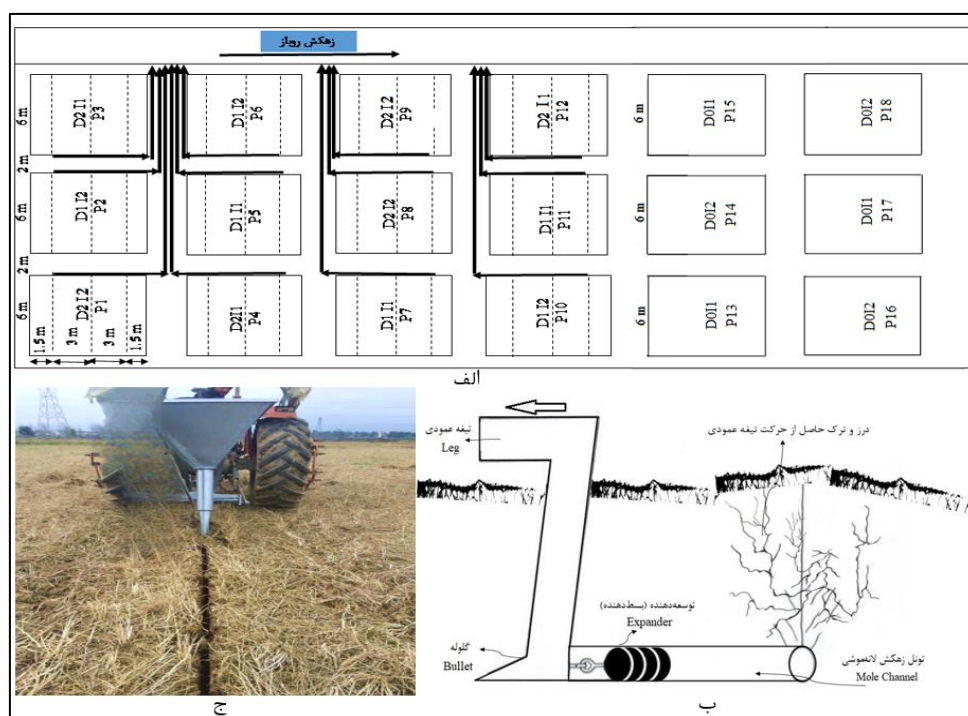
کل برای عمق ۳۰-۶۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر به ترتیب ۵/۱ و ۳/۱۹ درصد افزایش و جرم مخصوص ظاهری به ترتیب ۱/۵۷ و ۰/۷۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش نشان داد.

شیبانا و همکاران در دو فصل زراعی، آزمایشی را برای ارزیابی کارایی زهکش‌های لانه‌موشی به‌عنوان یک سامانه زهکشی کم‌هزینه در اراضی شالیزاری شور اجرا کردند (Shabana et al., 2018). در این پژوهش، سه تیمار زهکشی شامل زهکشی سطحی بدون زهکشی لانه‌موشی، زهکش لانه‌موشی یک‌طرفه همراه با زهکشی سطحی، و زهکش لانه‌موشی دو طرفه همراه با زهکشی سطحی در ترکیب با منابع ارزان و کارآمد کود نیتروژن برای کشت برنج مقایسه شدند. نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از کود نیتروژن و زهکش لانه‌موشی دو طرفه همراه با زهکشی سطحی منجر به کاهش شوری و سدیمی بودن خاک شدند. همچنین اضافه کردن زهکش لانه‌موشی به زهکش سطحی منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و مقاومت به فروروی خاک و افزایش سرعت نفوذ نهایی شد. تاربوش و مراد، به بررسی اثر سامانه‌های مختلف زهکشی بر بهره‌وری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با بافت رسی اراضی شالیزاری کشت برنج در قالب چهار تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی (بدون گراول)، زهکش لانه‌موشی پُر شده با گراول، زهکش لوله‌ای و بدون زهکش (شاهد) پرداختند (Tarbush and Morad, 2017). نتایج نشان داد کاهش فاصله زهکش لانه‌موشی باعث افزایش عملکرد محصول در تمام فصول رشد و افزایش آبشویی نمک از خاک و کاهش مقادیر هدایت‌الکتریکی عصاره اشباع خاک شد. تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی با فاصله ۴ متر و عمق نصب ۴۰ سانتی‌متر باعث کاهش شوری در میان تیمارهای زهکشی شد. کریمان (۱۴۰۲)، با بررسی زهکشی لانه‌موشی با و بدون گراول بر کشت کلزا به‌عنوان کشت دوم اراضی شالیزاری نشان داد که به‌غیر از پتاسیم سایر کاتیون‌ها روند کاهش را در طول دوره رشد نشان دادند. میزان کاهش سدیم و کلسیم خاک پس از یک دوره کشت کلزا در حضور زهکش بیش‌تر از بدون زهکشی به‌دست آمد. همچنین در زهکشی بدون گراول مقدار نترات خاک کاهش بیشتری نسبت به با گراول داشت.

با توجه به اینکه مطالعات زیادی در خصوص زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها به خصوص در کشور ایران انجام نشده است و از آنجا که نوع زهکش و شیوه مدیریت آبیاری باعث تغییر در الگوی حرکت آب و در نتیجه انتقال املاح در خاک و عملکرد محصول می‌شود، در این پژوهش به بررسی تاثیر زهکش لانه‌موشی تحت مدیریت‌های آبیاری کشت برنج (که به‌دلیل کمبود آب به سمت تناوبی سوق داده شده است) بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد دانه برنج در زهکشی میان و پایان فصل برنج پرداخته می‌شود.

پس از زهکشی پایان فصل (۹ شهریور) از خاک در دو لایه ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی متر نمونه برداری شد. پس از خشک کردن و عبور دادن خاک از الک دو میلی متری، به روش نسبت محلول (۱:۱۰) (Burt, 2011) خصوصیات شیمیایی آن شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC) و غلظت نیترات، آمونیوم، سدیم، کلسیم و منیزیم مطابق با روش های استاندارد اندازه گیری شدند (Baird et al., 2017). اسیدیته با pH متر، هدایت الکتریکی با هدایت سنج الکتریکی، مقادیر کلسیم، منیزیم و آمونیوم به روش تیتراسیون، غلظت نیترات با دستگاه اسپکتروفوتومتر به روش سولفات بروسین در طول موج ۴۱۰ نانومتر و مقادیر سدیم با دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شدند. برای تعیین عملکرد دانه، با در نظر گرفتن حاشیه، تعداد ۲۵ بوته از مساحت یک متر مربع هر کرت به طور تصادفی انتخاب و به صورت دستی کف بر شدند. بوته ها به آزمایشگاه منتقل و شلتوک از کاه و کلش جداسازی و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم توزین شدند. عملکرد دانه خشک (وزن شلتوک خشک) براساس تراکم بوته در واحد سطح برحسب کیلوگرم بر هکتار محاسبه شد. در نهایت نتایج تیمارهای مورد آزمایش داده های خاک در زمان و عملکرد دانه برنج با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین آن ها با آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

شیمیایی آب آبیاری به طور میانگین در جدول (۲) نشان داده شده است. طبق نتایج، مقادیر نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی آب آبیاری مطابق با نمودار رودز (Rhoades, 1977) دارای پتانسیل پراکندگی ذرات خاک و کاهش نفوذ است. همچنین طبق جدول تحمل پذیری گیاه در برابر شوری آب آبیاری و پتانسیل عملکرد محصول (Maas, 1984)، شوری آب آبیاری فراتر از حد آستانه تحمل گیاه برنج است و امکان تاثیر 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 هفت 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. از آنجا که شرایط دمایی و بارش بر روند آبیاری و زهکشی اثرگذار است، روند تغییرات روزانه دمای میانگین و بارش در مزرعه در مدت پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است (ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در مجاورت مزرعه قرار دارد). برای بررسی تغییرات خصوصیات شیمیایی خاک در کرت ها، سه مرحله پیش و پس از زهکشی میان فصل (۲۵ تیر و ۲۶ مرداد ماه) و



شکل ۱- شمای کرت بندی زهکشی لانه موشی در مزرعه (الف) (حروف اختصار شامل D<sub>0</sub>: بدون زهکشی، D<sub>1</sub>: زهکشی لانه موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه موشی با گرول، I<sub>1</sub>: مدیریت آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: مدیریت آبیاری غرقاب تناوبی، P: کرت)، زهکشی لانه موشی و درز و ترک ایجاد شده (ب) و احداث زهکشی توسط گاواهن لانه موشی (ج)

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق خاک (Cm)	بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )	رطوبت ظرفیت زراعی (%)	رطوبت اشباع (%)	تخلخل (%)
۰-۱۵	Silty Clay Loam	۳۰	۵۹	۱۱	۱/۵۴	۴۷/۵	۵۶/۲۴	۴۹/۱
۱۵-۳۰	Silty Clay Loam	۳۱	۵۷	۱۳	۱/۵۱	۴۵/۳	۵۵/۱۸	۴۸/۳

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه پیش از کشت (نسبت محلول ۱:۱۰) و میانگین خصوصیات آب آبیاری

پارامتر	عمق خاک (Cm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (μS/cm)	آمونیم (mg/l)	نیترات (mg/l)	کلسیم (meq/l)	منیزیم (meq/l)	سدیم (meq/l)	نسبت جذب سدیم (meq/l <sup>0.5</sup> )
خاک	۰-۱۵	۷/۰۲	۳۸۵/۸	۳/۲۷	۰/۲۵	۱/۴۹	۱/۰۱	۱/۵۹	۱/۳۵
	۱۵-۳۰	۷/۰۱	۳۱۲/۷	۵/۱۸	۰/۲۰	۱/۴۶	۰/۸۶	۱/۲۴	۱/۰۹
آب آبیاری	-	۷/۶۰	۳۲۸۰/۰	۱۴/۴۷	۰/۹۴	۱۱/۳۵	۵/۷۰	۹/۰۶	۳/۱۰

