



## اثر شرایط آب خاک، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت‌های عناصر پرمصرف در برنج در یک خاک قلیایی

معصومه عباسی<sup>۱</sup>، \*نصرت‌اله نجفی<sup>۲</sup>، ناصر علی‌اصغرزاد<sup>۳</sup> و شاهین اوستان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، <sup>۲</sup>استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز،

<sup>۳</sup>آستاد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، <sup>۴</sup>دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۱۸

### چکیده

هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر شرایط آب خاک، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت‌های  $N, P, K, Ca, Ma$  و  $Na$  در بخش هوایی و ریشه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم علی‌کاظمی در یک خاک قلیایی غیرآهکی با بافت شن لومی بود. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل شرایط آب خاک در ۳ سطح (غرقاب دائم، غرقاب متناوب و اشباع متناوب) و منبع و مقدار کودهای آلی و شیمیایی در ۱۰ سطح (شاهد، ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، ۲۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و ۴۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی) و با ۳ تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل شرایط آب خاک و کودها بر غلظت‌های عناصر پرمصرف در بخش هوایی و ریشه برنج معنی‌دار بود. مصرف ۲۰ و ۴۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی به دلیل افزایش شوری محلول خاک مانع رشد برنج گردید. بنابراین، این تیمارها حذف شدند. مصرف ۲۰ و ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت عناصر پرمصرف به جز غلظت  $N$  و  $Na$  بخش هوایی و غلظت  $K$  ریشه نسبت به شاهد و ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی شد. افزودن ۵۰ درصد کودهای شیمیایی به همراه ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک غلظت‌های  $P$  و  $Ca$  بخش هوایی و ریشه را

\* مسئول مکاتبه: [n-najafi@tabrizu.ac.ir](mailto:n-najafi@tabrizu.ac.ir)

نسبت به مصرف فقط ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک افزایش داد. غلظت‌های Ca, K, P, Mg و Na بخش هوایی و ریشه (به جز غلظت K ریشه) در غرقاب متناوب بیش‌تر از غرقاب دائم و اشباع متناوب بود. غلظت P, K و Mg بخش هوایی برنج بیش‌تر از ریشه بود در حالی که غلظت Na و Ca ریشه برنج بیش‌تر از بخش هوایی بود.

**واژه‌های کلیدی:** برنج، سدیم، شرایط آب خاک، عناصر پرمصرف، لجن فاضلاب

### مقدمه

برنج از گیاهان زراعی مهم قاره آسیا بوده و آب مورد نیاز آن از سایر غلات بیش‌تر است. دانه برنج و فرآورده‌های به‌دست آمده از آن نزدیک به ۴۰ درصد غذای مورد نیاز نصف مردم جهان را تشکیل می‌دهد و از نظر تولید جهانی نیز می‌تواند با گندم برابری کند (کاظمی‌اربط، ۱۹۹۵). با توجه به محدود بودن منابع آبی در کشورمان ضروری است که برنامه‌ریزی دقیقی برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در کشور برای کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب و به‌ویژه برنج به‌عنوان پرمصرف‌ترین گیاه صورت گیرد (رضایی و نحوی، ۲۰۰۳). برنج از نظر مورفولوژیکی یک گیاه غیرآبزی است که می‌تواند هم در شرایط غرقاب و هم در شرایط غیرغرقاب رشد نماید (چادری و مک‌لین، ۱۹۶۳). با این حال، بررسی‌ها نشان می‌دهند که عملکرد این گیاه در شرایط غرقاب به‌طور عموم نسبت به شرایط غیرغرقاب به‌طور قابل‌ملاحظه بیش‌تر است (علم و انصاری، ۲۰۰۱). بیروتی و همکاران (۱۹۹۴) مشاهده کردند که عملکرد دانه و جذب عناصر غذایی N, P و K توسط گیاه برنج در تیمار غرقاب نسبت به تیمار آبیاری بیش‌تر بود. مشاهده شده است وقتی گیاه برنج در شرایط غرقاب رشد می‌کند، جذب P و عملکرد برنج نسبت به شرایط غیرغرقاب افزایش می‌یابد (گیوردانو و مورتودت، ۱۹۷۲). شیخ (۱۹۷۳) گزارش نمود که رشد گیاه برنج و غلظت N, K, Ca و Na بخش هوایی گیاه برنج در تیمار غرقاب بیش‌تر از تیمار غیرغرقاب بود. میرلوحی و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی عوامل نمود بهتر برنج در شرایط غرقاب گزارش کردند که غلظت عناصر غذایی P, Na و Ca گیاه در شرایط غرقاب دائم بیش‌تر از دو تیمار رطوبتی غرقاب متناوب و غیرغرقاب بود.

N, P, K, Ca و Mg، از عناصر پرمصرف و ضروری برای تغذیه و رشد گیاهان بوده و Na از عناصر مفید برای تغذیه و رشد گیاهان محسوب می‌شود (مارشور، ۲۰۰۳). در مناطق خشک و

نیمه‌خشک ایران، خاک‌ها معمولاً از نظر ماده آلی فقیر بوده و دارای ویژگی‌های فیزیکی نامطلوبی می‌باشند (مفتون و مشیری، ۲۰۰۸). بنابراین، کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در این خاک‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. برنج نسبت به مصرف کود شیمیایی، به‌خصوص N واکنش خوبی نشان می‌دهد. از طرف دیگر، کودهای فسفوری رشد ریشه و مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها و کودهای پتاسیمی به‌طور عمده انتقال مواد فتوسنتزی از برگ به اعضای دیگر به‌ویژه دانه و همچنین استحکام و استقامت بوته‌ها را افزایش می‌دهند (کاظمی‌اربط، ۱۹۹۵). کودهای شیمیایی از عوامل مهم حفظ حاصل‌خیزی خاک به‌شمار می‌روند ولی کاربرد زیاد آن‌ها باعث کاهش ماده آلی خاک، تخریب ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، آلودگی محیط زیست و افزایش خطر فرسایش خاک می‌گردد (میرزایی و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به این امر و خطرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف مداوم کودهای شیمیایی بهتر است بخشی از کودهای معدنی با کودهای آلی جایگزین شود. مواد آلی را می‌توان به مقدار زیادی با کاربرد کود دامی، کود مرغی و لجن فاضلاب به خاک افزود (ابراهیم و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد بقایای آلی و کودهای دامی از جمله کود مرغی سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش جرم مخصوص خاک، تعدیل دمای خاک، افزایش حجم منافذ خاک، افزایش غلظت عناصر غذایی، افزایش رشد ریشه‌ها و جذب مواد غذایی به‌وسیله گیاه می‌شود (آکانی و اوجینی، ۲۰۰۷). اما به‌نظر می‌رسد که تأثیر این عامل محدودکننده در کاربرد بیش‌تر کود مرغی و افزایش نمک‌های محلول باشد (مفتون و مشیری، ۲۰۰۸). لجن فاضلاب باعث افزایش ماده آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک و بهبود ساختمان خاک شده و دارای عناصر غذایی ضروری گیاه مانند، N، P، K، Mg، Fe، Zn و Mn می‌باشد (محمد و همکاران، ۲۰۰۴).

انجی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که افزودن کودهای دامی به‌ویژه کود گاوی (۱۰۰ تن بر هکتار) و مخلوط ۳ کود (کود گاوی، کود مرغی و کود خوکی) ماده خشک و جذب مواد غذایی به‌وسیله گیاه برنج را در شرایط گلخانه افزایش می‌دهد. جذب N، K، P، Ca و Mg به‌وسیله گیاه برنج به‌ترتیب در تیمار کود گاوی و کود مرغی نسبت به شاهد بیش‌تر بود. بهمینار و پیردشتی (۲۰۰۸) گزارش کردند که کاربرد هر ۳ تیمار (کمپوست، ورمی‌کمپوست و لجن فاضلاب) غلظت عناصر غذایی پرمصرف دانه گیاه برنج را نسبت به شاهد افزایش دادند. کی- چون و گوانگ- هو (۲۰۰۵) گزارش کردند که عملکرد دانه برنج با کاربرد کودهای شیمیایی N، P و K در مقایسه با سایر تیمارها افزایش یافت. آنان نشان دادند که کاربرد کودهای شیمیایی N، P و K باعث افزایش جذب آن‌ها

