اثر کشت برنج (*Oryza sativa* L.)، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات غلظت آهن، روی، مس و منگنز محلول خاک پس از غرقاب

نصرت اله نجفی[1] و معصومه عباسی[2]

(تاریخ دریافت: 1392/11/01 تاریخ پذیرش: 1393/03/03)

چکیده

غلظت عناصر کم‌مصرف محلول خاک بر میزان جذب آنها به‌وسیله گیاه اثر دارد. در این تحقیق، اثر کشت گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم علی کاظمی و مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات غلظت آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) محلول خاک پس از غرقاب در شرایط گلخانه‌ای بررسی گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو تکرار، شامل مدت غرقاب در 10 سطح (2، 11، 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 لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی، 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی)، با و بدون کشت برنج انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت Zn محلول، در هر دو تیمار باکشت و بدون کشت پس از غرقاب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی که غلظت Fe محلول در تمام تیمارهای بدون کشت (به جز 100% کودهای شیمیایی) ابتدا به‌طور معنی‌داری افزایش و سپس کاهش یافت. غلظت Mn محلول نیز پس از غرقاب در تمام تیمارهای بدون کشت ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی باعث افزایش غلظت Fe، Mn و Zn محلول خاک در تیمارهای باکشت و بدون کشت گردید. در تمامی تیمارها، غلظت Cu محلول خاک ناچیز بود. در اواخر دوره رشد برنج، غلظت Fe و Mn محلول خاک در تیمارهای باکشت (رایزوسفر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای بدون کشت (غیررایزوسفر) بود در حالی‌که میان تیمارهای باکشت و بدون کشت از نظر غلظت Zn محلول خاک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. به‌طور کلی، کشت گیاه برنج (فرآیندهای رایزوسفر) و مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی می‌توانند غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف محلول خاک را تغییر دهند.

واژه‌های کلیدی: برنج، رایزوسفر، عنصر کم‌مصرف، غرقاب، لجن فاضلاب

1- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز (مکاتبه کننده)
پست الکترونیک: n-najafi@tabrizu.ac.ir
2 - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

مقدمه

آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) از فلزات سنگین می‌باشند که در مقادیر کم برای رشد گیاهان ضروری‌اند ولی اگر مقدار قابل‌جذب آن‌ها در خاک زیاد باشد، می‌توانند گیاهان را مسموم کنند. pH، مواد آلی و غرقاب شدن خاک از عامل‌های مؤثر بر قابلیت جذب این فلزات می‌باشند (Havlin *et al.*, 2004). برنج از جمله محصولات مهم کشاورزی در ایران است که نیاز به آب فراوان داشته و عمدتاً در شرایط غرقاب کشت می‌شود. غرقاب شدن خاک باعث ایجاد تغییرات شیمیایی از قبیل تخلیه اکسیژن خاک، احیای Mn^{4+} به Mn^{2+}، Fe^{3+} به Fe^{2+}، SO_4^{2-} به S^{2-}، تولید CO_2 ، کاهش پتانسیل ریداکس خاک، افزایش pH خاک‌های اسیدی و کاهش pH خاک‌های قلیایی می‌شود (Doberman & Fairhurst, 2000). اوللہ و همکاران (Ullah *et al.*, 1976) گزارش کردند که پس از غرقاب، غلظت Fe و Mn محلول خاک افزایش یافت. پراساد و همکاران (Prasad *et al*., 1996) گزارش کردند که مقدار Zn محلول به‌اضافهٔ تبادلی پس از غرقاب کاهش یافت. ساها و مندال (Saha & Mandal, 1998) نشان دادند که غرقاب کردن باعث افزایش pH و کاهش ماده آلی خاک‌ها گردید. غرقاب کردن این خاک‌ها شکل‌های فعال Cu از قبیل محلول، تبادلی و کمپلکس یافته با مواد آلی را به شکل غیرفعال تبدیل کرد؛ در نتیجه، قابلیت جذب Cu پس از غرقاب کاهش یافت. توفیقی و نجفی (Towfighi & Najafi, 2001) مشاهده کردند که Zn محلول در آب در هر دو خاک اسیدی و قلیایی آهکی تا هفت روز پس از غرقاب ابتدا کاهش سپس افزایش یافت و دوباره روند نزولی پیدا کرد. نجفی و همکاران (Najafi *et al.*, 2012) گزارش کردند که با افزایش مدت غرقاب Fe و Mn قابل‌استخراج با DTPA هر دو خاک مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری افزایش و غلظت Zn و Cu قابل‌استخراج با DTPA هر دو خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

انتقال عناصر غذایی در خاک‌ها و جذب به‌وسیله ریشه عموماً محدود به فاز محلول خاک می‌شود. بنابراین، قابلیت جذب عناصر غذایی در رایزوسفر به عواملی از قبیل 1) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، 2) فعالیت ریزجانداران خاک و 3) نیازهای گیاه و سرعت جذب عناصر غذایی به‌وسیله ریشه بستگی دارد. عناصر غذایی که غلظت آن‌ها در محلول خاک کم است از قبیل عناصر غذایی کم‌مصرف به‌سرعت توسط ریشه جذب شده و مقدار آن‌ها در خاک رایزوسفر کاهش می‌یابد (Marschner *et al*., 1987). سه فرآیند اصلی، شرایط خاک رایزوسفر گیاه برنج در حال رشد را در شرایط بی‌هوازی تغییر می‌دهند: 1- آزادسازی اکسیژن از ریشه که سبب اکسید شدن Fe^{2+} و آزاد شدن H^+ می‌شود، 2- ترشح H^+ از ریشه در پاسخ به جذب اضافی کاتیون‌ها، 3- افزایش فشار جزیی دی‌اکسید کربن به‌دلیل ایجاد شرایط بی‌هوازی در خاک غرقاب و تنفس ریزجانداران و ریشه‌ها. این سه عامل می‌توانند pH رایزوسفر برنج را کاهش دهند (Doberman & Fairhurst, 2000; Kirk, 2004). در طول دوره رشد برنج غرقاب، این تغییرات در خاک رایزوسفر ایجاد می‌شود و می‌تواند انحلال و تحرک عناصر غذایی کم‌مصرف را تحت تأثیر قرار دهد. دبرمن و فیرهورست افزایش حل‌پذیری عناصری از قبیل Zn را در رایزوسفر گزارش دادند (Doberman & Fairhurst, 2000).

