

## اثر کشت برنج، غرقاب، کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر pH، EC، پتاسیم و سدیم محلول خاک

نصرت اله نجفی<sup>1\*</sup>، معصومه عباسی<sup>2</sup>، ناصر علی اصغرزاد<sup>3</sup> و شاهین اوستان<sup>1</sup>

تاریخ دریافت: 91/05/07 تاریخ پذیرش: 91/07/26

<sup>1</sup>دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>2</sup>دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>3</sup>استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [n-najafi@tabrizu.ac.ir](mailto:n-najafi@tabrizu.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق، اثر کشت برنج (*Oryza sativa* L.) رقم علی کاظمی، کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات pH، EC، پتاسیم و سدیم محلول یک خاک قلیایی پس از غرقاب تحت شرایط گلخانه‌ای بررسی گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار، شامل مدت غرقاب در 10، 11، 20، 30، 37، 42، 49، 56، 63، 78 و 92 روز، منبع و مقدار کودهای آلی و شیمیایی در شش سطح (شاهد، 100% کودهای شیمیایی، 20 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون 50% کودهای شیمیایی، 40 کمپوست گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون 50% کودهای شیمیایی) و کشت گیاه در دو سطح (با و بدون کشت برنج) انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش مدت غرقاب در تیمار 100% کودهای شیمیایی pH محلول خاک قلیایی کاهش یافت در حالی که در تیمارهای 20 و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون 50% کودهای شیمیایی افزایش یافت. در تمام تیمارهای مورد مطالعه، EC محلول خاک پس از غرقاب ابتدا افزایش و پس از رسیدن به حداکثر کاهش یافت. در تمام تیمارها، غلظت پتاسیم محلول خاک با افزایش مدت غرقاب کاهش یافت در حالی که غلظت سدیم محلول خاک افزایش یافت. pH محلول خاک با مصرف کودهای شیمیایی افزایش یافت در حالی که با مصرف هر دو سطح کمپوست لجن فاضلاب کاهش یافت. EC و غلظت سدیم و پتاسیم محلول خاک با مصرف کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی نسبت به شاهد افزایش یافتند. در اواخر دوره رشد، pH محلول خاک در تیمارهای باکشت (رایزوسفر) کمتر از تیمارهای بدون کشت (غیررایزوسفر) بود. اثر کشت برنج بر EC محلول خاک معنی‌دار نبود ولی بر غلظت پتاسیم و سدیم محلول خاک معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: برنج، رایزوسفر، شوری، غرقاب، کمپوست، لجن فاضلاب

## Effects of Rice Cultivation, Submergence, Sewage Sludge Compost and Chemical Fertilizers on Soil Solution's pH, EC, Potassium and Sodium

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

Received: 28 July 2012 Accepted: 17 October 2012

<sup>1</sup>- Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>- Former M.Sc. Student, Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

<sup>3</sup>- Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

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

### Abstract

In this investigation, the effects of rice (*Oryza sativa* cv. Ali Kazemi) cultivation, sewage sludge compost and chemical fertilizers on changes in pH, EC, potassium and sodium in an alkaline soil solution after submergence were studied under greenhouse conditions. A factorial experiment based on randomized complete blocks design with two replications including duration of submergence at 10 levels (2, 11, 30, 37, 42, 49, 56, 63, 78, 92 days) and source and amount of organic and chemical fertilizers in six levels (control, 100% chemical fertilizers, 20g sewage sludge compost per kg of soil with and without 50% chemical fertilizers, 40g sewage sludge compost per kg of soil with and without 50% chemical fertilizers) and rice cultivation at two levels (cultivated and uncultivated) was carried out. The results showed that by increasing the duration of soil submergence, the pH of alkaline soil solution in the treatment with 100% chemical fertilizers increased, while in the treatments including 20 and 40g sewage sludge compost/kg of soil with and without 50% chemical fertilizers it decreased. In the all treatments, after submergence the EC of soil solution initially increased and after reaching a maximum decreased. In the all treatments, by increasing duration of submergence, concentration of potassium in soil solution decreased, while sodium concentration in soil solution increased. The pH of soil solution increased by application of chemical fertilizers while it decreased by application of sewage sludge compost. The EC and concentrations of sodium and potassium in soil solution increased by application of sewage sludge compost and chemical fertilizers compared to the control. At the end of growth period, the pH of soil solution in cultivated treatments (rhizosphere) was lower than that of uncultivated (non-rhizosphere) treatments. The effect of rice cultivation on the EC of soil solution was not significant while its effect on the concentrations of sodium and potassium in soil solution was significant.

**Keyword:** Compost, Rhizosphere, Rice, Salinity, Sewage sludge, Submergence

## مقدمه

در میان غلات، برنج از جمله محصولات مهم کشاورزی در ایران است که نیاز به آب فراوان داشته و عمدتاً در شرایط غرقاب کشت می‌شود. شیمی خاک‌های غرقاب کاملاً متفاوت از خاک‌های غیرغرقاب است. مهمترین اثر غرقاب کردن خاک، کاهش ورود اکسیژن به خاک و افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن می‌باشد. کمبود اکسیژن آزاد یا شرایط بی‌هوایی در خاک سبب انجام یک سری فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌شود (پوناپروما 1985، ساهراوات 2005). پس از غرقاب شدن خاک، pH، پتانسیل ریذاکس، قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت‌های عناصر در محلول خاک تغییر می‌کنند. این تغییرات بر قابلیت جذب عناصر غذایی و رشد برنج تأثیر می‌گذارند (ساهراوات 2005).

کشت گیاه برنج نیز شیمی محلول خاک را تغییر می‌دهد و شرایط موجود در محلول خاک ریزوسفر با خاک غیرریزوسفر متفاوت است. این تغییرات در شیمی محلول خاک ریزوسفر بر اثر جذب یونها و مواد به-وسیله ریشه گیاه، ترشحات ریشه و اثر متقابل ریشه با خاک و ریزجانداران ایجاد می‌شود (مارشتر 2003). این تغییرات در شیمی محلول خاک ریزوسفر برنج در نهایت بر تغذیه، رشد و عملکرد برنج اثر می‌گذارد. با این حال، در مطالعات ریزوسفر به تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و غلظت‌های پتاسیم و سدیم محلول خاک کمتر توجه شده است.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، خاک‌ها معمولاً از نظر ماده آلی فقیر بوده و دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نامطلوبی می‌باشند. به‌همین علت، افزایش سطح ماده آلی در چنین خاک‌هایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (مفتون و مشیری 2008). مصرف مواد آلی مختلف از جمله لجن فاضلاب سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک، افزایش غلظت نیترژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و بور در خاک،

افزایش رشد ریشه و جذب مواد غذایی به‌وسیله گیاه می‌شود (محمد و آتامنه 2004، آکانی و اوچینی 2007). با این حال، به‌نظر می‌رسد که با مصرف مقادیر زیاد کودهای آلی مثل لجن فاضلاب، زیادی غلظت نمک‌های محلول (افزایش شوری) و فلزات سنگین در خاک رشد گیاه را محدود نماید (رسولی و مفتون 1387، مفتون و مشیری 2008). از طرف دیگر، مصرف زیاد کودهای شیمیایی باعث تغییر pH خاک و به‌هم خوردن تعادل ریزجانداران و گیاهان بومی خاک و تعادل عناصر غذایی محلول و قابل جذب گیاه در خاک می‌شود (ماهاجان و گوپتا 2009). با توجه به خطرات زیست محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی بهتر است بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای آلی جایگزین شود. لذا، امروزه محققان مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی را توصیه می‌نمایند. لی و همکاران (2004) گزارش کردند که مصرف کودهای شیمیایی NPK، کمپوست و کمپوست با کودهای شیمیایی باعث کاهش pH خاک‌های شالیزار می‌شود. مطالعه شد. رسولی و مفتون (1387) گزارش کردند خاک تیمار شده با کود دامی شامل مقادیر بیشتری املاح محلول، پتاسیم قابل جذب و کربن آلی بود. قانیم (2008) مشاهده کرد که دو روز بعد از مصرف کود گاوی pH خاک 1 تا 1/2 واحد نسبت به pH اولیه کاهش یافت و در روزهای دوم تا ششم ثابت مانده سپس به-آرامی کاهش یافت. کودهای شیمیایی نیز علاوه بر افزایش غلظت عناصر غذایی در محلول خاک می‌توانند pH و EC محلول خاک را تغییر دهند (نجفی و توفیقی 2008).