به‌وسیله برنج نسبت به شاهد شد. ضیا و همکاران (۱۹۹۲) مشاهده کردند که در شرایط مزرعه مقدار N جذب شده به‌وسیله گیاه برنج در تیمارهایی که کود دامی (۵ تن بر هکتار) یا کود سبز (۳۲ کیلوگرم بر هکتار) به‌همراه سولفات آمونیوم دریافت کرده بودند، بیش‌تر از تیمارهای دیگر بود. ساتیانارایانا و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که کاربرد ۱۰ تن بر هکتار کود دامی جذب N، P و K به‌وسیله گیاه برنج را افزایش داد. همچنین، حداکثر جذب این عناصر و عملکرد برنج با کاربرد تلفیقی همین مقدار کود دامی و کودهای شیمیایی NPK با نسبت ۱۲:۶۰:۴۵ کیلوگرم بر هکتار مشاهده شد. سنپاتی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که مخلوط ماش‌سیاه (به‌عنوان کود سبز)، ازتوباکتر، ۵ تن بر هکتار کود دامی و ۴۰ کیلوگرم نیوتن بر هکتار به‌طور معنی‌داری باعث افزایش جذب N توسط گیاه برنج و افزایش عملکرد دانه آن شد. کبیر و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که غلظت N، P، K، Na و Ca و Mg در کاه برنج به‌طور معنی‌داری با افزایش سطوح لجن فاضلاب افزایش یافت و بیش‌ترین غلظت این عناصر در تیمار تلفیق ۳۰۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب با ۲۱ کیلوگرم نیوتن بر هکتار مشاهده شد. با توجه به مطالب بالا، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت‌های عناصر پرمصرف و Na در بخش هوایی و ریشه گیاه برنج در شرایط گلخانه‌ای می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش خاکی با بافت شن لومی ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب و از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. لجن فاضلاب و کود مرغی به‌ترتیب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه و شرکت آذر طیوق میانه تهیه گردید. بعد از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی (دن و تپ، ۲۰۰۲) و شیمیایی خاک (ریچاردز، ۱۹۶۹؛ پیچ و همکاران، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی نیز تعیین گردید (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲؛ پترز، ۲۰۰۳) و نتایج در جدول ۲ ارائه شد. برای اندازه‌گیری pH و EC با نسبت حجمی به حجمی آب و کود آلی، ۳۰ میلی‌لیتر از لجن فاضلاب و کود مرغی با استوانه مدرج ۵۰ میلی‌لیتری برداشته شد و با ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط گردید (پترز، ۲۰۰۳). در این آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۲ و قطر ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. در گلدان‌ها ۲/۵ کیلوگرم خاک ریخته شد. انتخاب خاک با بافت به‌نسبت سبک برای تسهیل جداسازی ریشه‌های گیاه از خاک داخل گلدان‌ها در پایان دوره رشد بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح

بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار، شامل فاکتور اول شرایط رطوبتی خاک در ۳ سطح (غرقاب دائم، غرقاب متناوب و اشباع متناوب)، فاکتور دوم منبع و مقدار کودهای آلی و شیمیایی در ۱۰ سطح (شاهد، ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی (۴۳۴/۸ میلی گرم اوره، ۶۶/۰۸ میلی گرم  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ، ۴۰ میلی گرم  $\text{KCl}$ ، ۵۰ میلی گرم  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۳۸/۴۸ میلی گرم  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۲۱/۲۸ میلی گرم  $7\text{H}_2\text{O}$ ،  $\text{ZnSO}_4$ ، ۷/۸۶ میلی گرم  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  بر کیلوگرم خاک)، ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، ۲۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک، ۲۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، ۴۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک، ۴۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی) انجام شد. به‌علت غلظت کم  $\text{Fe}$  و  $\text{Mn}$  قابل جذب خاک و با توجه به این‌که آزمایش در شرایط گلخانه‌ای و داخل گلدان انجام شد و ریشه گیاه با حجم کمی از خاک در تماس بوده و این مقدار از خاک ممکن بود قادر به تأمین  $\text{Fe}$  و منگنز مورد نیاز گیاه برنج نباشد، کودهای  $\text{Fe}$  و  $\text{Mn}$  نیز به مقدار کم به خاک اضافه شد. کودهای آلی لجن فاضلاب و کود مرغی براساس مقادیر ذکر شده به تیمارهای یاد شده اضافه شد و کودهای شیمیایی براساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای گیاه برنج (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۰)، به‌صورت محلول و قبل از کشت به تیمارهای موردنظر اضافه شد. خاک داخل گلدان‌ها برای رسیدن به تعادل نسبی به‌مدت ۲ هفته به حالت غرقاب (با حدود ۱ سانتی‌متر آب در سطح خاک) نگه داشته شد. برای آماده‌سازی بذور برنج (*Oryza sativa* L.) رقم علی‌کاظمی، بذرهای سالم برنج به‌وسیله محلول کلرید سدیم (۵ درصد) از بذرهای ناسالم جدا شدند، سپس بذرها به‌خوبی با آب معمولی و با آب مقطر شسته و لای پارچه متقالی تمیز و مرطوب قرار داده شدند و به‌مدت ۵-۴ روز در دمای ۲۷-۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا جوانه بزنند. ۱۰ عدد بذر جوانه‌دار شده برنج انتخاب و در هر گلدان با خاک اشباع کاشته شد. بعد از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها، گیاهان به تعداد ۴ عدد در هر گلدان تنک شدند و شرایط رطوبتی خاک شامل غرقاب دائم، غرقاب متناوب و اشباع متناوب اعمال شد. در تیمارهای غرقاب دائم ارتفاع آب در سطح خاک به ۵ سانتی‌متر رسانده شد و تا پایان دوره رشد با افزودن روزانه آب در همین سطح نگه داشته شد. در غرقاب متناوب پس از این‌که ارتفاع آب در سطح خاک به صفر می‌رسید دوباره ارتفاع آب به ۵ سانتی‌متر رسانده می‌شد (عرب‌زاده و توکلی، ۲۰۰۵). در حالت اشباع متناوب با توزین روزانه گلدان‌ها و افزودن آب (۳-۲ بار در روز) سعی شد رطوبت خاک در حالت نزدیک

اشباع نگه داشته شود. در این آزمایش از نسبت ۱:۱ آب شهری و آب مقطر برای آبیاری گلدان‌ها استفاده شد. برای افزایش رطوبت نسبی هوای گلخانه چند لایه از پارچه چتایی در کف گلخانه پهن شد و هر روز خیس گردید. رطوبت نسبی هوای گلخانه حدود ۵۵-۴۵ درصد و دمای آن بین ۱۸-۳۲ درجه سانتی‌گراد در طول شبانه‌روز نوسان داشت. آزمایش به مدت ۳ ماه و در شرایط گلخانه انجام گرفت. در پایان دوره رشد، اندام‌های هوایی گیاه از محل طوقه قطع شد و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی تعیین شد. سپس بخش هوایی و ریشه داخل پاکت‌های کاغذی به درون آن منتقل شده و به مدت ۳ روز در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. وزن خشک هر دو بخش با ترازوی دیجیتالی تعیین گردید. غلظت عناصر  $Ca$ ،  $Mg$ ،  $K$  و  $Na$  ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاهان به روش خشک‌سوزانی تعیین گردید (وسترمن، ۱۹۹۰). غلظت  $N$  به روش کج‌لدال، غلظت  $P$  به روش وانادومولید و فسفریک اسید و با دستگاه اسپکتوفتومتر، غلظت  $K$  و  $Na$  عصاره‌ها با دستگاه فلیم فوتومتر و غلظت  $Ca$  و  $Mg$  آن‌ها با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. با تعیین  $EC$  محلول خاک تیمارهای مختلف در طول دوره رشد مشاهده شد که  $EC$  آب‌شویه گلدان‌ها در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی زیاد بوده (بیش‌تر از آستانه تحمل گیاه برنج) و با گذشت زمان روند افزایشی داشت. به دلیل زیادی  $EC$  محلول خاک (تا حدود ۲۰ دسی زیمنس بر متر) در این تیمارها، گیاه برنج رشد نکرد و این تیمارها حذف شدند. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام شد. ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام و از تبدیل مناسب برای داده‌های غیرنرمال استفاده شد. سپس مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد. تجزیه رگرسیون و محاسبه ضرایب همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

## نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک شن لومی از گروه خاک‌های درشت‌بافت می‌باشد. مقدار آهک و ماده آلی خاک ناچیز بود. درصد رطوبت اشباع در این خاک به دلیل مقدار کم رس پایین بود.  $pH$  خاک در محدوده خنثی تا قلیایی و از نظر شوری خاک غیرشور بود. غلظت فسفر، آهن، منگنز و روی خاک کم‌تر از حد بهینه و غلظت کلسیم، منیزیم، سدیم و مس خاک بیش‌تر از حد بهینه برای گیاه برنج بود (دبرمن و فیره‌ورست، ۲۰۰۰).

معصومه عباسی و همکاران

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای.

گروه بافت	شن (درصد)	رس (درصد)	آهک (درصد)	کربن آلی (درصد)	SP	pH (۱:۱)	EC (۱:۱) (دسی‌زیمنس بر متر)
شن لومی	۷۰	۱۲	صفر	۰/۱۳	۳۲	۷/۶۳	۰/۱۱

ادامه جدول ۱- غلظت عناصر قابل جذب خاک.

N (درصد)	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
۰/۲۳	۵/۷	۲۵۰	۱۰۸/۸	۱۱۴۹/۲	۹۹/۱	۱/۸	۱/۱	۰/۸۵	۱/۳

P قابل جذب با عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم، K، Na، Ca و Mg: قابل جذب با عصاره‌گیر استات آمونیوم و Fe، Mn، Zn و Cu: قابل جذب با عصاره‌گیر DTPA.

برخی ویژگی‌های شیمیایی کود مرغی و لجن فاضلاب مورد استفاده: برخی ویژگی‌های شیمیایی کود مرغی و لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. درصد ماده آلی، کربن آلی و نیتروژن آلی در کود مرغی بیش‌تر از لجن فاضلاب بود. نسبت C/N در دو کود موردنظر پایین بود. pH دو کود آلی در محدوده اسیدی تا خنثی بود. EC کود مرغی بالا و ۴-۳ برابر بیش‌تر از لجن فاضلاب بود. هر دو کود شامل عناصر پرمصرف و کم‌مصرف کل و قابل جذب زیادی بودند. غلظت فسفر، پتاسیم و سدیم کل و قابل جذب در کود مرغی بیش‌تر از لجن فاضلاب بود. به نظر می‌رسد غلظت بالای فسفر در کود مرغی به دلیل مصرف دی‌کلسیم فسفات در جیره غذایی مرغ‌ها می‌باشد. مقایسه نتایج تجزیه کود مرغی در این بررسی با مطالعه میل (۲۰۰۲) نشان داد که در کود مرغی غلظت فسفر، پتاسیم، کلسیم و روی مشابه گزارش میل (۲۰۰۲)، غلظت آهن و منیزیم کم‌تر و غلظت سدیم، کادمیم و سرب بیش‌تر بود. مقایسه نتایج تجزیه لجن فاضلاب در این بررسی با مطالعه استهور (۱۹۹۹) نشان داد که در لجن فاضلاب غلظت پتاسیم، منیزیم، روی مشابه گزارش استهور (۱۹۹۹)، غلظت نیتروژن، فسفر، کلسیم، مس و سرب کم‌تر و غلظت کادمیم بیش‌تر بود.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی کود مرغی و لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای.

کود مرغی	کربن آلی (درصد)	N کل (درصد)	C/N	pH <sub>(۱:۵)</sub> (w/v)	pH <sub>(۱:۲)</sub> (v/v)	EC <sub>(۱:۵)</sub> (w/v) (دسی‌زیمنس بر متر)	EC <sub>(۱:۲)</sub> (v/v) (دسی‌زیمنس بر متر)
کود مرغی	۳۰/۰۲	۵/۴۸	۵/۴۸	۷/۰۷	۶/۹۴	۱۱/۸۹	۱۸/۳۸
لجن فاضلاب	۲۱/۷۵	۴/۰۲	۵/۴۱	۶/۶۳	۶/۲۶	۳/۲۵	۵/۵۸

ادامه جدول ۲- غلظت کل عناصر در دو کود آلی مورد استفاده.

Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	
(میلی گرم بر کیلوگرم)						(میلی گرم بر گرم)					
۷/۷	۱۰/۹	۲۹/۴	۴۱۸/۴	۷۰۳/۴	۲۱۱/۶	۳/۹	۱۱/۷	۴/۸	۲۰/۳	۱۰/۴	کود مرغی
۵۱/۴	۱۲/۱	۱۸۶/۵	۲۷۲۳	۸۰۸	۷۱۲۴/۴	۵/۲	۲۶/۷	۰/۸	۲/۹	۱۱/۶	لجن فاضلاب

ادامه جدول ۲- غلظت عناصر قابل جذب در دو کود آلی مورد استفاده.

Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	
(میلی گرم بر کیلوگرم)						(میلی گرم بر گرم)					
۰/۵	۰/۴	۲۷/۹	۹۳/۷	۶/۶	۲۶/۴	۳/۴	۳/۲	۲/۵	۹/۸	۱/۴	کود مرغی
۵/۷	۰/۹	۱۲۱/۵	۵۳۱/۹	۵۲/۲	۴۲/۳	۱/۲	۸/۹	۰/۳	۰/۴	۰/۵	لجن فاضلاب

**غلظت نیتروژن بخش هوایی:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت N بخش هوایی در شرایط رطوبتی غرقاب دایم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از غرقاب متناوب و اشباع متناوب بود (جدول ۳). شیخ (۱۹۷۳) و تائو و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که غلظت N گیاه برنج در شرایط غرقاب بیش‌تر از شرایط غیرغرقاب بود. با مصرف ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب غلظت N بخش هوایی افزایش یافت. افزایش سطح لجن فاضلاب نیز غلظت N بخش هوایی را افزایش داد. همچنین، مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی با هر دو سطح لجن فاضلاب باعث افزایش بیش‌تر غلظت N بخش هوایی نسبت به مصرف فقط لجن فاضلاب شد. بیش‌ترین غلظت N در سطح ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی و کم‌ترین غلظت در شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). افزایش غلظت N در سطح ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی ممکن است مربوط به فراهمی سریع N از طریق اوره برای گیاه برنج نسبت به مصرف لجن فاضلاب باشد. بین ماده خشک و غلظت N بخش هوایی رابطه مثبت ولی غیرمعنی‌داری وجود داشت. کبیر و همکاران (۲۰۰۸) و ابراهیم و همکاران (۲۰۱۰) افزایش غلظت N برنج را با کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی گزارش کردند. محدوده مناسب غلظت N در بافت گیاه برنج ۴۲-۲۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک است (دبرمن و فیرهورست، ۲۰۰۰). با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت N بخش هوایی تنها در تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی در حد کفایت بوده و در شاهد و سطوح ۲۰ و ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی کم‌تر از حد کفایت بود که ممکن است به‌دلیل کمی مقدار N بومی خاک، تصعید و نیترات‌زدایی N به‌کار رفته در خاک باشد. به‌علت معدنی شدن ماده آلی خاک و بقایای محصول،



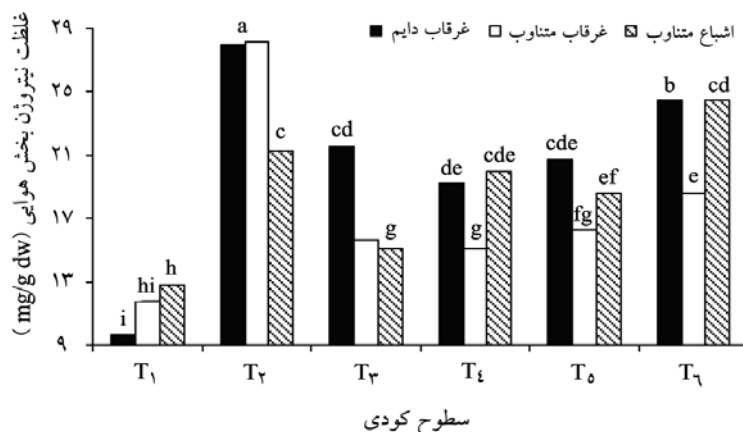
آمونیم محلول و قابل تبادل، در لایه خاک احیا شده در طی مراحل اولیه رشد که نیاز محصول به N کم است، تجمع می‌یابد. به دنبال انتشار آمونیم به لایه هوای خاک سطحی، آمونیم به نترات تبدیل شده و بر اثر انتشار به لایه خاک احیا شده برمی‌گردد و بر اثر فرآیند نترات زدایی تلف می‌شود (مارشتر، ۲۰۰۳). کمبود N در خاک‌هایی با مقدار ماده آلی کم (کم‌تر از ۰/۵ درصد، خاک‌های اسیدی با بافت درشت) و خاک‌های قلیایی و آهکی با ماده آلی کم و پتانسیل بالای هدرروی N به صورت گاز آمونیاک مشاهده می‌شود (دبرمن و فیرهورست، ۲۰۰۰). علت دیگر برای کاهش غلظت N ممکن است اثر رقت باشد. با مصرف لجن فاضلاب و افزایش سطوح آن سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد به طوری که ممکن است سرعت رشد بیش‌تر از سرعت جذب N به وسیله گیاه برنج باشد و سبب کاهش غلظت آن در بخش هوایی شود.

بیش‌ترین غلظت N در تیمارهای غرقاب دائم و غرقاب متناوب با ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده گردید (شکل ۱). علت این‌که غلظت N در تیمار ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی بالا است هم می‌تواند فراهمی بیش‌تر و سریع N و هم رشد کم بخش هوایی نسبت به مصرف لجن فاضلاب باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های غلظت (mg/g dw) عناصر N, P, K, Ca, Mg و Na بخش هوایی برنج تحت اثر اصلی شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی.

فاکتور	سطوح	N	P	K	Ca	Mg	Na
شرایط	غرقاب دائم	۲۰/۶۱ <sup>a</sup>	۲/۶۰ <sup>a</sup>	۲۲/۳۳ <sup>a</sup>	۱/۲۸ <sup>ab</sup>	۲/۴۳ <sup>b</sup>	۱/۸۵ <sup>b</sup>
آب	غرقاب متناوب	۱۷/۶۲ <sup>b</sup>	۲/۷۰ <sup>a</sup>	۲۱/۶۲ <sup>ab</sup>	۱/۲۰ <sup>b</sup>	۲/۷۲ <sup>a</sup>	۲/۶۱ <sup>a</sup>
خاک	اشباع متناوب	۱۸/۲۶ <sup>b</sup>	۲/۲۸ <sup>b</sup>	۲۰/۸۴ <sup>b</sup>	۱/۳۳ <sup>a</sup>	۲/۶۴ <sup>a</sup>	۱/۹۰ <sup>b</sup>
	شاهد	۱۱/۳۸ <sup>d</sup>	۱/۶۸ <sup>d</sup>	۱۵/۴۴ <sup>c</sup>	۰/۹۳ <sup>c</sup>	۱/۵۳ <sup>c</sup>	۳/۶۳ <sup>a</sup>
کودهای آلی و شیمیایی	۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی	۲۵/۹۳ <sup>a</sup>	۲/۱۷ <sup>c</sup>	۱۹/۵۲ <sup>b</sup>	۱/۰۷ <sup>c</sup>	۱/۸۴ <sup>d</sup>	۲/۸۴ <sup>a</sup>
	لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)	۱۷/۴۳ <sup>c</sup>	۲/۶۴ <sup>b</sup>	۲۳/۲۰ <sup>a</sup>	۱/۳۶ <sup>b</sup>	۲/۷۹ <sup>c</sup>	۱/۵۴ <sup>b</sup>
	۵۰ درصد کودهای شیمیایی	۱۸/۱۰ <sup>c</sup>	۲/۸۴ <sup>a</sup>	۲۳/۰۷ <sup>a</sup>	۱/۵۳ <sup>a</sup>	۲/۹۷ <sup>bc</sup>	۱/۴۲ <sup>c</sup>
	لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)	۱۸/۵۴ <sup>c</sup>	۲/۹۵ <sup>a</sup>	۲۴/۸۲ <sup>a</sup>	۱/۳۳ <sup>b</sup>	۳/۳۴ <sup>a</sup>	۱/۶۰ <sup>b</sup>
	۵۰ درصد کودهای شیمیایی	۲۱/۶۲ <sup>b</sup>	۲/۸۸ <sup>a</sup>	۲۳/۵۰ <sup>a</sup>	۱/۴۲ <sup>ab</sup>	۳/۱۱ <sup>ab</sup>	۱/۶۹ <sup>b</sup>

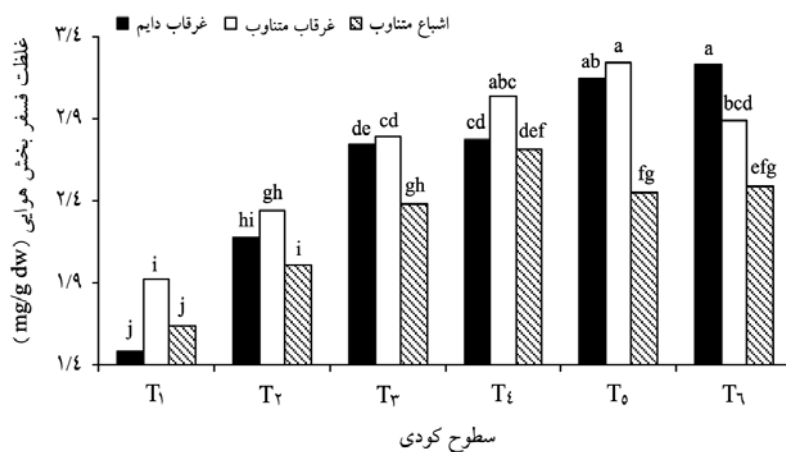
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت N بخش هوایی برنج. T<sub>1</sub>= شاهد، T<sub>2</sub>= ۱۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

غلظت فسفر بخش هوایی: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت P بخش هوایی در شرایط رطوبتی غرقاب دائم و متناوب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از شرایط اشباع متناوب بود (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری pH محلول خاک به‌نظر می‌رسد کاهش pH محلول خاک پس از غرقاب باعث افزایش حلالیت P و قابلیت جذب آن به‌وسیله گیاه برنج شده است. ونگ و شومن (۱۹۹۴) و علم و انصاری (۲۰۰۱) مشاهده کردند که غلظت P در گیاه برنج در شرایط غرقاب بیش‌تر از شرایط غیرغرقاب بود. بخشی از افزایش جذب و غلظت فسفر در بخش هوایی برنج در تیمارهای غرقاب نسبت به اشباع را می‌توان به افزایش فسفر قابل جذب گیاه برنج در شرایط غرقاب نسبت داد. نجفی و توفیقی (۲۰۰۷) گزارش دادند که غلظت فسفر قابل جذب گیاه در خاک‌های شالیزاری شمال ایران در شرایط غرقاب بیش از ۲/۳ برابر شرایط غیرغرقاب بود. غرقاب شدن خاک باعث احیای آهن سه در فسفات‌های آهن شده و این ترکیبات حل شده و فسفر موجود در آن‌ها آزاد می‌شود. همچنین غرقاب شدن خاک باعث افزایش سرعت انتشار فسفر می‌شود که نقش مهمی در فراهمی فسفر برای برنج دارد (دبرمن و فیهورست، ۲۰۰۰). از دیگر دلایل افزایش غلظت فسفر می‌توان به افزایش حلالیت فسفات‌های کلسیم به‌دلیل کاهش pH ناشی از تجمع دی‌اکسیدکربن در خاک‌های قلیایی اشاره کرد (نجفی و توفیقی، ۲۰۰۷). مصرف لجن فاضلاب به‌ویژه سطوح بالای آن باعث افزایش غلظت P بخش هوایی شد. افزودن

۵۰ درصد کودهای شیمیایی به سطح ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک باعث افزایش بیش‌تر غلظت P بخش هوایی نسبت به مصرف تنهای این مقدار لجن فاضلاب شد. بیش‌ترین غلظت P بخش هوایی در سطوح ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و کم‌ترین آن در شاهد (بدون کود) مشاهده گردید (جدول ۳). بین غلظت P و ماده خشک بخش هوایی رابطه خطی مثبت و معنی‌داری با  $r=0/67^{**}$  وجود داشت. بنابراین با افزایش غلظت P، ماده خشک بخش هوایی نیز افزایش یافت. سینگ و همکاران (۲۰۰۴) و نجفی و همکاران (۲۰۱۲) نتایج مشابهی گزارش کردند. دامنه کفایت برای غلظت P در بافت گیاه برنج ۴-۲ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بوده و بیش‌تر از ۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک حد سمیت می‌باشد (دبرمن و فیروهرست، ۲۰۰۰). به‌جز شاهد، غلظت P در بقیه سطوح کودی در حد کفایت می‌باشد. علت غلظت پایین P بخش هوایی در شاهد، غلظت پایین P قابل جذب خاک (جدول ۱) می‌باشد و زیادی غلظت P بخش هوایی در سایر تیمارها به غلظت بالای P قابل جذب لجن فاضلاب (جدول ۲) و فراهمی P مورد نیاز گیاه در این سطوح کودی مربوط می‌باشد. بیش‌ترین غلظت P در تیمارهای غرقاب متناوب با ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و غرقاب دائم با ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (شکل ۲).



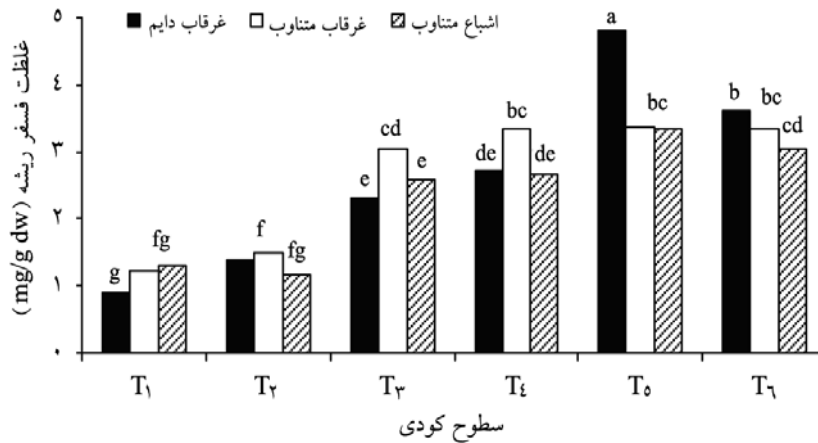
شکل ۲- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت P بخش هوایی برنج. T<sub>1</sub>=شاهد، T<sub>2</sub>=۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub>=لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub>=لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub>=لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub>=لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

**غلظت P ریشه:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت P ریشه در شرایط رطوبتی غرقاب دایم و متناوب بیش‌تر از اشباع متناوب بود (جدول ۴). نتایج مشابهی توسط ونگ و شومن (۱۹۹۴) نیز گزارش شده است. مصرف لجن فاضلاب و افزایش مقدار آن باعث افزایش غلظت P ریشه شد. در سطح ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی غلظت P ریشه را نسبت به مصرف فقط لجن فاضلاب افزایش داد اما در سطح ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی باعث کاهش غلظت P ریشه نسبت به مصرف فقط لجن فاضلاب شد. بیش‌ترین غلظت P در سطح کودی ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و کم‌ترین آن مربوط به شاهد و ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی بود (جدول ۴). نجفی و همکاران (۲۰۱۲) افزایش غلظت P ریشه گیاه آفتاب‌گردان با مصرف ۳۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک را گزارش کرد. مصرف لجن فاضلاب و افزایش سطح آن غلظت P ریشه را افزایش داد و بیش‌ترین آن در تیمار غرقاب دایم با ۴۰ گرم لجن فاضلاب مشاهده شد (شکل ۳). میانگین نسبت غلظت P بخش هوایی به ریشه ۱/۱۳ بود. بنابراین، غلظت P بخش هوایی بیش‌تر از ریشه بود. میان غلظت P ریشه و غلظت P بخش هوایی رابطه خطی و مثبت وجود داشت:  $r=0.83^{**}$  و  $P_{Shoot} = 0.413 (P_{Root}) + 1.476$ . با افزایش غلظت P ریشه غلظت P بخش هوایی نیز افزایش می‌یابد و عواملی که بر غلظت P بخش هوایی تأثیر می‌گذارند غلظت P ریشه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های غلظت (mg/g dw) عناصر P, K, Ca, Mg و Na ریشه برنج تحت اثر اصلی شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی.

فاکتور	سطوح	P	K	Ca	Mg	Na
شرایط	غرقاب دایم	۲/۶۲ <sup>a</sup>	۵/۳۳ <sup>c</sup>	۲/۱۸ <sup>b</sup>	۱/۸۹ <sup>b</sup>	۴/۱۸ <sup>ab</sup>
آب	غرقاب متناوب	۲/۶۴ <sup>a</sup>	۶/۱۸ <sup>b</sup>	۲/۶۰ <sup>a</sup>	۱/۹۹ <sup>b</sup>	۴/۲۸ <sup>a</sup>
خاک	اشباع متناوب	۲/۳۵ <sup>b</sup>	۹/۲۱ <sup>a</sup>	۲/۲۳ <sup>b</sup>	۲/۳۸ <sup>a</sup>	۴/۰۱ <sup>b</sup>
شاهد		۱/۱۴ <sup>e</sup>	۶/۳۷ <sup>c</sup>	۱/۳۸ <sup>d</sup>	۱/۱۹ <sup>d</sup>	۲/۷۲ <sup>d</sup>
کودهای	۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی	۱/۳۳ <sup>e</sup>	۹/۴۱ <sup>a</sup>	۱/۳ <sup>d</sup>	۱/۷۳ <sup>c</sup>	۳/۷۲ <sup>c</sup>
آلی و	لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)	۲/۶۵ <sup>d</sup>	۵/۹۰ <sup>c</sup>	۲/۳۹ <sup>c</sup>	۲/۲۱ <sup>b</sup>	۴/۳۶ <sup>b</sup>
شیمیایی	لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی	۲/۹۱ <sup>c</sup>	۷/۸۵ <sup>b</sup>	۳/۰۷ <sup>a</sup>	۲/۳۸ <sup>ab</sup>	۴/۱۵ <sup>b</sup>
	لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)	۳/۸۴ <sup>a</sup>	۵/۹۶ <sup>c</sup>	۳/۲۱ <sup>a</sup>	۲/۴۷ <sup>a</sup>	۴/۴۰ <sup>b</sup>
	لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی	۳/۳۴ <sup>b</sup>	۵/۹۵ <sup>c</sup>	۲/۶۵ <sup>b</sup>	۲/۵۰ <sup>a</sup>	۵/۶۰ <sup>a</sup>

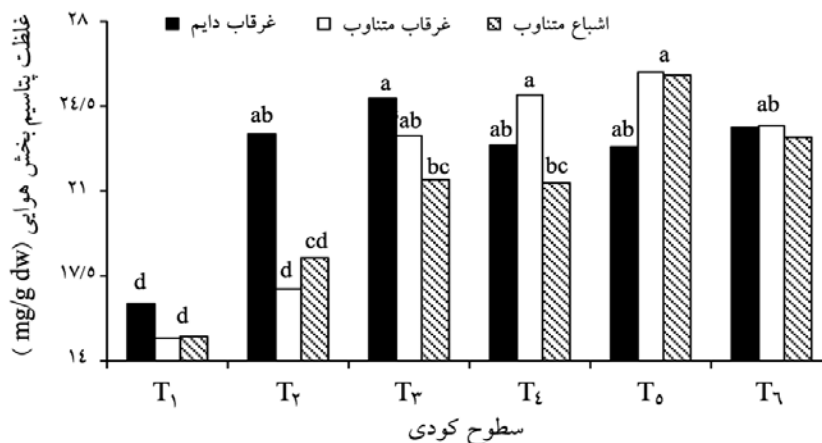
در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۳- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت P ریشه برنج. T<sub>1</sub> = شاهد، T<sub>2</sub> = ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

غلظت پتاسیم بخش هوایی: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت K بخش هوایی برنج در شرایط غرقاب دایم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از اشباع متناوب بود ولی میان شرایط رطوبتی غرقاب دایم و متناوب و همچنین غرقاب متناوب و اشباع متناوب تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری pH محلول خاک در این آزمایش نشان داد که پس از غرقاب pH محلول خاک کاهش یافت که باعث افزایش انحلال و آزادسازی K به محلول خاک شده و غلظت K و جذب آن را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. شیخ (۱۹۷۳) گزارش کرد که غلظت K بخش هوایی در تیمار غرقاب بیش‌تر از تیمار غیرغرقاب بود. نجفی و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش غلظت K بخش هوایی آفتاب‌گردان را در شرایط غرقاب نسبت به شرایط غیرغرقاب مشاهده کرد. با غرقاب شدن خاک غلظت یون‌های Fe<sup>+۲</sup> و Mn<sup>+۲</sup> زیاد شده و در جایگاه‌های تبادلی، جانشین K<sup>+</sup> شده و K<sup>+</sup> را در محلول خاک آزاد می‌کند و سبب افزایش انتشار K به سطح ریشه برنج و جذب آن می‌شود (دبرمن و فیره‌ورست، ۲۰۰۰). با افزایش مقادیر لجن فاضلاب غلظت K بخش هوایی نیز افزایش یافت. با مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی غلظت K بخش هوایی کم‌تر از مصرف فقط لجن فاضلاب بود.

بیشترین غلظت K بخش هوایی در سطوح کودی ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و کمترین آن در شاهد بود (جدول ۳). بین غلظت K و ماده خشک بخش هوایی رابطه خطی با  $r=0/57^{**}$  وجود داشت. نجفی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کرد که بیشترین غلظت K بخش هوایی در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک بود. سینگ و همکاران (۲۰۰۴) و کبیر و همکاران (۲۰۰۸) نتایج مشابهی مشاهده کردند. دامنه مطلوب غلظت K در بافت گیاه برنج ۱۸-۲۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک می‌باشد (دبرمن و فیره‌ورست، ۲۰۰۰). بنابراین، به‌جز شاهد در بقیه سطوح کودی غلظت K بخش هوایی در حد کفایت بود و علت آن غلظت بالای K قابل جذب لجن فاضلاب (جدول ۲) و مصرف کودهای شیمیایی  $KH_2PO_4$  و KCl در خاک می‌باشد. بیشترین غلظت K بخش هوایی مربوط به تیمارهای غرقاب دایم با ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک، غرقاب متناوب با ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و غرقاب متناوب و اشباع متناوب با ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بود (شکل ۴).

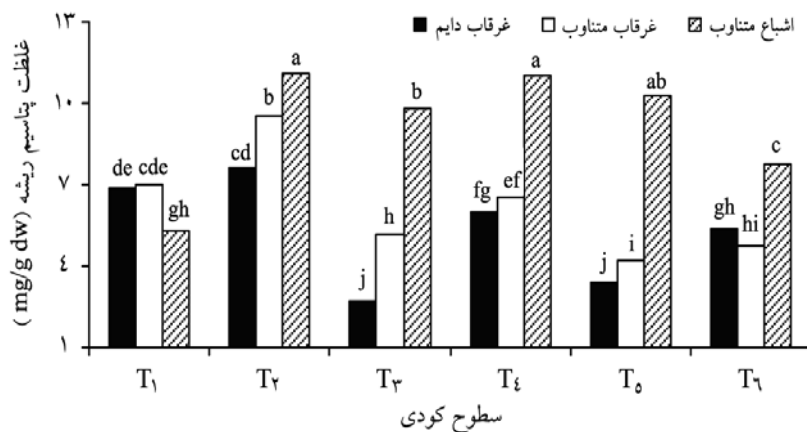


شکل ۴- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت K بخش هوایی برنج. T<sub>1</sub> = شاهد، T<sub>2</sub> = ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

**غلظت پتاسیم ریشه:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت K ریشه در شرایط رطوبتی اشباع متناوب بیش‌تر از غرقاب دائم و غرقاب متناوب بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد کاهش غلظت K ریشه در شرایط غرقاب دائم و متناوب ناشی از رقیق شدن محلول خاک بر اثر زیادی آب و کاهش غلظت K در آن می‌باشد. عامل دیگری که بر غلظت K ریشه اثر دارد سرعت انتقال K از ریشه به بخش هوایی است. شاید سرعت انتقال K از ریشه به بخش هوایی در شرایط غرقاب بیش‌تر از شرایط اشباع متناوب بوده است. با افزودن لجن فاضلاب و افزایش سطح آن غلظت K ریشه کاهش یافت (جدول ۴) که ممکن است به‌دلیل انتقال بیش‌تر K جذب شده به بخش هوایی برای تأمین نیاز گیاه و نیز وقوع پدیده اثر رقت به‌دلیل افزایش ماده خشک بخش هوایی و ریشه باشد (مارشور، ۲۰۰۳). بنابراین، بیش‌ترین غلظت K ریشه در سطح کودی ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (جدول ۴). مصرف کودهای شیمیایی در هر ۳ سطح رطوبتی و مصرف لجن فاضلاب در سطح رطوبتی اشباع متناوب، غلظت K ریشه را افزایش داد. بیش‌ترین غلظت K ریشه نیز در تیمارهای اشباع متناوب با ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی و اشباع متناوب با ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (شکل ۵). میانگین نسبت غلظت K بخش هوایی به ریشه ۳/۷۴ بود. به‌عبارت دیگر، میانگین غلظت K بخش هوایی ۳/۷۴ برابر ریشه برنج بود که نشان‌دهنده این است که گیاه برنج K را در بخش هوایی انباشته می‌کند.