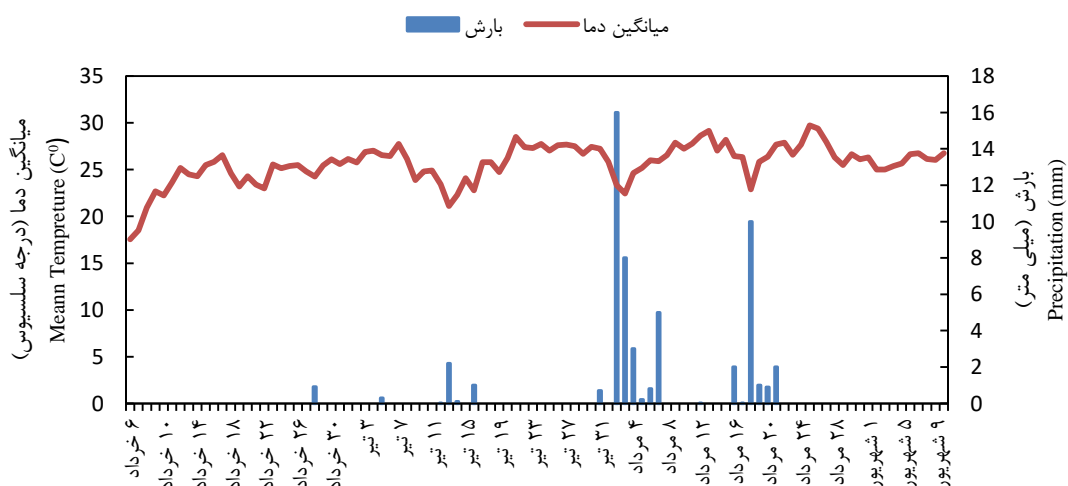
## نتایج و بحث

نتایج تجزیه آماری خصوصیات شیمیایی در لایه سطحی و عمقی خاک در تیمارهای مورد بررسی در جداول (۳) و (۵) و نتایج مقایسه میانگین در جداول (۴) و (۶) آمده است. در ادامه، هر یک از خصوصیات شیمیایی خاک مورد بررسی بر اساس نتیجه تجزیه آماری مورد بحث قرار می‌گیرند.

### اسیدیته خاک

نتایج تجزیه آماری (جداول ۳ و ۵) نشان داد اسیدیته خاک در لایه سطحی بر خلاف لایه عمقی، از زهکشی و آبیاری تاثیر نپذیرفت. در لایه سطحی اثر زمان و اثر متقابل زهکشی و زمان در

سطح احتمال ۵ درصد و همچنین اثر متقابل آبیاری و زهکشی و اثر متقابل زهکشی، آبیاری و زمان در سطح احتمال ۱ درصد و در لایه عمقی اثر متقابل زهکشی و آبیاری و اثر آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد و همچنین اثر متقابل زهکشی و زمان و اثر زهکشی در سطح احتمال ۱ درصد بر اسیدیته خاک معنی‌دار شدند. بنابراین وجود زهکشی و تغییر رژیم آبیاری از غرقاب دائم به متناوب بر اسیدیته خاک تاثیر نداشت در حالی که زمان، عامل تغییر اصلی در لایه سطحی خاک بود. همچنین تغییر رژیم آبیاری در شرایط اجرای زهکشی می‌تواند بر اسیدیته خاک در تاثیر معنی‌داری داشته باشد هر چند این تاثیر کمتر از اثر زهکشی و گذشت زمان به‌دست آمد.



شکل ۲- اطلاعات ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت در طول دوره مطالعه (۶ خرداد تا ۹ شهریور ۱۴۰۱)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات شیمیایی لایه سطحی خاک در تیمارهای مورد بررسی

میانگین مربعات (MS)					درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
نسبت جذب سدیم <sup>0.5</sup> (meq/l)	نیترات (mg/l)	آمونیم (mg/l)	هدایت الکتریکی کی (μS/cm)	اسیدیته		
۰/۲۴۵۷۰۹۷۲**	۰/۰۰۲۱۲۱۷۲ns	۱/۳۹۷۷۱۲۵۰ns	۷۷۴۸/۳۳۱۰ns	۰/۱۵۰۴۳ns	۲	BLOCK
۰/۲۸۲۰۵۱۳۹**	۰/۰۸۶۲۸۱۲۶*	۲/۶۰۱۹۵۴۱۷**	۵۱۷۲۷/۸۹۰۶**	۰/۰۹۱۲۵۹۷۲ns	۲	سامانه زهکشی لانه‌موشی (D)
ns/۰۰۵۰۶۵۱۳۹	*./۰۸۵۰۰۹۳۵	ns۱/۶۹۹۸۴۱۶۷	ns۲۷۸۱/۲۷۷۲	ns۰/۰۸۴۶۰۱۳۹	۴	Block × D
۰/۰۰۳۴۷۲۲۲ns	۰/۱۵۴۱۰۵۰۱*	۰/۰۰۳۰۶۸۰۶ns	۱۰۰۳/۵۲ns	۰/۰۵۱۲ns	۱	آبیاری (I)
ns/۰۰۷۵۲۵۱۳۹	*./۱۲۵۹۲۲۵۱	ns۰/۷۰۱۰۰۱۳۹	ns۵۶۰۱/۳۰۶۷	**./۷۱۲۰۵۴۱۷	۲	D×I
ns/۰۰۸۴۴۴۵۸۳	ns۰/۰۳۴۰۷۳۵۶	ns۰/۴۱۶۷۹۸۶۱	ns۶۱۱۱/۹۴۹۹	ns۰/۰۹۶۶۹۴۴	۶	Block × D× I
۱/۰۲۲۱۶۴۸۱**	۰/۶۹۲۸۸۱۳۴**	۱/۸۱۴۴۶۴۳۵**	۱۷۹۵۰/۳۳۵۷**	۰/۳۹۸۷۹۶۳۰*	۳	زمان (T)
۱/۰۷۲۷۶۶۲۰**	۰/۱۷۹۴۳۴۹۹**	۱/۹۳۷۷۱۱۵۷**	۵۴۱۴۷/۸۸۱۳**	۰/۳۲۵۸۵۶۰۲*	۶	D×T
۰/۰۷۷۶۵۳۷۰ns	۰/۰۳۳۲۰۷۵۰ns	۰/۸۲۲۲۵۳۲۴ns	۵۴۳۵/۳۷ns	۰/۲۵۶۱۷۴۰۷ns	۳	I×T
ns/۰۰۵۷۸۱۰۶۵	ns۰/۰۳۷۰۱۶۵۰	ns۰/۵۲۸۱۵۸۸۰	*۱۳۱۷۱/۸۷۸۹	**./۶۵۳۴۰۶۰۲	۶	D×I×T
**./۰۲۰۳۳۹۶۷۶	ns۰/۰۴۴۵۷۳۳	ns۱/۲۱۲۳۶۴۳۵	ns۳۱۳۳/۲۶۸۹	ns۰/۰۷۲۰۱۲۹۶	۶	Block × T
۰/۰۴۱۳۹۵۰۹	۰/۰۲۴۵۲۷۵۷	۰/۶۷۸۲۶۵۵	۴۵۰۲/۰۴۹	۰/۱۲۶۴۹۷۹۶	۳۰	خطا
۱۳/۹۶	۴۵/۲۶	۲۰/۶۴	۱۸/۷۴	۵/۳۰	-	ضریب تغییرات (CV%)

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

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین مقادیر اسیدیته، هدایت الکتریکی، آمونیم، نیترات، کلسیم، منیزیم و سدیم در تیمارهای مختلف زهکشی لانه‌موشی، مدیریت آبیاری، زمان اندازه‌گیری و اثرات متقابل معنی‌دار زهکشی در زمان در خاک (لایه سطحی خاک)

تیمار	اسیدیته	هدایت الکتریکی (μS/cm)	آمونیم (mg/l)	نیترات (mg/l)	نسبت جذب سدیم <sup>0.5</sup> (meq/l)
زهکشی لانه‌موشی (Mole Drainage)					
D <sub>0</sub>	a6/۷۶	۴۱۱/۴۰a	۵/۱۳a	۰/۳۸۲a	۱/۵۵a
D <sub>1</sub>	۶/۶۴a	۳۳۵/۳۵b	۳/۴۱b	۰/۲۷۷a	۱/۴۸b
D <sub>2</sub>	۶/۷۴a	۳۲۷/۲۴b	۳/۴۲b	۰/۳۷۹a	۱/۳۴b
مدیریت آبیاری (Irrigation Management)					
I <sub>1</sub>	۶/۶۹a	۳۵۴/۲۶a	۳/۹۸a	۰/۳۰۰a	۱/۴۵a
I <sub>2</sub>	۶/۷۴a	۳۶۱/۷۳a	۳/۹۹۶a	۰/۳۹۲a	۱/۴۶a
زمان اندازه‌گیری (Time)					
T <sub>1</sub>	۶/۸۸a	۴۰۹/۴۲a	۴/۲۵b	۰/۲۵۰c	۱/۴۱b
T <sub>2</sub>	۶/۵۲b	۴۴۹/۹۴a	۵/۰۷a	۰/۱۵۰c	۱/۸۰a
T <sub>3</sub>	۶/۷۱b	۳۵۱/۶۷b	۳/۸۳b	۰/۳۸۰b	۱/۳۷c
T <sub>4</sub>	۶/۷۵ab	۲۲۰/۹۶c	۲/۸۱c	۰/۶۰۴a	۱/۲۵c
D×T					
D <sub>0</sub> T <sub>1</sub>	۶/۹۰abc	۶۱۰/۰a	۷/۴۹a	۰/۲۲d	۲/۱۶a
D <sub>0</sub> T <sub>2</sub>	۶/۳۶d	۴۲۲/۵b	۴/۷۰b	۰/۱۱d	۱/۸۳b
D <sub>0</sub> T <sub>3</sub>	۷/۱۳a	۴۱۸/۵b	۵/۰۱b	۰/۶۹a	۱/۳۴ef
D <sub>0</sub> T <sub>4</sub>	۶/۶۵bcd	۱۹۴/۶c	۳/۳۴c	۰/۵۱b	۰/۸۸h
D <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	۶/۷۷abcd	۲۸۷/۵cd	۲/۴۰c	۰/۱۲d	۰/۹۶h
D <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	۶/۵۹bcd	۴۸۳/۳b	۵/۵۹b	۰/۱۷d	۱/۸۴b
D <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	۶/۴۵d	۳۲۱/۷c	۳/۱۹c	۰/۱۷d	۱/۴۸de
D <sub>1</sub> T <sub>4</sub>	۶/۷۷abcd	۲۴۸/۹de	۲/۴۴c	۰/۶۵a	۱/۶۳cd
D <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	۶/۹۷ab	۳۳۰/۷c	۲/۸۶c	۰/۴۱bc	۱/۱۱gh
D <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	۶/۶۱bcd	۴۴۴/۰b	۴/۹۰b	۰/۱۷d	۱/۷۲bc
D <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	۶/۵۴cd	۳۱۴/۸c	۳/۳۰c	۰/۲۹cd	۱/۲۸ef
D <sub>2</sub> T <sub>4</sub>	۶/۸۴abcd	۲۱۹/۴e	۲/۶۵c	۰/۶۵a	۱/۲۴fg