عامل دیگری که بر قابلیت جذب Cu، Fe، Mn و Zn در خاک اثر دارد، مواد آلی است. میزان مواد آلی در اغلب خاک‌های زیرکشت ایران کمتر از یک درصد می‌باشد و منابع تأمین مواد آلی نیز بسیار محدود است و عمدتاً شامل کودهای دامی، بقایای گیاهی و انواع کمپوست می‌باشد که جواب‌گوی نیاز روزافزون بخش کشاورزی به کودهای آلی نیست (Kalbasi & Hosseinpur, 1997). مصرف بقایای آلی و کودهای دامی از لجن فاضلاب سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، کاهش جرم مخصوص خاک، افزایش غلظت عناصر غذایی و جذب مواد غذایی به‌وسیله گیاه می‌شود (Akanni & Ojeniyi, 2007). مندال و میترا (Mandal & Mitra, 1982) گزارش کردند که مصرف ماده آلی موجب افزایش مقدار Mn و Fe محلول به‌اضافهٔ تبادلی در اکثر خاک‌های مورد مطالعه شد. واثقی و همکاران (Vaseghi *et al*., 2003) افزایش معنی‌دار Fe و Zn قابل‌استخراج با DTPA را در چهار خاک مورد مطالعه با کاربرد لجن فاضلاب گزارش کردند. شریفی و همکاران (Sharifi *et al*., 2011) مشاهده کردند که تیمارهای کود آلی (لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی) اثر معنی‌داری بر افزایش Fe و Zn قابل‌جذب خاک داشتند. نجفی و همکاران (Najafi *et al*., 2012) نیز گزارش کردند که افزودن کود دامی و لجن فاضلاب به هر دو خاک Fe، Mn، Zn و Cu قابل‌استخراج با DTPA را

افزایش داد. مصرف کودهای شیمیایی به همراه کودهای آلی باعث غنی شدن خاک از مواد غذایی و بهبود ویژگی-های فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک و در نتیجه افزایش قابلیت جذب عناصر خواهد شد (Ariyaratne, 2000). پراساد و سینها (Prasad *et al*., 1996) گزارش کردند که کاربرد کودهای شیمیایی NPK به‌همراه کود دامی و بقایای گیاهی غلظت Fe، Mn، Zn و Cu قابل‌جذب را افزایش داد. سخون و همکاران (Sekhon *et al*., 2007) مشاهده کردند که کاربرد کود دامی به همراه کودهای شیمیایی NPKS غلظت Fe و Mn محلول به‌اضافه تبادلی را نسبت به کاربرد تنها کودهای شیمیایی NPKS افزایش داد. با توجه به اینکه ریشه گیاه برنج عناصر غذایی مورد نیاز خود را از محلول خاک جذب می-کند، بررسی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی محلول خاک و غلظت عناصر غذایی مختلف در آن در طول دوره رشد گیاه برنج اهمیت زیادی دارد. لذا، هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر کشت گیاه برنج و مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت Cu، Fe، Mn و Zn محلول خاک پس از غرقاب 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 25-0 سانتی‌متری آن نمونه‌برداری شد. بعد از هواخشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری و نتایج در جدول 1 ارائه شده است (Richards, 1969; Page *et al*., 1982; Dane *et al*., 2002). لجن فاضلاب از تصفیه-خانه فاضلاب شهر میانه تهیه گردید. ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب نیز تعیین گردید و نتایج در جدول 2 ارائه گردیده است (Page *et al*., 1982; Peters, 2003). 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 به‌دست آوردن عصاره‌ای نسبتاً زلال، یک لایه پشم شیشه (به ضخامت یک سانتی‌متر و به اندازه قطر گلدان) در کف گلدان‌ها قرار داده شد. آزمایش به‌صورت 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 (434/8 میلی‌گرم اوره، 66/1 میلی‌گرم KH_2PO_4، 40 میلی‌گرم KCl، 50 میلی-گرم $FeSO_4.7H_2O$، 38/5 میلی‌گرم $MnSO_4.H_2O$، 21/3 میلی‌گرم $ZnSO_4.7H_2O$ ، 7/9 میلی‌گرم $CuSO_4.5H_2O$ بر کیلوگرم خاک)، T_3=20 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم 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 آزمون خاک، نتایج آزمایش‌های قبلی در این مورد و توصیه کودی مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای گیاه برنج (Malakouti *et al*., 2000) تعیین و به صورت محلول به خاک افزوده 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. در هر گلدان 10 عدد بذر جوانه‌دار شده برنج (*Oryza sativa* L.) رقم علی کاظمی که در سطح استان آذربایجان‌شرقی سطح کشت قابل‌ملاحظه‌ای دارد، کاشته شد و پس از استقرار گیاه به چهار عدد در هر گلدان تنک گردید. برای بررسی اثر کشت گیاه برنج، در کنار گلدان‌های باکشت برنج، گلدان‌های بدون کشت قرار داده شد. سپس تا پایان دوره رشد برنج، گلدان‌ها یک تا دو بار در روز آبیاری و ارتفاع آب در سطح خاک در حدود پنج سانتی‌متر نگهداری شد. ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده نیز تعیین و نتایج در جدول 3 ارائه شد. برای آبیاری گلدان‌ها از مخلوط آب شهر 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 شد. گیاهان به‌مدت سه ماه در شرایط گلخانه با میانگین دمای شب 18 و میانگین دمای روز 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 میلی‌لیتر از محلول خاک داخل گلدان‌ها بیرون کشیده شد. سپس عصاره‌ها با افزودن دو قطره اسید نیتریک غلیظ اسیدی شدند و تا زمان اندازه‌گیری در دمای کمتر از 4 درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند. در پایان غلظت Fe، Mn، Zn و Cu آبشویه‌ها با دستگاه جذب اتمی شیمادزو مدل AA-6300 اندازه‌گیری شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن فاضلاب مورد استفاده

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش گلخانه‌ای در جدول 1 ارایه شده است. بافت خاک شن لومی است که از گروه خاک‌های درشت بافت می‌باشد. مقدار آهک و ماده آلی خاک ناچیز بود. درصد رطوبت اشباع در این خاک به‌دلیل مقدار کم رس پایین بود. pH خاک در محدوده خنثی تا قلیایی و از لحاظ شوری، خاک غیرشور بود. غلظت P، Fe، Mn و Zn خاک کمتر از سطح مطلوب و غلظت Ca، Mg، Na و Cu خاک بیشتر از سطح مطلوب برای گیاه برنج بود (Doberman & Fairhurst, 2000). برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول 2 ارایه شده است. pH لجن فاضلاب در محدوده اسیدی تا خنثی بود. لجن فاضلاب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف قابل‌جذب زیادی داشت. مقادیر فلزات سنگین در کمپوست لجن فاضلاب از حدود مجاز اعلام شده به‌وسیله سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا کمتر بود (Anonymous, 1994).

