تاثیر کاربرد بقایای گیاهی در بهبود شاخص‌های شیمیایی خاک‌های آهکی، سدیمی و شور-سدیمی

جواد عبدالهی قره‌کند[۱]، ابراهیم سپهر*[۲]، ولی فیضی اصل[۳]، میرحسن رسولی صدقیانی[۴]، عباس صمدی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۴)

چکیده

یکی از راهکارهای صحیح و عملی بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمایی خاک‌های آهکی، شور و سدیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از بقایای گیاهی محصولات کشاورزی است. به منظور بررسی تأثیر بقایای گیاهی بر بهبود خصوصیات شیمیایی خاک‌های آهکی، سدیمی و شور- سدیمی، آزمایش انکوباسیون (گرماگذاری) به صورت فاکتوریل در پایه طرح کاملا تصادفی (CRD)، شامل فاکتور نوع خاک (آهکی، سدیمی و شور- سدیمی) و بقایای گیاهی (ذرت، آفتابگردان، گندم، شبدر و ماشک) به همراه تیمار شاهد (خاک بدون بقایای گیاهی) در سه تکرار انجام شد. بقایای گیاهی به میزان دو درصد به خاک‌ها اضافه و تیمارهای آماده شده به مدت ۱۳ هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی گرماگذاری شدند. نتایج نشان داد که EC، نیتروژن کل، ظرفیت تبادل کاتیونی، پتاسیم قابل جذب، آهن، روی، مس و منگنز قابل استفاده در تیمارهای بقایای گیاهی نسبت به تیمارهای شاهد افزایش معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) داشتند. همچنین افزودن بقایای گیاهی موجب کاهش معنی‌دار pH و درصد آهک خاک‌ها (در سطح احتمال ۱ درصد) شد. فسفر قابل استفاده در خاک‌های تیمار شده با بقایای ماشک، شبدر و آفتابگردان به ترتیب ۳۹، ۳۵ و ۱۸ درصد افزایش یافت، در حالی که در خاک‌های تیمارشده با بقایای ذرت و گندم به ترتیب به میزان ۱۹ و ۲۵ درصد کاهش یافت. کاربرد بقایای گیاهی، کربن آلی و فعالیت آنزیم اوره‌آز را نسبت به تیمارهای شاهد به ترتیب تا ۲۷ و ۱۳۴ درصد افزایش داد. با کاربرد بقایای گیاهی، درصد سدیم تبادلی خاک‌های مورد مطالعه تا ۱۹ درصد کاهش یافت. در کل، کاربرد بقایای گیاهی باعث بهبود خصوصیات شیمیایی مطالعه شده در خاک‌های آهکی، سدیمی و شور- سدیمی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی شد. همچنین شدت تاثیر بقایای گیاهی بر خصوصیات شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه به کیفیت بیوشیمیایی و ترکیب شیمیایی بقایای گیاهی بستگی داشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم اوره‌آز، بقایای گیاهی، خاک سدیمی و شور-سدیمی، شاخص‌های شیمیایی

عبدالهی قره‌کند ج.، سپهر ا.، فیضی اصل و.، رسولی صدقیانی م. ح.، صمدی ع. ۱۳۹۸. تاثیر کاربرد بقایای گیاهی در بهبود شاخص‌های شیمیایی خاکهای آهکی، سدیمی و شور-سدیمی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷. شماره ۳ . صفحه:۶۷-۸۲.

۱-دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۲-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳-استادیار موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

۴-استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک : e.sepehr@urmia.ac.ir

مقدمه

یکی از مهمترین محدودیت‌های خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، پایین بودن مقدار ماده آلی آنها است (Raiesi, 2006). در بیش از ۶۰ درصد از زمین‌های کشاورزی کشور نیز مقدار ماده آلی اغلب کمتر از یک درصد می‌باشد (Malakouti & Homaee, 2004). یکی از راه‌های صحیح و عملی برای بهبود ماده آلی خاک، مدیریت صحیح استفاده از بقایای گیاهی محصولات کشاورزی است، به گونه‌ای که با بازگشت این بقایا به خاک، متوسط سالانه ورودی کربن به خاک افزایش و بخشی از کربن خروجی حاصل از تجزیه میکروبی جبران می‌گردد (Martens, 2000). علاوه بر این، مدیریت صحیح بقایا موجب افزایش پایداری خاکدانه‌ها و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و به دنبال آن، افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی و کاهش وابستگی اکوسیستمهای کشاورزی به منابع کودهای شیمیایی شده و سرانجام باعث حفظ و افزایش پایداری اکوسیستم می‌گردد (Palm *et al.*, 2001).

در بعضی از مناطق به دلیل عدم توجه به اهمیت بقایای باقیمانده از محصولات قبلی و نقش آن در بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، این بقایا در مزارع به آتش کشیده می‌شوند. بدین ترتیب از برگشت مقادیر زیادی از ماده آلی به خاک جلوگیری به عمل می‌آید (Hongmei *et al.*, 2012). تاثیر تیمارهای آلی متعددی شامل مالچ، کودها و کمپوست در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی مورد بررسی قرار گرفته است (Ferreras *et al.*, 2006). برای خاک‌های شور و سدیمی، اضافه کردن مواد آلی می‌تواند سبب تسریع آبشویی سدیم، کاهش ESP و افزایش ظرفیت نگهداری آب و پایداری خاکدانه ها شود (Qadir *et al.*, 2001; Qadir *et al.*, 2005). از سوی دیگر، در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، کربنات کلسیم معدنی بومی خاک به عنوان یک منبع مهم بالقوه تامین یون کلسیم (Ca^{2+}) برای جایگزینی با یون سدیم (Na^{+}) و کاهش ESP در خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی می‌باشد. ولی حلالیت پایین $CaCO_3$ مانع مهمی برای اصلاح این خاک‌ها از طریق انحلال آهک بومی خاک می‌باشد (Xu *et al.*, 2012).

در شرایط قلیایی (سدیم بالا)، غلظت دی‌اکسیدکربن در محلول خاک، فاکتور اصلی کنترل کننده انحلال $CaCO_3$ می‌باشد (Xu *et al.*, 2012). آزاد شدن دی اکسیدکربن از ریشه گیاهان و یا در اثر تجزیه ماده آلی به محلول خاک، به تجزیه و انحلال $CaCO_3$ بومی خاک کمک می‌کند (Qadir *et al.*, 2005) و به دنبال آن، باعث جایگزینی کلسیم به جای سدیم در مکان‌های تبادلی خاک شده و ESP کاهش را می‌دهد (Mishra, 2004). در آزمایشی توسط لی و کیرین (Li & Keren, 2009) افزودن ۲۲ و ۳۴ گرم در کیلوگرم ساقه ذرت (Corn stalks) به یک خاک سدیمی آهکی با ESP اولیه ۱۹، بعد از ۶۰ روز گرماگذاری به همراه آبشویی، ESP خاک به ترتیب تا ۵۶ و ۷۸ درصد کاهش یافت. در ایران، تقریبا ۳۴ میلیون هکتار از زمین‌ها، تحت تاثیر شور و سدیمی شدن هستند (Qadir *et al.*, 2005). با توجه به مساحت گسترده اراضی شور و سدیمی در کشور و مخصوصا در زمین‌های اطراف دریاچه ارومیه و کمبود اطلاعات در مورد تأثیر افزودن بقایای گیاهی به خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی و آهکی در این مناطق، هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر انواع مختلفی از بقایای گیاهان با کیفیت‌های متفاوت بر بهبود خصوصیات شیمیایی خاک‌های سدیمی، شور-سدیمی و آهکی اطراف دریاچه ارومیه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

با بررسی نقشه‌های خاک، سه نمونه خاک شامل خاک آهکی، خاک سدیمی و خاک شور-سدیمی (خاکهای مسئله‌دار) با بافت یکسان (لوم شنی) از سه منطقه ارومیه برداشت شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود، کربن آلی به روش اکسایش مرطوب، pH و EC در عصاره اشباع خاک، نسبت جذب سدیم (SAR) در عصاره اشباع خاک، نیتروژن کل با استفاده از روش کجلدال، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از روش اشباع با استات سدیم، شستشوی املاح اضافی با الکل و جایگزینی توسط استات آمونیوم، سدیم قابل تبادل (Na_{exp}) با روش استات آمونیوم یک نرمال در pH=7 و سپس محاسبه درصد سدیمی تبادلی (ESP) با استفاده از فرمول $ESP= (Na_{exp}/CEC)\times 100$، درصد اشباع به روش وزنی، فسفر با روش اولسن،