حروف اختصار D<sub>0</sub>: بدون زهکشی، D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: مدیریت آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: مدیریت آبیاری غرقاب تناوبی، T<sub>1</sub> تا T<sub>4</sub>: چهار مرحله نمونه‌برداری هستند. میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات شیمیایی لایه عمقی خاک در تیمارهای مورد بررسی

میانگین مربعات (MS)					درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
نسبت جذب سدیم (meq/l) <sup>0.5</sup>	نیترات (mg/l)	آمونوم (mg/l)	هدایت الکتریکی (μS/cm)	اسیدیته		
۰/۰۲۶۹۷۹۱۷ns	۰/۰۳۴۳۸۸۰۱ns	۰/۱۶۳۶۸۸۵ns	۳۱۶/۴۴۳۵ns	۰/۰۹۱۴۱۸۰۶ns	۲	BLOCK
۰/۱۵۸۶۳۷۵۰*	۰/۰۲۶۳۹۷۶ns	۱۱/۵۳۹۹۸۸۵**	۵۳۷۶۵/۹۲۷۲**	۰/۶۲۶۵۹۳۰۶**	۲	سامانه زهکشی لانه‌موشی (D)
ns۰/۰۴۷۷۱۰۴۲	ns۰/۰۸۸۲۵۵۷۸	ns۰/۱۷۵۷۰۵۲	ns۲۲۳۵/۱۲۲۰	ns۰/۰۴۹۷۰۳۴۷	۴	Block × D
۰/۳۲۸۰۵**	۰/۰۴۰۲۸۰۶۸ns	۰/۰۴۴۷۵۰۳ns	۶۱۳۸/۳۲ns	۰/۳۱۷۳۳۸۸۹*	۱	آبیاری (I)
**۰/۲۱۷۲۱۲۵۰	*۰/۲۹۱۸۷۳۸۵	ns۰/۰۵۰۳۸۵۸	ns۹۷۵/۳۸	*۰/۲۷۸۵۵۱۳۹	۲	D×I
ns۰/۰۴۷۷	ns۰/۰۲۸۲۴۷۱۷	ns۰/۳۷۱۸۸۴۴	ns۱۸۶۸/۱۵۶۷	*۰/۲۲۹۸۳۸۸۹	۶	Block × D× I
۰/۷۸۵۰۳۳۳**	۰/۸۰۵۴۶۳۲۷**	۳۹/۹۳۷۸۴۸۵**	۶۱۲۶۴/۲۶۷**	۰/۱۰۳۴۵۳۷۰ns	۳	زمان (T)
۰/۸۱۵۰۸۷۵۰**	۰/۱۷۷۶۱۷۴۷*	۶/۹۵۳۴۱۴۵**	۴۴۰۰۶/۲۰۰۴**	۰/۵۴۵۶۰۷۸۷**	۶	D×T
۰/۱۲۷۷۷۶۳*	۰/۰۵۵۰۴۸۶۱ns	۰/۰۴۰۴۹۱۱ns	۱۶۱۷/۰۸۳۳ns	۰/۱۷۵۱۲۷۷۸ns	۳	I×T
ns۰/۰۷۴۹۰۳۲۴	ns۰/۰۲۰۸۸۸۳۳	ns۰/۰۷۱۷۶۵۴	ns۱۸۴۸/۳۸۱۷	ns۰/۰۲۷۷۸۴۷۲	۶	D×I×T
ns۰/۰۳۰۲۹۰۲۸	ns۰/۰۴۵۲۱۷۸۸	ns۰/۲۰۳۷۹۵۰	ns۹۶۳/۴۴۸۳	ns۰/۱۲۹۷۷۳۱	۶	Block × T
۰/۰۳۷۶۵۷۵۰	۰/۰۵۵۰۷۲۷۵	۰/۲۷۶۸۵۹۲	۱۵۷۵/۳۰۷۴	۰/۰۶۸۴۰۶۲۰	۳۰	خطا
۲۰/۹۸	۵۲/۵۸	۱۵/۸۹	۱۶/۰۱	۳/۶۹	-	ضریب تغییرات (CV%)

کاهش داشت.

در لایه عمقی خاک نیز مشابه با تغییرات در لایه سطحی خاک، پس از زهکشی میان فصل میزان اسیدیته در تیمارهای دارای زهکش بین ۳ تا ۷ درصد نسبت به پیش از زهکشی کاهش یافت اما در تیمار شاهد، روند افزایشی داشت. به این ترتیب زهکشی میان فصل باعث تمایل اسیدیته خاک به سمت نرمال شد. در تیمار آبیاری غرقابی دائم و تناوبی نیز میزان اسیدیته به ترتیب با ۴ درصد کاهش و افزایش اندک مواجه شد. میزان اسیدیته خاک در زمان برداشت محصول نسبت به پیش از کشت در تیمارهای شاهد افزایش و در تیمارهای دارای زهکش به غیر از D<sub>2</sub>I<sub>1</sub> کاهش یافت. همچنین مقایسه مقادیر اسیدیته خاک پیش از کشت و در زمان برداشت نشان داد تیمار D<sub>1</sub> به مقدار ۴ درصد بیشتر از تیمار D<sub>2</sub> باعث کاهش اسیدیته خاک شد. این مسئله نشان دهنده تاثیر بیشتر زهکش لانه‌موشی سنتی در لایه سطحی و عمقی در کاهش میزان اسیدیته خاک است. نتایج نشان داد که محدوده تغییرات میانگین اسیدیته در طول دوره رشد در تیمارهای مختلف در لایه سطحی و عمقی خاک به ترتیب ۶/۵۹-۶/۹۳ و ۶/۹۱-۷/۳۳ و میانگین دو عمق در طول دوره رشد برای تیمار زهکشی لانه‌موشی سنتی بالای ۷ و در تیمارهای شاهد و لانه‌موشی با گراول کمتر از ۶ بود. مقایسه اسیدیته لایه سطحی و عمقی خاک نشان داد که محدوده اسیدیته در لایه عمقی برای شرایط نیترازدایی مناسب تر است و در لایه سطحی نیز در زمان هوازی شدن خاک، محدودیتی برای نیترازدایی وجود ندارد هر چند با مقدار بهینه

روند تغییرات اسیدیته خاک در چهار زمان مختلف، پیش از کشت (۴ خرداد)، پیش از زهکشی میان فصل (۲۵ تیر)، پس از زهکشی میان فصل (۲۶ مرداد) و در زمان برداشت محصول (۹ شهریور) در لایه سطحی و عمقی خاک در شکل (۳) نشان داده شده است. در لایه سطحی خاک، میزان اسیدیته نسبت به زمان و در تیمارهای مختلف دارای نوسان بود. میزان اسیدیته خاک پیش از زهکشی میان فصل برای تمام تیمارها در محدوده ۶/۶۸-۶/۶۰ بود به جز تیمار D<sub>0</sub>I<sub>1</sub> که مقدار ۶/۰۷ داشت. بعد از زهکشی میان فصل، میزان اسیدیته در تیمارهای دارای زهکش (D<sub>1</sub> و D<sub>2</sub>) بین ۲ تا ۶ درصد نسبت به پیش از زهکشی میان فصل کاهش یافت اما در تیمارهای شاهد (بدون زهکش (D<sub>0</sub>)) با روند افزایشی مواجه شد و اسیدیته خاک در محدوده بالاتر از ۷ قرار گرفت، هر چند اختلاف میان تیمارهای زهکشی معنی دار نبود. همچنین اسیدیته خاک در تیمار آبیاری غرقابی دائم به مقدار ۳ درصد افزایش یافت اما در تیمار آبیاری تناوبی، تفاوتی در میزان اسیدیته قبل و بعد از زهکشی میان فصل مشاهده نشد. افزایش اسیدیته خاک در زمان زهکشی میان فصل در تیمارهای شاهد مطابق با نتیجه پژوهش پونامپروما بود که بیان کرد غرقاب شدن باعث افزایش اسیدیته خاک‌های اسیدی شده و اسیدیته خاک‌های قلیایی به سمت خنثی شدن کاهش پیدا می‌کند (Ponnamperuma, 1972). این مسئله نشان دهنده تاثیر زهکشی میان فصل بر کاهش اسیدیته خاک دارد. نتایج نشان داد که مقدار اسیدیته خاک در پایان فصل نسبت به ابتدای دوره کشت، در تمام تیمارها به غیر از D<sub>0</sub>I<sub>2</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>1</sub>

اسیدیته برای افزایش نرخ نیتراتزایی فاصله دارد.