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Some chemical and physical characteristics of studied soil

EC (1:1)	pH (1:1)	نیتروژن کل Total Nitrogen	SP	کربن آلی Organic Carbon	آهک Lime	رس Clay	شن Sand	کلاس بافت Soil texture
dSm^{-1}	-	%						-
0.11	7.63	0.08	32	0.13	Negligible	12	70	شن لومی Loam Sand

ادامه جدول 1- غلظت عناصر قابل‌جذب خاک ($mg\ kg^{-1}$)

Continues of Table 1- Concentrations of available elements in studied soil ($mg\ kg^{-1}$)

Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P
3.4	nd	1.3	0.85	1.1	1.8	99.1	1149.2	108.8	250	5.7

nd: Non determinable nd: غیر قابل اندازه‌گیری

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد مطالعه

Table 2- Some chemical characteristics of studied sewage sludge

$(dS\ m^{-1})_{(w/v)(1:5)}$ EC	$(w/v)_{(1:5)}$ pH	C/N	نیتروژن کل (%) Total Nitrogen	کربن آلی (%) Organic Carbon
3.25	6.63	5.4	4	21.8

ادامه جدول 2- غلظت عناصر قابل‌جذب در لجن فاضلاب مورد مطالعه

Continues of Table 2- Concentration of available elements in studied sewage sludge

Pb	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	Na	K	P
($mg\ kg^{-1}$)										
5.7	0.9	121.5	531.9	52.2	42.3	1200	8900	300	300	500

جدول 3- نتایج تجزیه شیمیایی آب

Table 3- Water chemical analysis results

EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	Na	Cu	Zn	Mn	Fe	Mg	Ca	P	K	عناصر Elements
0.49	7.7	3.5	0	0.6	0	0.1	11	42	0.05	4.3	غلظت ($mg\ l^{-1}$) Concentration

غلظت Cu محلول خاک

غلظت Cu در محلول خاک تیمارهای مختلف به‌حدی کم بود که با دستگاه جذب اتمی قابل‌اندازه‌گیری نبود. ناچیز بودن غلظت Cu محلول خاک در تیمارهای مختلف دلیل‌های مختلفی می‌تواند داشته باشد. ممکن است Cu موجود در فاز محلول توسط ریشه گیاه جذب شود یا اینکه توسط ذرات جامد خاک جذب سطحی شود. علاوه‌بر این، غرقاب کردن خاک ممکن است شکل‌های فعال Cu از قبیل محلول، تبادلی و کمپلکس یافته با مواد آلی را به شکل غیرفعال تبدیل کند. در نتیجه، Cu محلول در آب کاهش یابد (Saha & Mandal, 1998). همچنین در شرایط غرقاب به‌دلیل مقدار زیاد آب، محلول خاک رقیق‌تر می‌شود و غلظت Cu محلول خاک کاهش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که حتی مصرف لجن فاضلاب نیز نتوانست غلظت Cu محلول خاک را افزایش دهد و در شرایط آزمایش احتمالاً لازم بود مقداری کود Cu برای تأمین Cu مورد نیاز گیاه برنج در خاک مصرف شود. با توجه به ناچیز بودن غلظت Cu محلول خاک تحلیل آماری و رسم شکل‌ها برای این صفت انجام نشد.

غلظت Fe محلول خاک

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

جدول 4- تجزیه واریانس اثر کشت، مدت غرقاب و کودها بر غلظت Fe، Mn وZn محلول خاک

Table 4- Analysis variance of the effects of cultivation, submergence, and fertilizers on Fe, Mn and Zn concentrations in the soil solution

منبع تغییر	Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS		
			Zn	Mn	Fe
مدت غرقاب	Submergence time	9	0.36 **	0.72 **	0.21 **
کود	Fertilizer	5	0.58 **	2.88 **	0.97 **
مدت غرقاب× کود	Fertilizer× Submergence time	45	0.05 **	0.26 **	0.08 **
کشت	Cultivation	1	0.0 ns	0.29 **	0.35 **
مدت غرقاب× کشت	Submergence time× Cultivation	9	0.01 ns	0.14 **	0.05 **
کود× کشت	Fertilizer× Cultivation	5	0.02 *	0.08 ns	0.02 *
مدت غرقاب× کود× کشت	Fertilizer× Submergence time× Cultivation	45	0.01 **	0.03 ns	0.02 **
خطای آزمایشی	Error	119	0.008	0.03	0.006
ضریب تغییرات (%)	Coefficient of Variation		28.66	14.37	11.26

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال 5% و 1%

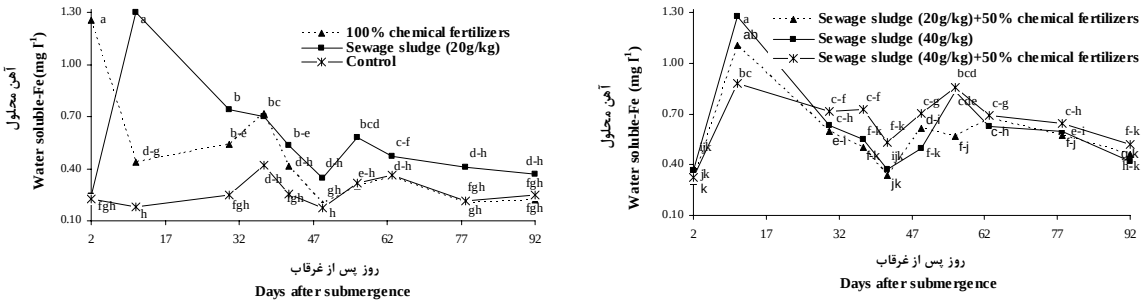
ns, *, **: non-significant, significant at 5% and 1%, respectively

اثر مدت غرقاب بر غلظت Fe محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطح شاهد غلظت Fe محلول پس از غرقاب به‌طور معنی‌داری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته و به مقدار اولیه رسید که این روند در هر دو تیمار باکشت و بدون کشت مشاهده گردید (شکل-های1 و 2). در سطح 100% کودهای شیمیایی غلظت Fe

محلول در هر دو تیمار با کشت و بدون کشت پس از غرقاب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که پس از حدود 50 روز از مصرف کود فروسولفات تفاوت معنی‌داری با سطح شاهد نداشت. در هر دو سطح 20 و 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی غلظت Fe محلول خاک در اوایل دوره غرقاب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و پس از رسیدن به حداکثر کاهش و در اواخر دوره غرقاب مجدداً افزایش یافت. این روند در تیمارهای باکشت مشاهده گردید (شکل 2) و در تیمارهای بدون کشت غلظت Fe محلول پس از رسیدن به حداکثر مجدداً کاهش یافت و به مقدار اولیه رسید (شکل 1). بیشترین غلظت Fe محلول پس از غرقاب در سطح کودی 20 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. افزایش غلظت Fe محلول خاک پس از غرقاب به‌وسیله اسلام و اسلام (Islam, & Islam, 1973)، اوللہ و همکاران (Ullah *et al.*, 1976) و ساهراوات (Sahrawat, 2005) نیز گزارش شده است. افزایش غلظت یون‌های مختلف محلول خاک از قبیل Fe پس از غرقاب ممکن است در تشدید کمبود Zn و Cu در گیاه برنج نقش داشته باشد (Ullah *et al.*, 1976). ابراهیم و همکاران (Ibrahim *et al.*, 2011) گزارش کردند که غلظت Fe^{2+} و Mn^{2+} محلول پس از غرقاب به‌تدریج افزایش یافت و پس از رسیدن به حداکثر مجدداً کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد کاهش بعدی Fe و Mn محلول خاک به‌دلیل رسوب Fe به‌شکل $Fe(OH)_3$ و FeS، رسوب Mn به شکل $MnCO_3$ می‌باشد غلظت Fe^{2+} محلول در آب در بیشتر خاک‌ها به‌وسیله رابطه زیر نشان داده می‌شود (Ponnamperuma, 1985):

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- = Fe^{2+} + 3H_2O \qquad (1)$$



شکل 1- اثر لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات Fe محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای بدون کشت

Fig. 1- Effects of sewage sludge and chemical Fertilizers on the changes in Fe concentration in the soil solution after submergence in the uncultivated treatments