پتاسیم با عصاره‌گیر استات آمونیوم، غلظت عناصر آهن، منگنز، روی، مس و نیکل قابل جذب با عصاره‌گیر DTPA و دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-6300)، اندازه‌گیری شدند (Carter & Gregorich, 2008; Sparks *et al.*, 1996). برخی از خواص مهم خاکها در جدول ۱ آورده شده است. پنج نوع پسماند گیاهی شامل کاه و کلش گندم (*Triticum aestivum* L.)، ساقه ذرت (*Zea mays* L.)، ساقه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و شبدر سفید (*Trifolium repens* L.) در مرحله برداشت محصول انتخاب شدند. نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، آسیاب شد و از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند تا اندازه همگنی حاصل شود. این نمونه‌ها در ظروف پلی اتیلنی نگهداری شدند. مقدار خاکستر (Ash) نمونه‌های گیاهی به روش سوزاندن در کوره، کربن آلی به روش اکسیداسیون مرطوب در مجاورت بیکرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ (Nelson & Summers, 1982)، نیتروژن کل آنها پس از هضم به روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1983) و غلظت کل عناصر در بقایا توسط روش هضم با اسید نیتریک (Sakala *et al.*, 2004) اندازه‌گیری شد. ترکیب شیمیایی بقایای گیاهی در جدول دو ارائه شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در پایه طرح کاملا تصادفی (CRD) شامل دو فاکتور نوع خاک در سه سطح (آهکی، خاک سدیمی و خاک شور-سدیمی) و بقایای گیاهی در پنج سطح (گندم، ذرت، آفتابگردان، ماشک و شبدر) به همراه تیمار شاهد (خاک بدون بقایای گیاهی) در سه تکرار (جمعا ۵۴ تیمار) انجام شد. به ۱۰۰ گرم از نمونه-های خاک هوا خشک شده، به میزان دو درصد از هر یک از بقایای گیاهی افزوده شد. تیمارهای آماده شده به مدت ۱۳ هفته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی گرماگذاری شدند. ۹۰ روز پس از شروع گرماگذاری، از تیمارها، نمونه‌های خاک تهیه و فعالیت آنزیم اوره‌آز در آنها اندازه‌گیری شد (Tabatabai, 1982). همچنین میزان نیترات با استفاده از محلول کلرید پتاسیم یک مولار عصاره‌گیری و با استفاده از روش تقطیر با بخار آب (Keeney & Nelson, 1982) اندازه‌گیری شد. سایر خصوصیات مانند $pH_{1:5}$، $EC_{1:5}$، TNV%، CEC، درصد کربن آلی، نیتروژن کل، ESP، فسفر و پتاسیم قابل جذب، آهن، روی، مس، منگنز و نیکل قابل استفاده نیز بلافاصله بعد از اتمام آزمایش روی تمامی تیمارها اندازه‌گیری شد. در نهایت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GenStat14 و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس خصوصیات اندازه‌گیری شده نشان داد که اثر هر دو فاکتور نوع خاک و بقایای گیاهی بر همه خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاکها، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد، اثرات متقابل نوع خاک و نوع بقایای گیاهی بر فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، فعالیت آنزیم اوره آز، آهن قابل جذب و درصد آهک خاک در سطح احتمال یک درصد و بر صفات EC و درصد سدیم تبادلی (ESP) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس برای خصوصیات مورد مطالعه نشان داد که کمترین ضریب تغییرات به میزان ۱/۲ درصد مربوط به pH، و بیشترین آن به میزان ۱۶/۵ درصد مربوط به Zn قابل استفاده در خاک بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین برای pH نشان داد که افزودن بقایای گیاهی به خاک باعث کاهش معنی‌دار ($P<0.01$) pH خاکهای مورد مطالعه شد (جدول ۲). به طور کلی می‌توان گفت، بقایای گیاهی طی فرآیند تجزیه با آزادسازی اسیدهای آلی و تحریک فرآیند نیتریفیکاسیون، سبب افزایش یون H^+ شده و باعث کاهش pH خاک می‌شود (Lakhdar *et al.*, 2009).

در آزمایش حاضر در اواخر دوره گرماگذاری، فرآیند نیتریفیکاسیون نسبت به آمونیفیکاسیون غالب بوده و چون فرآیند نیتریفیکاسیون یک فرآیند اسیدزا است، باعث کاهش pH خاکهای مورد مطالعه شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاکهای مطالعه شده

Table 1. Some of the chemical and physical properties of the studied soils

Soil type	PH	ECe	SAR	CEC	OC	TNV	Sand	Silt	Clay	Texture
		($dS\ m^{-1}$)	$(meq\ l^{-1})^{0.5}$	($cmolc\ kg^{-1}$)			%			
Sodic soil	8.51	1.25	16.11	13.71	1.77	23.82	60.33	27.21	12.46	Sandy loam
Saline-sodic soil	7.35	19.31	15.41	19.72	1.41	24.63	62.48	27.25	10.27	Sandy loam
Calcareous soil	7.65	1.13	1.02	27.31	1.58	29.21	56.38	26.18	17.44	Sandy loam

جدول ۲- ترکیب شیمیایی بقایای گیاهی مورد استفاده در این پژوهش

Table 2. Chemical composition of the plant residues used in this study

Plant residues	Ash	C	N	P	K	Na	Ca	Mg	C/N	C/P	Cu	Mn	Zn	Fe
	(%)										($mg\ kg^{-1}$)			
Trifolium	9.61	43.21	2.71	0.178	4.01	0.10	0.70	0.23	16	243	13.20	47.81	31.71	189.90
Corn	4.52	44.51	0.75	0.105	2.01	0.35	0.66	0.14	59	423	13.31	48.11	20.01	202.91
Sunflower	14.11	40.12	1.05	0.126	5.21	0.32	1.80	0.48	38	318	26.20	92.10	28.52	472.51
Vicia	13.01	41.12	2.91	0.194	4.32	0.31	1.01	0.29	14	212	18.51	94.61	22.01	448.40
Wheat	10.20	42.90	0.72	0.090	2.70	0.20	0.53	0.15	61	477	20.40	68.51	23.21	163.42

جدول ۳- میانگین مربعات و سطح معنی‌داری خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری شده در تیمارهای آزمایشی

Table 3. Mean square and significant level of chemical characteristics measured in the treatments

Source of variation	Degree of freedom	Mean Square							
		P	K	Zn	Mn	Fe	Cu	Total N	OC
		$mg\ kg^{-1}$						(%)	
Soil	2	452.9**	909032.3**	0.151**	14.4**	6.804**	0.134**	0.0104**	1.479**
Residues	5	123.9**	85764.9**	0.209**	9.11**	11.74**	0.136**	0.0051**	0.397**
Soil*Residues	10	2.46**	2633.1**	0.014 ns	0.64ns	0.77**	0.009 ns	0.0002ns	0.0149 ns
Error	36	0.73	750.9	0.02	0.307	0.162	0.01	0.0004	0.011
%CV	-	5.81	4.41	16.51	9.50	6.72	5.51	15.41	6.52

Source of variation		Mean Square							
		Urease	Urease	CEC	% TNV	ESP	Ni	EC	pH
Soil	2	1871.8**	1871.8**	1035.2**	638.6**	12514.1**	0.362**	72.67**	16.22**
Residues	5	874.6**	874.6**	12.9**	4.81**	50.08**	0.212**	0.008**	0.361**
Soil*Residues	10	43.86**	43.86**	0.45 ns	0.79**	12.86*	0.018 ns	0.005*	0.004 ns
Error	36	13.21	13.21	1.29	0.20	5.32	0.013	0.002	0.025
%CV	-	12.71	12.71	4.91	2.61	7.01	13.81	3.50	1.21

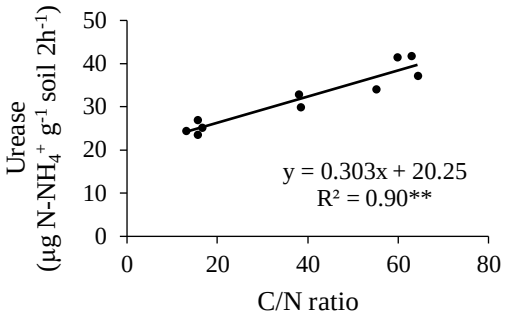
ns * and ** are non-significant and significant at 0.05 and 0.01 levels of probability respectively

مقایسه میانگین‌ها نشان داد در بین بقایای گیاهی، شبدر و ماشک بیشترین تاثیر را در کاهش pH (شبدر ۰/۴۵ و ماشک ۰/۵۵) داشتند (جدول ۴). این بقایا به علت دارا بودن نسبت C/N پایین (ماشک ۱۴ و شبدر ۱۶)، سرعت تجزیه بیشتری داشته و از اینرو اسیدهای آلی و H^+ بیشتری را آزاد کرده و سبب کاهش بیشتر pH شده‌اند. این در حالی است که بقایای گندم اثر معنی‌داری در کاهش pH نداشته و کمترین تاثیر معنی دار در این خصوص، به طور مشترک مربوط به بقایای ذرت و آفتابگردان بود (جدول ۴). همچنین میزان و سرعت تولید نیترات (نیتریفیکاسیون) در تیمارهای حاوی بقایای شبدر و ماشک بیشتر از سایر بقایای گیاهی مورد استفاده در این آزمایش بود (جدول ۴) که این موضوع نیز می‌تواند یکی دیگر از دلایل کاهش بیشتر pH توسط این بقایا باشد. این نتایج با یافته‌های کلارک و همکاران (Clark *et al.*, 2007) و یو و همکاران (Yu *et al.*, 2014) مشابه است. کلارک و همکاران (Clark *et al.*, 2007) تغییر اندک pH را در اثر کاربرد گچ و تیمارهای بقایای آلی در یک خاک سدیمی در یک دوره گرماگذاری ۱۷۴ روزه گزارش کردند. آنها اثر محدود بقایا را بر pH خاکهای آهکی با ظرفیت بافری بالای pH مرتبط دانستند. نتایج آزمایش کبیری نژاد و همکاران (Kabirinejad *et al.*, 2014) نیز نشان داد که افزودن چهار نوع بقایای گیاهی با نسبت C/N متفاوت از ۱۹/۲۱ تا ۵۴/۲۳، توانست pH خاک مورد مطالعه را کاهش دهد که بیشرین کاهش به میزان ۰/۴ واحد مربوط به بقایای شبدر با کمترین C/N بود. بنابراین، استنباط می‌شود، کیفیت ماده آلی (C/N) افزوده شده به خاک در میزان کاهش pH خاک، نقش اساسی را در مقایسه با سایر صفات دارد.