با توجه به اینکه ریشه گیاه برنج عناصر غذایی و آب مورد نیاز خود را از محلول خاک جذب می‌کند، بررسی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی محلول خاک و غلظت عناصر غذایی مختلف در آن در طول دوره رشد گیاه برنج اهمیت زیادی دارد. مطالعات در زمینه تغییرات EC، پتاسیم و سدیم محلول خاک ریزوسفر

خاک،  $T_4=20$  گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک +50% کودهای شیمیایی،  $T_5=40$  گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک،  $T_6=40$  گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک +50% کودهای شیمیایی) و کشت گیاه در دو سطح (با و بدون کشت برنج) انجام شد. مقدار کودهای شیمیایی مورد نیاز بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول 1) و نتایج پیش آزمایش‌ها (در نظر گرفتن میزان جذب عناصر غذایی به وسیله برنج) تعیین گردید و به صورت محلول به خاک افزوده شد. انتخاب مقادیر لجن فاضلاب بر اساس نتایج بهمنیار و پیردشتی (2008)، مفتون و مشیری (2008) و نجفی و مردمی (1392) انجام شد. مقدار 2/5 کیلوگرم خاک آماده شده برای هر تیمار در دو تکرار در هر گلدان ریخته شد. سپس خاک غرقاب گردید و یک سانتی‌متر آب در سطح خاک قرار داده شد و برای رسیدن به تعادل نسبی به مدت دو هفته در این شرایط نگهداری گردید. سپس در هر گلدان 10 عدد بذر جوانه‌دار شده برنج (*Oryza sativa* L.) رقم علی کاظمی کاشته شد و پس از استقرار گیاه به چهار عدد در هر گلدان تنک گردید. در طول دوره رشد برنج، پنج سانتی-متر آب در سطح خاک گلدان‌ها نگهداری شد. برای آبیاری گلدان‌ها از مخلوط آب شهری و آب مقطر با نسبت 1:1 استفاده شد. برای افزایش رطوبت نسبی گلخانه چند لایه از گونی چتایی در کف گلخانه پهن شده و هر روز خیس گردید. گیاهان به مدت سه ماه در شرایط گلخانه با دمای 18-32 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 55-45 درصد رشد یافتند. در زمان‌های مختلف پس از غرقاب (2، 11، 30، 37، 42، 49، 56، 63، 78 و 92 روز) با سرنگ 50 میلی‌لیتری، حدود 25 میلی-لیتر از محلول خاک داخل گلدان‌ها بیرون کشیده شد و بلافاصله pH و EC آن‌ها اندازه‌گیری شد. pH با استفاده از دستگاه pHسنج (Hach، EC30) و EC با دستگاه ECسنج (Tetco-240) تعیین گردید. سپس عصاره‌ها با افزودن دو قطره اسید نیتریک غلیظ اسیدی شدند و تا زمان اندازه‌گیری در دمای کمتر از 4 درجه سلسیوس

برنج کم است (نجفی و توفیقی 2008). لذا، هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثر کشت برنج، مدت غرقاب، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات pH، EC، پتاسیم و سدیم محلول یک خاک قلیایی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، خاکی با بافت شن لومی از ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب و از عمق 0-25 سانتی‌متری آن نمونه‌برداری شد. بعد از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی (دن و تاپ 2002) و شیمیایی خاک (ریچاردز 1969، پیچ و همکاران 1982) تعیین شد و نتایج در جدول 1 ارائه گردید. لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه تهیه گردید. ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب نیز تعیین گردید (پیچ و همکاران 1982، پترز 2003) و نتایج در جدول 2 ارائه شد. برای انجام آزمایش، گلدان‌های چهار کیلوگرمی تهیه شد. قسمت پایینی گلدان‌ها برای برداشتن عصاره محلول خاک سوراخ و شیلنگ پلی‌اتیلنی در کف گلدان‌ها تعبیه شده و سپس با چسب محکم شد. برای جلوگیری از خروج خاک و به دست آوردن عصاره‌ای نسبتاً زلال، یک لایه پشم شیشه (به ضخامت یک سانتی‌متر و به اندازه قطر گلدان) در کف گلدان‌ها قرار داده شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار، شامل فاکتور اول مدت غرقاب در 10 سطح (2، 11، 30، 37، 42، 49، 56، 63، 78 و 92 روز) و فاکتور دوم منبع و مقدار کودهای آلی و شیمیایی در شش سطح ( $T_1$  = شاهد،  $T_2=100\%$  کودهای شیمیایی (200 میلی‌گرم N به شکل اوره، 15 میلی‌گرم P به شکل  $KH_2PO_4$ ، 21 میلی‌گرم K به شکل KCl، 10 میلی‌گرم Fe به شکل  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ، 12/5 میلی-گرم Mn به شکل  $MnSO_4 \cdot H_2O$ ، 5 میلی‌گرم Zn به شکل  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ، 2 میلی‌گرم Cu به شکل  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  بر کیلوگرم خاک)،  $T_3=20$  گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم

افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

در یخچال نگهداری شدند. سپس غلظت Na و K آبشویه‌ها با دستگاه فلیم‌فتمتر کورنینگ مدل 410 اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای.

گروه بافت	شن (%)	رس (%)	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی (%)	SP	pH (1:1)	EC (1:1) (dS/m)
شن لومی	70	12	صفر	0/13	32	7/63	0/7

ادامه جدول 1- غلظت عناصر قابل جذب خاک.

Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	N کل (%)
(mg/kg)											
3/4	0/02	1/3	0/85	1/1	1/8	99/1	1149/2	108/8	250	5/7	0/08

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای.

EC (1:2) (dS/m)(v/v)	EC (1:5) (dS/m)(w/v)	pH (1:2) (v/v)	pH (1:5) (w/v)	C/N	نیترژن کل (%)	کربن آلی (%)
5/58	3/25	6/26	6/63	10/9	2	21/8

ادامه جدول 2- غلظت عناصر قابل جذب در لجن فاضلاب مورد استفاده.

Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P
(mg/kg)					(mg/g)					
5/71	0/85	121/5	531/9	52/2	42/3	1/19	8/93	0/30	0/35	0/48

جدول 3- نتایج تجزیه شیمیایی آب.

EC (dS/m)	pH	Na	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	P	K	عناصر غلظت (mg/L)
0/49	7/7	3/5	صفر	0/6	صفر	0/1	11	42	0/05	4/3	

## نتایج و بحث

### pH محلول خاک

در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل کود و کشت غیرمعنی‌دار بودند (جدول 4).

### اثر مدت غرقاب بر pH محلول خاک

در تیمار شاهد پس از غرقاب با گذشت زمان pH محلول خاک ابتدا به‌طور معنی‌داری از 7/65 به 8/48 افزایش، سپس تا 0/7 واحد کاهش و مجدداً 0/3 واحد افزایش یافت. دلیل افزایش اولیه pH روشن نیست ولی دلایل کاهش و افزایش بعدی آن در زیر بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی مدت غرقاب، کود (کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی) و کشت برنج بر pH محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اثر متقابل مدت غرقاب و کود، مدت غرقاب و کشت برنج بر pH محلول خاک

با افزایش مدت غرقاب، pH محلول خاک گلدان‌های بدون کشت در تمامی تیمارهای مورد مطالعه به جز 100% کودهای شیمیایی به‌طور معنی‌داری نسبت به روزهای اول غرقاب افزایش یافت (شکل 1). همین روند در تیمارهای با کشت نیز مشاهده گردید (شکل 2).

خواهد شد. در تیمارهای 100% کودهای شیمیایی، 20 و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون 50% کودهای شیمیایی pH محلول خاک ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت که این افزایش pH محلول خاک در گلدان‌های بدون کشت تیمار شده با هر دو سطح کمپوست لجن فاضلاب معنی‌دار بود. به‌طور کلی،

جدول 4- تجزیه واریانس اثر کشت، مدت غرقاب و کودها بر pH، EC و غلظت K و Na محلول خاک.