غلظت بحرانی Fe محلول برای ایجاد سمیت Fe در دامنه وسیعی قرار دارد و می‌تواند از 10 تا 1000 میلی‌لیتر Fe بر لیتر نوسان داشته باشد. سمیت Fe تنها تحت تأثیر غلظت Fe محلول نبوده و به‌عواملی از قبیل مراحل رشد گیاه، وضعیت فیزیولوژیکی گیاه و نوع رقم بستگی دارد (Doberman & Fairhurst, 2000). چندین عامل ممکن است غلظت Fe محلول را کنترل کند: 1-فرآیند احیا، که طی آن Fe سه به آFe دو احیا شده و باعث افزایش غلظت Fe محلول می‌شود، 2-فرآیند معدنی شدن، 3- فرآیند تبادل و جذب سطحی، اگر فرآیند رسوب و جذب سطحی غالب شود غلظت Fe محلول کاهش می‌یابد و 4- فرآیند آلی شدن. در طولانی مدت ممکن است Fe^{2+} تولید شده به‌تدریج به سمت بالا و لایه اکسیدی خاک غرقاب انتشار پیدا کند و تبدیل به Fe^{3+} شده و رسوب کند که همین امر باعث کاهش غلظت Fe محلول می‌شود. به‌طور کلی، افزایش غلظت Fe محلول پس از غرقاب به‌دلیل احیای Fe^{3+} به Fe^{2+} و کاهش غلظت آن با افزایش مدت زمان غرقاب به‌علت فرآیندهای رسوب و جذب سطحی می‌باشد.

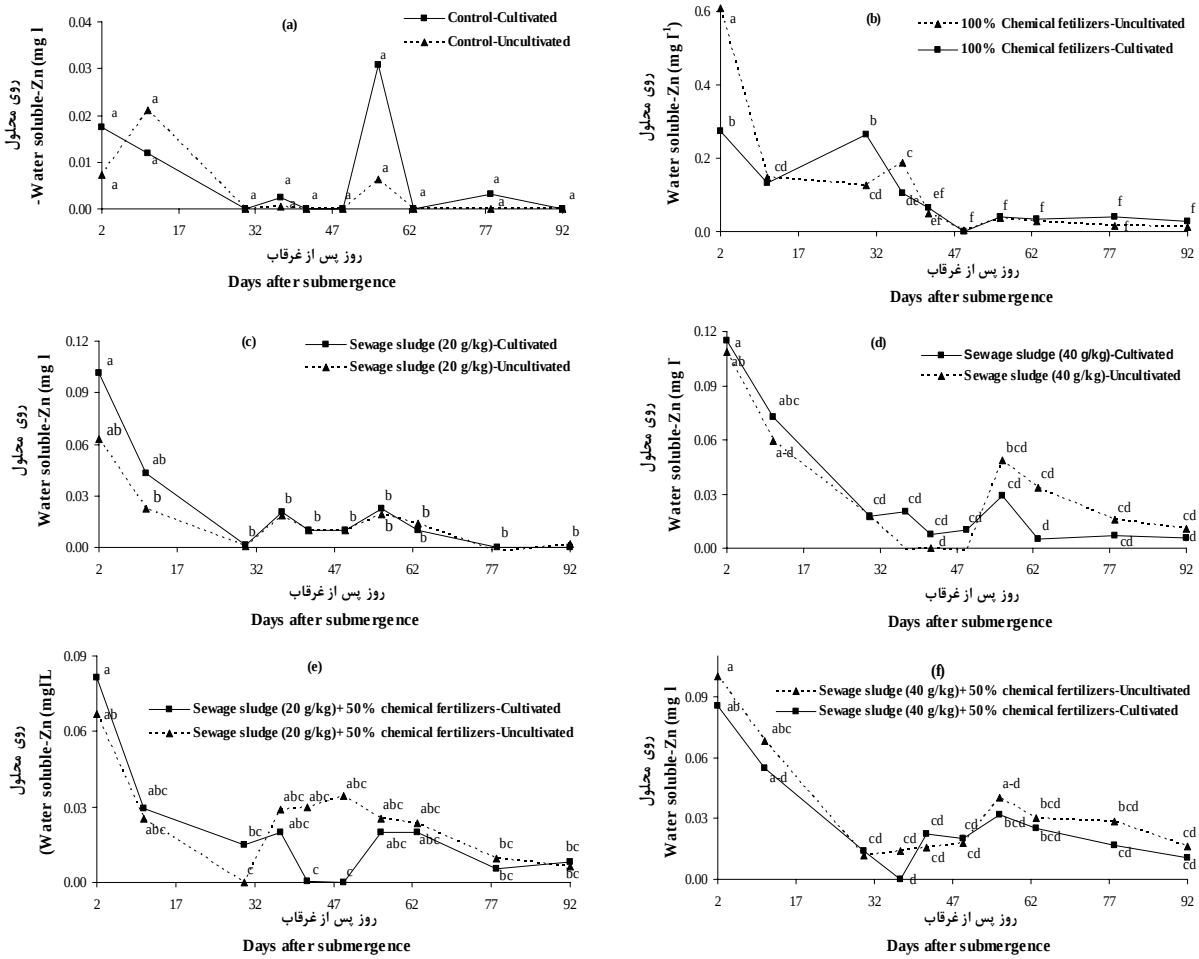
اثر کشت گیاه برنج بر غلظت Fe محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطوح شاهد و 100% کودهای شیمیایی بین دو تیمار باکشت و بدون کشت از نظر غلظت Fe محلول خاک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت درحالی‌که در سطوح کودی20 و 40 گرم

لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون50% کودهای شیمیایی غلظت Fe محلول خاک در اواخر دوره رشد (63 روزپس از غرقاب) در گلدانهای باکشت (رایزوسفر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از گلدانهای بدون کشت (غیررایزوسفر) بود (شکل2). علت افزایش غلظت Fe محلول در تیمار باکشت می‌تواند کاهش pH ناحیه رایزوسفر بر اثر ترشح H^+ از ریشه و همچنین افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن به‌دلیل شرایط غرقاب و تنفس ریشه و ریزجانداران خاک و ترشح اسیدهای آلی و سیدروفورها به رایزوسفر باشد (Marschner, 1995; Najafi *et al*., 2012).

غلظت Mn محلول خاک

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی مدت غرقاب، کود (لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی) و کشت بر غلظت Mn محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. اثر متقابل مدت غرقاب و کود، مدت غرقاب و کشت بر غلظت Mn محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل کود و کشت غیر معنی‌دار بود (جدول4).