کاربرد بقایای گیاهی باعث افزایش معنی‌دار ($P<0.01$) EC شد. اگرچه این افزایش در مقایسه با تیمار شاهد اندک (به طور متوسط ۰/۰۷ دسی‌زیمنس بر متر) به نظر می‌رسد، اما در این خصوص تمامی تیمارهای بقایای گیاهی در کلاس برتر (a) در مقایسه با تیمار شاهد (کلاس b) قرار گرفتند (جدول ۴). پژوهشگران علت این افزایش را معدنی شدن مواد آلی و آزادسازی یونها در محلول خاک می‌دانند. افزایش معنی دار ($P<0/01$) CEC خاک به میزان ۱۲ درصد در تیمارهای کاربرد بقایای گیاهی نیز این موضوع را تائید می‌کند (جدول ۴). نتایج آزمایشهای کلارک و همکاران (Clark *et al.*, 2007)، لی (Lee, 2010) ، لی و کیرین (Li & Keren, 2009) و کبیری‌نژاد و همکاران (Kabirinejad *et al.*, 2014) افزایش EC خاک را با معدنی شدن ماده آلی در خاک نشان داد که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها برای فعالیت آنزیم اوره‌آز در ۹۰ روز پس از گرماگذاری، نشان داد که افزودن بقایای گیاهی باعث افزایش معنی‌دار ($p<0.01$) فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاکهای مورد مطالعه شد که این افزایش به طور متوسط ۱۳۴ درصد بود. بیشرین مقدار افزایش فعالیت این آنزیم به ترتیب مربوط به بقایای گندم، ذرت و آفتابگردان به میزان ۲۸/۳۱، ۲۱/۷۲ و ۱۸/۲۱ میکروگرم در گرم بود (جدول ۴). در این آزمایش بقایای گندم، ذرت و آفتابگردان به دلیل سرعت تجزیه کمتر (C/N بالا)، توانستند ماده آلی خاک را نسبت به سایر بقایا بیشتر افزایش داده (جدول ۲) و از این طریق موجب بهبود افزایش فعالیت این آنزیم شوند. نتایج آزمایش رئیسی و آقابابایی (Raiesi & Aghbabae, 2011) نیز نشان داد که در ابتدای دوره گرماگذاری که پسماندهای گیاهی به خاک افزوده شدند، وجود مواد غذایی با نیتروژن زیاد در ترکیب پسماندها، فعالیت آنزیم اوره‌آز را افزایش داد. اما زمانی که نیتروژن کاهش یافت، فعالیت این آنزیم نیز کمتر شد (۶۰ روز پس از شروع گرماگذاری). مطابق این گزارش، مجددا با شکسته شدن مولکولهای غذایی مقاومتر به تجزیه و آزاد شدن نیتروژن موجود در آنها، مانند حلقه‌های حاوی نیتروژن در لیگنین، دوباره فعالیت آنزیم اوره‌آز افزایش یافت (۹۰ روز پس از شروع گرماگذاری). با توجه به مطابقت زمان نمونه‌برداری آزمایش حاضر با زمان نهایی آزمایش رئیسی و آقابابایی (Raiesi & Aghbabae, 2011)، افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز در این آزمایش مورد انتظار بود که این افزایش با نتایج نوربخش و همکاران (Nourbakhsh *et al.*, 2001) و احمدپور و همکاران (Ahmadpoor *et al.*, 2011) نیز مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز با افزودن اشکال مختلف مواد آلی به خاک کاملا مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان داد بین نسبت C/N بقایای گیاهی و فعالیت آنزیم اوره‌آز در ۹۰ روز

پس از گرماگذاری، رابطه خطی مثبت و معنی‌داری ($p<0.01$) وجود داشت (شکل ۱). مطابق این نتیجه، با افزایش ۱۰ برابری نسبت C/N بقایای گیاهی، فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک سه برابر (حدود یک سوم میزان افزایش C/N) افزایش یافت. علاوه بر عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک (مانند pH، درجه حرارت، حضور ترکیبات بازدارنده و غیره) که فعالیت آنزیمی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، نوع و کیفیت بقایای گیاهی نیز از عوامل مهم و تعیین کننده فعالیت آنزیمهای خاک محسوب می‌شوند (Tabatabai, 1982). نتایج مطالعات مارتینز و همکاران (Martens *et al*., 1992) نیز نشان داد که فعالیت آنزیم اوره‌آز با افزودن بقایای جو با C/N معادل ۴۸ نسبت به بقایای یونجه با C/N معادل ۷، حدود ۲۷ درصد بیشتر افزایش یافت. نوربخش و همکاران (Nourbakhsh *et al*., 2001) اثر افزایشی پودر یونجه را بر فعالیت آنزیم اوره‌آز ۸۱ درصد گزارش نمودند که با نتایج تحقیق حاضر برای بقایای گیاهان لگوم (بقایای شبدر و ماشک با نسبت C/N مشابه) با افزایش ۸۴ درصدی فعالیت آنزیم اوره‌آز مطابقت دارد (جدول ۴).



شکل ۱- همبستگی بین نسبت C/N بقایا با فعالیت آنزیم اوره‌آز

Figure 1. Correlation between the C/N ratio of residues with urease activity

میانگین داده‌ها نشان داد که تیمارهایی که بقایای گیاهی دریافت نمودند، از نظر کربن آلی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری ($p<0.01$) داشتند. این افزایش به طور متوسط ۲۷ درصد بود. بیشرین افزایش کربن آلی به ترتیب مربوط به بقایای گندم، ذرت و آفتابگردان به میزان ۰/۶۰، ۰/۴۶ و ۰/۳۲ درصد بود (جدول ۴). در این آزمایش بقایای گندم، ذرت و آفتابگردان به دلیل سرعت تجزیه کمتر، توانستند ماده آلی خاک را نسب به سایر بقایا بیشتر افزایش دهند. زیرا بقایای گیاهی با سرعت تجزیه کمتر به ذخیره بیشتر کربن آلی در خاک کمک می‌کنند. مارتینز (Martens, 2000) مشاهده کرد که ۶۹ درصد از کاه و کلش گندم و ۶۷ درصد از کلش ذرت در سال اول در شرایط آزمایشگاهی تجزیه می‌شوند و بقیه کربن باقیمانده در خاک بصورت هوموس جدید نسبت به تجزیه پایدار می‌ماند. در آزمایش بشارتی و همکاران (Basharati *et al*., 2007) افزودن بقایای اسپرس، کلزا، گندم و خلر به خاک، توانست ماده آلی خاک را افزایش دهد که این افزایش در تیمارهای بقایای گیاهی با نسبت C/N بالا و سرعت تجزیه کمتر (گندم و کلزا) بیشتر بود. نتایج تحقیقات گلچین و همکاران (Golchin *et al*., 2007) نیز نشان داد که با افزودن ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کاه و کلش گندم به یک خاک لوم رسی، درصد کربن آلی خاک به ترتیب ۳۵ و ۶۱ درصد افزایش یافت. نتایج نشان داد که الگوی تغییرپذیری نیتروژن کل مانند کربن آلی (ماده آلی) بود. بیشترین مقدار افزایش نیتروژن کل به ترتیب مربوط به بقایای گندم، ذرت و آفتابگردان به میزان ۶۴، ۴۹ و ۳۸ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴).