میانگین مربعات			pH	درجه آزادی	منبع تغییر
Na	K	EC			
192166/45 **	3357/74 **	4/74 **	0/22 **	9	مدت غرقاب
70250/11 **	24480/40 **	28/18 **	5/66 **	5	کود
5312/08 **	596/31 **	0/30 **	0/13 **	45	مدت غرقاب × کود
36510/86 **	259/17 *	0/02 <sup>n.s</sup>	1/13 **	1	کشت
7354/82 **	47/70 <sup>n.s</sup>	0/12 **	0/06 **	9	مدت غرقاب × کشت
16079/66 **	170/85 **	0/03 <sup>n.s</sup>	0/008 <sup>n.s</sup>	5	کود × کشت
1443/79 <sup>n.s</sup>	92/68 **	0/05 **	0/008 <sup>n.s</sup>	45	مدت غرقاب × کود × کشت
2050/73	49/55	0/02	0/008	119	خطای آزمایشی
17/43	7/60	4/93	1/19		ضریب تغییرات (%)

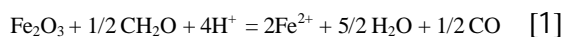
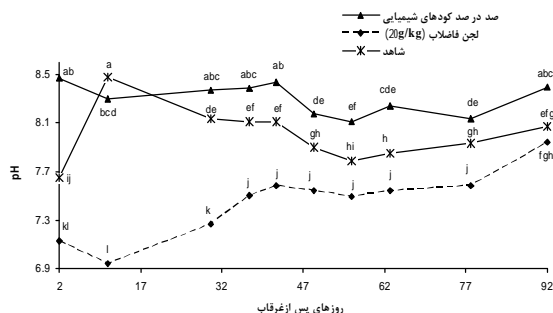
n.s، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال 5% و 1%

باکتری‌های هوازی می‌باشد. افزایش بعدی pH خاک بعد از دو هفته غرقاب را نیز می‌توان به فرآیندهای احیا در خاک نسبت داد. ساها و مندال (1998) نشان دادند که غرقاب کردن خاک باعث افزایش pH خاک شد. نجفی و توفیقی (2008) مشاهده کردند که pH خاک‌های قلیایی آهکی پس از غرقاب ابتدا کاهش یافت و تقریباً ثابت ماند و سپس افزایش یافت. در شرایط غرقاب و بی‌هوازی به ترتیب  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{Mn}^{4+}$ ،  $\text{Fe}^{3+}$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  و  $\text{CO}_2$  احیا می‌شوند (ساهرآت 2005). این فرآیندها مصرف کننده پروتون بوده و باعث افزایش pH محلول خاک می‌گردند (کریک 2004). بنابراین، افزایش pH بیشتر خاک‌های اسیدی پس از غرقاب، به دلیل احیای  $\text{Fe}^{3+}$  به  $\text{Fe}^{2+}$  می‌باشد که  $\text{Fe}^{3+}$  به‌عنوان پذیرنده الکترون برای اکسایش ماده آلی عمل می‌کند:

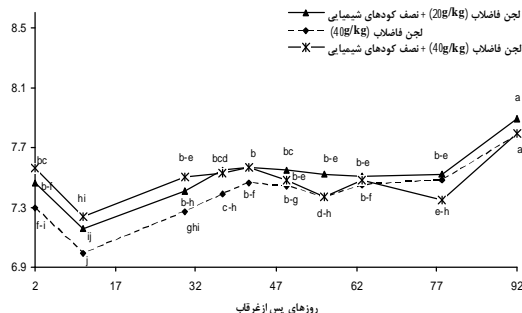
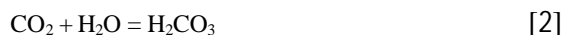
اسلام و اسلام (1973) مشاهده کردند که pH محلول خاک پس از غرقاب ابتدا کاهش و سپس به تدریج افزایش یافت و به حد ثابتی رسید. آنان افزایش بعدی pH محلول خاک پس از غرقاب را به فرآیند احیای منگنز و آهن نسبت دادند. پاتریک و ردی (1978) بیان داشتند که غرقاب کردن خاک بر مقدار اکسیژن خاک، pH خاک، رفتار چندین عنصر غذایی مهم و بر رشد و عملکرد برنج تأثیر دارد. تغییر pH خاک پس از غرقاب به چندین عامل از قبیل تبدیل آهن فریک به فرو، تجمع آمونیوم، تبدیل سولفات به سولفید و تبدیل دی‌اکسید کربن به متان در شرایط کاهش‌ی نسبت داده شده است (دی داتا 1981). تیند و چاهال (1987) گزارش کردند که کاهش pH خاک یک هفته پس از غرقاب احتمالاً به دلیل تجمع گاز  $\text{CO}_2$  تولید شده بر اثر فرآیند معدنی شدن و تنفس



بنابراین احیای آهن و غلظت دی‌اکسید کربن نقش مهمی در کنترل pH خاک‌های غرقاب دارد (یونامپروما 1985، ساهراوات 2005).



کاهش pH خاک‌های قلیایی نتیجه تجمع گاز دی-اکسید کربن در خاک‌های غرقاب است که باعث کاهش pH خاک می‌شود:



شکل 1- اثر لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات pH محلول خاک پس از غرقاب در گلدان‌های بدون کشت.

علاوه بر این، کاهش pH خاک پس از مصرف کمپوست لجن فاضلاب را می‌توان به pH پایین این کود نسبت به خاک مربوط دانست (جدول‌های 1 و 2). همچنین تجزیه کود آلی باعث افزایش غلظت گاز دی-اکسید کربن و اسیدهای آلی می‌شود که این عوامل باعث کاهش pH خاک می‌شود. افزایش بعدی pH محلول خاک با مصرف لجن فاضلاب ممکن است ناشی از غلظت بالای آهن و منگنز آن نسبت به خاک باشد (جدول‌های 1 و 2) که به‌مرور زمان با تجزیه کمپوست لجن فاضلاب وارد خاک می‌شوند و بر اثر احیای آنها،  $\text{H}^+$  مصرف شده و pH محلول خاک افزایش می‌یابد (معادله 1). محمد و آتامنه (2004) گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک موجب کاهش pH شد. آنان بیان کردند که کاهش pH خاک بر اثر افزودن لجن فاضلاب ممکن است به‌دلیل اسیدها و گاز دی‌اکسید کربن تولید شده بر اثر تجزیه ماده آلی باشد. نجفی و مردمی (1392) مشاهده کردند که در تیمارهای با 15 و 30 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و 15 و 30 گرم کود دامی بر کیلوگرم خاک با غرقاب شدن خاک pH

نتایج آزمایش نشان داد که مصرف 100% کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار pH محلول خاک نسبت به تیمار شاهد گردید. مصرف لجن فاضلاب (هر دو سطح 20 و 40 گرم بر کیلوگرم خاک) باعث کاهش معنی‌دار pH محلول خاک نسبت به تیمار شاهد و 100% کودهای شیمیایی شد. در تیمارهای لجن فاضلاب مصرف 50% کودهای شیمیایی باعث افزایش pH محلول خاک نسبت به تیمارهای بدون 50% کودهای شیمیایی شد ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل 1). افزایش pH در تیمارهای با 50 و 100% کودهای شیمیایی می‌تواند به‌دلیل مصرف کود اوره به‌عنوان منبع نیتروژن باشد. کود اوره مصرفی در گلدان‌ها به مرور زمان و در شرایط غرقاب به کربنات آمونیوم تبدیل می‌شود. کربنات آمونیوم از دو مول آمونیاک و یک مول اسید کربنیک تشکیل شده است. چون آمونیاک باز قوی و اسید کربنیک اسید ضعیف است، pH محلول خاک در طول زمان غرقاب افزایش می‌یابد (کریک 2004):

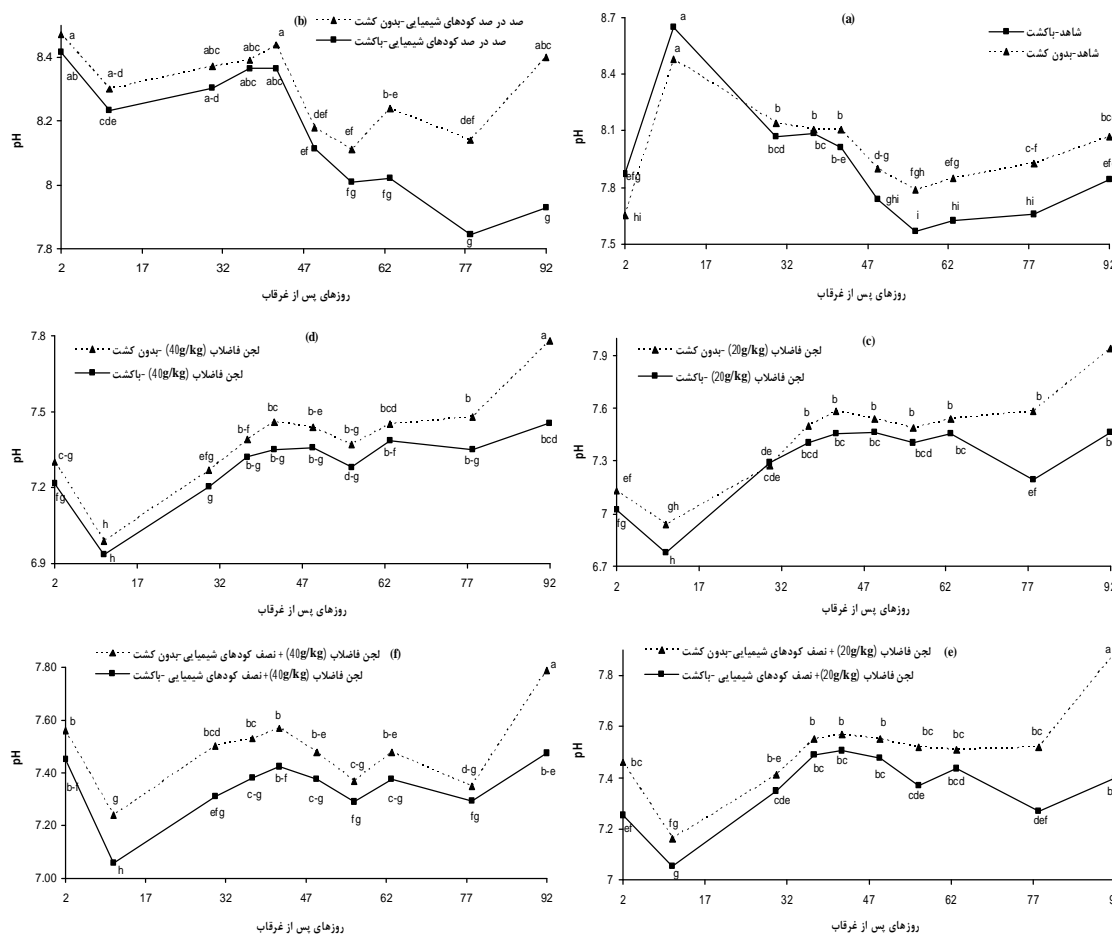


هدلی و همکاران (1994) مشاهده کردند که pH خاک ریزوسفر برنج نسبت به توده خاک بیش از 0/5 واحد کمتر بود و تفاوت معنی‌داری میان رقم‌های مختلف برنج از نظر میزان تغییر pH وجود نداشت. با افزایش زمان رشد، وسعت و شدت اسیدی شدن افزایش یافت. کیرک و باجیتا (1995) و نجفی و توفیقی (2008) نتایج مشابهی گزارش کردند. تغییرات pH ریزوسفر بر اثر ترشح یون‌های هیدروژن و بی‌کربنات، تولید گاز دی-اکسید کربن بر اثر تنفس ریشه و ریزجانداران خاک و همچنین ترشح اسیدهای آلی به‌وسیله ریشه ایجاد می‌شود (نیومن و رومهلد 2000، مارشدر 2003).

ابتدا کاهش و سپس به‌تدریج افزایش یافت. تیند و چاهال (1987) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند.

### اثر کشت گیاه برنج بر pH محلول خاک

کشت گیاه برنج، pH محلول خاک را در تمام تیمارهای مورد مطالعه نسبت به تیمارهای بدون کشت کاهش داد. در اوایل دوره رشد گیاه برنج (تا 63 روز) تفاوت زیادی میان دو تیمار با کشت و بدون کشت وجود نداشت ولی بعد از آن تفاوت میان دو تیمار (به-جز سطح 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون 50% کودهای شیمیایی) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که علت آن می‌تواند رشد بیشتر ریشه با گذشت زمان و تأثیر آن بر محیط ریزوسفر باشد (شکل 2).



شکل 2- اثر کشت برنج بر تغییرات pH محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای شاهد (a)، 100% کودهای شیمیایی (b)، و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بدون 50% کودهای شیمیایی (c و d) و با 50% کودهای شیمیایی (e و f).



**EC محلول خاک**

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مدت غرقاب، کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر EC محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی اثر اصلی کشت غیرمعنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل مدت غرقاب و کود، مدت غرقاب و کشت بر EC محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر کود و کشت غیرمعنی‌دار بود (جدول 4).

**اثر مدت غرقاب بر EC محلول خاک**

EC محلول خاک در تمام تیمارهای مورد مطالعه پس از غرقاب و با گذشت زمان (تا 37 روز) ابتدا به‌طور معنی‌داری افزایش و سپس به‌تدریج کاهش یافت (شکل-های 3 و 4) که با نتایج تیند و چاهال (1987) مطابقت داشت. پونامپروما (1985) بیان داشت که EC محلول بیشتر خاک‌ها پس از غرقاب افزایش و پس از رسیدن به حداکثر دوباره کاهش یافت و این روند از خاکی به خاک دیگر متفاوت بود. به نظر محققان، افزایش EC محلول خاک پس از غرقاب به‌دلیل افزایش غلظت  $Fe^{2+}$ ،  $Mn^{2+}$ ،  $NH_4^+$ ،  $HCO_3^-$  و  $RCOO^-$  و جابجایی کاتیون‌های سطح کلئیدهای خاک با  $Fe^{2+}$ ،  $Mn^{2+}$  و  $NH_4^+$  و آزاد شدن آنها به محلول خاک می‌باشد. کاهش بعدی EC محلول خاک به‌دلیل رسوب آهن به‌شکل  $Fe(OH)_3$  و  $FeS$ ، رسوب منگنز به‌شکل  $MnCO_3$  و کاهش دی‌اکسید کربن می‌باشد (پونامپروما 1985، دبرمن و فیرهورست 2000). همچنین، به‌نظر می‌رسد در بررسی ما عواملی از قبیل تبخیر آب از سطح گلدان‌ها و کاهش pH خاک نیز باعث افزایش EC آبشویه گلدان‌ها می‌شوند. دلیل افزایش EC محلول خاک با کاهش pH خاک این است که یون  $H^+$  بیشترین هدایت اکی‌والانی را دارد (پازنده 1371، نجفی و توفیقی 2008). برداشتن 25 میلی‌لیتر از محلول داخل گلدان‌ها برای اندازه‌گیری pH، EC و غلظت‌های عناصر در آبشویه‌ها نیز موجب کاهش EC محلول خاک می‌شود.

**اثر کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر EC****محلول خاک**

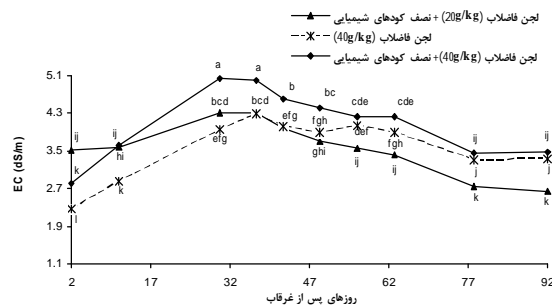
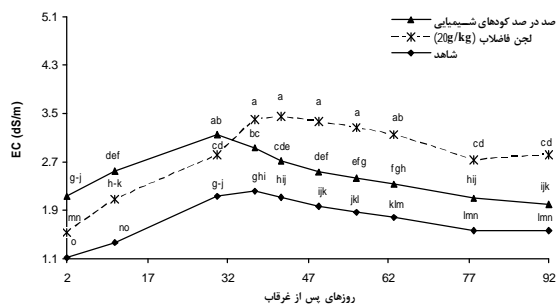
مصرف کمپوست لجن فاضلاب و 100% کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار EC محلول خاک نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل 3). مصرف 50% کودهای شیمیایی در هر دو سطح 20 و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار EC محلول خاک نسبت به مصرف فقط هر دو سطح کمپوست لجن فاضلاب گردید. بیشترین EC محلول خاک در سطح 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با 50% کودهای شیمیایی مشاهده گردید (شکل 3). آکاهانی و همکاران (2010) گزارش کردند که EC محلول خاک در هر دو تیمار با و بدون کود اوره پس از غرقاب افزایش یافت و این افزایش در تیمار با کود اوره بیشتر بود. افزایش EC محلول خاک با مصرف لجن فاضلاب به‌دلیل EC بالا و غلظت زیاد  $Na^+$ ،  $K^+$ ،  $Ca^{+2}$ ،  $Mg^{+2}$  و عناصر کم‌مصرف این کود نسبت به خاک می‌باشد (جدول 2). با تجزیه کمپوست لجن فاضلاب این یونها وارد محلول خاک شده، غلظت آنها افزایش یافته و در نتیجه EC محلول خاک نیز افزایش می‌یابد. تیند و چاهال (1987) مشاهده کردند که افزودن کود سبز به هر دو خاک آهکی و غیرآهکی باعث افزایش EC محلول خاک شد. محمد و آتامنه (2004) گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک را افزایش داد. گندمکار و همکاران (1382) نیز بیان کردند که افزودن شیرابه کمپوست به خاک گرچه می‌تواند باعث ارتقای سطح حاصلخیزی خاک شود ولی ممکن است موجب شوری و آلودگی خاک گردد.

**اثر کشت گیاه برنج بر EC محلول خاک**

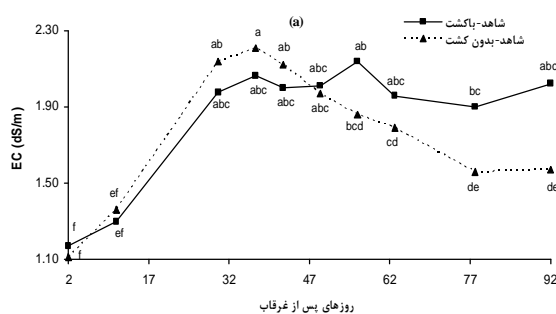
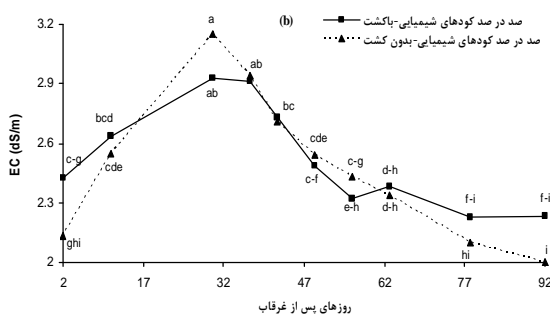
میان تیمارهای با کشت و بدون کشت (به‌جز سطوح شاهد و 20 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با 50% کودهای شیمیایی) از نظر EC محلول خاک

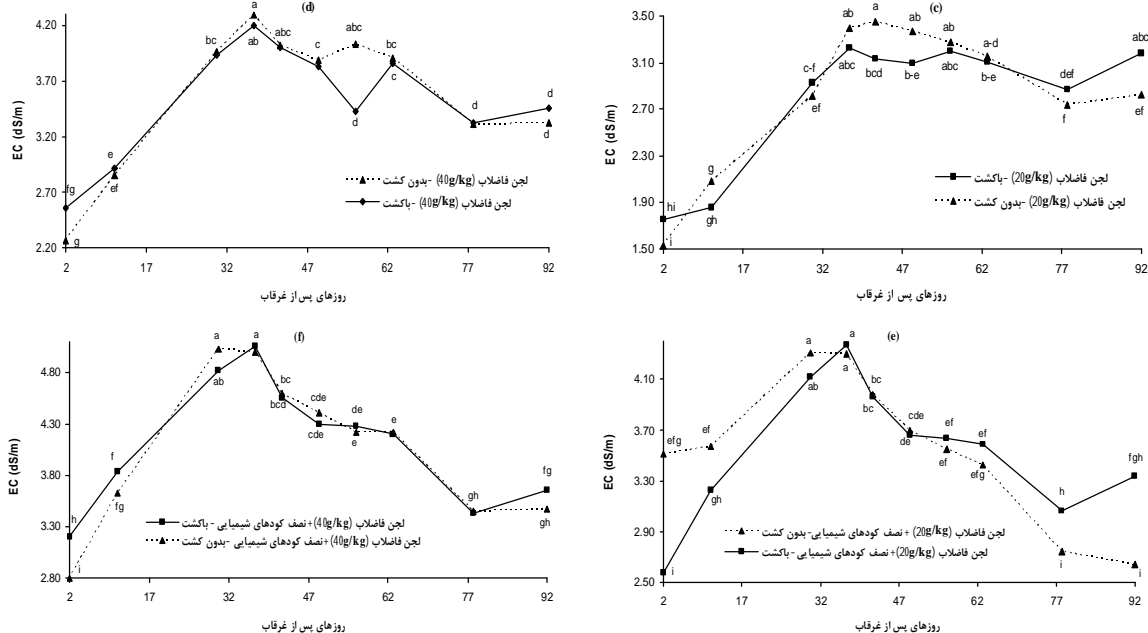
تغییر دهند: 1-2) اگر گیاه به ازای جذب یک مول کاتیون مثل آمونیوم از محیط، یک مول  $H^+$  به رایزوسفر ترشح کند، غلظت  $H^+$  در رایزوسفر افزایش می‌یابد و با توجه به این‌که یون  $H^+$  بیشترین هدایت اکی‌والانی را در میان یونها دارد (پازنده 1371)، EC رایزوسفر افزایش می‌یابد، 2-2) اگر یک کاتیون و یک آنیون به طور هم‌زمان جذب شوند مانند جذب هم‌زمان  $H^+$  و  $H_2PO_4^-$  به وسیله ناقل‌های همبر (مارشتر 2003) باعث کاهش EC آبشویه گلدها می‌گردد، 2-3) ریشه گیاه به ازای جذب یک آنیون (نیترات) یک یون هیدروکسیل به بیرون ترشح می‌کند و در نتیجه pH رایزوسفر افزایش و فعالیت  $H^+$  کاهش یافته و در نتیجه EC آن کاهش می‌یابد و 2-4) اگر آب با سرعتی بیشتر از یونها به وسیله گیاه جذب شود، EC محیط کشت افزایش یافته و اگر یونها با سرعتی بیشتر از آب به وسیله ریشه گیاه جذب شوند، EC محیط رشد کاهش می‌یابد (باربر 1995، جونز 1997).

تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل 4). نجفی و توفیقی (2008) مشاهده کردند که EC محلول خاک اطراف ریشه برنج در یک خاک اسیدی به‌طور معنی‌داری کمتر از توده خاک ولی در یک خاک قلیایی آهکی بیشتر از توده خاک بود. نجفی و مردمی (1392) گزارش کردند که در مراحل اولیه غرقاب، EC محلول خاک رایزوسفر آفتابگردان از EC محلول خاک غیررایزوسفر کمتر بود ولی با گذشت زمان EC رایزوسفر افزایش یافت. نجفی و پارسازاده (1390) بیان کردند که EC رایزوسفر اسفناج نسبت به EC گلدها بدون کشت و EC اولیه محلول‌های غذایی بیشتر بود. به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد عوامل زیر تغییرات EC آبشویه گلدها را کنترل می‌کنند (نجفی و پارسازاده 1390): 1) تبخیر آب از سطح گلدها که EC آبشویه گلدها را افزایش می‌دهد، 2) جذب آب و یونها به وسیله گیاه: که ممکن است چندین پدیده به‌طور هم‌زمان یا جداگانه انجام شده و هدایت الکتریکی رایزوسفر را



شکل 3- اثر کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات EC محلول خاک پس از غرقاب در گلدها بدون کشت.





شکل 4- اثر کشت برنج بر تغییرات EC محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای شاهد (a)، 100% کودهای شیمیایی (b)، و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بدون کودهای شیمیایی (c و d) و با 50% کودهای شیمیایی (e و f).

افزایش و مجدداً کاهش یافت (شکل 5). به طور کلی، با افزایش مدت غرقاب غلظت پتاسیم محلول خاک در تمام تیمارهای مورد مطالعه (باکشت و بدون کشت) روند کاهشی داشت. ابراهیم و همکاران (2011) گزارش کردند که غلظت  $\text{NH}_4^+$ ،  $\text{P}$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Fe}^{+2}$  و  $\text{Mn}^{+2}$  محلول پس از غرقاب به تدریج افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر (24 روز پس از غرقاب) کاهش یافت. اسلام و اسلام (1973) نیز بیان کردند که پس از غرقاب کردن خاک‌های با بافت مختلف غلظت پتاسیم محلول افزایش یافته و پس از رسیدن به حداکثر (9 هفته پس از غرقاب) کاهش یافت. در شرایط بی‌هوازی بعد از غرقاب شدن، پتاسیم تبدالی بر اثر تبادل با یون‌های  $\text{Mn}^{2+}$  و  $\text{Fe}^{2+}$  از محل‌های تبادل کاتیونی جدا شده و وارد محلول خاک می‌شود. این امر منجر به افزایش غلظت پتاسیم در محلول خاک و افزایش انتشار پتاسیم به طرف ریشه برنج به ویژه در خاک‌هایی با پتانسیل تثبیت پتاسیم کم می‌شود. با این حال، غلظت زیاد پتاسیم در محلول خاک ممکن است منجر به افزایش تلفات پتاسیم به علت

#### غلظت پتاسیم محلول خاک

تجزیه و آریانس نشان داد که اثر اصلی مدت غرقاب، کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت پتاسیم محلول خاک در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی کشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل مدت غرقاب و کود، اثر کود و کشت بر غلظت پتاسیم محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل مدت غرقاب و کشت غیرمعنی‌دار بود (جدول 4).

#### اثر مدت غرقاب بر غلظت پتاسیم محلول خاک

غلظت پتاسیم محلول پس از غرقاب در تیمارهای بدون کشت شاهد، 100% کودهای شیمیایی، 20 و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با 50% کودهای شیمیایی ابتدا افزایش و سپس با گذشت زمان به طور معنی‌داری کاهش یافت. در تیمارهای 20 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با 50% کودهای شیمیایی و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک غلظت پتاسیم محلول ابتدا کاهش، سپس

ناشی از مصرف کودهای پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات و پتاسیم کلراید می‌باشد.

اثر کشت گیاه برنج بر غلظت پتاسیم محلول خاک اثر کشت گیاه برنج بر غلظت پتاسیم محلول روند خاصی نداشت ولی به‌طور کلی در تیمارهای شاهد و 100% کودهای شیمیایی میان تیمار باکشت و بدون کشت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت که ممکن است به‌علت رشد کم گیاه در این دو تیمار باشد (جدول 4). به‌نظر می‌رسد در این دو تیمار سرعت جذب پتاسیم به‌وسیله گیاه برنج با سرعت آزادسازی آن توسط خاک به محلول تقریباً برابر است. در تیمارهای با سطوح 20 و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب با 50% کودهای شیمیایی در اوایل دوره غرقاب غلظت پتاسیم محلول در تیمار بدون کشت بیشتر از تیمار باکشت بود (شکل 6). کاهش غلظت پتاسیم محلول در تیمار باکشت ممکن است ناشی از سرعت جذب بیشتر پتاسیم به‌وسیله گیاه برنج نسبت به سرعت رهاسازی پتاسیم از خاک و کودهای آلی و شیمیایی باشد.

آبشویی در خاک‌های دارای بافت درشت یا خاک‌هایی با شدت آبشویی بالا شود (دبرمن و فیره‌ورست 2000).

اثر کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت پتاسیم محلول

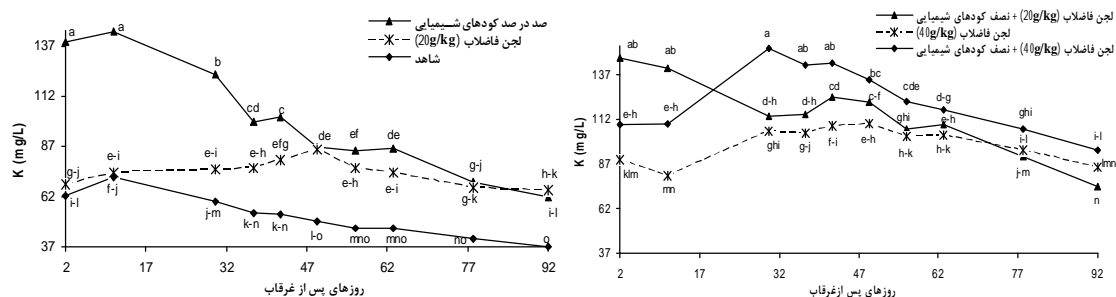
افزودن کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم محلول خاک نسبت به تیمار شاهد شد. مصرف تلفیقی 50% کودهای شیمیایی با هر دو سطح کمپوست لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم محلول نسبت به مصرف این کود به‌تنهایی شد. بیشترین غلظت پتاسیم محلول در سطح کودی 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با 50% کودهای شیمیایی مشاهده گردید (شکل 5). کمپوست لجن فاضلاب نسبت به خاک پتاسیم کل و قابل‌جذب بیشتری دارد که بعد از تجزیه وارد محلول خاک شده و باعث افزایش غلظت پتاسیم محلول خاک می‌شود (جدول‌های 1 و 2). افزایش غلظت پتاسیم محلول با مصرف کودهای شیمیایی نسبت به شاهد نیز

جدول 4- مقایسه میانگین‌های وزن خشک و مقدار پتاسیم بخش هوایی برنج تحت اثر اصلی لجن فاضلاب و کودهای

#### شیمیایی.

سطوح	وزن خشک بخش هوایی (g)	مقدار پتاسیم بخش هوایی (mg/pot)
شاهد	2/27 c	35/3 c
100% کودهای شیمیایی	5/7 c	117/03 c
کمپوست لجن فاضلاب (20 g/kg)	13/83 b	318/83 b
لجن فاضلاب (20 g/kg)+50% کودهای شیمیایی	19/19 a	440/33 a
کمپوست لجن فاضلاب (40 g/kg)	19/89 a	487/06 a
لجن فاضلاب (40 g/kg)+50% کودهای شیمیایی	22/71 a	523/96 a

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



شکل 5- اثر لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات پتاسیم محلول خاک پس از غرقاب در گلدان‌های بدون کشت.

شود. این امر منجر به افزایش غلظت سدیم محلول خاک می‌شود (فیلیپز و گرینوی 1998، دبرمن و فیره‌ورست 2000).  
اثر کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت سدیم محلول

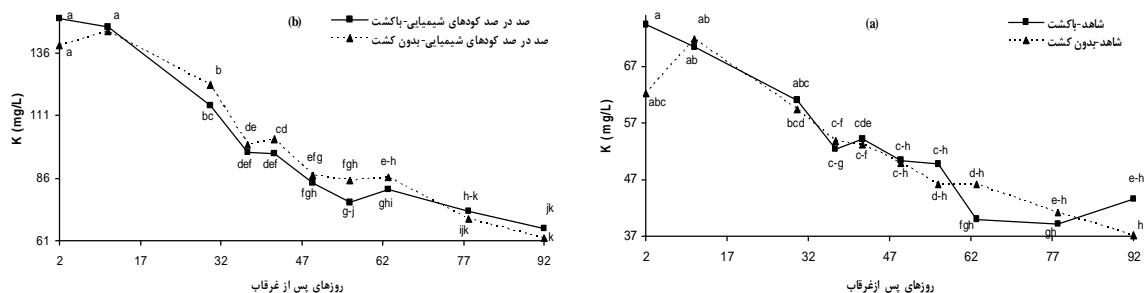
مصرف کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی غلظت سدیم محلول را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین غلظت سدیم محلول در سطح 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مشاهده گردید (شکل 7).  
فیلیپز و گرینوی (1998) نتیجه مشابهی گزارش کردند. لجن فاضلاب دارای غلظت بالای سدیم کل و قابل جذب می‌باشد که بعد از مصرف در خاک تجزیه شده و باعث افزایش غلظت سدیم محلول نسبت به تیمار شاهد (بدون کودهای آلی و شیمیایی) می‌شود. صافو (1978) گزارش کرد که مصرف مقادیر زیاد کود مرعی (40 ton/ha) باعث افزایش غلظت سدیم و پتاسیم محلول خاک شد. از مقایسه غلظت سدیم قابل جذب لجن فاضلاب از خاک بیشتر بوده (جدول‌های 1 و 2) و سبب افزایش غلظت سدیم محلول خاک می‌شود.

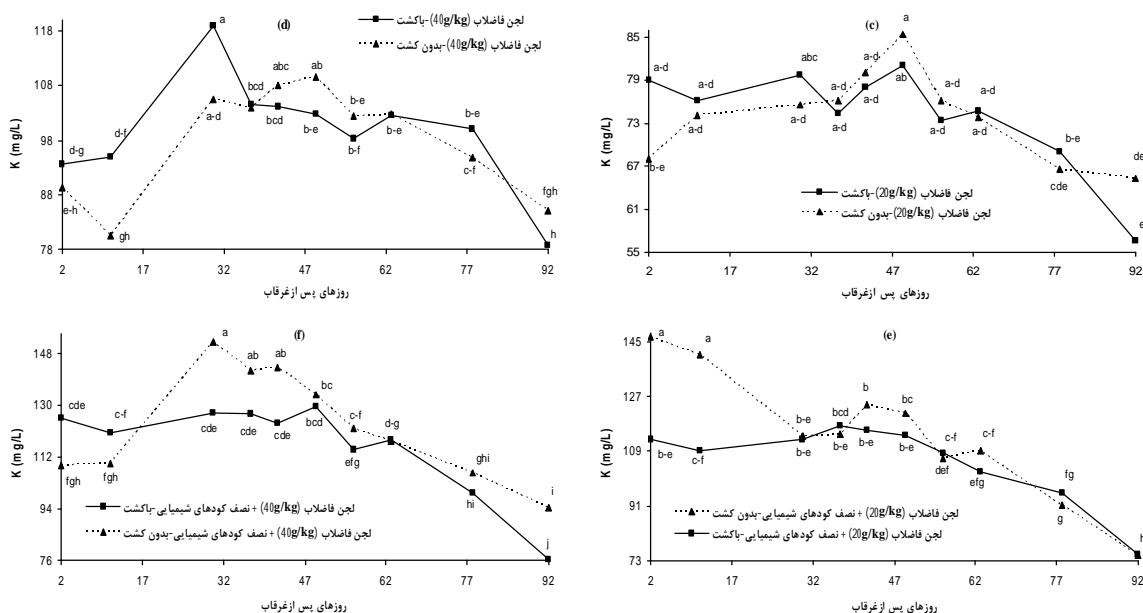
### غلظت سدیم محلول خاک

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی مدت غرقاب، کود (کمپوست لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی) و کشت بر غلظت سدیم محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اثر متقابل مدت غرقاب و کود، مدت غرقاب و کشت و اثر متقابل کود و کشت بر غلظت سدیم محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول 4).

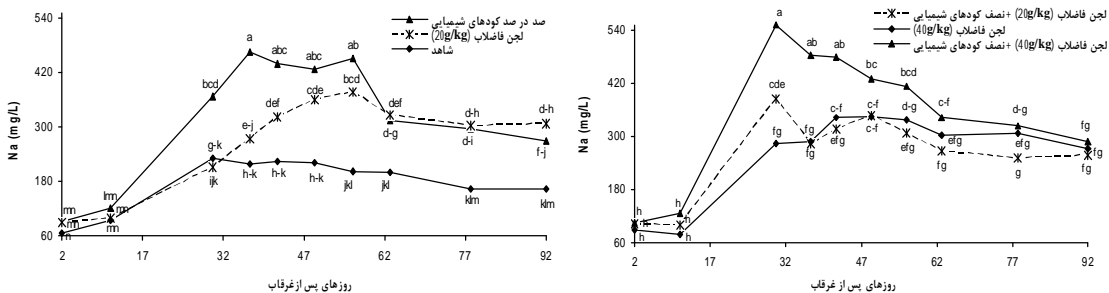
### اثر مدت غرقاب بر غلظت سدیم محلول خاک

به‌طور کلی، پس از غرقاب و با گذشت زمان غلظت سدیم محلول خاک در تمام تیمارهای بدون کشت مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل 7). فیلیپز و گرینوی (1998) نیز افزایش غلظت سدیم محلول پس از غرقاب را گزارش کردند. با غرقاب شدن خاک و ایجاد شرایط کاهشی غلظت آهن و منگنز محلول در خاک افزایش می‌یابد و به دنبال آن سدیم تبادلی بر اثر تبادل با یون‌های  $Mn^{2+}$  و  $Fe^{2+}$  از محل‌های تبادل کاتیونی جدا شده و وارد محلول خاک می‌-

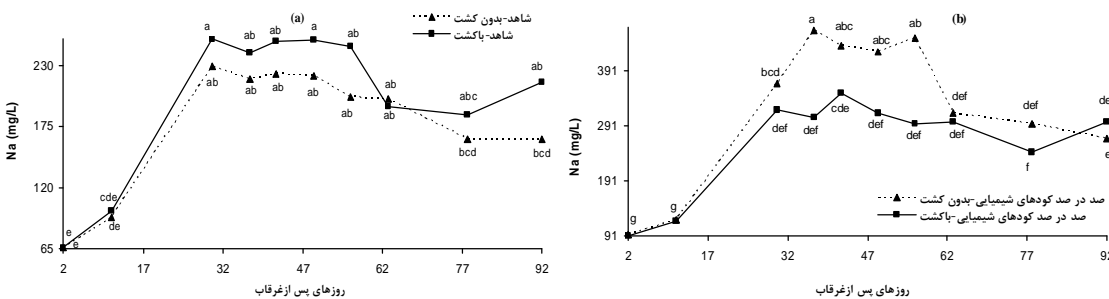


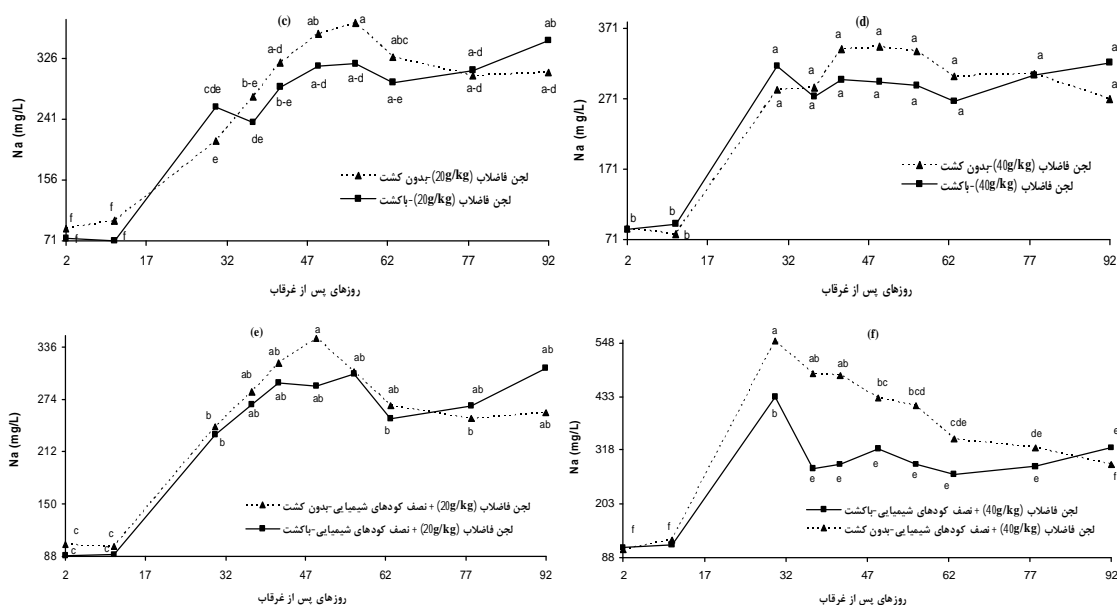


شکل 6- اثر کشت برنج بر تغییرات پتاسیم محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای شاهد (a)، 100% کودهای شیمیایی (b)، و 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بدون 50% کودهای شیمیایی (c و d) و با 50% کودهای شیمیایی (e و f).



شکل 7- اثر لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات سدیم محلول خاک پس از غرقاب در گلدان‌های بدون کشت.





شکل 8- اثر کشت برنج بر تغییرات سدیم محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای شاهد (a)، 100% کودهای شیمیایی (b)، 20 و 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بدون 50% کودهای شیمیایی (c و d) و با 50% کودهای شیمیایی (e و f).