شکل 2- اثر کشت برنج بر تغییرات Fe محلول خاک پس از غرقاب در سطوح شاهد (a)، 100% کودهای شیمیایی (b)، 20 و 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی (c و d) و با 50% کودهای شیمیایی (e و f)

Fig. 2- Effects of rice cultivation on the changes in Fe concentration in the soil solution after submergence in the treatments of control (a), 100% chemical fertilizers (b), 20 and 40 g sewage sludge kg^{-1} soil without and with 50% chemical fertilizers (c, d, e and f)

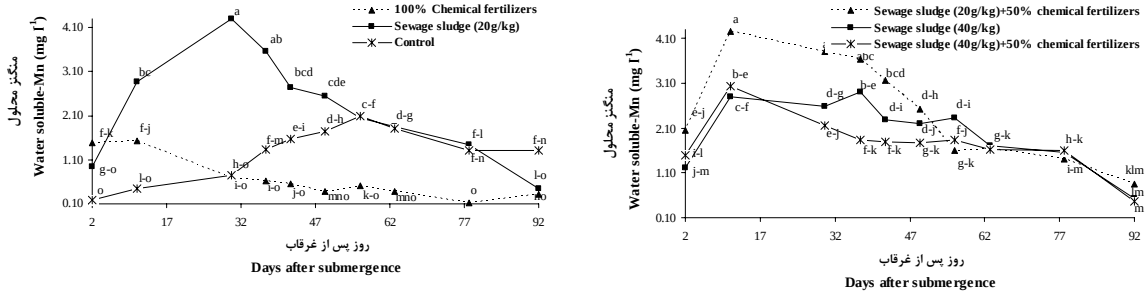
اثر مدت غرقاب بر غلظت Mn محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمام سطوح کودی به‌جز 100% کودهای شیمیایی غلظت Mn محلول پس از غرقاب در هر دو تیمار باکشت و بدون کشت به‌طور معنی‌داری افزایش و سپس کاهش یافت. در تیمار بدون کشت و سطح 100% کودهای شیمیایی غلظت Mn محلول پس از غرقاب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 3). بیشترین غلظت Mn محلول خاک در سطوح 20 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی مشاهده گردید که در اوایل دوره غرقاب تفاوت معنی‌داری با سطح 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک داشت (شکل 3). اسلام و اسلام (Islam & Islam, 1973)، اوله و همکاران (Ullah *et al.*, 1976) و ساهراوات (Sahrawat, 2005) نتایج مشابهی گزارش کردند.

غرقاب کردن خاک باعث احیای هیدروکسیدهای Mn^{4+} و Mn^{3+} به Mn^{2+} می‌شود. بعد از احیا غلظت Mn^{2+} محلول در آب افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به حداکثر (90 میلی‌گرم بر لیتر) کاهش می‌یابد تا به مقدار ثابتی برسد (20-10 میلی‌گرم بر لیتر). کاهش غلظت Mn پس از رسیدن به حداکثر به‌دلیل رسوب کربنات Mn می‌باشد (Ponnamperuma, 1985). غلظت بهینه Mn محلول خاک برای گیاه برنج در دامنه 30-3 میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (Doberman & Fairhurst, 2000). اگرچه غرقاب کردن حلالیت Mn^{2+} را افزایش می‌دهد، کمبود آن در برنج غرقاب ممکن است در خاک‌های سدیمی آهکی با ماده آلی کم و در خاک‌های شنی اتفاق بیافتد (Ponnamperuma, 1985). دلایل نوسان غلظت Mn محلول در طول دوره غرقاب در بخش Fe ذکر گردید.

اثر مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت Mn محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف 100% کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار غلظت Mn محلول خاک در اوایل دوره غرقاب و کاهش غلظت آن در اواخر دوره غرقاب نسبت به تیمار شاهد گردید. مصرف هر دو سطح لجن فاضلاب (20 و 40 گرم بر کیلوگرم خاک) نیز در اوایل دوره غرقاب غلظت Mn محلول را به‌طور معنی‌داری نسبت به سطوح شاهد و 100% کودهای شیمیایی افزایش داد. افزودن 50% کودهای شیمیایی به هر دو سطح لجن فاضلاب در اوایل دوره غرقاب غلظت Mn محلول را نسبت به مصرف فقط لجن فاضلاب کاهش داد که این تفاوت معنی‌دار نبود (شکل3). بیشترین غلظت Mn محلول در سطح 20 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک مشاهده گردید. علت کاهش Mn محلول خاک با مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند افزایش pH محلول خاک و کاهش حلالیت Mn باشد. سافو (Safo, 1978) گزارش کرد که آبشویی Mn، Fe، Zn و Cu با مصرف 20 t/ha کود مرغی کمتر از مصرف 40 t/ha کود مرغی بود.



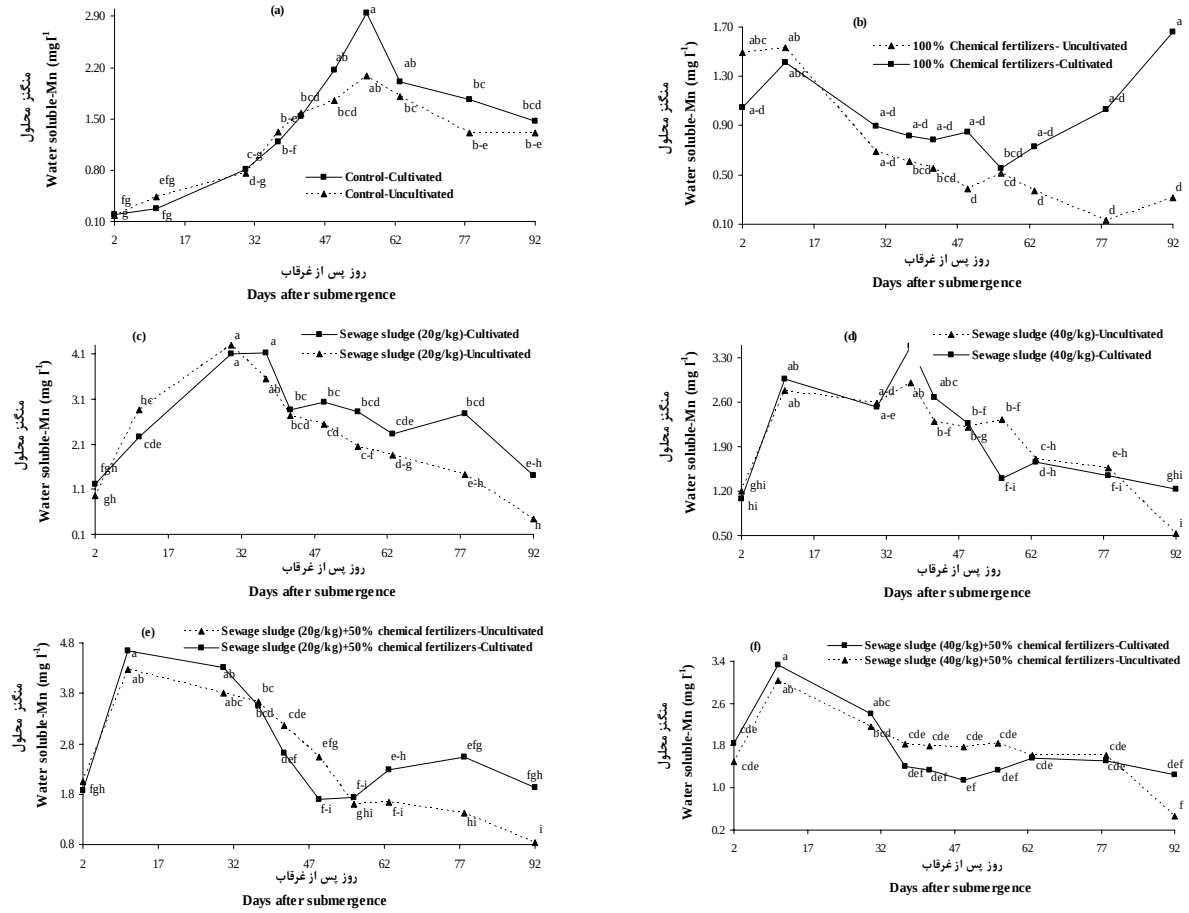
شکل3- اثر لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات Mn محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای بدون کشت