با افزودن بقایای گیاهی، درصد آهک خاکها (%TNV) کاهش یافت (جدول ۴). بیشترین مقدار کاهش آهک به میزان ۹/۲ درصد مربوط به کاربرد بقایای شبدر بود. سایر تیمارهای بقایای گیاهی در یک کلاس آماری مشابه (b) قرار داشتند. پژوهشگران علت کاهش درصد آهک را با کاربرد بقایای گیاهی در خاک و انحلال آهک در اثر آزادسازی پروتون ناشی از نیتریفیکاسیون و آزادسازی CO_2 مرتبط می‌دانند. تامیر و همکاران

(Tamir *et al.*, 2013) همبستگی منفی بالایی بین تغییرات pH ناشی از تولید پروتون در اثر نیتریفیکاسیون مواد آلی و مقدار آهک گزارش کردند. در آزمایش حاضر نیز اگرچه همبستگی منفی (۰/۲۸-) بین تغییرات pH در تیمارهای مختلف با درصد آهک وجود داشت، اما این همبستگی از نظر آماری معنی‌دار نبود. شاید این تفاوت به دلیل نوع مواد آلی و یا میزان آهک موجود در خاک مورد آزمایش بوده است. افزودن بقایای گیاهی به استثنای بقایای گندم باعث کاهش معنی‌دار درصد سدیم تبادلی (ESP) خاکهای مورد مطالعه شد. در بین بقایای گیاهی، اثر بقایای آفتابگردان در کاهش ESP بیشترین (۱۹ درصد) بود. بطوریکه با افزودن بقایای آفتابگردان، این پارامتر نسبت به تیمار شاهد ۶/۹ واحد کاهش یافت (جدول ۴). کاهش بیشتر ESP توسط بقایای آفتابگردان را می‌توان به غلظت بالای کلسیم (۱/۸ درصد) در آن نسبت داد. نتایج آزمایش سعیدی لطف و جلالی (Saeedi Lotf & Jalali, 2011) نیز نشان داد که افزودن بقایای سیب زمینی در مقایسه با بقایای آفتابگردان، گندم و کلزا به خاک، توانست ESP خاکهای شور و سدیمی را تا نه درصد کاهش دهد. آنها علت کاهش بیشتر ESP را در بقایای سیب زمینی، با غلظت بالای کلسیم در این بقایا مرتبط دانستند. پژوهشگران دیگری نیز علت کاهش ESP خاکها را با کاربرد مواد آلی، آزاد شدن کلسیم از بقایای گیاهی در حین تجزیه، آزاد شدن CO_2 و H^+ و در نتیجه انحلال CaCO3 بومی خاک می‌دانند که این امر متعاقبا باعث جایگزینی Ca^{2+} به جای Na^+ در مکانهای قابل تبادل خاک شده و ESP خاکهای آهکی سدیمی را کاهش داده و باعث اصلاح این خاکها می‌شود (Qadir *et al.*, 2005 ; Walker & Bernal, 2008 ; Li & Keren, 2009) که این نتایج با نتایج به دست آمده از این پژوهش مطابقت دارد.

افزودن بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک‌های مورد مطالعه شد. حداکثر افزایش CEC به میزان ۱۶ درصد (۳/۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم) مربوط به تیمار بقایای ماشک بود که این افزایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بقایای آفتابگردان، شبدر، گندم و ذرت نیز به ترتیب ۱۴، ۱۲، ۹ و ۷ درصد CEC خاک را افزایش دادند. نتایج آزمایش سعیدی لطف و جلالی (Saeedi Lotf & Jalali, 2011) نیز نشان داد که کاربرد بقایای گیاهی مختلف در مدت ۱۶۸ روز گرماگذاری توانست CEC خاکهای شور و سدیمی را حداکثر تا ۱۰ درصد افزایش دهد. والکر و برنال (Walker & Bernal, 2008) گزارش کردند که کاربرد کود مرغی به میزان ۳۰ و۲۰ گرم در کیلوگرم خاک، CEC را به میزان ۳ تا ۵ واحد افزایش داد که این افزایش CEC به علت آزادسازی کلسیم و منیزیم از بقایای گیاهی و خاک در طول تجزیه و اشغال بیشتر مکان‌های تبادلی توسط کلسیم و منیزیم بوده است.

افزودن بقایای ماشک، شبدر و آفتابگردان به خاک به ترتیب باعث افزایش ۵/۳، ۴/۸ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل استفاده (به ترتیب ۳۹، ۳۵ و ۱۸ درصد) در خاک‌های مورد مطالعه شد که اثر بقایای ماشک و شبدر در افزایش فسفر خاک، از لحاظ آماری به طور مشترک در کلاس مشابه (a) قرار گرفت (جدول ۵). این درحالی است که کاربرد بقایای گندم و ذرت به ترتیب ۳/۵ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (به ترتیب ۲۵و ۱۹درصد) فسفر قابل استفاده خاک را کاهش داد. بالا بودن نسبت C/P در بقایای گندم و ذرت می‌تواند دلیلی بر کاهش فسفر قابل استفاده (آلی شدن فسفر) در اثر کاربرد این بقایا باشد. جلالی و رنجبر (Jalali & Ranjbar, 2009) در تحقیقی وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=0.96**) را بین غلظت فسفر در بقایا و فسفر آزاد شده از تجزیه بقایا و همچنین همبستگی منفی (r=0.98**) بین نسبت C/P بقایا و فسفر آزاد شده گزارش کردند. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که با افزایش نسبت C/P بقایا، میزان فسفر آزاد شده به طور معنی‌داری (r=0.98**) کاهش یافت (شکل a۲). تحقیقات باقی و همکاران (Baggie *et al.*, 2004) نشان می‌دهد که اگر نسبت C/P بقایای گیاهی کمتر از ۲۰۰ باشد، معدنی شدن فسفر اتفاق می‌افتد و در نسبتهای بالاتر از ۳۰۰، آلی شدن فسفر به وقوع می‌پیوندد. با توجه به اینکه نسبت C/P بقایای آفتابگردان استفاده شده در این آزمایش بیشتر از ۳۰۰ می‌باشد، ظاهرا باید در تیمارهای حاوی این بقایای گیاهی، آلی شدن فسفر اتفاق افتد. ولی نتایج نشان می‌دهد که نسبتهای C/P ارائه شده برای معدنی شدن یا آلی شدن فسفر چندان دقیق نمی‌باشد. میزان آزادسازی فسفر از بقایای گیاهی

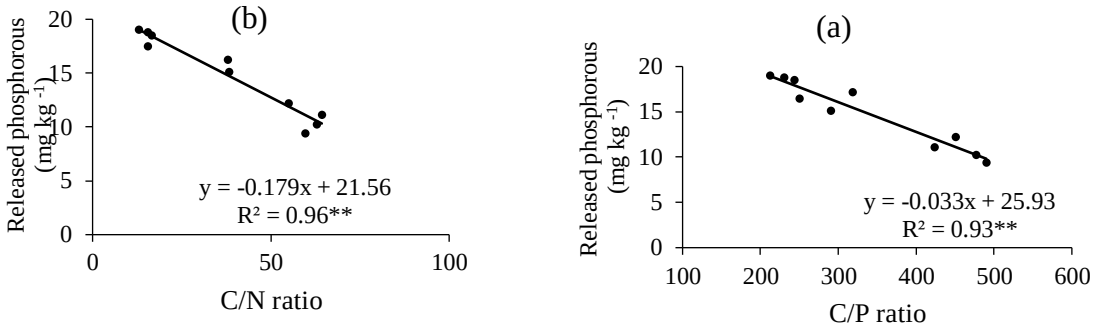
علاوه بر میزان فسفر بقایای گیاهی، به سرعت و مقدار تجزیه این بقایا نیز بستگی دارد. بقایایی با سرعت تجزیه بیشتر (بقایایی با C/N کمتر)، فسفر بیشتری را به خاک آزاد می‌کنند (Lupwayi *et al.*, 2007). در آزمایش حاضر نیز بقایای شبدر و ماشک به علت داشتن سرعت تجزیه بیشتر نسبت به سایر بقایا، فسفر بیشتری را در خاک آزاد کردند. نتایج پژوهش حاضربا نتایج سایرین مبنی بر وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین نسبت C/P و C/N بقایا با فسفر آزاد شده در خاک کاملا مطابقت دارد (شکل ۲a و ۲b). افزودن بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک‌های مورد مطالعه شد. حداکثر افزایش CEC به میزان ۱۶ درصد (۳/۳ سانتی‌مول بر کیلوگرم) مربوط به تیمار بقایای ماشک بود که این افزایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بقایای آفتابگردان، شبدر، گندم و ذرت نیز به ترتیب ۱۴، ۱۲، ۹ و ۷ درصد CEC خاک را افزایش دادند. نتایج آزمایش سعیدی لطف و جلالی (Saeedi Lotf & Jalali, 2011) نیز نشان داد که کاربرد بقایای گیاهی مختلف در مدت ۱۶۸ روز گرماگذاری توانست CEC خاکهای شور و سدیمی را حداکثر تا ۱۰ درصد افزایش دهد. والکر و برنال (Walker & Bernal, 2008) گزارش کردند که کاربرد کود مرغی به میزان ۳۰ و۲۰ گرم در کیلوگرم خاک، CEC را به میزان ۳ تا ۵ واحد افزایش داد که این افزایش CEC به علت آزادسازی کلسیم و منیزیم از بقایای گیاهی و خاک در طول تجزیه و اشغال بیشتر مکان‌های تبادلی توسط کلسیم و منیزیم بوده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر بقایای گیاهی مختلف بر خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری شده

Table 4. Mean comparison of the effect of different plant residues on measured chemical characteristics

Residues	$PH_{1:5}$	$EC_{1:5}$	Urease	CEC	O.C	Total N	TNV	ESP
		($ds.m^{-1}$)	($\mu g\ N\text{-}NH_4^+\ g^{-1}$ soil $2h^{-1}$)	($cmolc\ kg^{-1}$)		%		
Control	7.70a	1.24b	13.51e	21.12d	1.34e	0.10d	20.41a	36.41a
Corn	7.46b	1.31a	35.21b	22.61c	1.80b	0.15ab	19.01b	33.31bc
Sunflower	7.46b	1.31a	31.72c	24.12ab	1.67c	0.14bc	19.42b	29.52d
Trifolium	7.27c	1.29a	25.11d	23.72abc	1.54d	0.12cd	18.53c	33.33bc
Vicia	7.15c	1.33a	24.43d	24.43a	1.56d	0.13c	19.52b	31.54cd
Wheat	7.59ab	1.39a	41.81a	23.14bc	1.94a	0.17a	19.43b	34.32ab
LSD (5%)	0.15	0.04	3.47	1.09	0.10	0.02	0.47	2.21

Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P< 0.05.