خاک افزایش یافت. در تیمار بدون کشت، مصرف 100% کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار pH محلول خاک نسبت به شاهد گردید. مصرف هر دو سطح 20 و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک باعث کاهش معنی‌دار pH محلول خاک نسبت به شاهد و 100% کودهای شیمیایی شد. در اوایل دوره رشد میان تیمارهای باکشت و بدون کشت از نظر pH محلول خاک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی با گذشت زمان pH محلول خاک در تیمار باکشت (رایزوسفر) کمتر از تیمار بدون کشت بود. در تمام تیمارها، EC محلول خاک تا 37 روز پس از غرقاب به‌طور معنی‌داری افزایش (یک واحد در سطح شاهد تا 2 واحد در سطح 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک) و پس از رسیدن به حداکثر کاهش یافت. مصرف 100% کودهای شیمیایی و کمپوست لجن فاضلاب به‌ویژه سطح 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با 50% کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار EC محلول خاک نسبت به شاهد گردید. اثر کشت برنج بر EC محلول خاک معنی‌دار نبود ولی بر غلظت پتاسیم و سدیم محلول خاک معنی‌دار

اثر کشت گیاه برنج بر غلظت سدیم محلول خاک به‌جز تیمار شاهد در بقیه تیمارها غلظت سدیم محلول در اوایل دوره غرقاب در تیمار بدون کشت بیشتر از تیمار باکشت و در اواخر دوره غرقاب در تیمار باکشت بیشتر از تیمار بدون کشت بود. اثر کشت برنج بر غلظت سدیم محلول خاک به‌جز سطوح 100% کودهای شیمیایی و 40 گرم کمپوست لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با 50% کودهای شیمیایی در بقیه سطوح کودی معنی‌دار نبود (شکل 8). کاهش غلظت سدیم در پیرامون ریشه‌ها (رایزوسفر) در تیمار باکشت ممکن است ناشی از بیشتر بودن سرعت جذب سدیم به‌وسیله ریشه گیاه برنج نسبت به سرعت آزادسازی سدیم به محلول خاک باشد (مارشنر 2003).

#### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، در سطوح شاهد و 100% کودهای شیمیایی، pH محلول خاک قلیایی روند کاهشی و در هر دو سطح کمپوست لجن فاضلاب با و بدون 50% کودهای شیمیایی با گذشت زمان غرقاب، pH محلول

بود. پس از غرقاب، غلظت پتاسیم محلول خاک به طور معنی‌داری کاهش و غلظت سدیم محلول خاک افزایش یافت. مصرف کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب غلظت پتاسیم و سدیم محلول خاک را به طور معنی‌داری نسبت

#### منابع مورد استفاده

پازنده ح، 1371. الکتروشیمی برای مهندسين. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.  
رسولی ف و مفتون م، 1387. تأثیر کاربرد خاکی دو ماده آلی توأم با نیتروژن بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 12، شماره 46 ب، صفحه‌های 705 تا 720.  
گندمکار ا، کلباسی م و قرآنی ا، 1382. اثر شیرابه کمپوست بر عملکرد و ترکیب شیمیایی ذرت و اثر باقیمانده آن بر بعضی خصوصیات خاک. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، جلد 16، شماره 2، صفحه‌های 2 تا 8.  
نجفی ن و پارسازاده م، 1390. اثر شکل نیتروژن و pH محلول غذایی بر تغییرات pH و EC ریزوسفر اسفناج در کشت هیدروپونیک. مجله علوم و فنون، کشت گلخانه‌ای، جلد 2، شماره 5. صفحه‌های 29 تا 34.  
نجفی ن و مردمی س، 1392. اثر کشت آفتابگردان، کود دامی و لجن فاضلاب بر فراهمی عناصر، pH و EC یک خاک قلیایی. مجله تحقیقات کاربردی خاک، جلد 1، شماره 1، صفحه‌های 1 تا 23.

- Akahani I, Makino T and Maejima Y, 2010. Effects of nitrogen fertilizer, pH and electrical conductivity on the solubility of cadmium in soil solution. *Pedologist* 53: 101-107.
- Akanni DI and Ojeniyi SO, 2007. Effect of different levels of poultry manure on soil physical properties, nutrients status, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Research Journal of Agronomy* 1: 1-4.
- Bahmanyar MA and Pirdashti H, 2008. Responses of biomass, chlorophyll and macro-and micronutrient uptake of rice (*Oryza sativa* L.) to organic and chemical fertilizers. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> Australian Agronomy Conference*, 21-25 September, Adelaide South Australia.
- Barber SA, 1995. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
- Dane JH and Topp GC, 2002. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. ASA-CSSA-SSSA Publisher, USA.
- De Datta SK, 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. John Willey and Sons, Inc.
- Doberman A and Fairhurst TH, 2000. *Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management*. Handbook Series. International Rice Research Institute, Philippines.
- Ghoneim AM, 2008. Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in rice using the nitrogen-15 isotope techniques. *World Applied Science Journal* 3: 869-874.
- Hedley MJ, Kirk GJD and Satons MB, 1994. Phosphorus efficiency and the forms of phosphorus utilized by upland rice cultivars. *Plant and Soil* 158: 53-62.
- Ibrahim SA, Siam HS, Rashad MA, Holah ShSh and Abou Zeid ST, 2011. Influence of soil moisture regimes on some nutrients concentration in soil solution collected from different soils through the growth period of rice plants. *International Journal of Academic Research* 3: 711-719.
- 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.
- Jones JBJr, 1997. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. St. Lucie Press. London. New York.
- Kirk GJD and Bajita JB, 1995. Root-induced iron oxidation, pH changes and zinc solubilization in the rhizosphere of lowland rice. *New phytologist* 131: 129-137.
- Krik GJD, 2004. *The Biogeochemistry of Submerged Soils*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England.
- Lee CH, Park CY, Park KD, Jeon WT and Kim PJ, 2004. Long-term effects of fertilization on the forms and availability of soil phosphorus in rice paddy. *Chemosphere* 56: 299-304.
- 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. *Journal of Agricultural Science and Technology* 10: 481-492.
- Mahajan A and Gupta RD, 2009. *Integrated Nutrient Management (INM) in a Sustainable Rice-Wheat Cropping System*. Springer, 268 Pages.
- Marschner H, 2003. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, USA.
- Mohammad MJ and Athamneh BM, 2004. Changes in soil fertility and plant uptake of nutrient and heavy metals in



- response to sewage sludge application to calcareous soils. *Journal of Agronomy* 3: 229-236.
- Najafi N and Towfighi H, 2008. Changes in pH, EC and concentration of phosphorous in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of North of Iran. Pp. 555-567. Proceedings of International Meeting on Soil Fertility, Land Management and Agroclimatology, 29 October- 1 November, Kusadasi, Turkey.
- Neumann G and Romheld V, 2000. Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere. Pp. 617-649. In: Kafkafi U, Waisel Y and Eshel A (eds). *Plant Roots, The Hidden Half*, Third Edition, CRC Press.
- Page AL, Miller RH and Keeney DR, 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA.
- Patrick WH Jr and Reddy KR, 1978. Chemical changes in rice soils. Pp. 361-379. In: *International Rice Research Institute. Soil and Rice*. Los Banos, Laguna, Philippines.
- Peters J, 2003. *Recommended Methods of Manure Analysis*. Cooperative Extension publishing, University of Wisconsin, USA.
- Phillips IR and Greenway M, 1998. Changes in water-soluble and exchangeable ions, cation exchange capacity, and phosphorus in soils under alternating waterlogged and drying conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29: 51-56.
- Ponnamperuma FN, 1985. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. Pp. 73-84. In: *International Rice Research Institute. Wetland Soils Characterization, Classification, and Utilization*. Los Banos Laguna, Manila, Philippines.
- Richards LA, 1969. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Salinity Laboratory Staff. *Agricultural Handbook*. No. 60. USDA, USA.
- Safo EY, 1978. Uptake, leaching, and storage of micronutrient metals in response to heavy application of poultry manure. Abstract of Ph.D. Thesis, University of British Columbia, USA.
- Saha JK and Mandal B, 1998. Effect of submergence on copper fractions in Alfisols. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 46: 32-36.
- Sahrawat KL, 2005. Fertility and organic matter in submerged rice soils. *Current Science* 88: 735-739.
- Thind HS and Chahal DS, 1987. Effect of green manuring (*Sesbania aculeate* L.) on zinc equilibria in submerged calcareous and non-calcareous soils. *Biology and Fertility of Soils* 3: 179-182.