Fig. 3- Effects of sewage sludge and chemical Fertilizers on the changes in Mn concentration in the soil solution after submergence in the uncultivated treatments

اثر کشت گیاه برنج بر غلظت Mn محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سطوح شاهد و 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون مصرف 50%

کودهای شیمیایی تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت Mn محلول خاک بین دو تیمار باکشت (رایزوسفر) و بدون کشت (غیررایزوسفر) وجود نداشت درحالی‌که، در سطوح 100% کودهای شیمیایی و 20 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک با و بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی غلظت Mn محلول خاک در اواخر دوره غرقاب در تیمار باکشت به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار بدون کشت بود (شکل 4). نتایج این بررسی نشان داد که pH محلول خاک در تیمارهای باکشت (رایزوسفر) کمتر از تیمارهای بدون کشت (غیررایزوسفر) بود (Najafi *et al*., 2012). کاهش pH خاک، ترشح اسیدهای آلی و سیدروفورها به رایزوسفر سبب افزایش سرعت رهاسازی Mn می‌شود (Marschner, 1995; Najafi *et al*., 2012). افزایش غلظت Mn محلول خاک گلدان‌های کشت شده نسبت به گلدان‌های کشت نشده نشان می‌دهد که در شرایط آزمایش، سرعت جذب Mn به‌وسیله گیاه از سرعت رهاسازی آن به‌وسیله خاک کمتر بود.



شکل 4- اثر کشت برنج بر تغییرات Mn محلول خاک پس از غرقاب در سطوح شاهد (a)، 100% کودهای شیمیایی (b)، 20 و 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی (c و d) و با 50% کودهای شیمیایی (e و f)

Fig. 4- Effects of rice cultivation on the changes in Mn concentration in the soil solution after submergence in the treatments of control (a), 100% chemical fertilizers (b), 20 and 40 g sewage sludge kg^{-1} soil without and with 50% chemical fertilizers (c, d, e and f)

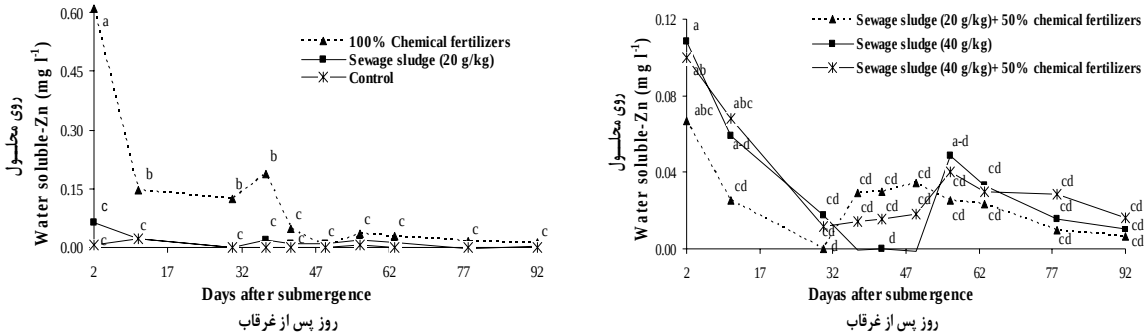
غلظت Zn محلول خاک

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی مدت غرقاب و کود (لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی) بر غلظت Zn محلول خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی اثر اصلی کشت غیرمعنی‌دار بودند. اثر متقابل مدت غرقاب و کود بر غلظت Zn محلول خاک در سطح احتمال یک

درصد و اثر متقابل کود و کشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند ولی اثر متقابل مدت غرقاب و کشت غیر معنی‌دار بود (جدول 4).

اثر مدت غرقاب بر غلظت Zn محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمام سطوح شاهد، لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی با افزایش مدت غرقاب غلظت Zn محلول خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 5). تیند و چاهال (Thind & Chahal, 1987) کاهش غلظت Zn محلول را در طول چهار هفته پس از غرقاب گزارش کردند. کاشم و سینگ (Kashem & Singh, 2001) گزارش کردند که غلظت Zn محلول خاک با افزایش زمان غرقاب کاهش یافت. در شرایط غرقاب، قابلیت‌جذب Zn با افزایش pH و کاهش پتانسیل ریداکس کاهش می‌یابد. پس از غرقاب، Zn به‌صورت $Zn(OH)_2$ در خاک‌های اسیدی و ZnS در خاک‌های سدیمی و آهکی رسوب می‌کند. همچنین، Zn به‌شدت به‌وسیله $CaCO_3$ و $MgCO_3$ و نیز اکسیدهای Fe و Mn آمورف جذب سطحی می‌شود. جذب Zn با افزایش غلظت اسیدهای آلی تولید شده درشرایط غرقاب و تشکیل فسفات‌های Zn نامحلول نیز محدود می‌شود (Doberman & Fairhurst, 2000). هانلون (Hanlon, 2009) گزارش کرد که قابلیت جذب Cu، Zn و Mn به‌وسیله گیاه در pH بالا کاهش می‌یابد.



شکل 5- اثر لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر تغییرات Zn محلول خاک پس از غرقاب در تیمارهای بدون کشت

Fig. 5- Effects of sewage sludge and chemical Fertilizers on the changes in Zn concentration in the soil solution after submergence in the uncultivated treatments