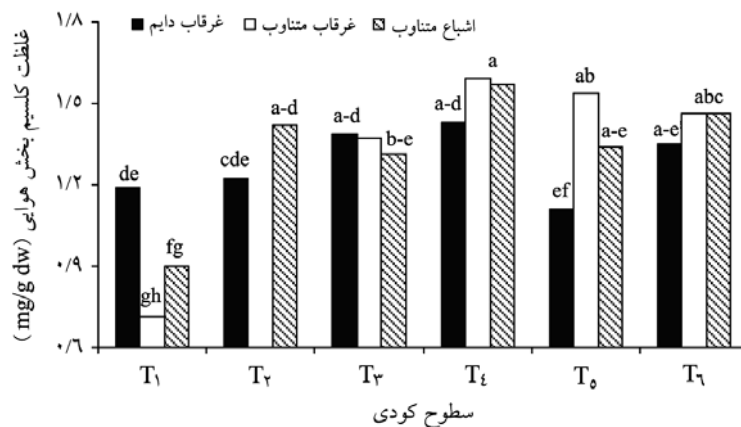
**غلظت کلسیم بخش هوایی:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت Ca بخش هوایی در شرایط رطوبتی اشباع متناوب بیش‌تر از غرقاب متناوب بود و تفاوت معنی‌داری میان غرقاب دائم با غرقاب متناوب، همچنین غرقاب دائم با اشباع متناوب وجود نداشت (جدول ۳). چریان و همکاران (۱۹۶۸) گزارش کردند که غرقاب کردن خاک باعث کاهش غلظت Ca در بخش هوایی برنج شد. غرقاب شدن خاک باعث افزایش غلظت Ca محلول خاک می‌شود که علت آن وقوع پدیده تبادل کاتیونی میان  $Ca^{+2}$  و  $Fe^{+2}$  محلول به‌دست آمده از احیای ترکیبات  $Fe^{+3}$  می‌باشد. با این‌حال، غلظت بالای Mg و K می‌تواند جذب Ca را کاهش دهد (دبرمن و فیروهرست، ۲۰۰۰). مصرف لجن فاضلاب به‌ویژه با ۵۰ درصد کودهای شیمیایی غلظت Ca بخش هوایی را افزایش داد و بیش‌ترین غلظت در سطح ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و کم‌ترین آن مربوط به شاهد و ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی بود (جدول ۳). میان غلظت Ca و ماده خشک بخش هوایی رابطه مثبت با  $r=0/64^{**}$  وجود داشت. کبیر و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که غلظت Ca در کاه برنج به‌طور

معنی‌داری با افزایش سطوح لجن فاضلاب افزایش یافت و بیش‌ترین غلظت مربوط به تیمار ۳۰۰ تن بر هکتار لجن فاضلاب با ۲۱ کیلوگرم نیوتن بر هکتار بود. دامنه بهینه غلظت Ca در بافت گیاه برنج ۲-۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک می‌باشد (دبرمن و فیره‌ورست، ۲۰۰۰). بنابراین، در تمام سطوح کودی غلظت Ca بخش هوایی کم‌تر از حد کفایت بود. کمبود Ca در خاک‌های اسیدی با ظرفیت تبادل کاتیونی کم، خاک‌های آب‌شویی یافته و همچنین خاک‌های شنی با بافت درشت و آب‌شویی زیاد اتفاق می‌افتد (دبرمن و فیره‌ورست، ۲۰۰۰). غلظت پایین Ca بخش هوایی ممکن است به دلیل رقابت Mg و K با آن بر سر ناقل‌های جذب باشد (مارش‌نر، ۲۰۰۳). چون غلظت دو عنصر Mg و K بخش هوایی در حد بهینه است ممکن است باعث کاهش غلظت Ca بخش هوایی شود. علاوه بر این، کمبود Ca بخش هوایی ممکن است به علت اثر رقت و سرعت رشد بیش‌تر بخش هوایی گیاه با مصرف لجن فاضلاب نسبت به سرعت جذب Ca توسط گیاه باشد و علت آن ممکن است تحرک کم Ca در داخل گیاه و تجمع بیش‌تر Ca جذب شده در ریشه باشد. بیش‌ترین غلظت Ca در تیمارهای غرقاب متناوب و اشباع متناوب با ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (شکل ۶).



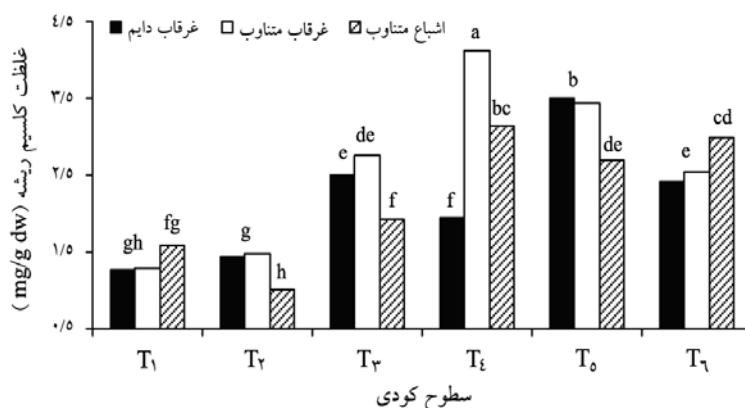
شکل ۵- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت K ریشه برنج. T<sub>1</sub> = شاهد، T<sub>2</sub> = ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.





شکل ۶- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت Ca بخش هوایی برنج. T<sub>1</sub>= شاهد، T<sub>2</sub>= ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

**غلظت کلسیم ریشه:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت Ca ریشه در شرایط رطوبتی غرقاب متناوب بیش‌تر از غرقاب دائم و اشباع متناوب بود (جدول ۴). با مصرف لجن فاضلاب و افزایش مقدار آن غلظت Ca ریشه افزایش یافت و مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی تنها در سطح پایین لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) باعث افزایش غلظت Ca ریشه نسبت به مصرف فقط لجن فاضلاب شد. بیش‌ترین غلظت Ca ریشه در سطوح ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و کم‌ترین آن در شاهد و ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد افزایش غلظت Ca ریشه و بخش هوایی به‌علت فراهمی این عنصر با مصرف لجن فاضلاب بود (جدول ۲). میانگین نسبت غلظت Ca بخش هوایی به ریشه ۰/۶ بود که نشان‌دهنده این است که گیاه برنج Ca جذب شده را بیش‌تر در ریشه انباشته می‌کند. میان غلظت Ca بخش هوایی با غلظت Ca ریشه رابطه خطی  $Ca_{Shoot} = 0.178 (Ca_{Root}) + 0.858$  با  $r = 0.502^{***}$  وجود داشت. بنابراین با افزایش غلظت Ca ریشه، غلظت Ca بخش هوایی افزایش می‌یابد. بیش‌ترین غلظت Ca ریشه در تیمار غرقاب متناوب با ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (شکل ۷).

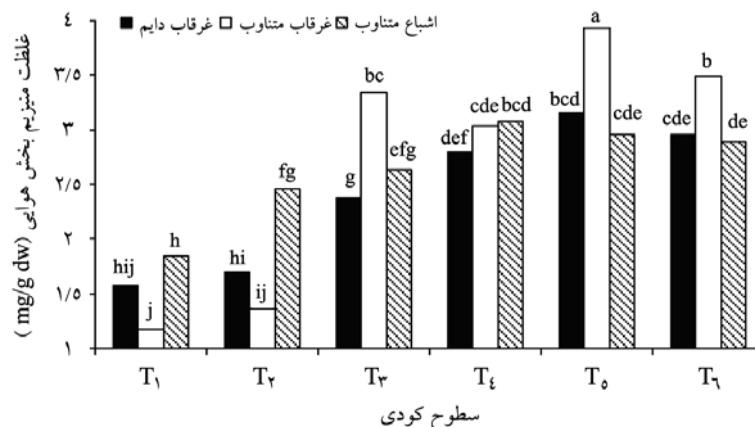


شکل ۷- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت Ca ریشه برنج. T<sub>1</sub> = شاهد، T<sub>2</sub> = ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

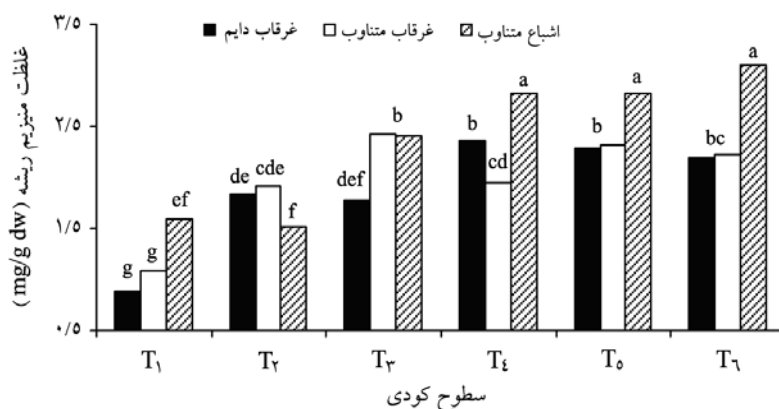
غلظت منیزیم بخش هوایی: مقایسه میانگین‌ها نشان داد غلظت Mg بخش هوایی در شرایط غرقاب متناوب و اشباع متناوب بیشتر از غرقاب دایم بود (جدول ۳). غرقاب شدن خاک باعث افزایش غلظت Mg محلول خاک می‌شود؛ علت آن جانشینی  $Mg^{+2}$  با  $Fe^{+2}$  به دست آمده از احیای ترکیبات  $Fe^{+3}$  می‌باشد. با این وجود، غلظت بالای K می‌تواند جذب Mg را کاهش دهد (دبرمن و فیرهورست، ۲۰۰۰). به نظر می‌رسد کاهش غلظت Mg بخش هوایی در شرایط غرقاب دایم ناشی از رقیق شدن محلول خاک بر اثر زیادی آب و کاهش غلظت Mg در آن باشد. چریان و همکاران (۱۹۶۸) و اسلام و اسلام (۱۹۷۳) افزایش غلظت Mg بخش هوایی برنج پس از غرقاب را گزارش کردند. مصرف کودهای آلی و شیمیایی باعث افزایش غلظت Mg بخش هوایی شد. با افزایش مقدار لجن فاضلاب غلظت Mg بخش هوایی افزایش یافت و مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی فقط در سطح ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک باعث افزایش بیش‌تر غلظت Mg بخش هوایی شد. بیش‌ترین غلظت Mg بخش هوایی در سطح ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و کم‌ترین مقدار در شاهد (بدون کود) مشاهده گردید (جدول ۳). رابطه خطی با  $r=0.8^{**}$  بین غلظت Mg بخش هوایی و ماده خشک آن وجود داشت. کبیر و همکاران (۲۰۰۸) نتایج مشابهی گزارش کردند. غلظت بهینه Mg در بافت گیاه برنج ۳-۱/۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک می‌باشد (دبرمن و فیرهورست، ۲۰۰۰). بنابراین، غلظت Mg بخش هوایی در بیش‌تر تیمارها در حد کفایت بوده است و تنها در سطح ۴۰ گرم لجن فاضلاب

بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی کمی بیش تر از حد کفایت می باشد. با افزایش مقدار لجن فاضلاب غلظت Mg بخش هوایی افزایش یافت. بیش ترین غلظت Mg بخش هوایی در تیمار غرقاب متناوب با ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مشاهده شد (شکل ۸).