### هدایت الکتریکی خاک

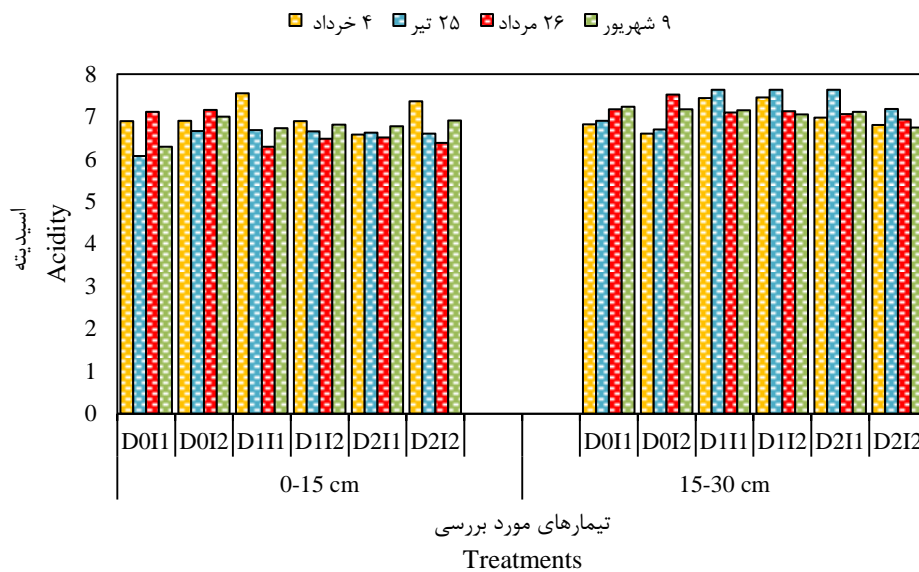
نتایج تجزیه آماری (جدول ۳ و ۵) نشان داد که در لایه سطحی و عمقی خاک اثر زهکشی و زمان و همچنین اثر متقابل زهکشی و زمان در سطح احتمال ۱ درصد بر هدایت الکتریکی خاک معنی دار شدند اما اثر متقابل آبیاری و زهکشی فقط در لایه سطحی خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. بنابراین زهکشی و زمان عامل تغییرات هدایت الکتریکی خاک بودند اما در لایه سطحی خاک آبیاری و زهکشی در کنار هم نقش موثرتری داشتند. تغییرات هدایت الکتریکی خاک در چهار زمان مختلف در لایه سطحی و عمقی خاک در شکل (۴) نشان داده شده است. همان طور که در شکل

مشخص است، مقادیر هدایت الکتریکی لایه سطحی خاک در تمام تیمارها پیش از زهکشی میان فصل به طور قابل توجهی افزایش یافت. این افزایش می تواند به دلیل کوددهی، سمپاشی و آبیاری باشد. زهکشی میان فصل منجر به کاهش مقادیر هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای دارای زهکش شد، که این مقدار کاهش در تیمار زهکش لانه موشی سنتی اندکی بیشتر از لانه موشی با گراول بود. این نتیجه نشان داد که زهکشی توانست به آیشویی نمک از خاک کمک کند. از طرفی با انجام زهکشی، آب از لایه سطحی خاک به لایه پایین تر حرکت کرده و این می تواند منجر به حرکت املاح از لایه سطحی خاک شود که در نتیجه، هدایت الکتریکی کاهش می یابد.

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین مقادیر اسیدیته، هدایت الکتریکی، آمونیوم، نیترات، کلسیم، منیزیم و سدیم در تیمارهای مختلف زهکشی لانه موشی، مدیریت آبیاری، زمان اندازه گیری و اثرات متقابل معنی دار زهکشی در زمان در خاک (لایه عمقی خاک)

تیمار	اسیدیته	هدایت الکتریکی (μS/cm)	آمونیم (mg/l)	نیترات (mg/l)	نسبت جذب سدیم <sup>0.5</sup> (meq/l)
زهکش لانه موشی (Mole Drainage)					
D <sub>0</sub>	b6/96	301/81a	4/03a	0/52a	0/96a
D <sub>1</sub>	7/26a	228/24b	2/65c	0/39a	0/98a
D <sub>2</sub>	7/02b	213/43b	3/26b	0/44a	0/83a
مدیریت آبیاری (Irrigation Management)					
I <sub>1</sub>	7/15a	238/59a	3/34a	0/42a	0/86b
I <sub>2</sub>	7/01a	257/06a	3/29a	0/47a	0/99a
زمان اندازه گیری (Time)					
T <sub>1</sub>	6/98a	330/97a	5/43a	0/21b	1/20a
T <sub>2</sub>	7/12a	223/04c	3/26b	0/34b	0/73c
T <sub>3</sub>	7/15a	240/81b	2/33c	0/69a	0/96b
T <sub>4</sub>	7/07a	196/49c	2/22c	0/54a	0/80c
D×T					
D <sub>0</sub> T <sub>1</sub>	6/60f	529/50a	7/76a	0/13e	1/71a
D <sub>0</sub> T <sub>2</sub>	6/69f	230/83cde	3/14d	0/42bcd	0/77ef
D <sub>0</sub> T <sub>3</sub>	7/34ab	248/67bc	2/43ef	1/01a	0/76f
D <sub>0</sub> T <sub>4</sub>	7/20abcd	198/23de	2/79e	0/50bcd	0/61f
D <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	7/44a	267/50b	3/28cd	0/24e	1/35b
D <sub>1</sub> T <sub>2</sub>	7/40a	219/25cde	3/01d	0/34de	0/72f
D <sub>1</sub> T <sub>3</sub>	7/11abcd	231/87bcde	2/35f	0/41cd	1/06cd
D <sub>1</sub> T <sub>4</sub>	7/10bcd	194/35e	1/95f	0/55bc	0/79ef
D <sub>2</sub> T <sub>1</sub>	6/89ef	195/90e	5/26b	0/27de	0/54f
D <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	7/27abc	219/05de	3/62c	0/26de	0/70f
D <sub>2</sub> T <sub>3</sub>	6/99cde	241/88bcd	2/22f	0/65b	1/08c
D <sub>2</sub> T <sub>4</sub>	6/92def	196/90de	1/92f	0/57bc	1/00de

حروف اختصار D<sub>0</sub>: بدون زهکشی، D<sub>1</sub>: زهکشی لانه موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه موشی با گراول، I<sub>1</sub>: مدیریت آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: مدیریت آبیاری غرقاب تناوبی، T<sub>1</sub> تا T<sub>4</sub>: چهار مرحله نمونه برداری هستند. میانگین هایی که دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری ندارند.



شکل ۳- روند تغییرات اسیدپتیه در لایه سطحی و عمقی خاک در تیمارهای مورد بررسی (حروف اختصار شامل D<sub>0</sub>: بدون زهکشی (شاهد)، 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 غرقاب تناوبی)

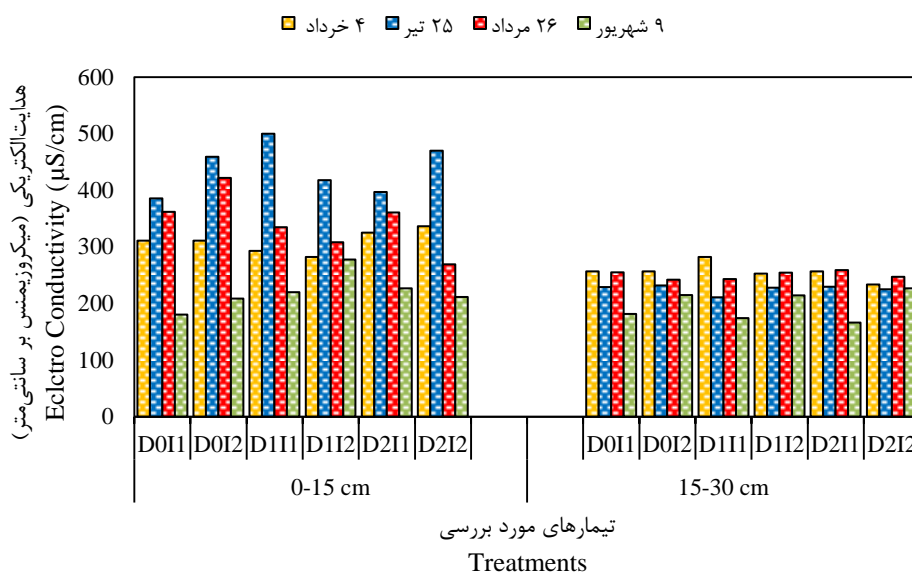
دادند که موجب تغییر در خصوصیات خاک شد (Kathirvel et al., 2021). همچنین آبیاری در نتیجه‌ای مشابه بیان کرد که مقدار هدایت الکتریکی خاک در طی یک فصل زراعی کاهش یافت که این مقدار کاهش در تیمار زهکشی لانه‌موشی پر شده با شن بیشتر از سنتی بود (Aiad, 2014).

#### نسبت جذب سدیم خاک

نتایج تجزیه آماری (جدول ۳ و ۵) نشان داد نسبت جذب سدیم در لایه سطحی بر خلاف لایه عمقی، از آبیاری تاثیر پذیرفت. در لایه سطحی اثر زمان، اثر زهکشی و اثر متقابل زهکشی و زمان در سطح احتمال ۱ درصد و در لایه عمقی اثر متقابل زهکشی و زمان، اثر زمان و اثر آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین اثر متقابل آبیاری و زمان و اثر زهکشی در سطح احتمال ۵ درصد بر نسبت جذب سدیم خاک معنی‌دار شدند. بنابراین زهکشی و زمان بر روند تغییرات نسبت جذب سدیم در خاک اثرگذار بودند و همچنین تغییرات نسبت جذب سدیم در لایه عمقی خاک از دائمی یا متناوب بودن آبیاری تاثیر پذیرفت. روند تغییرات نسبت جذب سدیم خاک در چهار زمان مختلف، در لایه سطحی و عمقی خاک در شکل (۵) نشان داده شده است. مقادیر نسبت جذب سدیم در طول دوره رشد در لایه سطحی بیشتر از لایه عمقی خاک به دست آمد که با مقدار سدیم بالای آب آبیاری و احتمال موفق‌تر تبادل یونی با کلسیم و منیزیم خاک و انتقال کند سدیم به لایه‌های پایین، این مسئله قابل توجیه است.

مقادیر هدایت الکتریکی خاک در تمام تیمارها در زمان برداشت محصول نسبت به ابتدای فصل به طور قابل توجهی کاهش یافت، که این کاهش در تیمار زهکشی لانه‌موشی با گراول نسبت به لانه‌موشی سنتی حدود ۲۰ درصد بیشتر بود. زهکشی لانه‌موشی با گراول در طول زهکشی میان فصل سطح ایستایی را نسبت به زهکشی لانه‌موشی سنتی پایین تر نگه داشت (آهیخته و همکاران، ۱۴۰۲) که به معنای ایجاد درز و ترک بیشتر در خاک، و تخلیه زه‌آب و نمک بیشتر از خاک در زهکشی پایان فصل است.

مقدار هدایت الکتریکی در لایه عمقی خاک بر خلاف لایه سطحی در همه تیمارها، پس از زهکشی میان فصل نسبت به قبل از زهکشی افزایش یافت. با تقویت جریان آب به لایه عمقی تر خاک طی فرآیند زهکشی، انتقال مواد محلول در آب از لایه‌های بالاتر به لایه‌های عمقی تر خاک نیز افزایش می‌یابد، که این می‌تواند افزایش هدایت الکتریکی خاک پس از زهکشی میان فصل را توجیه نماید. در زمان برداشت محصول نسبت به پیش از کشت، مقادیر هدایت الکتریکی خاک کاهش پیدا کرد که می‌تواند متأثر از دو مرحله زهکشی میان و پایان فصل باشد اما این کاهش در تیمار زهکشی لانه‌موشی با گراول نسبت به لانه‌موشی سنتی حدود ۷ درصد کمتر بود. نتایج پژوهش کثیروول و همکاران نشان داد که پس از نصب سامانه زهکشی زیرزمینی لوله‌ای نسبت به پیش از نصب، مقدار هدایت الکتریکی خاک ۵۴ درصد کاهش یافت که دلیل این تغییرات را به حذف یون‌های سدیم و بی‌کربنات همراه با زه‌آب زهکشی نسبت

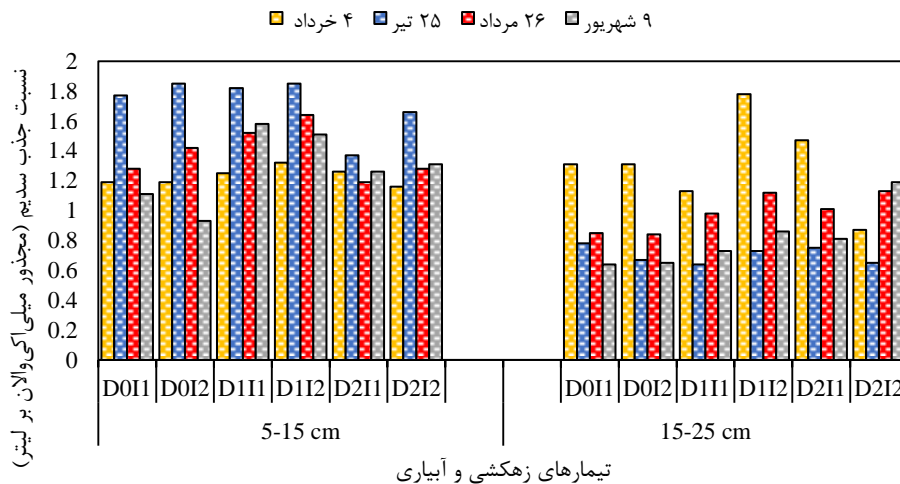


شکل ۴- مقایسه تغییرات هدایت الکتریکی در لایه سطحی و عمقی خاک در تیمارهای مورد بررسی (حروف اختصار شامل D<sub>0</sub>: بدون زهکش (شاهد)، D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: آبیاری غرقاب تناوبی)

همه تیمارها نسبت به قبل زهکشی بر خلاف تغییرات آن در لایه سطحی خاک افزایش پیدا کرد و نشان داد زهکشی میان فصل باعث کاهش نسبت جذب سدیم خاک در تیمارها نشد. این مقدار افزایش در تیمارهای بدون زهکش به صورت میانگین ۱۷ درصد و در چهار تیمار D<sub>1</sub>I<sub>1</sub>، D<sub>1</sub>I<sub>2</sub>، D<sub>2</sub>I<sub>1</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> به ترتیب ۵۳، ۵۳، ۳۵ و ۷۴ درصد بود. مقایسه پس از زهکشی میان فصل و پیش از آن نشان داد که نسبت جذب سدیم خاک برخلاف مقادیر آن در لایه سطحی خاک در تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول نسبت به لانه‌موشی سنتی بیشتر بود. در پایان دوره کشت، مقدار نسبت جذب سدیم خاک در همه تیمارها نسبت به ابتدای دوره کشت کاهش یافت که این مقدار کاهش در زهکش لانه‌موشی سنتی و با گراول به ترتیب ۴۵ و ۱۴ درصد بود. در نتیجه‌ای مشابه، آید بیان کرد که مقدار نسبت جذب سدیم خاک در طی یک فصل زراعی در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری خاک پس از برداشت نسبت به پیش از انجام آزمایش کاهش یافت که این مقدار کاهش در تیمار زهکش لانه‌موشی با ماسه بیشتر از سنتی بود (Aiad, 2014). برخلاف تغییرات در لایه سطحی خاک، نتایج این پژوهش نشان داد که در لایه عمقی در همه زمان‌های نمونه‌برداری تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول مقادیر بیشتر نسبت جذب سدیم خاک را در مقایسه با تیمار لانه‌موشی سنتی داشت.

مقدار نسبت جذب سدیم خاک سطحی قبل و بعد از زهکشی میان فصل نشان داد که زهکشی میان فصل با ایجاد درز و ترک و شرایط مساعدتر آب‌سویی سدیم محلول خاک به لایه‌های پایین‌تر و با توجه به تغییرات غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم تحت زهکشی که در رقابت برای تبادل یونی با سدیم محلول خاک هستند و شرایط اسیدیته خاک، منجر به کاهش نسبت جذب سدیم خاک در تمام تیمارها شد درحالی‌که این مقدار کاهش در تیمارهای بدون زهکش به‌طور میانگین ۲۶ درصد و در چهار تیمار D<sub>1</sub>I<sub>1</sub>، D<sub>1</sub>I<sub>2</sub>، D<sub>2</sub>I<sub>1</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> به ترتیب ۱۶، ۱۱، ۱۳ و ۲۳ درصد بود. با مقایسه مقدار نسبت جذب سدیم خاک در زمان پس از زهکشی میان فصل و پیش از آن می‌توان دریافت که تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول مقدار کمتری نسبت به لانه‌موشی سنتی داشت. در پایان دوره کشت، به‌طور کلی مقدار نسبت جذب سدیم خاک در همه تیمارها به‌جز تیمار شاهد نسبت به ابتدای دوره کشت، افزایش یافت که این مقدار افزایش در تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی بیشتر بود. نتایج نشان داد که نسبت جذب سدیم در تمام زمان‌های مورد بررسی در تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول مقدار کمتری نسبت به تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی داشت.

نسبت جذب سدیم لایه عمقی خاک در طول زمان و بین تیمارهای مختلف تغییر پیدا کرد و روندی مشابه با تغییرات غلظت سدیم داشت. پس از زهکشی میان فصل نسبت جذب سدیم خاک در



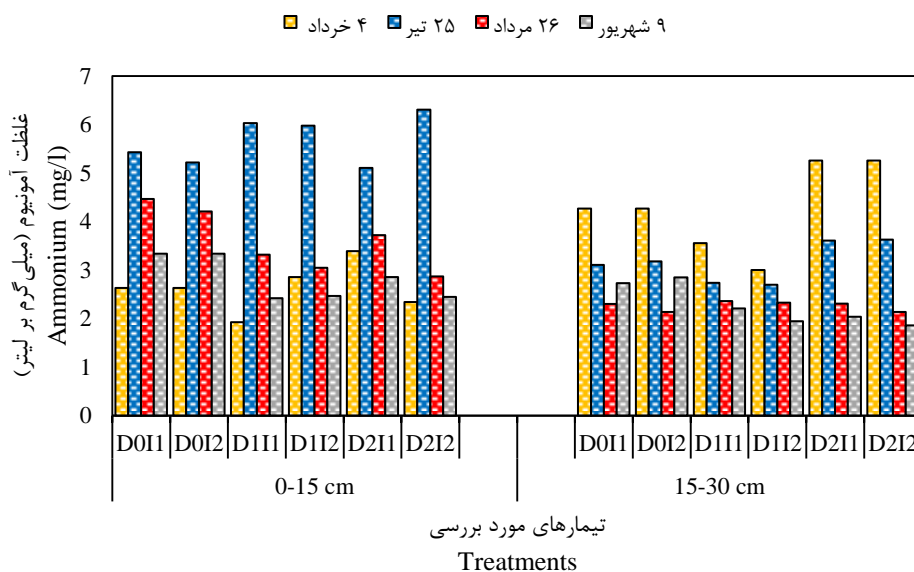
شکل ۵- روند تغییرات نسبت جذب سدیم در لایه سطحی و عمقی خاک در تیمارهای مورد بررسی در دوره آزمایش (حروف اختصار شامل D<sub>0</sub>: بدون زهکش (شاهد)، D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: آبیاری غرقاب دائم، I<sub>2</sub>: آبیاری غرقاب تناوبی)

### غلظت آمونیوم خاک

نتایج تجزیه آماری (جداول ۳ و ۵) نشان داد که در هر دو لایه خاک، اثر زهکشی و زمان و همچنین اثر متقابل زهکشی و زمان در سطح احتمال ۱ درصد بر غلظت آمونیوم خاک معنی‌دار شد. روند تغییرات غلظت آمونیوم خاک در لایه سطحی و عمقی در شکل (۶) نشان داده شده است. مقایسه غلظت آمونیوم لایه سطحی خاک پس از زهکشی میان فصل نسبت به قبل آن نشان داد که غلظت آمونیوم خاک روند کاهشی را در همه تیمارها طی کرد به طوری که این مقدار کاهش در چهار تیمار D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>1</sub>، D<sub>1</sub>I<sub>2</sub>، D<sub>1</sub>I<sub>1</sub> به ترتیب ۴۵، ۴۹، ۲۷ و ۵۵ درصد بود. نتایج نشان داد که خاک تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول در زمان زهکشی میان فصل نسبت به لانه‌موشی سنتی مقدار غلظت آمونیوم بالاتری در تیمار رژیم آبیاری غرقاب دائم (حدود ۴ درصد) داشت که می‌تواند تحت تاثیر شرایط هوایی بیشتر در تیمار زهکشی لانه‌موشی سنتی در این رژیم آبیاری باشد. در زمان برداشت محصول، غلظت آمونیوم خاک در تیمارها نسبت به پیش از کشت روندی متفاوت نشان داد به طوری که در تیمارهای شاهد و زهکش لانه‌موشی سنتی با افزایش به ترتیب ۲۷ و ۲ درصد و در زهکش لانه‌موشی با گراول با کاهش ۷ درصدی روبرو شد. افزایش غلظت آمونیوم نسبت به ابتدای دوره رشد را می‌توان به مصرف مرحله دوم کود اوره در تیر ماه نسبت داد اما مقادیر کمتر غلظت آمونیوم در تیمارهای دارای زهکش نشان داد که شرایط هوایی می‌تواند نقش مهمی در کاهش غلظت آمونیوم خاک و تبدیل آن به نیترات داشته باشد (Lee, 2021). مقایسه عمق سطح ایستابی (آهیکته و همکاران، ۱۴۰۲) در تیمار زهکشی لانه‌موشی با گراول نسبت به سنتی نشان می‌دهد که ایجاد شرایط هوایی و نیترات‌زایی در تیمار با گراول بیشتر بود. علاوه بر این درز و ترک‌های ایجاد شده در خاک در تیمار زهکش

لانه‌موشی با گراول (آهیکته، ۱۴۰۳)، پتانسیل بیشتری برای جریان ترجیحی آب و انتقال آمونیوم محلول به لایه‌های پایین خاک و همچنین جابه‌جایی ذرات خاک و در نتیجه انتقال یون‌های آمونیوم جذب‌شده بر سطوح تبادل‌ی خاک را نشان می‌دهند. این فرآیندها می‌توانند کاهش غلظت آمونیوم خاک در تیمار گراول‌دار نسبت به تیمار سنتی را در لایه سطحی خاک توجیه کنند.

کاهش غلظت آمونیوم در لایه عمقی مشابه با لایه سطحی خاک نشان داد زهکشی میان فصل منجر به کاهش غلظت آمونیوم خاک در تیمارهای دارای زهکش شد. این مقدار کاهش در چهار تیمار D<sub>1</sub>I<sub>1</sub>، D<sub>1</sub>I<sub>2</sub>، D<sub>2</sub>I<sub>1</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> به ترتیب ۱۴، ۱۴، ۳۶ و ۴۱ درصد بود. نتایج نشان داد که غلظت آمونیوم لایه عمقی خاک برخلاف مقادیر آن در لایه سطحی خاک در تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول در زمان زهکشی میان فصل نسبت به لانه‌موشی سنتی کمتر بود. به طور کلی در لایه عمقی خاک در زمان برداشت محصول، غلظت آمونیوم خاک در همه تیمارها نسبت به پیش از کشت به دلیل جذب توسط گیاه کاهش یافت که این کاهش در تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول بیشتر بود به طوری که غلظت آمونیوم با کاهش ۶۳ درصدی همراه بود. دلیل کاهش غلظت آمونیوم پس از زهکشی میان فصل نسبت به پیش از آن در لایه سطحی و عمقی خاک می‌تواند به دلیل مصرف آمونیوم در فرآیند نیترات‌زایی و فعالیت بیشتر باکتری‌های هوایی نیترات‌زا به خصوص در لایه سطحی خاک باشد که متاثر از شرایط هوایی ایجاد شده به دلیل زهکشی است (Lee, 2021). به طور کلی میزان غلظت آمونیوم در طول فصل رشد در لایه سطحی بیشتر از لایه عمقی خاک بود که جذب سطحی آمونیوم به ذرات خاک و آشوبی کمتر را می‌توان از دلایل آن برشمرد.



شکل ۶- روند تغییرات غلظت آمونیوم در لایه سطحی و عمقی خاک در تیمارهای مورد بررسی (حروف اختصار شامل D<sub>0</sub>: بدون زهکش (شاهد)، 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 غرقاب تناوبی)

#### غلظت نیترات خاک

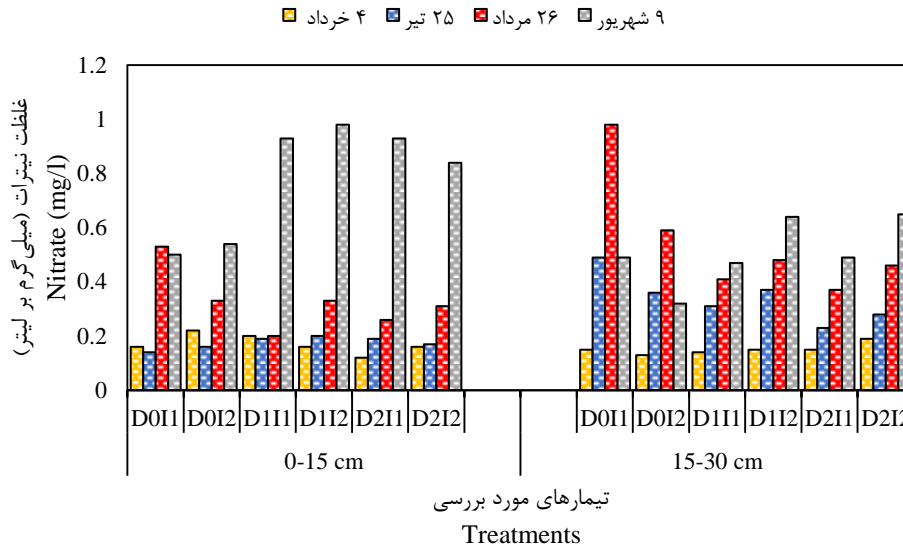
نتایج تجزیه آماری (جداول ۳ و ۵) نشان داد که در هر دو لایه خاک، زمان عامل موثر در تغییرات غلظت نیترات خاک است. در لایه سطحی خاک، اثر زهکشی، اثر آبیاری و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و همچنین اثر زمان و اثر متقابل زهکشی و زمان در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌داری بر غلظت نیترات خاک داشتند. در لایه عمقی خاک، فقط اثر متقابل زهکشی و زمان و اثر متقابل زهکشی و آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت نیترات خاک معنی‌دار به دست آمد. بنابراین در لایه سطحی خاک عامل زهکشی و آبیاری نسبت به زمان تاثیر بیشتری بر غلظت نیترات خاک داشتند اما در لایه عمقی زهکشی و زمان عامل موثرتری بودند. روند تغییرات غلظت نیترات نسبت به زمان (شکل ۷)، نشان می‌دهد که غلظت نیترات لایه سطحی خاک در طول زمان و بین تیمارهای مختلف به طور قابل توجهی تغییر یافته است. پیش از زهکشی میان فصل نسبت به ابتدای فصل، غلظت نیترات به دلیل شرایط بی‌هوازی در تیمارهای D<sub>0</sub>I<sub>1</sub> و D<sub>0</sub>I<sub>2</sub> به ترتیب ۱۲ و ۲۷ درصد کاهش و در تیمار D<sub>1</sub>I<sub>1</sub> کاهش ناچیز ۵ درصدی داشت. در مقابل تیمارهای D<sub>1</sub>I<sub>2</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> به ترتیب ۲۵ و ۶ درصد افزایش در میانگین غلظت نیترات داشتند. دلیل افزایش نیترات در این تیمارها می‌تواند ناشی از شیوه آبیاری تناوبی باشد که شرایط هوازی در خاک ایجاد می‌نماید. پس از زهکشی میان فصل، غلظت نیترات در تمام تیمارها روند صعودی را طی کرد. بیشترین افزایش غلظت در تیمارهای D<sub>1</sub>I<sub>2</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> به ترتیب ۶۵ و ۸۲ درصد بود. این مسئله نشان داد که تیمار آبیاری غرقابی

تناوبی نسبت به آبیاری غرقابی دائم باعث افزایش میزان غلظت نیترات خاک شد. نتایج نشان داد که تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی و با گراول به ترتیب موجب افزایش ۳۶ و ۵۸ درصدی غلظت نیترات خاک پس از زهکشی میان فصل شدند. پس از برداشت محصول غلظت نیترات در تمام تیمارها نسبت به ابتدای فصل کشت به طور قابل توجهی افزایش یافت که این افزایش در تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول بیشتر از لانه‌موشی سنتی بود. افزایش سرعت نیترات‌زایی در اثر انجام زهکشی میان و پایان فصل و ورود اکسیژن به داخل خلل و فرج خاک می‌تواند دلیل افزایش غلظت نیترات خاک باشد. در لایه عمقی خاک، روند افزایش غلظت نیترات پس از زهکشی میان فصل مشابه با لایه سطحی خاک مشهود است. تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی و زهکش لانه‌موشی با گراول به ترتیب موجب افزایش ۳۲ و ۶۱ درصدی غلظت نیترات خاک پس از زهکشی میان فصل شدند. در پایان فصل، غلظت نیترات برای همه تیمارها روندی صعودی داشت اما این افزایش در تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی اندکی بیشتر از لانه‌موشی با گراول بود.

میانگین غلظت نیترات پس از زهکشی میان فصل در هر دو لایه خاک نشان داد که تیمار شاهد در مقایسه با تیمارهای زهکشی از غلظت نیترات بالاتری برخوردار بود. بنابراین فرآیند آبشویی از نیترات‌زدایی موثرتر عمل کرده و موجب کاهش بیشتر نیترات خاک در تیمارهای دارای زهکش شده است. میانگین غلظت نیترات لایه سطحی و عمقی خاک در تیمار زهکش لانه‌موشی با گراول از تیمار زهکش لانه‌موشی سنتی کمتر به دست آمد. این نشان می‌دهد که

نیترات در لایه عمقی خاک بیشتر بوده که دلیل آن را می‌توان به آشوبی بیشتر و انتقال نیترات (به واسطه بار منفی و عدم جذب توسط خاک رسی) به لایه‌های پایین‌تر خاک نسبت داد. نتایج پژوهش امین‌صالحی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که با افزایش عمق پروفیل خاک، غلظت نیترات خاک افزایش پیدا می‌کند.

زهکش لانه‌موشی با گراول، موجب تلفات بیشتر نیترات خاک نسبت به زهکش لانه‌موشی سنتی شده است. بنابراین به لحاظ کارایی مصرف کود نیتروژن و آسیب محیط‌زیستی باید توجه بیشتری به آن نمود. همچنین مقایسه مقادیر نیترات خاک در لایه سطحی و عمقی نشان داد که در زمان پیش و پس از زهکشی میان‌فصل غلظت



شکل ۷- روند تغییرات غلظت نیترات در لایه سطحی و عمقی خاک در تیمارهای مورد بررسی (حروف اختصار شامل D<sub>0</sub>: بدون زهکش (شاهد)، 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 غرقابی تناوبی)

### عملکرد دانه برنج

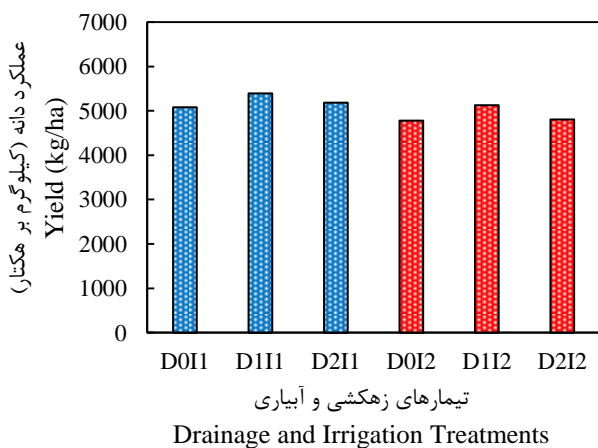
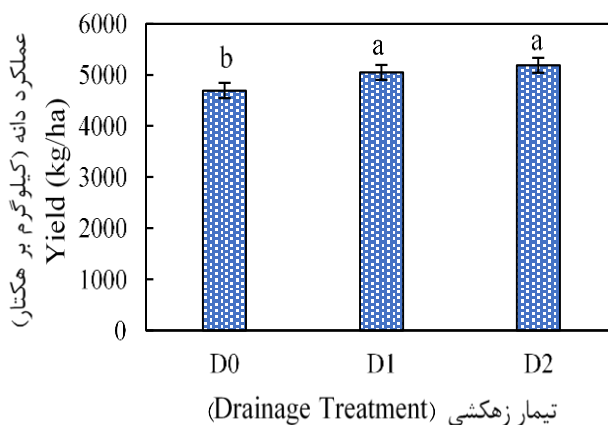
لانه‌موشی با گراول نسبت به لانه‌موشی سنتی و بدون زهکش، می‌تواند دلیلی بر افزایش عملکرد برنج در این تیمار باشد. پژوهش تاروش و مراد نشان داد که زهکش لانه‌موشی سنتی و با گراول باعث افزایش عملکرد محصول در تمام فصول رشد شدند (Tarbush and Morad, 2017). همچنین عملکرد محصول در زهکش لانه‌موشی سنتی در سال اول کشت برنج ۲/۷ درصد بیشتر از زهکش لانه‌موشی با گراول بود. در مطالعه‌ای دیگر که شبانا و همکاران انجام دادند، بیان کردند که میزان افزایش عملکرد دانه برنج در سال اول کشت در زهکش لانه‌موشی همراه با زهکش روباز ۱۲/۹۳ تا ۱۴/۵۵ درصد بیشتر از زهکش روباز بدون زهکش لانه‌موشی بود (Shabana et al., 2018). علی‌رغم معنی‌دار اثر مدیریت آبیاری بر عملکرد دانه برنج، عملکرد دانه در تیمارهای D<sub>1</sub>I<sub>1</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>1</sub> نسبت به تیمار D<sub>0</sub>I<sub>1</sub> به ترتیب ۸/۱ و ۱۲/۳ درصد افزایش نشان داد. همچنین عملکرد برنج در تیمارهای D<sub>1</sub>I<sub>2</sub> و D<sub>2</sub>I<sub>2</sub> نسبت به تیمار D<sub>0</sub>I<sub>2</sub> به ترتیب ۷ و ۸/۷ درصد بیشتر بود.

نتایج تجزیه آماری عملکرد دانه برنج نشان داد که اثر تیمار زهکشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اما اثر تیمار مدیریت آبیاری و اثر متقابل سامانه زهکشی در مدیریت آبیاری معنی‌دار نبود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین آماری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با مقدار ۵۱۸۷ کیلوگرم بر هکتار در تیمار زهکشی لانه‌موشی با گراول و پس از آن با مقدار ۵۰۴۷ کیلوگرم بر هکتار در زهکش لانه‌موشی سنتی و کمترین آن در تیمار شاهد (بدون زهکش) با مقدار ۴۶۹۳ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد (شکل ۸). به عبارت دیگر سامانه زهکشی لانه‌موشی با گراول نسبت به زهکشی لانه‌موشی سنتی و تیمار شاهد به ترتیب ۲/۸ و ۱۰/۵ درصد افزایش نشان داد. از طرفی مقدار عملکرد دانه برنج در سامانه زهکشی لانه‌موشی سنتی نسبت به تیمار بدون زهکشی حدود ۷/۵ درصد بیشتر بود. از آنجا که نیتروژن یک عنصر کلیدی در رشد و عملکرد گیاه برنج است (Singh et al., 2017)، میزان بیشتر غلظت نیترات در لایه سطحی و عمقی خاک پس از زهکشی میان‌فصل در زهکش

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه برنج در تیمارهای مختلف زهکشی لانه‌موشی و مدیریت آبیاری

میانگین مربعات (MS) عملکرد دانه (Grain Yield)	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V.)
۳۶۵۵۹۳/۷۷ns	۲	تکرار Replication
۴۰۱۳۸۳/۵۲**	۲	سامانه زهکشی لانه‌موشی (D) Mole drainage (D)
۲۹۷۵/۰۳ ns	۱	مدیریت آبیاری (I) Irrigation Management (I)
۱۱۳۹۵۶/۵۰ns	۲	D×I
۴۵۳۵۹/۵۹	۱۰	خطا Error
۴/۲۷	-	ضریب تغییرات (CV%)

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



شکل ۸- مقایسه اثر تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه برنج (حروف اختصار شامل D<sub>0</sub>: بدون زهکشی، D<sub>1</sub>: زهکشی لانه‌موشی سنتی، D<sub>2</sub>: زهکشی لانه‌موشی با گراول، I<sub>1</sub>: آبیاری غرقاب دائم و I<sub>2</sub>: آبیاری غرقاب تناوبی هستند)

### نتیجه‌گیری

شیمیایی خاک و عملکرد دانه برنج شالیزارها در زهکشی میان و پایان فصل پرداخته شد. نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی خاک نشان داد زهکشی نسبت به شرایط غرقاب دائم (بدون زهکشی) منجر به کاهش کمتری در pH خاک شد و از اسیدی‌تر شدن خاک جلوگیری

در این پژوهش به بررسی تاثیر زهکشی لانه‌موشی سنتی و با گراول همراه با مدیریت آبیاری غرقاب دائم و تناوبی بر خصوصیات

## تشکر و قدردانی

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

## منابع

آقاجانی مازندرانی، ق. ۱۳۹۵. تاثیر سیستم های مختلف زهکشی زیرزمینی بر بهبود حرکت آب در خاک اراضی شالیزاری. مجله آب و خاک. ۳۰ (۶): ۱۸۴۸-۱۸۵۹.

آهیخته، ک.، نوایان، م. و بیگلویی، م. ح. ۱۴۰۲. ارزیابی عملکرد محیط زیستی زهکشی لانه‌موشی در شالیزارها. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۲۴ (۹۲): ۱۰۶ - ۱۳۱.

آهیخته، ک. ۱۴۰۳. ارزیابی و شبیه‌سازی عملکرد فنی و زیست محیطی زهکشی لانه‌موشی در کشت برنج رقم هاشمی در رشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش آبیاری و زهکشی. گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان.

امین صالحی، آ.، نوایان، م.، اسمعیلی ورکی، م. و پیرمادیان، ن. ۱۳۹۴. بررسی اثر عمق زهکش زیرزمینی بر مقادیر نیترات خاک و زه‌آب در مقیاس مدل فیزیکی اراضی شالیزاری. کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.

کرمان، ا. ۱۴۰۲. ارزیابی و شبیه‌سازی زهکش لانه‌موشی و مدیریت کود نیتروژن بر عملکرد گیاه کلزا و کیفیت زه‌آب در اراضی شالیزاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان.

محمدپور، ف. و نوایان، م. ۱۳۹۹. شبیه‌سازی عملکرد زهکش زیرزمینی ترانشه‌دار در مقیاس مدل فیزیکی اراضی شالیزاری با مدل HYDRUS-2D. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۶): ۲۱۶۳-۲۱۴۸.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. ۱۳۸۷. دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب. نشریه شماره ۴۶۷، ۲۷۶ صفحه.

Abdel-Razek, M.K. 2019. Feasibility of Sub-Soiling, Mole Drain and Suger Beet Compost Applications to Improve Soil Properties and Production of Sorghum and Barley at Nubaria Area. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 10(6): 355-362. <https://doi.org/10.21608/jssae.2019.48309>.

Aiad, M.A. 2014. Effect of mole drains and compost application on some soil properties, water relations and its productivity at north delta. Journal of Soil

نمود. همچنین در مقایسه زهکش لانه‌موشی با گراول و سنتی، تیمار سنتی کاهش بیشتری (حدود ۴۰ درصد) در PH خاک ایجاد کرد. زهکشی میان‌فصل منجر به کاهش مقادیر هدایت‌الکتریکی لایه سطحی خاک شد که این مقدار کاهش در زهکش لانه‌موشی سنتی به‌طور میانگین ۱۲/۵ درصد بیشتر از با گراول بود در حالی در لایه عمقی خاک افزایش شوری به‌طور میانگین به میزان ۱۷/۶ درصد در زهکشی لانه‌موشی سنتی بیشتر از با گراول به‌دست آمد. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن کل دوره رشد و انجام دو مرحله زهکشی میان و پایان فصل، شوری خاک به‌طور میانگین ۲۳ درصد کاهش داشت که می‌تواند نتیجه با آرزوی در امکان کنترل شوری خاک اراضی شالیزاری تحت اجرای زهکش لانه‌موشی با توجه به روند شوری آب رودخانه سفیدرود و یا استفاده مجدد از زه‌آب در منطقه باشد. مقایسه غلظت آمونیوم خاک در شرایط غرقاب دائم (بدون زهکشی) با تیمارهای شامل زهکشی نشان داد که در لایه سطحی خاک، زهکشی توانست حدود ۶۰ درصد بیشتر در کاهش غلظت آمونیوم موثر باشد اما در لایه عمقی خاک زهکشی حدود ۱۸ درصد کمتر از شرایط غرقاب دائم بر کاهش آن اثر داشت. بنابراین در لایه سطحی خاک، غلظت آمونیوم تحت تاثیر زهکشی و ورود هوا واقع شده و عامل مهم‌تری در کاهش غلظت آمونیوم است در حالی در لایه عمقی، به دلیل نفوذ کمتر اکسیژن به لایه‌های پایینی ناشی از فرآیند زهکشی میان‌فصل، جذب آمونیوم توسط ریشه می‌تواند مهم‌تر باشد. همچنین نتایج نشان داد که نوع زهکش لانه‌موشی با گراول یا سنتی تفاوت چندانی در کاهش غلظت آمونیوم لایه سطحی خاک نداشتند اما در لایه عمقی خاک، زهکش لانه‌موشی با گراول به‌طور میانگین حدود دو برابر بهتر عمل کرد. افزایش غلظت نیترات خاک به دلیل ایجاد شرایط هوازی در طول فرآیند زهکشی و تاثیر بر تبدیل آمونیوم به نیترات، به‌طور میانگین در تیمارهای زهکش لانه‌موشی سنتی (۳۵ و ۳۰ درصد) و با گراول (۵۹ و ۶۲ درصد) به ترتیب در لایه‌های سطحی و عمقی خاک روی داد. با این حال تلفات بیشتر نیترات خاک در زهکش لانه‌موشی با گراول نسبت به زهکش لانه‌موشی سنتی مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه برنج در تیمار زهکشی لانه‌موشی با گراول و پس از آن در زهکشی لانه‌موشی سنتی مشاهده شد. بنابراین استفاده از گراول در زهکش لانه‌موشی نسبت به حالت سنتی آن به لحاظ عملکرد محصول و کاهش مخاطرات محیط‌زیستی ناشی از خروج املاح از عمق توسعه ریشه پیشنهاد می‌شود. از آنجا که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص زهکشی لانه‌موشی در اراضی شالیزاری ایران انجام نشده است، این پژوهش و نتایج آن می‌تواند شروعی برای بررسی اثر بخشی زهکشی لانه‌موشی در این اراضی باشد. لازم به ذکر است برای اطمینان از نتایج و قابلیت تعمیم آن نیاز به مطالعات چند ساله است.

- Handbook of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Mathew, E.K., Panda, R.K. and Nair, M. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Agricultural Water Management*. 47(3): 191-209. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00110-4](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00110-4).
- Ponnamperuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in agronomy*. 24: 29-96.
- Rashed, S.H. 2020. Effect of Mole Drain Spacing, Some Soil Amendments and Boron Fertilization on Improving some Soil Properties and Sugarbeet Productivity in Salt-Affected Soils. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 11(7): 341-347. <https://doi.org/10.21608/jssae.2020.109701>.
- Rhoades, J.D. 1977 Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation. *Proc. Water Management for Irrigation and Drainage*. ASCE, Reno, Nevada. 85– 116.
- Shabana, M.M., Kheir, A., Khalifa, R.M. and Antar, A. S. 2018. Influence of Mole Drains and N-Fertilizer Sources on Rhizosphere Activity and Rice Yield in Heavy Clay Salt-affected Soil at North Nile Delta. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*. 44(2): 63-78. <https://doi.org/10.21608/jsas.2018.3578.1063>.
- Singh, A.N., Sorokhaibam, S., Pramanik, K. and Nabachandra, L. 2017. Effect of planting time and nitrogen fertilization on yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiency of hybrid rice under rainfed shallow land condition of North East India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(11): 21. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.611.249>.
- Tarbush, I.M. and Morad, M.M. 2017. Design and performance evaluation of some different farm drainage techniques. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 44(2): 677-691.
- Tuohy, P., Humphreys, J., Holden, N. and Fenton, O. 2015. Mole drainage performance in a clay loam soil, in NJF Congress: Nordic view to sustainable rural development, (Riga: NJF).
- Unhanand, K. and Kadir, T.N. 1975. A theory of the combined Mole-Tile Drain System. *Water Resources Research*. 11(1): 111-119. <https://doi.org/10.1029/WR011I001P00111>.
- Vice Presidency for Planning and Supervision. 2009. Guidelines for Laboratory Analysis of Soil and Water Samples, No.467. 276 pages. (In Persian)
- Smedema, L.K., Vlotman, W., and Rycroft, D. 2005. Modern land drainage: Planning, design and management of agricultural drainage systems. Taylor & Francis e-Library. 443 pages.
- Yoshida, S. and Adachi, K. 2001. Effects of cropping Sciences and Agricultural Engineering. 5(2): 219-236. DOI: 10.21608/jssae.2014.49082.
- Anonymous .1970. Moldrainage: (Mole drainage). (Literatuurlijst / Centrum voor landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie; No. no. 3166).
- Ashour, D.S., Adday, S.H., and Al-Mosawi, K.A. 2022. Effect of Gravel-Sand Mole Drains on Soil Electrical Conductivity and Exchanged Sodium Percentage. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. 35(2): 326-340. <https://doi.org/10.37077/25200860.2022.35.2.25>.
- Baird, R., Rice, E., and 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.
- Bayoumi, M. 2019. Impact of mole drains and soil amendments application on management of salt affected soils. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 10(4): 209-217. <https://doi.org/10.21608/jssae.2019.36779>.
- Bennett, D.L., George, R., and Russell, B. 2005. Mole drainage for increased productivity in the south west irrigation area. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Bulletin 4610. <https://library.dpird.wa.gov.au/bulletins/119>.
- Burt, R. 2011. Soil survey laboratory information manual. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Soil Survey Laboratory.
- Dhakad, S.S., Rao, K.V.R., Mishra, K.P., Agrawal, V.K. and Verma, S.K. 2014. Parameters that influence the mole drain (pipeless) formation in vertisols of MP. *International Journal of Agriculture Engineering*. 7(1): 33-37.
- FAO. 2021. Standard Operating Procedure for Soil pH Determination. Rome, Italy.
- Kathirvel, L., Manikandan, M., Raviraj, A., and Baskar, M. 2021. Evaluation of Parallel Pipe Subsurface Drainage System in a Waterlogged Paddy Field. *Madras Agricultural Journal*. 107: 1-8. <https://doi.org/10.29321/MAJ.2020.000382>.
- Kolekar, O.L., Patil, S.A., Patil, S.B. and Rathod, S.D. 2011. Effect of different mole spacing on the yield of summer groundnut. *International Journal of Agricultural Engineering*. 4(01): 82-85.
- Lee, S. 2021. Recent advances on nitrogen use efficiency in rice. *Agronomy*. 11: 753. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040753>.
- Maas, E.V. 1984 Salt tolerance of plants. In: The

519-532.  
10.1080/00380768.2001.10408416.

<https://doi.org/>

and puddling practices on the cracking patterns in paddy fields. Soil science and plant nutrition. 47(3):

## Effectiveness of Mole Drainage in Paddy Fields on Changes in Soil Chemical Properties and Rice Yield

K. Ahikhteh<sup>1</sup> | M. Navabian<sup>2✉</sup> | M. H. Biglouei<sup>3</sup>  
Received: May. 12, 2025 Accepted: Dec. 10, 2025

### Abstract

Irrigation and drainage practices in agricultural lands, through their influence on salt transport within the soil profile, play a decisive role in crop performance as well as in the export of salts from farmlands and the associated environmental risks. This study was conducted to evaluate the effect of a mole drainage system under common irrigation management practices in paddy rice cultivation on the chemical properties of paddy soils and rice yield. The experiment was implemented as a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications during the 2022–2023 growing seasons at the research farm of the University of Guilan, Rasht, Iran. Treatments included a control without drainage ( $D_0$ ), traditional mole drainage ( $D_1$ ; without gravel), and gravel-filled mole drainage ( $D_2$ ), combined with continuous flooding ( $I_1$ ) and alternate wetting and drying ( $I_2$ ) irrigation regimes. Mid-season drainage was applied for seven days at the tillering stage, and end-season drainage was performed at harvest time. To assess temporal changes in soil chemical properties, soil samples were taken at four growth stages and from two soil depths. Soil pH, electrical conductivity, nitrate and ammonium concentrations, and sodium, calcium, and magnesium contents were measured. After harvest, rice grain yield was determined. Statistical analysis of surface and subsurface layers showed that the effect of mole drainage (except for nitrate and pH), the effect of sampling time (except for pH), and the interaction between mole drainage and sampling time were significant at the 1% probability level for all measured soil chemical parameters. Comparison of soil conditions before and after mid-season drainage indicated that drainage reduced ammonium concentrations by 43% and 26% and increased nitrate concentrations by 47% and 46% in the surface and subsurface layers, respectively. Drainage also decreased soil electrical conductivity by 27% in the surface layer but increased it by 12% in the deeper layer. Analysis of variance revealed that mole drainage significantly affected rice grain yield at the 1% level. The highest grain yield ( $5187.24 \text{ kg ha}^{-1}$ ) was obtained under gravel-filled mole drainage ( $D_2$ ), which represented increases of 2.8% and 10.5% compared with traditional mole drainage and the control, respectively. The application of mole drainage, particularly when combined with gravel, altered soil chemical properties and led to increased rice yield.

**Keywords:** Ammonium, Electro conductivity, Intermittent Flooding Irrigation, Mid and End Season Drainage, Permanent Flooding Irrigation

1- MS.c Student, Department of water engineering, Faculty of Agriculture Science, University of Guilan, Rasht, Iran  
2- Associate Professor, 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  
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture Science, University of Guilan, Rasht, Iran  
(\*- Corresponding Author Email: Navabian@guilan.ac.ir)