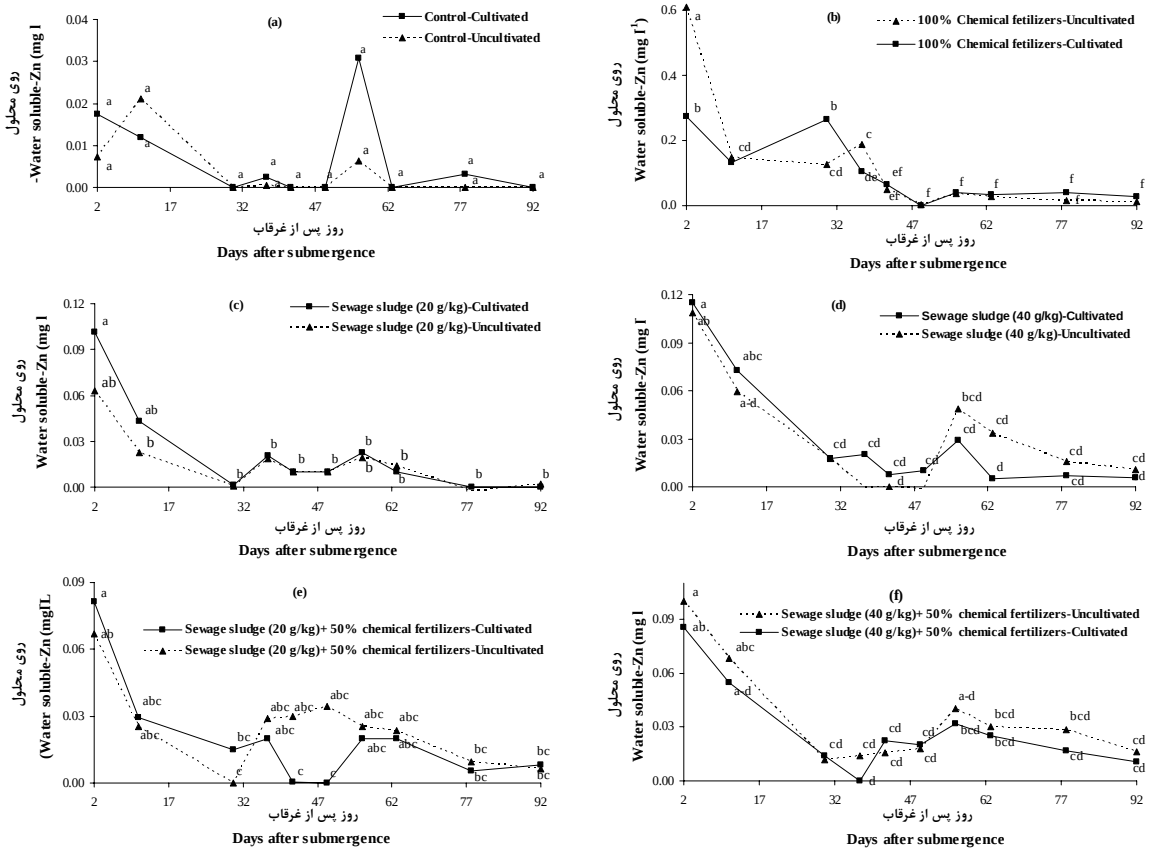
اثر مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی بر غلظت Zn محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی به‌ویژه مصرف 100% کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار غلظت Zn محلول خاک نسبت به شاهد گردید (شکل 5). بیشترین غلظت Zn محلول در سطح 100% کودهای شیمیایی ملاحظه گردید. در کودهای شیمیایی از سولفات Zn استفاده شد. به‌دلیل غلظت پایین Zn محلول خاک و رهاسازی سریع Zn از این کود، غلظت Zn محلول در اوایل دوره غرقاب افزایش یافت. علت افزایش کم Zn با مصرف لجن فاضلاب ممکن است تجزیه کند این کود و رهاسازی کند Zn به محلول خاک و همچنین تشکیل ترکیبات Zn نامحلول با مصرف لجن فاضلاب باشد. افزایش غلظت Zn با مصرف کود آلی می‌تواند ناشی از کاهش pH خاک باشد (Thind & Chahal, 1987). pH بالا، کربنات کلسیم زیاد و ماده آلی کم از دلایل کمبود Zn در گیاه برنج می‌باشد (Pirzadeh *et al*., 2010). رابطه میان pH خاک و غلظت Zn محلول در بین خاک‌ها بر اساس ترکیبات محلول (مثل Ca^{2+}، اسیدهای آلی) و ویژگی‌های سطح جذب کننده، متفاوت است. همچنین، مصرف کود حیوانی در خاک‌های قلیایی با ماده آلی کم، حلالیت و جذب Zn را افزایش می‌دهد (مارشنر، 1995).

اثر کشت گیاه برنج بر غلظت Zn محلول خاک

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تیمارهای مختلف، غلظت Zn محلول خاک گلدان‌های کشت شده (رایزوسفر) با گلدان‌های کشت نشده (غیرایزوسفر) تفاوت معنی‌داری

نداشتند (شکل 6) که با نتایج توفیقی و نجفی (Towfighi & Najafi, 2001) و شومن و ونگ (Shuman & Wang, 1997) مطابقت داشت. شومن و ونگ (Shuman & Wang, 1997) گزارش کردند که غلظت شکل‌های مختلف Zn در خاک رایزوسفر برنج تفاوت معنی‌داری با خاک غیررایزوسفر نداشت. توفیقی و نجفی (Towfighi & Najafi, 2001) برنج رقم خزر را در دو خاک مختلف (یکی اسیدی و دیگری آهکی) کشت و مشاهده کردند که در هر دو خاک، غلظت Zn محلول گلدان‌های کشت شده (رایزوسفر) تفاوت معنی‌داری با خاک غیررایزوسفر نداشت. این نتیجه نشان می‌دهد که در شرایط آزمایش، سرعت جذب Zn به‌وسیله گیاه با سرعت رهاسازی آن به‌وسیله خاک تقریباً برابری می‌کند. نتایج این بررسی نشان داد که pH محلول خاک در تیمارهای باکشت (رایزوسفر) کمتر از تیمارهای بدون کشت (غیررایزوسفر) بود (Najafi *et al*., 2013). کاهش pH خاک، ترشح اسیدهای آلی و سیدروفورها به رایزوسفر سبب افزایش سرعت رهاسازی Zn می‌شود (Marschner, 1995).



شکل 6- اثر کشت برنج بر تغییرات Zn محلول خاک پس از غرقاب در سطوح شاهد (a)، 100% کودهای شیمیایی (b)، 20 و 40 گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی (c و d) و با 50% کودهای شیمیایی (e و f)

Fig. 6- Effects of rice cultivation on the changes in Zn concentration in the soil solution after submergence in the treatments of control (a), 100% chemical fertilizers (b), 20 and 40 g sewage sludge kg^{-1} soil without and with 50% chemical fertilizers (c, d, e and f)

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع غلظت Fe محلول پس از غرقاب در تیمارهای بدون کشت شاهد و هر دو سطح لجن فاضلاب (20و 40 گرم بر کیلوگرم خاک) با و بدون مصرف 50% کودهای شیمیایی ابتدا به‌طور معنی‌داری افزایش و سپس کاهش یافت. این روند در مورد غلظت Mn محلول خاک پس از غرقاب نیز مشاهده گردید. غلظت Zn محلول پس از غرقاب در هر دو تیمار باکشت و بدون کشت به‌طور معنی-

داری کاهش یافت. به‌طور کلی با گذشت مدت غرقاب غلظت هر سه عنصر مذکور در اکثر تیمارها روند کاهشی داشت. مصرف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار غلظت Fe، Mn و Zn محلول خاک در هر دو تیمار باکشت و بدون کشت شد. در اواخر دوره رشد برنج، غلظت Fe و Mn محلول خاک در تیمارهای باکشت (رایزوسفر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای بدون کشت (غیررایزوسفر) بود.

References

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*). Research Journal of Agronomy, 1: 1-4.

Anonymous. 1994. A guide for land appliers on the requirements of the federal standards for the use or disposal of sewage sludge. Office of Enforcement Environmental and Compliance Assurance United States Environmental Protection Agency, Washington, USA, 60p.

Ariyaratne RM. 2000. Integrated Plant Nutrition System (IPNS) Training Manual. Colombo, Sri Lanka. pp: 55-64.