**غلظت منیزیم ریشه:** مقایسه میانگین ها نشان داد غلظت Mg ریشه در اشباع متناوب به طور معنی داری بیش تر از دو سطح رطوبتی دیگر بود (جدول ۴). با افزودن کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب غلظت Mg ریشه افزایش یافت. همچنین، افزایش مقدار لجن فاضلاب و مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی باعث افزایش بیش تر غلظت Mg ریشه شد. بیش ترین غلظت Mg ریشه در سطوح ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و کم ترین آن در شاهد بود (جدول ۴). میانگین نسبت غلظت Mg بخش هوایی به ریشه ۱/۲۸ بود. بنابراین، گیاه برنج Mg جذب شده را بیش تر در بخش هوایی انباشته کرده است. میان غلظت Mg ریشه و غلظت Mg بخش هوایی رابطه خطی مثبت با  $r=0/643^{***}$  وجود داشت. بنابراین، با افزایش غلظت Mg ریشه غلظت Mg بخش هوایی نیز افزایش می یابد. با مصرف کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب غلظت Mg ریشه در هر سطح رطوبتی به ویژه، اشباع متناوب افزایش یافت و بیش ترین مقدار در تیمارهای اشباع متناوب با ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و اشباع متناوب با ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون ۵۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (شکل ۹).



شکل ۸- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت Mg بخش هوایی برنج. T<sub>1</sub> = شاهد، T<sub>2</sub> = ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub> = لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub> = لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

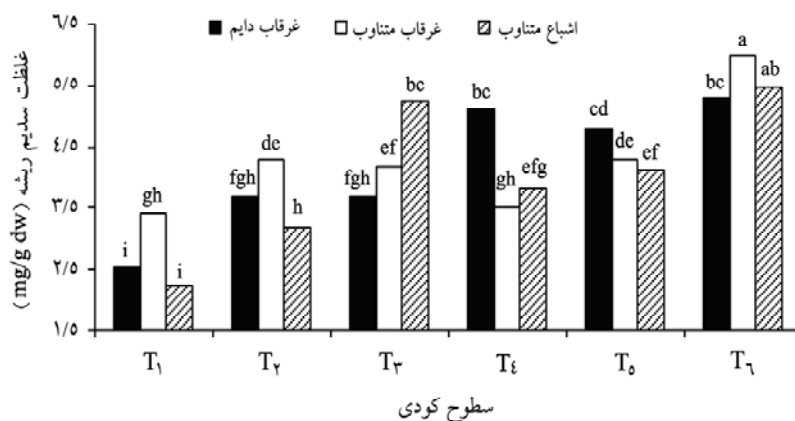


شکل ۹- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت Mg ریشه برنج. T<sub>1</sub>= شاهد، T<sub>2</sub>= ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>3</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>4</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>5</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>6</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

**غلظت سدیم بخش هوایی:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت Na بخش هوایی در شرایط رطوبتی غرقاب متناوب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از غرقاب دایم و اشباع متناوب بود. شیخ (۱۹۷۳) و میرلوحی و همکاران (۲۰۰۴) افزایش غلظت Na گیاه برنج را در شرایط غرقاب نسبت به غیرغرقاب گزارش کردند. با مصرف لجن فاضلاب غلظت Na بخش هوایی کاهش یافت. بیش‌ترین غلظت Na بخش هوایی در سطوح شاهد و ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (جدول ۳). رابطه خطی و منفی با  $r = -0.69^{**}$  میان غلظت Na و ماده خشک بخش هوایی وجود داشت. بنابراین با افزایش ماده خشک، غلظت Na کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از اثر رقت باشد. با توجه به رابطه مثبت میان ماده خشک و غلظت‌های K، Ca و Mg شاید دلیل دیگر برای این رابطه منفی اثر آنتاگونیستی این عناصر بر غلظت Na بخش هوایی باشد. همچنین، کاهش غلظت Na بخش هوایی در تیمارهای لجن فاضلاب ممکن است به‌علت غلظت پایین Na و غلظت بالای K در لجن فاضلاب (جدول ۲) و رقابت دو عنصر برای جذب توسط گیاه برنج باشد.

**غلظت سدیم ریشه:** مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت Na ریشه در شرایط رطوبتی غرقاب متناوب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از اشباع متناوب بود ولی تفاوت معنی‌داری میان غرقاب دایم با غرقاب متناوب و غرقاب دایم با اشباع متناوب وجود نداشت. با مصرف کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب غلظت Na

ریشه افزایش یافت. افزایش مقدار لجن فاضلاب و همچنین مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کودهای شیمیایی با سطح ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک نسبت به مصرف فقط لجن باعث افزایش غلظت Na ریشه شد. بیشترین غلظت Na ریشه در سطح ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (جدول ۴). میانگین نسبت Na بخش هوایی به ریشه ۰/۵۸ بود که نشان‌دهنده این است که گیاه برنج Na را در ریشه انباشته می‌کند. نجفی و همکاران (۲۰۱۲) افزایش غلظت Na ریشه آفتاب‌گردان را در تیمار ۳۰ گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک با ۲۲ روز غرقاب نسبت به تیمار بدون کود و غیرغرقاب گزارش کرد. بیشترین غلظت Na ریشه در تیمار غرقاب متناوب با ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی مشاهده شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- اثر متقابل شرایط آب خاک و کودهای آلی و شیمیایی بر غلظت Na ریشه برنج. T<sub>۱</sub>= شاهد، T<sub>۲</sub>= ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>۳</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>۴</sub>= لجن فاضلاب (۲۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی، T<sub>۵</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم)، T<sub>۶</sub>= لجن فاضلاب (۴۰ گرم بر کیلوگرم) + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که مصرف لجن فاضلاب و افزایش سطح آن باعث افزایش معنی‌دار غلظت‌های P، K، Ca و Mg بخش هوایی و غلظت‌های P، Ca، Mg و Na ریشه نسبت به شاهد و ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی شد. مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی با ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک غلظت‌های P، Ca و K بخش هوایی و ریشه (به جز K بخش هوایی) را به‌طور معنی‌داری نسبت به

مصرف فقط ۲۰ گرم لجن فاضلاب افزایش داد. مصرف ۵۰ درصد کودهای شیمیایی با ۴۰ گرم لجن فاضلاب فقط بر غلظت N بخش هوایی و غلظت P و Mg ریشه معنی دار بود. غرقاب دائم غلظت N و K بخش هوایی را به طور معنی داری نسبت به غرقاب متناوب و اشباع متناوب افزایش داد. غلظت Na بخش هوایی و غلظت Ca و Na ریشه در غرقاب متناوب بیش تر از غرقاب دائم و اشباع متناوب بودند. غلظت Ca بخش هوایی و غلظت K و Mg ریشه در اشباع متناوب بیش تر از غرقاب دائم و غرقاب متناوب بودند. غلظت P, K و Mg بخش هوایی بیش تر از ریشه در حالی که غلظت Na و Ca ریشه برنج بیش تر از بخش هوایی آن بود. با توجه به این که مصرف ۲۰ و ۴۰ گرم کود مرغی بر کیلوگرم خاک به دلیل افزایش شوری محلول خاک مانع رشد برنج گردید، توصیه می گردد از سطوح کم تر کود مرغی استفاده گردد. برای صرفه جویی در مصرف آب، کاهش هزینه ها و خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف مداوم کودهای شیمیایی می توان تیمار ۴۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و شرایط غرقاب متناوب را برای کشت برنج در شرایط گلخانه ای توصیه کرد. برای توصیه دقیق در شرایط مزرعه ای لازم است این آزمایش در شرایط یاد شده تکرار گردد.

#### منابع

1. Akanni, D.I., and Ojeniyi, S.O. 2007. Effect of different levels of poultry manure on soil physical properties, nutrients status, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Res. J. Agron. 1: 1-4.
2. Alam, S.M., and Ansari, R. 2001. Influence of iron and manganese on the growth and contents of Fe, Mn, and P in rice. J. Biol. Sci. 1: 434-435.
3. Arabzadeh, B., and Tavakoli, A. 2005. Optimal management of deficit irrigation for rice transplanted (TP) farming. J. Agric. Sci. and Natur. Resour. 12: 3. 11-21.
4. Bahmanyar, M.A., and Pirdashti, H. 2008. Responses of biomass, chlorophyll and macro-and micronutrient uptake of rice (*Oryza sativa* L.) to organic and chemical fertilizers. In: Proceedings of the 14 th Australian Agronomy Conference, Adelaide South Australia.
5. Beyrouthy, C.A., Grigg, B.C., Norman, R.J., and Wells, B.R. 1994. Nutrient uptake by rice in response to water management. J. Plant Nutr. 17: 39-55.
6. Chaudhry, M.S., and McLean, E.O. 1963. Comparative effects of flooded and unflooded soil conditions and nitrogen application on growth and nutrient uptake by rice plants. Agron. J. 55: 565-567.
7. Cherian, E.C., Paulsen, G.M., and Murphy, L.S. 1968. Nutrient uptake by lowland rice under flooded and nonflooded soil conditions. Agron. J. 60: 554-557.
8. Dane, J.H., and Topp, G.C. 2002. Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. ASA-CSSA-SSSA Publisher, USA.

9. Doberman, A., and Fairhurst, T.H. 2000. Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management. PPI/PPIC, Singapore and IRRI, Philippines Handbook Series, 191p.
10. Eneji, A.E., Yamamoto, S., and Honna, T. 2001. Rice growth and nutrient uptake as affected by livestock manure in four Japanese soils. *J. Plant Nutr.* 24: 333-343.
11. Giordano, P.M., and Mortvedt, J.J. 1972. Rice response to Zn in flooded and non-flooded soil. *Agron. J.* 64: 521-524.
12. Ibrahim, M., Hassan, A.U., Iqbal, M., and Valeem, E.E. 2008. Response of wheat growth and yield to various levels of compost and organic manure. *Pakistan J. Bot.* 40: 2135-2141.
13. Ibrahim, M., Hassan, A.U., Arshad, M., and Tanveer, A. 2010. Variation in root growth and nutrient element concentration in wheat and rice: effect of rate and type of organic materials. *Soil and Environment*, 29: 47-52.
14. Islam, A., and Islam, W. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice. I. Benefit from submergence. *Plant and Soil*, 39: 555-565.
15. Kabir, M.K., Ullah, S.M., Jahan, S., Ullah, M.B., and Kamal, A.T.M.M. 2008. Influence of sewage sludge and nitrogen fertilization on growth, nutrient content and heavy metal uptake by rice straw. *Bangladesh J. Sci. and Ind. Res.* 43: 571-580.
16. Kazemi Arbat, H. 1995. Special Agriculture. Volume 1. Grains. Iran University Press, Tehran. (In Persian)
17. Maftoun, M., and Moshiri, F. 2008. Growth, mineral nutrition and selected soil properties of lowland rice, as affected by soil application of organic wastes and phosphorus. *J. Agric. Sci. and Technol.* 10: 481-492.
18. Malakooti, M.J., Balali, M.R., Golchin, A., Majidi, A., Doroodi, M.S., Ziaei, A.A., Lotfollahi, M.A., Shahabian, M., Basirat, S., Manoochehri, M.H., Davodi, Z., and Shahbazi, K. 2000. Optimal Fertilizer Recommendation for Horticultural Crops. Technical Publication, Soil and Water Research Institute, Agriculture Education Publishing, Karaj, 200p.
19. Marschner, H. 2003. Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, USA.
20. Mill, T. 2002. Trace element speciation in poultry litter. P 35-39, In: Symposia Papers Presented Division of Environmental Chemistry of American Chemical Society. Boston, MA. August 18-22.
21. Mirlohi, A.F., Ehtemam, M.H., and Sabzalian, M.R. 2004. Study of parameters involved in improved performance of rice under submerged conditions using Iranian varieties. *J. and Technol. Agric. and Natur. Resour. Water and Soil Science*, 8: 2. 121-134.
22. Mirzaei, R., Kambozia, J., Sabahi, H., and Mahdavi, A. 2008. Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Iran. J. Field Crops Res.* 7: 1. 257-268.

23. Mohammad, M.J., and Athamneh, B.M. 2004. Changes in soil fertility and plant uptake of nutrient and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. *J. Agron.* 3: 229-236.
24. Najafi, N., and Towfighi, H. 2007. Changes in available phosphorus and inorganic phosphorus fractions after waterlogging in the paddy soils of north of Iran. In: Proceedings of the 10<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress. 26-27 August, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian)
25. Najafi, N., Mardomi, S., and Oustan, Sh. 2012. The effect of waterlogging, sewage sludge and manure on selected macronutrients and sodium uptake by sunflower plant in a loamy sand soil. *Water and Soil*, In Press, 26: 3.
26. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis; Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA.
27. Peters, J. 2003. *Recommended Methods of Manure Analysis*. Cooperative Extension publishing, University of Wisconsin, Pp: 1-57.
28. Qi-chun, Z., and Guang-huo, W. 2005. Studies on nutrient uptake of rice and characteristics of soil microorganisms in a long-term fertilization experiments for irrigated rice. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 6b: 2. 147-154.
29. Rezaei, M., and Nahvi, M. 2003. Effect of different irrigation intervals on water use efficiency and yield of rice in Gilan. In: Proceedings of the 11<sup>th</sup> Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Conference. 24-25 December, Tehran, Iran.
30. Richards, L.A. 1969. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Salinity Laboratory Staff, Agricultural Handbook No. 60, USDA, USA.
31. Satyanarayana, V., Vara Prasad, P.V., Murthy, V.R.K., and Boote, K.J. 2002. Influence of integrated use of farmyard manure and inorganic fertilizers on yield and yield components of irrigated lowland rice. *J. Plant Nutr.* 25: 2081-2090.
32. Senapati, H.K., Sahoo, S.S., Jena, B., and Sahoo, D. 2004. Impact of integrated plant nutrient management on upland rainfed rice cultivation. *International Rice Research Notes (IRRN)*, 29: 56-57.
33. Sheikh, K.H. 1973. Effect of flooding and drainage and their alternation on the growth and uptake of nutrients by rice (*Oryza sativa* L., indica, var. IR-8). *J. Exper. Bot.* 24: 64-75.
34. Singh, Y., Singh, B., Ladha, J.K., Khind, C.S., Gupta, R.K., Meelu, O.P., and Pasuquin, E. 2004. Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in the rice-wheat rotation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68: 845-853.
35. Stehouwer, R. 1999. *Land Application of Sewage Sludge in Pennsylvania. What is sewage sludge and what can be done with it?* The Pennsylvania State University, Pp: 1-8.



36. Tao, H., Dittert, K., Zhang, L., Lin, S., Romheld, V., and Sattelmacher, B. 2007. Effect of soil water content on growth, tillering, and manganese uptake of lowland rice grown in the water-saving ground-cover rice-production system (GCRPS). *J. Plant Nutr. and Soil Sci.* 170: 7-13.
37. Wang, J., and Shuman, L.M. 1994. Transformation of phosphate in rice (*Oryza sativa* L.) rhizosphere and its influence on phosphorus nutrition of rice. *J. Plant Nutr.* 17: 1803-1815.
38. Westerman, L.Z. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
39. Zia, M.S., Munsif, M., Aslam, M., and Gill, M.A. 1992. Integrated use of organic manures for the cultivation of lowland rice in Pakistan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 38: 331-338.



## **Effects of soil water conditions, sewage sludge and chemical fertilizers on concentrations of rice macronutrients in an alkaline soil**

**M. Abbasi<sup>1</sup>, \*N. Najafi<sup>2</sup>, N. Aliasgharzad<sup>3</sup> and Sh. Oustan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Tabriz, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz, <sup>3</sup>Professor, Dept. of Soil Science, University of Tabriz,

<sup>4</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz

Received: 2011/12/22; Accepted: 2012/05/07

### **Abstract**

The aim of this research was the study of the effects of soil water conditions, sewage sludge and chemical fertilizers on concentrations of macronutrients and sodium in shoot and root of rice plant (*Oryza sativa* L. cv. Ali Kazemi) in a loamy sand non-calcareous alkaline soil. The study was performed as a factorial experiment in a randomized complete blocks design including soil water conditions at three levels (continuous submergence, alternate submergence and alternate saturation) and source and amount of organic and chemical fertilizers at 10 levels (control, 100% chemical fertilizers, 20 g sewage sludge/kg of soil with and without 50% chemical fertilizers, 40 g sewage sludge/kg of soil with and without 50% chemical fertilizers, 20 g poultry manure/kg of soil with and without 50% chemical fertilizers and 40 g poultry manure/kg of soil with and without 50% chemical fertilizers) with three replications. The results showed that the effects of soil water conditions and fertilizers on concentrations of macronutrients in shoot and root of rice were significant. Application of 20 and 40 g poultry manure per kg of soil prevented the growth of rice; therefore, these treatments were excluded. The application of 20 and 40 g sewage sludge per kg of soil increased significantly all of macronutrient concentrations except shoot concentration of N and Na and root concentration of K compared to the control and 100% chemical fertilizers. Addition of 50% chemical fertilizers to 20 g sewage sludge per kg of soil increased shoot and root concentrations of P compared to application of only 20 g sewage sludge per kg of soil. Alternate submergence increased shoot and root concentrations of P, K, Ca, Mg and Na (except root concentration of K) compared with continuous submergence and alternate saturation. The concentrations of P, K and Mg in rice shoot were greater than root, while the concentrations of Na and Ca in rice root were greater than shoot.

**Keywords:** Rice, Sodium, Soil water conditions, Macronutrients, Sewage sludge

---

\* Corresponding Authors; Email: [n-najafi@tabrizu.ac.ir](mailto:n-najafi@tabrizu.ac.ir)