شکل ۲- همبستگی بین نسبت‌های C/P (a) و C/N (b) بقایا و فسفر آزاد شده

Figure 2. Relation between released phosphorus with C/P (a) and C/N (b) ratios of residues

نتایج نشان داد که افزودن بقایای گیاهی به خاکها باعث افزایش مقادیر قابل استفاده عناصر کم مصرف نظیر Fe، Zn، Cu و Mn در خاک شد. کمتر بودن غلظت قابل جذب این عناصر در تیمار شاهد می‌تواند تاییدی بر توانایی بقایا در فراهم کردن بخشی از میزان Fe، Zn، Cu و Mn مورد نیاز گیاه باشد. بیشترین افزایش مقادیر این عناصر مربوط به بقایای ماشک و شبدر می‌باشد. کاربرد بقایای ماشک میزان Fe، Zn، Cu و Mn قابل استفاده را به ترتیب حدود ۶۱، ۵۱، ۱۷ و ۴۹ درصد و شبدر به ترتیب ۶۱، ۶۰، ۲۱ و ۵۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. این افزایش را می‌توان به کاهش بیشتر pH و آهک توسط بقایای شبدر و ماشک مرتبط دانست (جدول ۵). با کاربرد بقایای گیاهی در آزمایش حاضر، pH و آهک خاکها تعدیل پیدا کرد و همچنین

میزان ماده آلی خاکها افزایش یافت. از اینرو مقادیر قابل استفاده این عناصر در خاکهای تیمار شده با بقایای گیاهی افزایش پیدا کرد. کبیری نژاد و همکاران (Kabirinejad *et al.*, 2014) معتقدند، در افزایش مقدار قابل استفاده عناصر غذایی در خاکهای تیمار شده با بقایای گیاهی، نسبت C/N نقش مهمی را ایفا می‌کند. به طوری که بقایای گیاهی با کمترین نسبت C/N بیشترین اثر را در افزایش فرم قابل استفاده عناصر غذایی به دلیل حداکثر اثر این بقایا در کاهش pH خاک دارند. در پژوهش حاضر نیز ماشک و شبدر با دارا بودن حداقل نسبت C/N (به ترتیب ۱۴ و ۱۶) بیشترین اثر را در کاهش pH و درصد آهک خاک و حداکثر نقش را در افزایش شکل قابل استفاده عناصر مذکور داشتند (جدول ۲، ۴ و ۵). پژوهشگران دیگری نیز افزایش شکل قابل استفاده عناصر غذایی آهن (Baghbani *et al.*, 2015; Lupwayi *et al.*, 2007; Alloway, 2008) ، روی (Lupwayi *et al.*, 2007; Baghbani *et al.*, 2015; Alloway, 2008)، مس (Lupwayi *et al.*, 2007; Kabirinejad *et al.*, 2014) و منگنز (Lupwayi *et al.*, 2007) را در اثر افزایش بقایای گیاهی در خاک گزارش کرده‌اند که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر کاملا مطابقت دارد. با توجه به اینکه مقدار اشکال قابل استفاده عناصر کم مصرف به ویژه Fe، Zn، Cu و Mn در خاکهای مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل pH بالا، درصد بالای آهک و کمی ماده آلی خاک، در حد پایینی قرار دارند (Cakmak *e al.*, 2001)، افزودن بقایای گیاهی موثری مانند ماشک و شبدر می‌تواند یکی از راهکارهای اساسی کشاورزی حفاظتی در بهبود وضعیت حاصلخیزی این خاکها باشد که امروزه بیشتر مورد تاکید مجامع علمی است. کاربرد بقایای گیاهی توانست به طور متوسط میزان پتاسیم قابل استفاده در خاکهای مورد بررسی را ۳۷ درصد (۱۷۷/۴ میلیگرم در کیلوگرم) افزایش دهد. این افزایش برای بقایای ماشک، شبدر، آفتابگردان، گندم و ذرت به ترتیب ۲۵۸، ۲۲۱، ۲۰۶، ۱۲۰ و ۸۳ میلیگرم پتاسیم در کیلوگرم بود. کمتر بودن غلظت پتاسیم قابل جذب در تیمار شاهد می‌تواند تائیدی بر توانایی بقایا در فراهم کردن بخش مهمی از میزان پتاسیم مورد نیاز گیاه باشد (جدول ۵). ویتبرید و همکاران (Whitbread *et al.*, 2000) بیان نمودند که در استرالیا نوسانات پتاسیم خاک زمانی که بقایای کاه به خاک برگردانده می‌شود، ۸+ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و زمانی که بقایای کاه از مزرعه خارج می‌شوند این تعادل به ۱۰۲- کیلوگرم پتاسیم در هکتار می‌رسد. نتایج این پژوهشگران در بهبود وضع پتاسیم قابل استفاده خاک و تامین بخش مهمی از نیاز گیاه با افزودن بقایای گیاهی با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

افزودن بقایای ماشک و شبدر به خاک به ترتیب باعث افزایش ۱۲۱ و ۱۰۴ درصدی نیترات قابل جذب خاکهای مورد مطالعه شد که این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار ($p<0.01$) بود. این درحالی است که کاربرد بقایای ذرت و گندم، نیترات قابل جذب خاکها را کاهش داد. اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۵). بالا بودن نسبت C/N در بقایای گندم و ذرت، می‌تواند دلیلی برای عدم افزایش نیترات قابل استفاده (آلی شدن نیتروژن) در اثر کاربرد این بقایا باشد (جدول ۲). تحقیقات نشان می‌دهد که مواد آلی با نسبت C/N بیشتر از ۳۰ باعث آلی شدن نیتروژن خاک می‌شود، درحالی که مواد آلی با نسبت C/N، ۲۰ یا کمتر منجر به معدنی شدن خالص نیتروژن می‌شود (Mitchell *et al.*, 2000).

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیر بقایای گیاهی مختلف بر عناصر غذایی اندازه‌گیری شده

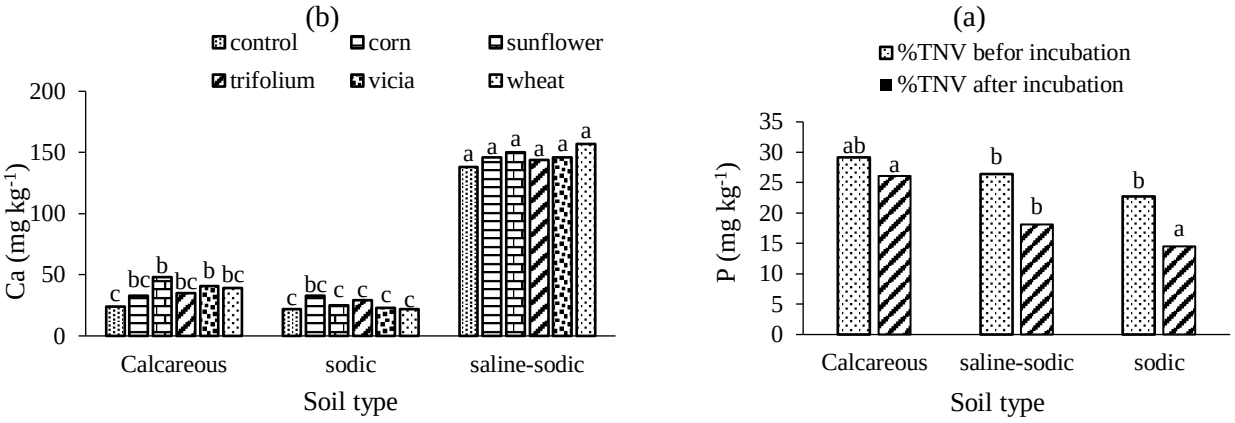
Table 5. Mean comparison of the effect of different plant residues on measured nutrients

Residues	P	K	Mn	Zn	Fe	Cu	Ni	NO^{3-}
	mg kg^{-1}							
Control	13.71c	474e	4.91d	0.67e	4.61d	1.61c	0.60c	45.92c
Corn	11.12d	557d	5.92c	0.75de	5.42c	1.73bc	0.94ab	44.71c
Sunflower	16.21b	680b	6.61b	0.84cd	5.91b	1.81b	0.83b	47.82c
Trifolium	18.51a	696b	7.72a	1.07a	7.43a	1.92a	0.70c	93.81b
Vicia	19.02a	732a	7.22a	1.01ab	7.41a	1.92a	0.84b	101.32a
Wheat	10.22e	594c	6.21bc	0.91bc	5.41c	1.71b	1.02a	45.11c
LSD (5%)	0.82	26.21	0.58	0.14	0.39	0.09	0.11	3.32

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

نتایج خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاکهای مورد مطالعه

نتایج نشان داد که در دو نوع خاک آهکی و خاک سدیمی، غلظت فسفر بعد از گرماگذاری، ۱۴ درصد (آهکی ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و سدیمی ۱/۴ میلی-گرم در کیلوگرم) افزایش یافت. با وجود اینکه غلظت اولیه فسفر در خاک سدیمی (۹/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) تقریبا نزدیک به غلظت اولیه فسفر در خاک شور-سدیمی (۱۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کمتر از خاک آهکی (۱۸/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود، ولی با کاربرد بقایای گیاهی، غلظت فسفر در خاک آهکی بیشتر افزایش (۱/۸ برابر) یافت (شکل a۳). با توجه به اینکه قابلیت دسترسی فسفر در چنین خاکهایی به دو عامل pH و میزان آهک فعال بستگی دارد، لذا کاربرد بقایای گیاهی منجر به تولید H^+ و انحلال $CaCO_3$ موجود در خاک می‌شود که این امر نیز موجب افزایش قابلیت دسترسی فسفر در خاک شده است (Li & Keren, 2009). از سوی دیگر، مقدار اولیه کلسیم در خاک شور-سدیمی ۵/۸ برابر خاک آهکی است. در نتیجه، با کاربرد بقایای گیاهی و تولید H^+، حجم بالایی از کلسیم فعال در این خاک در مقایسه با خاک آهکی وجود داشته است. در نتیجه مقدار کلسیم بالا در خاک شور-سدیمی از قابلیت دسترسی فسفر در این خاک در مقایسه با خاک آهکی کاسته است (شکل b۳). مارشنر (Marschner, 2008) نیز معتقد است، قابلیت دسترسی فسفر در خاکهای مناطق خشک و نیمه‌خشک توسط کلسیم موجود در این خاکها کنترل می‌شود که با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مطابقت دارد.



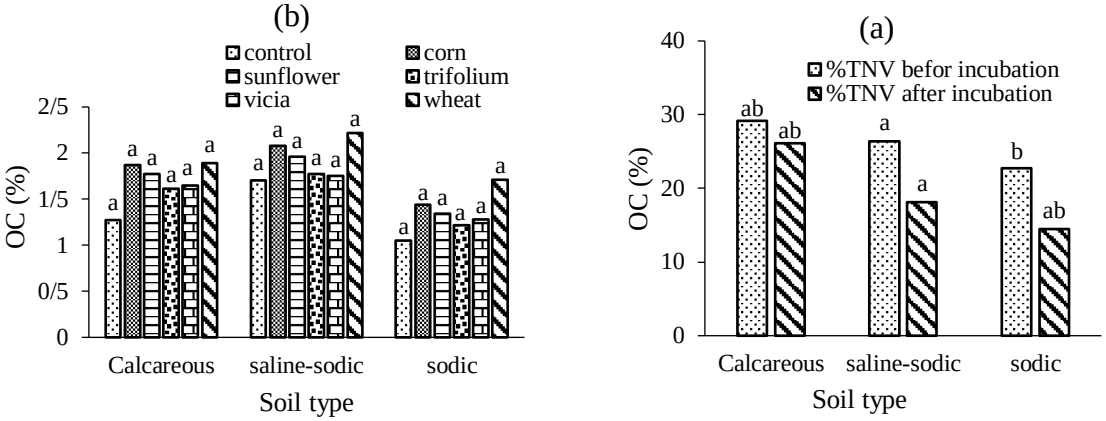
شکل ۳- مقادیر فسفر قابل استفاده قبل و بعد از انکباسیون (a) و کلسیم محلول در اثر کاربرد بقایای گیاهی (b) در خاکهای مطالعه شده

Figure 3. The amounts of available phosphorus before and after incubation (a) and soluble calcium due to the application of plant residues (b) in studied soils

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$

نتایج نشان داد که در هر سه نوع خاک مورد مطالعه، میزان ماده آلی بعد از گرماگذاری افزایش یافت. درصد کربن آلی در خاک آهکی، شور-سدیمی و سدیمی به ترتیب از ۱/۵۸، ۱/۷۷ و ۱/۴۱ درصد در قبل از گرماگذاری به مقدار ۱/۶۷، ۱/۹۱ و ۱/۵۲ درصد بعد از گرماگذاری رسید (شکل a۴). افزایش درصد کربن آلی در خاک آهکی، شور-سدیمی و سدیمی به ترتیب حدود ۵/۷، ۸ و ۷/۸ درصد بود. افزایش بیشتر درصد کربن آلی در دو خاک شور و شور-سدیمی می‌تواند به دلیل تجزیه کمتر بقایا در این خاکها باشد که نشانی از توانایی بقایا در بهبود میزان ماده آلی این خاکها و متعاقب آن بهبود خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مرتبط با افزایش ماده آلی در این خاکها باشد. به علت بالا بودن درصد ماده آلی اولیه در خاک شور-سدیمی و تجزیه کمتر ماده آلی در این خاک به علت فعالیتهای میکروبی پایین در خاکهای شور-سدیمی نسبت به دو خاک دیگر، همچنان درصد ماده آلی در این خاک پس از گرماگذاری نیز بیشتر از دو خاک دیگر می‌باشد (شکل a۴). این در حالی است که بعد از گرماگذاری، بیشترین افزایش درصد کربن آلی در خاکها مربوط به خاک آهکی با ۳۸

درصد و سپس خاک سدیمی با ۳۳ درصد و شور-سدیمی با ۱۵ درصد بود. مطابق این نتایج، بیشترین تاثیر را در افزایش کربن آلی در هر سه خاک بقایای گندم و سپس ذرت با نسبت C/N بالا و کمترین نقش را شبدر و ماشک با کمترین C/N داشتند (شکل ۴b). در اغلب پژوهشهای انجام گرفته، افزایش مقدار کربن آلی خاک با افزودن بقایای گیاهی بیشتر به کیفیت بقایای گیاهی (C/N) بستگی داشته است، به طوری که بقایای گیاهی با C/N بالا و سرعت تجزیه کمتر مانند بقایای ذرت و گندم نقش بیشتری را در این خصوص داشته‌اند (Golchin *et al.*, 2007 ;Basharati *et al.*, 2007).

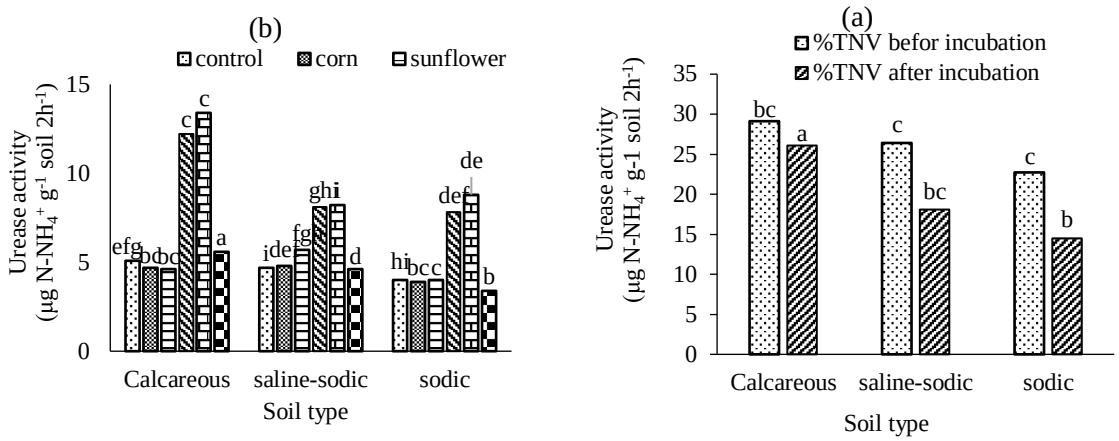


شکل ۴- مقادیر کربن آلی قبل و بعد از انکباسیون (a) و در کاربرد بقایای گیاهی (b) در خاکهای مطالعه شده

Figure 4. Organic carbon values before and after incubation (a) and in application of plant residues (b) in the studied soils

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$

فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک آهکی، شور-سدیمی و سدیمی بعد از ۹۰ روز گرماگذاری (به ترتیب ۳۷/۹، ۱۷/۷ و ۳۰/۳ میکروگرم بر گرم در دو ساعت) نسبت به زمان قبل از گرماگذاری (به ترتیب ۱۹/۱، ۱۰/۳ و ۱۳/۳ میکروگرم بر گرم در دو ساعت) به ترتیب ۱۰۰، ۸۰ و ۱۳۱ درصد افزایش یافت. با وجود افزایش بیشتر فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک سدیمی، همچنان فعالیت این آنزیم در خاک آهکی بالاترین مقدار می‌باشد (شکل ۵a). این موضوع می‌تواند به دلیل بالا بودن فعالیت آنزیم اوره‌آز در قبل از گرماگذاری به دلیل فراهمی شرایط مطلوب برای فعالیت این آنزیم در این خاکها باشد. بنابراین افزودن مواد آلی در خاکهای مورد مطالعه و گرماگذاری آن به مدت ۹۰ روز منجر به افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز تا ۱۳۱ درصد شد که از عمده‌ترین اثرات مثبت آن می‌توان به کاهش pH و افزایش ماده آلی خاکهای مورد مطالعه اشاره نمود. از سوی دیگر، بیشترین مقدار فعالیت آنزیم اوره‌آز در هر سه خاک مورد آزمایش، در تیمار دارای بقایای گندم مشاهده شد که این افزایش در خاکهای آهکی زراعی، شور-سدیمی و سدیمی نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۷۵، ۲۰۰ و ۲۷۰ درصد بود. در این آزمایش، بقایای گیاهی گندم به دلیل سرعت تجزیه کمتر توانست ماده آلی خاک را نسب به سایر بقایا بیشتر افزایش دهد (جدول ۲) و از این طریق موجب بهبود افزایش فعالیت این آنزیم در هر سه خاک مورد مطالعه شد. کمتر بودن فعالیت این آنزیم در تیمارهای بدون بقایای گیاهی در خاکهای سدیمی و شور-سدیمی منطقی به نظر می‌رسد (شکل ۵b). زیرا با افزایش pH و همچنین شوری خاک و کاهش درصد ماده آلی آن، فعالیت نسبی آنزیم اوره‌آز کمتر خواهد شد (Nourbakhsh *et al.*, 2001; Malakouti & Homaee, 2004). بنابراین، از آنجایی که افزودن بقایای گیاهی به این خاکها باعث کاهش pH خاکها و افزایش ماده آلی آنها شده است، لذا افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم اوره‌آز در چنین شرایطی مورد انتظار بوده و با نتایج سایرین مطابقت دارد (Nourbakhsh *et al.*, 2001; Raeisi & Aghababae, 2011; Ahmadpoor *et al.*, 2011).

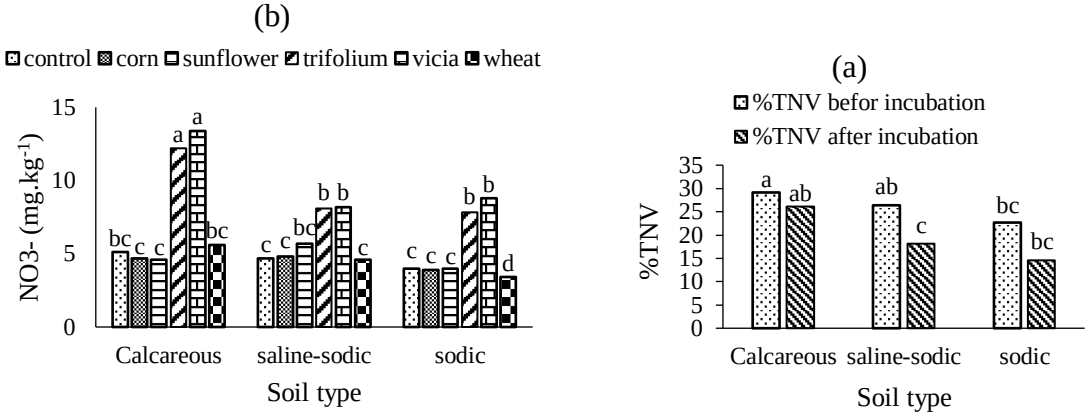


شکل ۵- فعالیت آنزیم اوره‌آز قبل و بعد از انکباسیون (a) **و در کاربرد بقایای گیاهی** (b) **در خاکهای مطالعه شده**

Figure 5. Activity of urease enzyme before and after incubation (a) and in application of plant residues (b) in the soils studied

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$

با افزودن بقایای گیاهی به خاکهای مورد مطالعه، درصد مواد خنثی شونده در خاک آهکی، شور-سدیمی و سدیمی به ترتیب حدود ۱۴، ۴۴ و ۶۹ درصد کاهش پیدا کرد (شکل a۶) و این نیز به دلیل تولید H^+ و کاهش pH این خاکها بوده است. اختلاف بین مقادیر نیترات در تیمارهای آزمایشی در سه خاک مورد مطالعه نشان داد که الگوی این اختلاف در همه تیمارهای بقایای گیاهی یکسان نیست. به طوری که در مورد تیمار بقایای ماشک و شبدر، بین سه خاک مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. در حالی که در تیمارهای شاهد و تیمار بقایای آفتابگردان، ذرت و گندم، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. مشابه نبودن الگوی اختلاف معنی‌داری بین سه خاک در تیمارهای مختلف بقایای گیاهی، سبب معنی‌دار شدن تاثیر متقابل نوع خاک و نوع بقایای گیاهی است (شکل b۶). این یافته‌ها را می توان این چنین تفسیر نمود که اختلاف معنی‌دار در مقادیر نیترات تنها در مواردی ممکن است بین سه خاک بروز نماید که بقایای گیاهی مورد استفاده به اندازه کافی تجزیه‌پذیر باشند (Sheikh-Hoosseini & Nourbakhsh, 2007). از سوی دیگر بیشترین میزان نیترات را در هر سه خاک ماشک و شبدر تولید نمودند که با توجه به پایین بودن نسبت C/N آنها در مقایسه با سایر بقایا چنین نتیجه‌ای مورد انتظار بود.



شکل ۶- مقادیر TNV **قبل و بعد از انکباسیون** (a) **و مقادیر نیترات در اثر کاربرد بقایای گیاهی در خاکهای مطالعه شده** (b)

Figure 6. The amounts of TNV before and after incubation (a) and the amounts of nitrate in the application of plant residues in the studied soils (b)

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن بقایای گیاهی به خاک، باعث افزایش کربن آلی، نیتروژن کل و CEC خاک شد. بیشترین مقدار این افزایش برای کربن آلی و نیتروژن کل به گندم، ذرت و آفتابگردان با سرعت تجزیه کمتر و در خصوص CEC به شبدر با سرعت تجزیه و آزادسازی یونهای بیشتر در محلول خاک اختصاص یافت. افزودن بقایای گیاهی به ویژه شبدر و ماشک با نسبت C/N پایین به خاک با سرعت تجزیه بیشتر (تولید H^+ بیشتر) و نیتریفیکاسیون بالا منجر به کاهش pH، درصد آهک و سدیم تبادلی و به دنبال آن افزایش مقادیر قابل استفاده پتاسیم و عناصر کم مصرف مانند Fe، Zn، Cu و Mn در خاکهای مورد مطالعه شد. با افزودن بقایای گیاهی با C/P پایین مانند ماشک، شبدر و آفتابگردان به خاک، فسفر قابل استفاده به ترتیب ۵/۳، ۴/۸ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (به ترتیب ۳۹، ۳۵ و ۱۸ درصد) افزایش یافت. این در حالی است که با افزودن بقایای گیاهی با C/P بالا مانند گندم و ذرت، فسفر قابل استفاده در خاک به ترتیب به میزان ۳/۵ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم (به ترتیب ۱۹ و ۲۵ درصد) کاهش (آلی شدن فسفر) یافت. اگرچه افزودن تمامی بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک شد، اما در این میان بقایای گندم، ذرت و آفتابگردان به دلیل سرعت تجزیه کمتر (C/N بالا) توانستند ماده آلی خاک و به دنبال آن فعالیت آنزیم اوره‌آز را بیشتر از بقایای زود تجزیه‌پذیر (شبدر و ماشک) افزایش دهند. به طور کلی افزودن بقایای گیاهی به خاکهای مسئله‌دار (آهکی، سدیمی و شور-سدیمی) اطراف دریاچه ارومیه می‌تواند یکی از راهکارهای اساسی کشاورزی حفاظتی در بهبود وضعیت حاصلخیزی این خاکها باشد.

References

Ahmadpoor S.R., Bahmanyar M.A., Gilani S.S., and Forghani A. 2011. Evaluation of the Activities of Urease and Phosphatase Enzymes and Changes in Some Chemical Characteristics of Soil Amended with Compost and Vermicompost under Corn Cultivation. *Journal of Soil Research (Soil and Water Science)*. 25 (1): 123-113. (In Persian)

Alloway B.J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. IZA and IFA. Brussels. Belgium and Paris. France. 135 p.

Baggie I., Rowell D.L., Robinson J.S. and Warren G.P. 2004. Decomposition and phosphorus release from organic residue as affected by residue quality and added inorganic phosphorus. *Agroforestry Systems*. 63 (2): 125-131.

Baghbani A., Kadkhodaie A., and Modarres-Sanavy S.A.M. 2015. Effect of Wheat and Bean Residue along with Zinc Sulfate on Zinc and Iron Concentration and Grain Yield of wheat. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 25 (4): 102-91. (In Persian)

Basharati H., Golchin A., and Atashnama K. 2007. Effect of nitrogen addition and regulation of C/N ratio of different plant residues on the rate of decomposition of residues. *The 10th Iranian Soil Science Congress*. 4-6 September, Karaj, Iran. (In Persian)

Bremner J.M., and Mulvaney M. 1982. Nitrogen total. *In*: page A.L., Miller R.H., and Keeney R.R. (Ed.), Methods of Soil Analysis-Part 2. *American Society of Agronomy,* Madison, WI, pp. 595-624.

Cakmak O., Oztur L., Karanlik S., Ozkan H., Kaya Z., and Chakmak I. 2001. Tolerance of 65 Durum wheatgenotypes to zinc deficiency in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*. 24 (11): 1381-1847.

Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis (2nd Ed.), CRC Press. Boca Raton, Florida, 1204p.

Clark G.J., Dodgshun N., Sale P.W.G. and Tang C. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*. 39 (11): 2806–2817.

Ferreras L., Gomez E., Toresani S., Firpo I., and Rotondo R. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 97 (4): 635- 640.

Golchin A., Kelych S., and Ajudanzadeh M. 2007. The role of organic materials in improving the physicochemical properties of soils in arid and semi-arid regions. *The 10th Iranian Soil Science Congress*. 4-6 September. Karaj. Iran. (In Persian)

Hongmei Z., Daniel Q.T., Qianxin L., Xianguo L., and Guoping W. 2012. Effects of fires on soil organic carbon pool and mineralization in a northestern China wetland. *Geoderma*. 189-190: 532-539.

Jalali M., and Ranjbar F. 2009. Rates of decomposition and phosphorus release from organic residues related to residue composition. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 172 (3): 353-359. (In Persian)

Kabirinejad Sh., Kalbasi M., Khoshgoftarmanesh A.H., Hoodaji M., and Afyuni M. 2014. Effect of incorporation of crops residue into soil on some chemical properties of soil and bioavailability of Copper in soil. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2 (11): 2819-2824.

Keeney D.R, and Nelson D.W. 1982. Nitrogen-inorganic forms, PP. 643-698, In A. L. Page et al., (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. *American Society of Agronomy*. Madison, WI. USA.

Lakhdar A.M., Rabhi T., Ghnaya F., Montemuerro N., Jedidi A., and Abdelly C. 2009. Effectiveness of compost use in salt- affected Soil. *Journal of Hazardous Materials*. 171 (1-3): 29-37.

Lee J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulture*. 124 (3): 299–305.

Li F.H., and Keren R. 2009. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. *Pedosphere*. 19 (4): 465-475.

Lupwayi N.Z., Clayton G.W., Donovan J.T., Harker K.N., Turkington T.K., and Soon Y.K. 2007. Phosphorus Release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Soil and Tillage Research*. 95 (1-2): 231-239.

Malakouti M.J., and Homaee M. 2004. Soil Fertility of Arid and Semi-Arid Regions (Difficulties and Solutions). Tarbiat Modarres University Press. Second edition, 488 p. (In Persian).

Marschner P. 2008. The effect of rhizosphere microorganisms on P uptake by plants. *In*: White PJ, Hammond JP (Ed.), The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions. *Springer*. Dordrecht, The Netherlands, pp 165–176.

Martens D.A., Johanson J., and Frankenberger L. 1992. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. *Soil Science*. 153(1):53–61.

Martens D.A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*. 32 (3): 361-369.

Mishra A., Sharma S.D., and Pandey R. 2004. Amelioration of degraded sodic soil by afforestation. *Arid Land Research and Management*. 18 (1): 13-23.

Mitchell R.D. J., Harrison R., Russell K.J. and Webb J. 2000. The effect of crop residue incorporation date on soil inorganic nitrogen, nitrate leaching and nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils*. 32 (4): 294–301.

Nelson D.W., and Summers L.P. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: A.L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. *American Society of Agronomy*. Madison, Wisconsin, Pp. 539-579.

Nourbakhsh F., Hajj-Rasuliha S.h., and Emtiazi G. 2001. Effect of some soil characteristics on the activity of urease enzyme in some of the soils of Isfahan province. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 5 (3): 105-95. (In Persian)

Palm C.A., Gachengo C.N., Delve R.J., Cadisch G., and Giller K.E. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 83 (1-2): 27-42.

Qadir M., Noble A.D., Oster J.D., Schubert S., and Ghafoor A. 2005. Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-sodic soils: A review. *Soil Use and Management*. 21 (2): 173–180.

Qadir M., Schubert S., Ghafoor A., and Murtaza G. 2001. Amelioration strategies for sodic soils: A review. *Land Degradation and Development*. 12 (4): 357-386.

Raiesi F. 2006. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 112 (1): 13-20.

Raiesi F., and Aghababae F. 2011. The Decomposability of Some Plant Residues and Their Subsequent Influence on Soil Microbial Respiration and Biomass, and Enzyme Activity. *Journal of Water and Soil*. 25 (4): 873-863. (In Persian)

Saeedi-Lotf M., and Jalali M. 2011. The role of plant residues in changing the chemical properties of salt and sodic soils. *12th Iranian Soil Science Congress*. 12-14 September. Tabriz. Iran. (In Persian).

Sakala G.M., Rowell D.L and Pilbeam C.J. 2004. Acid-base reactions between an acidic soil and plant residues. *Geoderma*. 123 (3-4): 219-232.

Sheikh-Hoosseini A.R, and Nourbakhsh F. 2007. The effect of soil and plant residues on net nitrogen mineralization. *Pajouhesh and Sazandegi in Agriculture and Horticulture*. 75 (2): 133-127. (In Persian).

Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., and Sumners M.E. 1996. Methods of Soil Analysis, Part-3 Chemical methods. *Soil Science Society of America*. Madison, Wisconsin, USA. 1390 p.

Tabatabai M.A. 1982. Soil enzymes. PP. 539-579. IN: A. C. page (Ed.). Methods of soil analysis. Part 2. *American Society of Agronomy, Soil Science Society of America*, Madison, WI, USA.

Tamir G., Shenker M., Heller H., Bloom P.R., Fine P., and Bar-Tal A. 2013. Organic N mineralization and transformations in soils treated with animal waste in relation to carbonate dissolution and precipitation. *Geoderma*. 209-210: 50-56.

Walker D.J. and Bernal M.P. 2008. The effect of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource Technology*. 99 (2): 396- 403.

Whitbread A.M., Blair G.J., and Lefroy R.D.B. 2000. Managing legume leys, residues and fertilizers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in Australia. *Soil and Tillage Research*. 54 (1-2): 77–89.

Xu J., Fan C., and Teng H.H. 2012. Calcite dissolution kinetics in view of Gibbs free energy, dislocation density, and pCO_2. *Chemical Geology*. 322- 323: 11-18.

Yu y., Liu J., Liu C., Zong S., and Lu Z. 2014. Effect of organic materials on the chemical properties of saline soil in the Yellow River Delta of China. *Frontiers of Earth Science*. 9 (2): 259-267.

The Effect of Plant Residues Application on Improvement of Chemical Properties of Calcareous, Sodic and Saline-Sodic Soils

Javad Abdollahi garekand[1], Ebrahim Sepehr[2*], Vali Feiziasl[3], MirHassan Rasouli-Sadaghiani[4], Abbas Samadi[4]

(Received: December 2017 Accepted: August 2018)

Abstract

Application of plant residues as soil amendment is one of the most strategies to improve the physical and chemical properties of calcareous, saline and sodic soils in arid and semi-arid regions. In order to investigate the effect of plant residues application on improvement of chemical properties of calcareous, sodic, and saline-sodic soils, an incubation experiment was carried out as a factorial design with factors including soil type (calcareous, saline-sodic and sodic) and plant residues (corn, sunflower, wheat, trifolium and vicia) along with control treatment (soil without plant residues) in three replications. Plant residues were added to the soils by 2%. Treatments were incubated for 13 weeks at 25° C and 50% of field capacity moisture content. The results showed that electrical conductivity (EC), nitrogen content, cation exchange capacity (CEC), available K, iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn) in treated soils with various plant residues increased significantly ($P<0.01$) compared to control treatment. Application of plant residues caused a significant decrease ($P<0.01$) in pH and %TNV in treated soils. The concentration of available phosphorus in treated soils with vicia, trifolium and sunflower residues increased by 39, 35 and 18%, respectively, while it decreased in treated soils with corn and wheat residues by 19 and 25% respectively. Application of plant residues increased organic carbon and urease enzyme activity as compared to control treatments to 27 and 134%, respectively. The exchangeable sodium percentage (ESP) of the studied soils decreased by 19%. It can be concluded that, application of plant residues improved the chemical properties of calcareous, sodic and saline-sodic soils, and increased the availability of nutrients. Chemical and biochemical quality of various plant residues are important in improvement of soil chemical properties.

Keywords: Chemical properties, Plant residues, Sodic and saline-sodic soil, Urease enzyme

Abdollahi garekand J., Sepehr E., Feiziasl[3] V., Rasouli-Sadaghiani M.H., and Samadi A. 2019. The Effect of Plant Residues Application on Improvement of Chemical Properties of Calcareous, Sodic and Saline-Sodic Soils. *Applied Soil Research*, 7(3):67-82.

1. Ph.D Student of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia,. Iran
2. Associate Professor of Soil Science, Dept. of Soil Science, Urmia University, Urmia. Iran
3. Assistant Professor of Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Oranization (AREEO), Maragheh, Iran
4. Professor of Soil Science, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, I.R. Iran.
* Corresponding Author Email: e.sepehr@urmia.ac.ir