Dane JH and Topp GC. 2002. Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. American Society for Agronomy-Soil Science Society of America, Publisher, USA, 866p.

Doberman A and Fairhurst TH. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Handbook Series. First edition, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute.

Hanlon EA. 2009. Soil pH and electrical conductivity: A county extension soil laboratory manual. University of Florida, IFAS Extension, 10p.

Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL and Nelson WL. 2004. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 7th edition, Prentice Hall of India, New Delhi, India, 528p.

Ibrahim SA, Siam HS, Rashad MA, Holah Sh, 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.

Kalbasi M and Hosseinpur AR. 1997. Effect of temporary waterlogging on some chemical properties of three calcareous soils. Iranian Journal of Agricultural Science, 28: 37-49. (In Persian).

Kashem MA and Singh BR. 2001. Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61: 247-255.

Kirk GJ. 2004. The Biogeochemistry of Submerged Soils. John Wiley and Sons, Chichester, England, 304p.

Malakouti MJ, Balali M, Golchin A, Majidi A, Dorodi MS, Ziaeian AA, Lotfollahi MA, Shahabian M, Basirat M, Manoochehri S, Davoodi MH, Khademi Z and Shabazi K. 2000. Optimal fertilizer recommendation for horticultural and agricultural production. Technical Bulletin, No. 20, Soil and Water Research Institute, Publication of Agricultural Education, Karaj, Iran. (In Persian).

Mandal LN, and Mitra RR. 1982. Transformation of iron and manganese in rice soils under different moisture regimes and organic matter applications. Plant and Soil, 69: 45-56.

Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition, Academic Press, New York, USA, 889p.

Marschner H, Romheld V and Cakmak I. 1987. Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere. Journal of Plant Nutrition, (10): 9-16.

Najafi N, Abbasi M, Aliasgharzad N and Oustan S. 2013. Effects of rice cultivation, submergence, sewage sludge compost and chemical fertilizers on soil solution pH, EC, potassium and sodium. Water and Soil Science, University of Tabriz, 23 (3): 105-121. (In Persian).

Najafi N, Mardomi S and Oustan S. 2012. Changes in DTPA extractable copper, iron, manganese and zinc after waterlogging and application of sewage sludge and animal manure in two different soils. Iranian Journal of Water and Soil Research, 43 (1): 9-22. (In Persian).

Page AL, Miller RH and Keeney DR. 1982. Methods of soil analysis; Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society for Agronomy-Soil Science Society of America Publisher, Madison, Wisconsin, USA, 1159p.

Peters J. 2003. Recommended methods of manure analysis. Cooperative Extension Publishing, University of Wisconsin, pp: 1-57.

Pirzadeh M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh A and Schulin R. 2010. Micronutrient status of calcareous paddy soils and rice products: implication for human health. Biology and Fertility of Soils, 46: 317-322.

Ponnamperuma FN. 1985. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. *In*: Wetland soils characterization, classification, and utilization. International Rice Research Institute. Los Banos Laguna, Philippines, Manila, Philippines, pp: 73-84.

Prasad R, Prasad BL and Sakal R. 1996. Effect of submergence on the transformation of zinc forms in old alluvial soils growing rice as related to soil properties. II. Transformation of applied zinc. Journal of the Indian Society of Soil Science, 44: 74-76.

Richards LA. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook. No. 60, USA, 166p.

Safo EY. 1978. Uptake, leaching, and storage of micronutrient metals in response to heavy application of poultry manure. PhD Thesis of the University of British Columbia, Vancouver, Canada, 132p.

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.

Sekhon, KS, Singh JP and Mehal DS. 2007. Long-term effect of varying nutrient management practices on the distribution of native iron and manganese in various chemical pools under rice-wheat cropping. Archives of Agronomy and Soil Science, 53: 253-261.

Sharifi M, Afyuni M and Khoshgoftarmanesh AH. 2011. Effects of sewage sludge, compost and cow manure on availability of soil Fe and Zn and their uptake by corn, Alfalfa and Tagetes Flower. Journal of Water and Soil Science- Isfahan University of Technology, 15 (56): 141-154. (In Persian).

Shuman LM and Wang J. 1997. Effect of rice variety on Zn, Cd, Fe and Mn content in rhizosphere soil fractions. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 28: 23-36.

Thind HS and Chahal DS. 1987. Effect of green manuring (*Sesbania aculeate)* on zinc equilibria in submerged calcareous and non-calcareous soils. Biology and Fertility of Soils, 3:179-182.

Towfighi H and Najafi N. 2001. Changes in pH, Eh and zinc of soil solution during waterlogging and rice growth period in two different paddy soils. pp. 344-346. In: Proceedings of the 7th Iranian Soil Science Congress, 26-29 August, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Persian).

Ullah R, Chaudhry FM and Rashid A. 1976. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils, Effect of flooding on electrochemical properties of soils. Plant and Soil, 45: 411-420.

Vaseghi S, Afyuni M, Shariatmadari H and Mobli M. 2003. Effects of sewage sludge and soil pH on micronutrient and heavy metal availability. Journal of Water and Soil Science- Isfahan University of Technology, 7 (3): 95-106. (In Persian).

Wright AL, Hanlon EA, Sui D and Rice R. 2009. Soil pH effects on nutrient availability in the Everglades agricultural area. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences Extension, pp. 1-5.

Effects of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivation, Sewage Sludge and Chemical Fertilizers on Changes in Iron, Zinc, Copper and Manganese Concentrations in Soil Solution after Submergence

Nosratollah Najafi[1], Masoumeh Abbasi[2]

(Received: February 2014 Accepted: May 2015)

ABSTRACT

Micronutrients concentrations in soil solution affect nutrient uptake by plant. In this research, the effects of rice (*Oryza sativa* cv. Ali-Kazemi) cultivation and application of sewage sludge and chemical fertilizers on the changes in iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn) and copper (Cu) concentrations in the soil solution after submergence were studied at 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 per kg of soil with and without 50% chemical fertilizers, 40g sewage sludge per kg of soil with and without 50% chemical fertilizers), with and without rice cultivation was carried out. The results showed that after submergence, Zn concentration of the soil solution decreased significantly in both of the cultivated and uncultivated treatments while Fe concentrations of the soil solution in all uncultivated treatments (except 100% chemical fertilizers) initially increased and then decreased significantly. After submergence, Mn concentrations of soil solution in all uncultivated treatments initially increased and then decreased. Application of sewage sludge and chemical fertilizers increased Fe, Mn and Zn concentrations of the soil solution in the cultivated and uncultivated treatments. In all treatments, Cu concentration in the soil solution was negligible. At the end of growth period, Fe and Mn concentrations of the soil solution in the cultivated treatments (rhizosphere) were significantly greater than the uncultivated treatments (non-rhizosphere), while Zn concentration of the soil solution showed no significant differences between cultivated and uncultivated treatments. In general, the rice plant cultivation (rhizosphere processes) and application of sewage sludge and chemical fertilizers can alter the micronutrients concentrations in the soil solution.

Keywords: Micronutrient, Rice, Rhizosphere, Submergence, Sewage sludge

1- Associate Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz (Corresponding author)
Email: n-najafi@tabrizu.ac.ir
2- Former Graduate Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz