

تأثیر گچ، کربن آلی و مدت زمان خوابانیدن بر برخی ویژگی‌های یک خاک سدیمی

مصیب وفایی، احمد گلچین و سعید شفیعی¹

کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ Vafae.mosayeb67@gmail.com

استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان؛ agolchin2011@yahoo.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت؛ saeid55@gmail.com

دریافت: 96/6/28 و پذیرش: 97/12/18

چکیده

خاک‌های سدیمی به طور وسیعی در مناطق خشک و نیمه خشک گسترش یافته‌اند. برای اینکه اراضی سدیمی بتوانند مورد استفاده کشاورزی قرار بگیرند باید ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نامطلوب آن‌ها اصلاح گردد. به منظور بررسی اثر گچ (صفر، 50 و 100 درصد نیاز گچی) به تنهایی و توأم با کاربرد مواد آلی از منابع مختلف (بدون بقایا، بقایای گیاه یونجه، ضایعات میوه خرما، بقایای گیاه ذرت و خاک اره) به میزان 1/5 و 3 درصد کربن آلی بر ویژگی‌های یک خاک سدیمی، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با 27 تیمار و 3 تکرار به اجرا درآمد. پس از اعمال تیمارها، هر 15 روز یکبار به مدت دو ماه درصد سدیم تبادلی، نسبت جذب سدیم، pH رس قابل انتشار اندازه‌گیری شد. سپس در پایان زمان خوابانیدن، خاک مورد آبخویی گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان خوابانیدن ویژگی‌های شیمیایی خاک بهبود یافت. قبل از آبخویی تیمار گچ به میزان 100 درصد نیاز گچی و بدون کربن آلی مصرفی دارای بیشترین تأثیر در کاهش نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادلی و رس قابل انتشار بود. بیشترین مقدار تنفس میکروبی نیز از مصرف 3 درصد کربن آلی از منبع ضایعات میوه خرما بدون گچ مصرفی حاصل شد. مواد آلی قبل از آبخویی باعث ایجاد ویژگی‌های شیمیایی نامناسب از قبیل افزایش درصد سدیم تبادلی، نسبت جذب سدیم، و رس قابل انتشار در خاک سدیمی شد. پس از آبخویی، در همه تیمارها، pH نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادلی و رس قابل انتشار و هدایت هیدرولیکی کاهش یافت. تیمار 3 درصد کربن آلی از منبع ضایعات میوه خرما به همراه گچ به مقدار 100 درصد نیازگچی مؤثرترین تیمار برای اصلاح خاک سدیمی مورد مطالعه در این پژوهش بود. مواد آلی و گچ زمانی بیشترین تأثیر را در اصلاح خاک سدیمی داشتند که پس از خوابانیدن خاک به مدت 2 ماه، آبخویی صورت گرفت.

واژه‌های کلیدی: آبخویی نمک؛ تنفس میکروبی؛ درصد سدیم تبادلی؛ رس قابل انتشار، ضایعات آلی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه جیرفت - دانشکده کشاورزی - گروه علوم خاک

مقدمه

خاک‌های سدیمی به طور وسیعی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان گسترش یافته که دارای pH، درصد سدیم تبدلی و نسبت جذب سدیم زیاد و حاصلخیزی کمی هستند (ونگ و همکاران، 2010). غلظت زیاد کربنات و بی کربنات سدیم در این خاک‌ها از رشد گیاهان و فعالیت ریزجانداران جلوگیری می‌کند. خاک‌های شور و سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از وسعت قابل توجهی برخوردارند (بنایی، 2000) به طوری که وسعت خاک‌های متأثر از نمک در دنیا در حدود یک میلیون هکتار تخمین زده شده است و در آینده به دلیل مدیریت‌های ضعیف منابع خاک و آب افزایش می‌یابد (دهلاوی و همکاران، 2018؛ توٹ و همکاران 2008؛ وانگ و همکاران، 2010). خاک‌های متأثر از نمک به سه دسته شور، شور - قلیا و قلیا تقسیم‌بندی می‌شود اگر چه از نقطه نظر اصلاحی به دو دسته 1- خاک‌های شور و 2- خاک‌های شور - سدیمی و سدیمی تقسیم‌بندی می‌گردند (قدیر و همکاران، 2007). وجود سدیم زیاد سبب تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و سرعت حرکت آب در خاک، افزایش رواناب سطحی، کم شدن تهویه و در نهایت کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌گردد (قراییه و همکاران، 2010).

برای استفاده مؤثر از خاک‌های سدیمی باید ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نامناسب آن‌ها اصلاح شود. مواد مختلفی به منظور اصلاح خاک‌های سدیمی پیشنهاد شده است که می‌توان به برخی از آنها از قبیل افزودن گچ (امزکتا و همکاران، 2005) و مواد آلی (ونگ و همکاران، 2009) اشاره کرد. گچ به دلیل حفظ سطح الکترولیت و بهبود خواص فیزیکی (کرن، 1996) و همچنین داشتن قابلیت انحلال متوسط، هزینه کم و آسانی مصرف اغلب برای اصلاح خاک‌های سدیمی استفاده می‌شود (امزکتا و همکاران، 2005). کاربرد گچ در اصلاح خاک‌های سدیمی باعث تبادل سدیم تبدلی با کلسیم محلول و تولید سولفات سدیم محلول شده، که توسط آبشویی از خاک خارج می‌شوند (قدیر و همکاران، 2003). مواد آلی با تجزیه تدریجی در خاک و با افزایش جزئی گاز دی-اکسیدکربن موجب افزایش حلالیت ترکیبات معدنی دارای کلسیم شده، که نتیجه آن افزایش همآوری ذرات رس است (بارال و همکاران، 2007). ونگ و همکاران (2009) گزارش کردند که مصرف ترکیبات آلی توأم با گچ نسبت به کاربرد جداگانه آنها تأثیر بیشتری در کاهش درصد سدیم و افزایش نفوذپذیری خاک دارد. هانای و همکاران (2004) گزارش کردند که تأثیر مواد آلی بر برخی

ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های سدیمی ناچیز بود و بر نسبت جذب سدیم آنها اثر منفی داشت. بسیاری از پژوهشگران تکنولوژی ترکیب مواد آلی و معدنی را به- عنوان بهترین تیمارهای اصلاح‌کننده ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در خاک‌های سدیمی معرفی نموده- اند (بودایسوریان و همکاران، 2009؛ چاوم و همکاران، 2011). اصلاح خاک‌های شور و سدیمی از طریق آبشویی نیز توسط برخی از پژوهشگران انجام شده است (اختر و همکاران، 2003؛ آماری و همکاران، 2008). لبرون و همکاران (20002) پس از کاربرد گچ و آبشویی مشاهده کردند نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدلی کاهش یافت. در ایران علی رغم کم بودن مقدار ماده آلی و نامطلوب بودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سدیمی، مطالعه گسترده‌ای در این زمینه صورت نگرفته و تأثیر مواد آلی مختلف به تنهایی و همراه با سطوح مختلف گچ قبل و پس از آبشویی بر ویژگی‌های خاک‌های سدیمی ناشناخته است به همین دلیل هدف این پژوهش بررسی تأثیر مواد آلی مختلف به تنهایی و توأم با گچ قبل و پس از آبشویی بر ویژگی‌های یک خاک سدیمی است.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تأثیر استفاده از گچ به تنهایی و یا به همراه مواد آلی از منابع مختلف با نسبت های C:N متفاوت (جدول 2) به میزان 1/5 و 3 درصد کربن آلی (لاولند و وب، 2003) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی، پژوهشی گلدانی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با 27 تیمار و 3 تکرار در دانشگاه زنجان به اجرا درآمد.

نمونه خاک مورد مطالعه از استان همدان و غرب شهرستان ملایر (34°24' عرض شمالی و 48°36' طول شرقی با ارتفاع 1670 متر از سطح دریا) تهیه شد. از عمق صفر تا 30 سانتی متری نمونه خاک تهیه و به منظور اعمال تیمارهای آزمایشی به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه زنجان منتقل گردید. نتایج تجزیه خاک مورد مطالعه در جدول 1 گزارش شده است.

مواد آلی شامل بقایای گیاهی بودند که پس از تهیه در اندازه‌های 2 میلی متری آسیاب شدند و پس از اندازه-گیری کربن آلی به میزان 1/5 درصد کربن آلی از منبع یونجه (A_{1.5})، ضایعات میوه خرما (D_{1.5})، بقایای ذرت (C_{1.5})، خاک اره (S_{1.5}) و 3 درصد کربن آلی از منبع یونجه (A₃)، ضایعات میوه خرما (D₃)، بقایای ذرت (C₃)، خاک اره (S₃) به همراه یک تیمار شاهد [بدون کربن آلی (C₀)] که در مجموع 9 سطح کربن آلی به تنهایی و همراه با مصرف گچ به میزان صفر (G₀)، 50 (G₅₀) و 100

دستگاه فلیم فتومتر و دستگاه جذب اتمی و نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادلی (روبیس، 1984) با استفاده از رابطه‌های (2) و (3) به دست آمد.

(2)

$$SAR = \frac{Na}{\left(\frac{Ca+Mg}{2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

که در آن غلظت کاتیون‌های محلول بر حسب میلی اکوی والان بر لیتر است.

(3)

$$ESP = \frac{100(-0.0126+0.01475 \times SAR)}{1+(-0.0126+0.01475 \times SAR)}$$

هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت و با استفاده از قانون دارسی (کلوت و دریکسن، 1986)، و مقدار رس قابل انتشار با استفاده از روش رنگاسمی و همکاران (1984) تعیین گردید. گنجایش تبادل کاتیونی اولیه خاک به روش جایگزینی با استات سدیم و استات آمونیوم (باور و هاتچا، 1966)، میزان کربن آلی بقایا به روش والکلی و بلاک (1934) و میزان نیتروژن به روش برمنر و ملونسی (1982) اندازه‌گیری شد. همچنین تنفس میکروبی بلافاصله پس از اضافه کردن بقایا به خاک و به مدت 157 روز به روش پیچ و همکاران (1982) اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های مختلف توسط نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح 5 درصد انجام پذیرفت.

(G₁₀₀) درصد نیاز گچی در مجموع سه سطح گچ به گلدان‌های آزمایشی اضافه شدند. نیاز گچی از رابطه 1 حساب شد:

$$GR = \frac{ESP_i - ESP_f}{CEC} \times 100 \quad (1)$$

که در آن GR معادل نیازگچی برحسب میلی-اکی‌والان بر صدگرم خاک، ESP_f درصد سدیم تبادلی مورد انتظار که در این آزمایش 8 در نظر گرفته شد، ESP_i درصد سدیم تبادلی اولیه و CEC گنجایش تبادلی کاتیونی خاک برحسب میلی‌اکی‌والان بر صد گرم خاک است (برزگر، 2008).

گلدان‌های تهیه شده براساس تیمارهای آزمایشی، به مدت دو ماه در رطوبت گنجایش مزرعه‌ای در دمای 25 درجه سانتی‌گراد (سحروات، 1984) خوابانیده شدند. در چهار مرحله هر 15 روز یکبار و در مجموع به مدت 60 روز (T₁=15; T₂=30; T₃=45; T₄=60) از گلدان‌ها نمونه خاک تهیه و سپس پس از 60 روز مورد آبتیوی قرار گرفت و ویژگی‌های شیمیایی خاک از قبیل pH، درصد سدیم تبادلی، نسبت جذب سدیم و رس قابل انتشار قبل از آبتیوی و تمامی این صفات همراه با هدایت هیدرولیکی اشباع بعد از آبتیوی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. آبتیوی تنها یکبار با آبی به عمق معادل ضخامت خاک، 30 سانتی‌متر صورت گرفت (قدیر و همکاران، 3003). به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک مورد مطالعه، pH گل اشباع توسط pH متر، میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع توسط EC متر (کارتر و کروگوریچ، 2008). سدیم، کلسیم و منیزیم در عصاره گل اشباع (لانیون و هیلد، 1982) با

جدول 1- برخی از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه قبل از اعمال تیمارها

CEC (cmolc kg ⁻¹)	نسبت جذب سدیم	آهک کل (%)	کربن آلی (%)	EC (dS m ⁻¹)	بافت خاک	رس	سیلت (%)	شن
22/21	30/12	17/68	0/198	3/93	رسی	39/7	36/4	23/9

جدول 2- مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت C:N مواد آلی مورد مطالعه

مواد آلی	یونجه	ذرت	خرما	خاک اره
کربن آلی %	39/29	44/15	46/9	49/48
نیتروژن کل %	2/52	0/985	0/480	0/112
نسبت C:N	15/59	44/83	95/86	441/78

نتایج و بحث

در جدول 3 و نتایج تجزیه واریانس این عوامل پس از آبتیوی در جدول 4 آمده است.

نتایج تجزیه واریانس تأثیر کربن آلی، گچ و زمان و اثر متقابل آن‌ها بر ویژگی‌های خاک سدیمی قبل از آبتیوی

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی قبل از آبرویی

میانگین مربعات			درجه آزادی		منابع تغییرات
رس قابل انتشار (درصد)	درصد سدیم تبادلی	نسبت جذب سدیم محلول pH	درجه آزادی	منابع تغییرات	
262/57**	47/167**	69/448**	0/423**	3	زمان
212724/14**	1030/286**	1642/164**	11/25**	2	گچ
100/30**	25/484**	38/162**	1/382**	8	کربن آلی
2/65*	10/214**	12/729**	0/011**	6	گچ × زمان
0/1079 ^{ns}	0/157 ^{ns}	^{ns} 0/154	0/012**	24	کربن آلی × زمان
4/95**	3/823**	4/592**	0/111**	16	کربن آلی × گچ
0/2230 ^{ns}	0/238 ^{ns}	0/288 ^{ns}	0/001 ^{ns}	48	زمان × گچ × کربن آلی
1/25	3/66	1/034	0/053	162	خطا
2/75	3/86	5/92	0/72	-	ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی دار می‌باشند و ns معنی دار نمی‌باشد.

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی بعد از آبرویی

میانگین مربعات			درجه آزادی		منابع تغییرات	
هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر روز)	رس قابل انتشار (درصد)	درصد سدیم تبادلی	نسبت جذب سدیم محلول pH	درجه آزادی	منابع تغییرات	
8/195**	53157/49**	1361/68**	1617/32**	9/403**	2	گچ
0/368**	51/0232**	17/804**	21/94**	0/352**	8	کربن آلی
0/0336**	13/10**	1/01*	1/93*	0/019**	16	کربن آلی × گچ
0/0083	1/35	0/79	1/04	0/007	54	خطا
12/07	4/45	4/78	6/62	1/1	-	ضریب تغییرات

pH خاک

G_0T_1 حاصل شد (جدول 6). با گذشت زمان میزان تجزیه مواد آلی و انحلال مواد معدنی افزوده شده به خاک افزایش می‌یابد و به این ترتیب غلظت املاح در خاک افزایش یافته که این امر باعث افزایش قدرت یونی محلول خاک می‌شود که به نوبه خود روی هیدروژن تبادلی خاک تأثیر گذاشته و با آزادسازی آن باعث کاهش pH خاک می‌شود (ونگ و همکاران، 2009). ماکوئی ناکیدمی (2007) گزارش کردند که مصرف کود دامی، گچ و ترکیب کود دامی و گچ در سال واکنش خاک را به ترتیب 9/5، 3/9 و 14/7 درصد کاهش داد ولی در سال دوم میزان کاهش واکنش خاک به ترتیب 9، 26/2، 14/2 و 29/8 درصد بود. نتایج اثر متقابل گچ با نوع و مقدار کربن آلی نشان داد که کمترین مقدار pH خاک از تیمار $G_{100}D_3$ و بیشترین مقدار pH خاک از تیمار G_0C_0 حاصل شد که به ترتیب برابر با 7/57 و 8/92 بودند (جدول 7). اثر گچ در اصلاح خاک‌های سدیمی توسط پژوهش‌گران زیادی گزارش شده است. ونگ و همکاران (2009) گزارش کردند که در خاک‌های سدیمی پروتون‌های حاصل از واکنش‌های میکروبی، pH خاک را کاهش داد و باعث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی گچ، کربن آلی و زمان و اثر متقابل دو گانه این فاکتورها با هم بر روی pH خاک قبل از آبرویی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول 3). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد با افزایش زمان خوابانیدن خاک، مقدار pH خاک در همه تیمارها کاهش یافت. کمترین مقدار pH بعد از 60 روز خوابانیدن بدست آمد (شکل 1). کاربرد گچ و ماده آلی سبب کاهش معنی دار در pH خاک قبل از آبرویی شد. نتایج اثر متقابل زمان با نوع و مقدار ماده آلی نشان داد که کمترین (7/83) و بیشترین (8/48) مقدار pH خاک به ترتیب از تیمارهای T_4D_3 و T_1C_0 حاصل شد (جدول 5). بقایایی مانند خاک اره در این مطالعه تأثیری بر اصلاح خاک سدیمی نداشت که دلیل آن مقاومت زیاد به تجزیه میکروبی می‌باشد و برعکس ضایعات میوه خرما به دلیل تجزیه بیشتر نقش مؤثرتری در اصلاح خاک سدیمی داشت. نتایج اثر متقابل گچ با زمان نشان داد که بیشترین مقدار در کاهش pH خاک از تیمار $G_{100}T_4$ و کمترین مقدار در کاهش pH خاک از تیمار

آبشویی از تیمار G_0C_0 حاصل شد که به ترتیب برابر با 6/94 و 8/70 بودند (جدول 8). اثر آبشویی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی توسط پژوهش‌گران زیادی گزارش شده است. لبرون و همکاران (2002) کاهش pH و اصلاح یک خاک سدیمی را در کوتاه مدت با کاربرد گچ و پس از آبشویی به دفعات زیاد گزارش کردند. کاربرد مواد آلی همراه با گچ باعث بهبود ساختمان خاک و تسریع عمل آبشویی و خروج سدیم از خاک طی عملیات آبشویی می‌شود. با افزایش مقدار کلسیم محلول خاک عمل تبادل کلسیم با سدیم بیشتر صورت گرفته و سدیم تبدلی به صورت نمک‌های محلول سولفات سدیم، کربنات و بی کربنات سدیم از محلول خاک در اثر شست و شو خارج می‌شود که این امر باعث کاهش واکنش خاک می‌شود (چروم و رنگاسمی، 1997).

افزایش حلالیت کربنات کلسیم موجود در خاک شد همچنین گزارش کردن که در یک خاک شور و سدیمی مقدار pH خاک در اثر کاربرد گچ کاهش یافت و تأثیر توأم مواد آلی با گچ باعث کاهش بیشتر این ویژگی شد. چرم و رنگاسمی (1997) گزارش کردند که واکنش خاک‌های بسیار قلیایی ($pH > 8/5$) در اثر کاربرد توأم گچ و کود سبز در مقایسه با گچ یا کود سبز به تنهایی، به علت تولید پروتون‌های بیشتر در محلول خاک کاهش بیشتری داشت. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی گچ و کربن آلی و اثر متقابل دو گانه این فاکتورها با هم بر روی pH خاک پس از آبشویی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 4). نتایج نشان داد که pH خاک پس از کاربرد گچ و کربن آلی پس از آبشویی در همه تیمارها کاهش یافت. کمترین مقدار pH خاک از تیمار $G_{100}D_3$ و بیشترین مقدار pH خاک پس از

جدول 5- اثر متقابل زمان و نوع و مقدار کربن آلی بر pH خاک سدیمی قبل از آبشویی

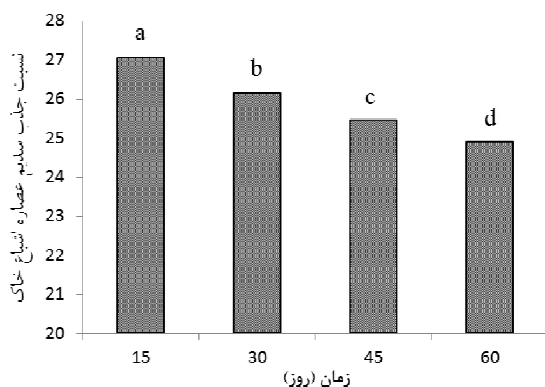
تیمار	pH	تیمار	pH	تیمار	pH	تیمار	pH
T_1C_0	8/48 ^a	T_2C_0	8/44 ^{a-c}	T_3C_0	8/42 ^{bc}	T_4C_0	8/40 ^{cd}
$T_1D_{1.5}$	8/17 ^{ih}	$T_2D_{1.5}$	8/06 ^{lm}	$T_3D_{1.5}$	8/01 ^{mn}	$T_4D_{1.5}$	7/94 ^{op}
T_1D_3	8/05 ^{lm}	T_2D_3	7/92 ^{pq}	T_3D_3	7/87 ^{pq}	T_4D_3	7/83 ^r
$T_1A_{1.5}$	8/25 ^{ef}	$T_2A_{1.5}$	8/17 ^{ih}	$T_3A_{1.5}$	8/11 ^l	$T_4A_{1.5}$	8/05 ^{lm}
T_1A_3	8/15 ^{h-j}	T_2A_3	8/06 ^{lm}	T_3A_3	7/98 ^{no}	T_4A_3	7/86 ^q
$T_1C_{1.5}$	8/35 ^d	$T_2C_{1.5}$	8/29 ^e	$T_3C_{1.5}$	8/24 ^{e-g}	$T_4C_{1.5}$	8/20 ^{f-h}
T_1C_3	8/26 ^{ef}	T_2C_3	8/19 ^{g-h}	T_3C_3	8/13 ^{f-j}	T_4C_3	8/09 ^{kl}
$T_1S_{1.5}$	8/47 ^{ab}	$T_2S_{1.5}$	8/43 ^{a-c}	$T_3S_{1.5}$	8/41 ^{bc}	$T_4S_{1.5}$	8/40 ^{cd}
T_1S_3	8/47 ^{ab}	T_2S_3	8/42 ^{bc}	T_3S_3	8/42 ^{bc}	T_4S_3	8/39 ^{cd}

حروف مشابه هر ردیف نشانگر عدم تفاوت در سطح 5 درصد می‌باشد.

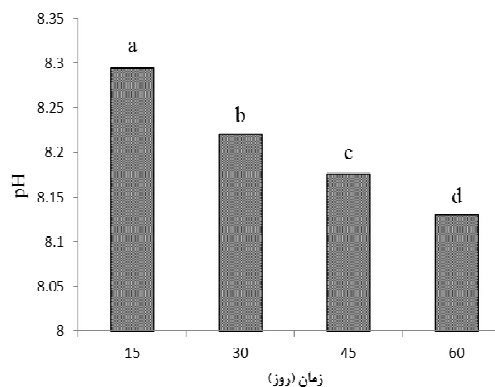
بقایای یونجه به میزان 1/5 و 3 درصد کربن آلی} $C_3, C_{1.5}$: به ترتیب بقایای ذرت به میزان 1/5 و 3 درصد کربن آلی} $S_3, S_{1.5}$: به ترتیب خاک اره به میزان 1/5 و 3 درصد کربن آلی}

T_4, T_3, T_2, T_1 : به ترتیب 15، 30، 40 و 60

روز پس از اعمال تیمارها} C_0 : بدون کربن آلی
 مصرفی} $D_3, D_{1.5}$: به ترتیب ضایعات میوه خرما به میزان 1/5 و 3 درصد کربن آلی} $A_3, A_{1.5}$: به ترتیب



شکل 2- نسبت جذب سدیم در بازه‌های زمانی مختلف



شکل 1- pH خاک در بازه‌های زمانی مختلف

جدول 6- اثرات متقابل سطوح مختلف گچ و زمان بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک خاک سدیمی

نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	تیما
pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	تیما
8/61 ^a	30/23 ^a	30/22 ^a	8/12 ^f	25/32 ^c	93/58 ^a	8/61 ^a	30/23 ^a	30/22 ^a	G ₅₀ T3
8/56 ^b	29/94 ^{ab}	30/02 ^{ab}	8/07 ^g	24/89 ^c	92/12 ^b	8/56 ^b	29/94 ^{ab}	30/02 ^{ab}	G ₅₀ T4
8/52 ^c	29/73 ^{ab}	29/87 ^{ab}	8/03 ^h	24/12 ^f	90/89 ^c	8/52 ^c	29/73 ^{ab}	29/87 ^{ab}	G ₁₀₀ T1
8/5 ^e	29/55 ^b	29/73 ^b	7/93 ⁱ	22/58 ^g	90/29 ^c	8/5 ^e	29/55 ^b	29/73 ^b	G ₁₀₀ T2
8/24 ^d	26/79 ^c	27/66 ^c	7/87 ^j	21/29 ^h	21/83 ^d	8/24 ^d	26/79 ^c	27/66 ^c	G ₁₀₀ T3
8/17 ^e	25/96 ^d	27/01 ^d	7/82 ^k	20/29 ⁱ	19/83 ^e	8/17 ^e	25/96 ^d	27/01 ^d	G ₁₀₀ T4

G₁₀₀, G₅₀, G₀: به ترتیب صفر، 50 و 100 درصد نیاز گچی

جدول 7- اثر سطوح گچ و نوع و مقدار کربن آلی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی قبل از آبشویی

نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	تیما
pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	تیما
8/92 ^a	29/18 ^d	29/46 ^c	8/22 ^f	26/75 ^{ef}	90/63 ^c	8/92 ^a	29/18 ^d	29/46 ^c	G ₅₀ C _{1.5}
8/35 ^d	29/09 ^d	29/39 ^c	8/14 ^g	26/87 ^c	90/50 ^c	8/35 ^d	29/09 ^d	29/39 ^c	G ₅₀ C ₃
8/20 ^f	29/83 ^{b-d}	29/94 ^{a-c}	8/28 ^e	24/72 ^{ij}	91/45 ^c	8/20 ^f	29/83 ^{b-d}	29/94 ^{a-c}	G ₅₀ S _{1.5}
8/41 ^c	29/73 ^{b-d}	29/87 ^{a-c}	8/28 ^e	24/89 ^{h-j}	91/40 ^c	8/41 ^c	29/73 ^{b-d}	29/87 ^{a-c}	G ₅₀ S ₃
8/28 ^e	30/36 ^{a-c}	30/31 ^{ab}	8/11 ^g	20/06 ^m	92/45 ^b	8/28 ^e	30/36 ^{a-c}	30/31 ^{ab}	G ₁₀₀ C ₀
8/55 ^b	30/57 ^{ab}	30/47 ^a	7/76 ^k	21/65 ^l	93/27 ^{ab}	8/55 ^b	30/57 ^{ab}	30/47 ^a	G ₁₀₀ D _{1.5}
8/45 ^c	30/83 ^a	30/65 ^a	7/57 ^l	22/65 ^k	94/07 ^a	8/45 ^c	30/83 ^a	30/65 ^a	G ₁₀₀ D ₃
8/90 ^a	29/39 ^{cd}	29/61 ^{bc}	7/91 ^j	22/28 ^{kl}	90/80 ^c	8/90 ^a	29/39 ^{cd}	29/61 ^{bc}	G ₁₀₀ A _{1.5}
8/89 ^a	29/78 ^{b-d}	29/90 ^{a-c}	7/72 ^k	23/14 ^k	90/89 ^c	8/89 ^a	29/78 ^{b-d}	29/90 ^{a-c}	G ₁₀₀ A ₃
8/28 ^e	24/54 ^{ij}	25/88 ^h	8/04 ^h	24/15 ^j	17/68 ^h	8/28 ^e	24/54 ^{ij}	25/88 ^h	G ₁₀₀ C _{1.5}
8/03 ^h	25/37 ^{j-i}	26/54 ^{f-h}	7/90 ^j	24/31 ^j	18/74 ^{f-h}	8/03 ^h	25/37 ^{j-i}	26/54 ^{f-h}	G ₁₀₀ C ₃
7/96 ⁱ	26/27 ^{e-g}	27/26 ^{d-f}	8/12 ^g	20/11 ^m	19/42 ^{fe}	7/96 ⁱ	26/27 ^{e-g}	27/26 ^{d-f}	G ₁₀₀ S _{1.5}
8/12 ^g	25/81 ^{f-h}	26/90 ^{e-g}	8/10 ^g	20/25 ^m	18/93 ^{fg}	8/12 ^g	25/81 ^{f-h}	26/90 ^{e-g}	G ₁₀₀ S ₃
8/03 ^h	26/42 ^{ef}	27/37 ^{ed}			20/11 ^{ed}	8/03 ^h	26/42 ^{ef}	27/37 ^{ed}	G ₅₀ A ₃

حروف مشابه هر ردیف نشانگر عدم تفاوت در سطح 5 درصد می‌باشد.

جدول 8- اثر سطوح گچ و نوع و مقدار کربن آلی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی پس از آبشویی.

نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	نسبت جذب	درصد سدیم	رس قابل جذب	تیما
pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	pH	سدیم محلول	انتشار (درصد)	تیما
8/70 ^a	29/92 ^a	29/99 ^a	7/53 ^{gh}	19/69 ^e	0/021 ⁿ	8/70 ^a	29/92 ^a	29/99 ^a	G ₅₀ C _{1.5}
8/13 ^{cd}	25/09 ^{cd}	26/33 ^{cd}	7/43 ^{gh}	20/11 ^e	0/2743 ^l	8/13 ^{cd}	25/09 ^{cd}	26/33 ^{cd}	G ₅₀ C ₃
7/95 ^e	24/04 ^d	25/48 ^d	7/62 ^f	20/44 ^e	0/307 ^l	7/95 ^e	24/04 ^d	25/48 ^d	G ₅₀ S _{1.5}
8/21 ^c	25/66 ^{b-d}	26/78 ^{b-d}	7/67 ^f	19/86 ^e	0/2557 ^l	8/21 ^c	25/66 ^{b-d}	26/78 ^{b-d}	G ₅₀ S ₃
8/06 ^{de}	25/66 ^{b-d}	26/78 ^{b-d}	7/39 ^{g-j}	12/69 ^h	0/294 ^l	8/06 ^{de}	25/66 ^{b-d}	26/78 ^{b-d}	G ₁₀₀ C ₀
8/39 ^b	26/78 ^{bc}	27/66 ^{bc}	7/13 ^{mn}	10/19 ^{ij}	0/1543 ⁿ	8/39 ^b	26/78 ^{bc}	27/66 ^{bc}	G ₁₀₀ D _{1.5}
8/28 ^{bc}	27/29 ^b	28/05 ^b	6/94 ^o	9/36 ^j	0/1917 ^m	8/28 ^{bc}	27/29 ^b	28/05 ^b	G ₁₀₀ D ₃
8/69 ^a	29/64 ^a	29/80 ^a	7/20 ⁿ	11/48 ^{hi}	0/0484 ^m	8/69 ^a	29/64 ^a	29/80 ^a	G ₁₀₀ A _{1.5}
8/66 ^a	29/77 ^a	29/88 ^a	7/06 ^{no}	10/67 ^{ij}	0/0591 ^m	8/66 ^a	29/77 ^a	29/88 ^a	G ₁₀₀ A ₃
7/65 ^f	20/78 ^e	22/70 ^e	7/32 ^{h-l}	7/32 ^{h-l}	0/576 ^k	7/65 ^f	20/78 ^e	22/70 ^e	G ₁₀₀ C _{1.5}
7/36 ^{h-k}	17/33 ^g	19/54 ^h	7/23 ^{jm}	7/23 ^{jm}	0/8957 ^{f-i}	7/36 ^{h-k}	17/33 ^g	19/54 ^h	G ₁₀₀ C ₃
7/22 ^{k-m}	16/90 ^g	19/13 ^h	7/36 ^{h-k}	7/36 ^{h-k}	1/152 ^{de}	7/22 ^{k-m}	16/90 ^g	19/13 ^h	G ₁₀₀ S _{1.5}
7/42 ^{g-i}	19/22 ^{ef}	21/30 ^{fg}	7/35 ^{h-l}	7/35 ^{h-l}	0/8457 ^{s-i}	7/42 ^{g-i}	19/22 ^{ef}	21/30 ^{fg}	G ₁₀₀ S ₃
7/27 ^{i-m}	17/91 ^g	20/09 ^{gh}			1/026 ^{ef}	7/27 ^{i-m}	17/91 ^g	20/09 ^{gh}	G ₅₀ A ₃

حروف مشابه هر ردیف نشانگر عدم تفاوت در سطح 5 درصد می‌باشد.

نسبت جذب سدیم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی زمان، گچ و کربن آلی و زمان و اثرات متقابل گچ با زمان و کربن آلی با گچ بر روی نسبت جذب سدیم خاک قبل از آبخوبی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). نتایج نشان داد با افزایش زمان خوابانیدن خاک، نسبت جذب سدیم خاک در همه تیمارها کاهش یافت. بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم در 15 روز اول خوابانیدن و کمترین مقدار آن در 60 روز پایانی خوابانیدن بدست آمد که به ترتیب برابر 27/04 و 24/90 بود (شکل 2). گچ انحلال پذیری کمی دارد و به زمان بیشتری برای اصلاح خاک سدیمی نیاز دارد. با گذشت زمان حلالیت گچ افزایش یافته و در نتیجه نسبت جذب سدیم کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد گچ سبب کاهش معنی‌دار نسبت جذب سدیم خاک و کاربرد مواد آلی سبب افزایش درصد سدیم تبادل قبل از آبخوبی شد. هانای و همکاران (2004) بیان کردند افزایش مواد آلی خاک، سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌گردد و در نتیجه امکان جذب کاتیون‌ها در سطوح تبدالی افزایش می‌یابد. که این امر سبب جذب سطحی شدن یون کلسیم توسط ترکیبات آلی و کاهش غلظت آن در محلول خاک می‌باشد. نتایج اثر متقابل گچ و زمان نشان داد که با گذشت زمان تأثیر گچ در کاهش نسبت جذب سدیم خاک بیشتر بود که کمترین مقدار نسبت جذب سدیم خاک از تیمار T_4G_{100} و بیشترین مقدار آن از تیمار T_1G_0 حاصل شد که به ترتیب 20/29 و 30/23 بودند (جدول 6). گچ انحلال‌پذیری کمی دارد و به زمان بیشتری برای اصلاح خاک سدیمی نیاز دارد با گذشت زمان حلالیت گچ افزایش یافته و در نتیجه نسبت جذب سدیم کاهش می‌یابد (شارما و همکاران، 2016).

گچ باعث افزایش غلظت یون کلسیم در محلول خاک می‌شود که می‌تواند با سدیم تبدالی جایگزین شود و باعث تشکیل سولفات سدیم در خاک گردد این نمک محلول بوده و می‌تواند از خاک شسته شود. افزودن گچ، نسبت جذب سدیم را کاهش می‌دهد و در جایگزینی و حذف سدیم شرکت می‌کند (سیلورتوس و نورتون، 2000). نتایج اثر متقابل گچ با نوع و مقدار کربن آلی مصرفی نشان داد که کمترین مقدار نسبت جذب سدیم از تیمار $G_{100}C_0$ و بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم از تیمار G_0C_3 به دست آمد که به ترتیب برابر با 20/06 و 30/82 بودند (جدول 7). تأثیر گچ در کاهش مقدار نسبت جذب سدیم توسط پژوهشگران زیادی گزارش شده است (فرانزن و ریچاردسون، 2000؛ بدناز، 2007). برزگر و

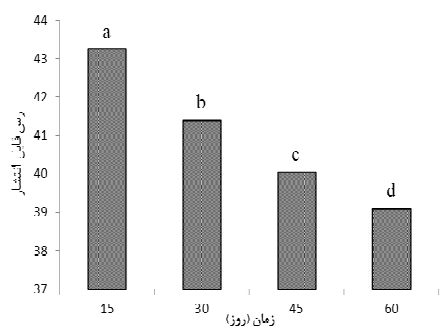
همکاران (1997) و اودایاسوریان و همکاران (2009) گزارش کردند که افزودن مواد آلی به خاک‌هایی با مقدار سدیم بالا، باعث افزایش نسبت جذب سدیم عصاره اشباع شد. افزودن بقایای گیاهی و ضایعات آلی به خاک سدیمی در این مطالعه باعث افزایش جزئی نسبت جذب سدیم عصاره اشباع گردید. که این امر احتمالاً به دلیل کمپلکس و جذب سطحی شدن یون کلسیم توسط ترکیبات آلی و کاهش غلظت آن در محلول خاک می‌باشد (والکر و برنال، 2008).

اگرچه در همه تیمارهایی که حاوی گچ و مواد آلی بودند نسبت جذب سدیم نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته بود ولی این ویژگی نسبت به تیمارهایی که فقط حاوی گچ بودند کاهش بیشتری داشت. ونگ و همکاران (2010) در خصوص اصلاح خاک‌های شور و سدیمی توسط مواد آلی گزارش کردند که افزودن ماده آلی باعث افزایش نسبت جذب سدیم در این خاک‌ها شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی گچ و کربن آلی بر روی نسبت جذب سدیم پس از آبخوبی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دو گانه این عوامل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 4). نتایج نشان داد که نسبت جذب سدیم خاک پس از آبخوبی در همه تیمارها کاهش یافت. کمترین مقدار نسبت جذب سدیم خاک پس از آبخوبی از تیمار $G_{100}D_3$ و بیشترین مقدار آن از تیمار G_0C_0 حاصل شد که به ترتیب برابر با 9/36 و 29/92 بودند (جدول 8). کوثر و محمد (1972) یک خاک سدیمی را پس از کاربرد گچ با استفاده از آبخوبی در دفعات زیاد و بلند مدت اصلاح کردند. نتایج بدست آمده نشان دهنده کاهش نسبت جذب سدیم بود. لبرون و همکاران (2002) گزارش نمودند که پس از کاربرد گچ و آبخوبی خاک، مقدار نسبت جذب سدیم کاهش یافت. یزدان پناه و محمود آبادی (2011) بیان کردند که آبخوبی خاک‌های شور و سدیمی پس از افزودن گچ و مواد آلی موجب شسته شدن مقدار زیادی سدیم از خاک شد که باعث کاهش نسبت جذب سدیم خاک گردید.

درصد سدیم تبدالی

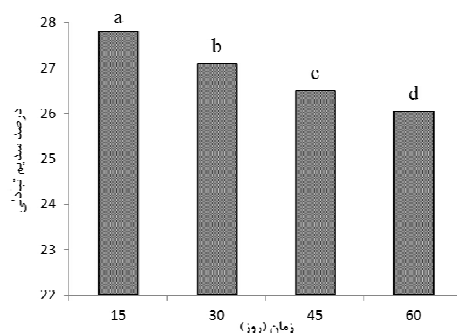
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی گچ، کربن آلی و زمان و اثر متقابل گچ با زمان و کربن آلی با گچ بر روی درصد سدیم تبدالی خاک قبل از آبخوبی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). نتایج حاکی از این بود که با افزایش زمان خوابانیدن خاک، درصد سدیم تبدالی خاک در همه تیمارها کاهش یافت. بیشترین مقدار درصد سدیم تبدالی در 15 روز اول

نشان داد که اثرات اصلی گچ و کربن آلی بر روی درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 4). کاربرد گچ و کربن آلی باعث کاهش درصد سدیم تبادلی خاک پس از آبشویی شد. کمترین مقدار درصد سدیم تبادلی از تیمار $G_{100}D_3$ و بیشترین مقدار آن از تیمار $G_{50}C_0$ حاصل شد که به ترتیب برابر با 11/13 و 29/99 درصد بودند (جدول 8). آبشویی خاک سبب شستن سدیم تبادلی از خاک می‌شود که نتیجه آن کاهش درصد سدیم تبادلی خاک بود. احمد و همکاران (2006) گزارش کردند که کاربرد گچ تنها موقعی توانست سودمند باشد که آبشویی خاک‌های شور و سدیمی طی دوره احیا صورت گرفت. یزدان پناه و محمودآبادی (2011) گزارش کردند که آبشویی خاک‌های شور و سدیمی پس از افزودن گچ و اسید سولفوریک به همراه ترکیبات آلی مانند کود گاوی و تفاله پسته موجب کاهش 73/6 تا 90/6 درصدی در درصد سدیم تبادلی خاک شد و تفاله پسته اثر مطلوب-تری در کاهش درصد سدیم تبادلی خاک داشت. در این مطالعه در برخی از تیمارهای گچ با مواد آلی نسبت جذب سدیم به زیر 13 و درصد سدیم تبادلی به زیر 15 کاهش یافت. کاربرد مواد اصلاحی زمانی می‌تواند مؤثر باشد که خاک در فواصل زمانی معینی آبشویی شود تا سدیم بتواند از پروفیل خاک شسته شود، در غیر این صورت کاربرد مواد اصلاحی ممکن است بی‌فایده باشد و منجر به افزایش ویژگی‌های نامناسب خاک سدیمی شود (احمد و همکاران، 2006؛ کونوی، 2001).



شکل 4- رس قابل انتشار در بازه‌های زمانی مختلف

خوابانیدن و کمترین مقدار آن در 60 روز پایانی خوابانیدن بدست آمد که به ترتیب برابر 26/04 و 27/80 بود (شکل 3). کاربرد گچ سبب کاهش معنی‌دار درصد سدیم تبادلی خاک قبل از آبشویی و افزودن بقایای گیاهی باعث افزایش آن شد. نتایج اثر متقابل گچ و زمان نشان داد که کمترین مقدار درصد سدیم تبادلی خاک از تیمار T_1G_0 حاصل شد که به ترتیب 22/24 و 30/22 درصد بودند (جدول 6). با گذشت زمان و افزایش انحلال‌پذیری گچ، کلسیم محلول جایگزین سدیم تبادلی خاک می‌شود که نتیجه آن کاهش درصد سدیم تبادلی خاک می‌باشد. ماکوئی و ناکیدمی (2007) نشان دادند که در مطالعه‌ای تیمارهای کود دامی، گچ و ترکیب کود دامی و گچ در سال اول آزمایش، نسبت جذب سدیم خاک را به ترتیب 30/4، 30/3 و 30/4 درصد کاهش دادند و در سال دوم این مقادیر به ترتیب 79/8، 69/1 و 86/6 درصد بودند و نتایج این پژوهش با پژوهش ماکوئی و ناکیدمی (2007) و در سال اول مطابقت دارد. نتایج اثر متقابل گچ با نوع و مقدار کربن آلی مصرفی نشان داد کمترین مقدار درصد سدیم تبادلی خاک از تیمار $G_{100}C_0$ و بیشترین مقدار آن از تیمار G_0C_3 به دست آمد که به ترتیب برابر با 22/03 و 29/4 درصد بودند (جدول 7). تجدا و گزالس (2006) نشان دادند که با مصرف کمپوست چغندر قند به عنوان ماده اصلاح کننده در یک خاک سدیمی، درصد سدیم تبادلی خاک افزایش یافت. وانس و همکاران (1987) گزارش کردند که افزودن مواد آلی به خاک‌های سدیمی، باعث افزایش درصد سدیم تبادلی خاک شد که با نتایج بدست آمده در این آزمایش هماهنگی دارد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها



شکل 3- درصد سدیم تبادلی در بازه‌های زمانی مختلف رس قابل انتشار

سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول 3). با افزایش زمان خوابانیدن خاک، درصد رس قابل انتشار خاک در همه تیمارها کاهش یافت. بیشترین مقدار رس قابل انتشار در 15 روز اول خوابانیدن و کمترین مقدار آن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی گچ، کربن آلی و زمان و اثر متقابل کربن آلی با گچ بر روی درصد رس قابل انتشار خاک قبل از آبشویی خاک در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل گچ با زمان در

نشان می‌دهد. جلالی و همکاران (2009) با کاربرد گچ در خاک‌های شور و سدیمی نشان دادند که درصد سدیم تبادل‌ی پس از اعمال آبشویی به طور معنی‌داری کاهش یافت که نتیجه آن کاهش درصد رس قابل انتشار بود.

هدایت هیدرولیکی اشباع

اثر نوع و مقدار کربن آلی و گچ و اثر متقابل آن‌ها بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پس از آبشویی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول 4). مصرف گچ و کربن آلی پس از آبشویی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را به طور معنی‌داری افزایش داد. بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع پس از آبشویی خاک از تیمار $G_{100}D_3$ و کمترین مقدار آن از تیمار G_0C_0 به دست آمد که به ترتیب برابر با $1/824$ و $0/021$ متر بر روز بودند (جدول 8). علت افزایش میزان هدایت هیدرولیکی خاک، نقش گچ و مواد آلی در پیوند ذرات خاک می‌باشد. اضافه کردن گچ باعث پیوند بین رس‌های خاک می‌شود و مانع از پراکنش رس‌ها در خاک می‌شود و به حفظ و پایداری تخلخل‌های درشت کمک می‌کند که نتیجه همه این موارد افزایش میزان هدایت هیدرولیکی خاک‌های سدیمی است (قدیر و همکاران، 2001). ویلسون و همکاران (2001) و ریتز و هاینس (2003) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که افزودن مواد آلی و مواد معدنی نظیر گچ و سولفات آلومینیوم می‌تواند باعث پیوند رس‌ها به یکدیگر شده و خاکدانه‌های پایدار ایجاد نمایند که این پیوندها از انتشار رس‌ها جلوگیری کرد و باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک شد. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد توأم گچ و مواد آلی در افزایش هدایت هیدرولیکی خاک مؤثرتر از کاربرد جداگانه این مواد بود. علت این افزایش کاهش نسبت جذب سدیم پس از آبشویی خاک بود که با کاهش رس قابل انتشار باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک شده باشد. مسنیال و همکاران (1986) نشان دادند که افزایش نسبت جذب سدیم باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک در خاک‌های با رس 2:1 شد. حسین و همکاران نیز (2001) گزارش کردند که بیشترین افزایش در میزان هدایت هیدرولیکی از تیمار ترکیبی گچ، اسید سولفوریک و کود دامی حاصل شد.

تنفس میکروبی

مقدار کربن متصاعد شده بصورت گاز دی‌اکسیدکربن که بیانگر تنفس میکروبی و یا به عبارتی نشان دهنده مقدار معدنی شدن کربن آلی خاک است، با گذشت زمان افزایش یافت. شدت تنفس میکروبی در 8 روز اول زیاد ولی با گذشت زمان از مقدار آن کاسته شد. تجزیه مواد

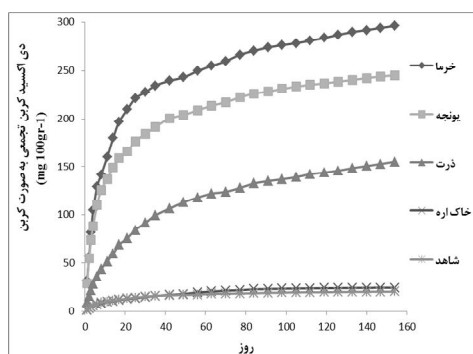
در 60 روز پایانی خوابانیدن بدست آمد که به ترتیب برابر $43/25$ و $39/09$ درصد بود (شکل 4). کاربرد گچ سبب کاهش معنی‌دار رس قابل انتشار خاک قبل از آبشویی خاک و افزودن بقایای گیاهی باعث افزایش آن شد. نتایج اثر متقابل گچ و زمان نشان داد که با افزایش زمان کاربرد گچ رس قابل انتشار کاهش یافت. کمترین مقدار رس قابل انتشار از تیمار T_4G_{100} و بیشترین مقدار آن از تیمار T_1G_0 حاصل شد که به ترتیب $9/66$ و $93/58$ درصد بودند (جدول 6). فرزن و ریچاردسون (2000) به نقش متعدد گچ در اصلاح و بهبود ویژگی‌های خاک‌های سدیمی از جمله کاهش میزان رس قابل انتشار اشاره نمودند. نتایج اثر متقابل گچ و نوع و مقدار کربن آلی نشان داد که کمترین مقدار رس قابل انتشار خاک قبل از آبشویی از تیمار $G_{100}C_0$ و بیشترین مقدار آن از تیمار G_0C_3 به دست آمد که به ترتیب برابر با $9/12$ و $94/07$ درصد بودند (جدول 7).

گچ با کاهش واکنش خاک، افزایش غلظت الکترولیت در محلول خاک، کاهش غلظت یون‌های کربنات و بی-کربنات و در نتیجه جلوگیری از رسوب یون کلسیم به صورت کربنات کلسیم، نقش مهمی در کاهش رس قابل انتشار دارد (التایف و قریبه، 2008). مواد آلی می‌تواند باعث کاهش یا افزایش مقدار رس قابل انتشار شود. بدین صورت که آنیون‌های آلی با افزایش بار منفی ذرات رس و همچنین با کمپلکس کردن کاتیون کلسیم و کاتیون‌های چند ظرفیتی مانند آلومینیوم و در نتیجه کاهش فعالیت آن‌ها در محلول خاک، انتشار رس‌ها را افزایش می‌دهند (نلسون و ادس، 1998). در این مطالعه افزودن مواد آلی باعث افزایش رس قابل انتشار گردید.

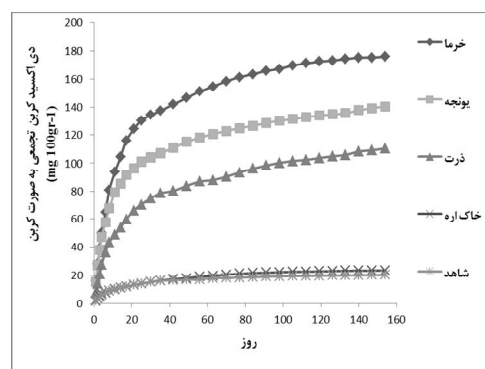
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی گچ و کربن آلی و اثر متقابل آن‌ها بر روی درصد رس قابل انتشار خاک پس از آبشویی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 4). کاربرد گچ و مواد آلی باعث کاهش رس قابل انتشار پس از آبشویی خاک شد. پس از آبشویی خاک، کمترین مقدار درصد رس قابل انتشار از تیمار $G_{100}D_3$ و بیشترین مقدار آن از تیمار G_0C_0 حاصل شد که به ترتیب برابر با $2/13$ و $91/13$ درصد بودند (جدول 8). نلسون و همکاران (1999) گزارش کردند یک رابطه مثبت و معنی‌داری بین میزان رس قابل انتشار و درصد سدیم تبادل‌ی خاک وجود دارد مواد آلی با بهبود ساختمان خاک و تسریع در عمل آبشویی باعث کاهش درصد سدیم تبادل‌ی و در نهایت کاهش رس قابل انتشار در خاک می‌شوند. که مقدار رس قابل انتشار در تیمارهای حاوی گچ و مواد آلی این مطلب را به روشنی

بقایای گیاهی غنی از هیدرات‌های کربن با سرعت زیاد و برعکس بقایای گیاهی غنی از لیگنین با سرعت کم تجزیه می‌شوند که میزان دی‌اکسیدکربن کربن متصاعد شده در ضایعات میوه خرما و خاک اره که به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بودند این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. با مقایسه تنفس میکروبی تیمارهای حاوی گچ به تنهایی و حاوی ضایعات آلی همراه با گچ مشاهده شد که اضافه نمودن گچ شدت تنفس را کاهش داد اما در ضایعات آلی زود تجزیه شونده مانند خرما شدت تنفس بیشتر از ضایعات با سرعت تجزیه پایین مانند خاک اره بود. کیفیت بقایا که خود کنترل کننده تجزیه پذیری آنهاست بستگی به میزان کربوهیدرات‌های محلول، اسیدهای آمینه، پلی فنل‌های فعال، لیگنین، عناصر غذایی و نسبت کربن به عناصر غذایی دارد (هاندایانتو و کادیش، 1995). تریپاتای و همکاران (2006) گزارش کردند که شوری باعث کاهش تنفس میکروبی شد ولی عوامل دیگری از جمله فراهمی سوستر اثر چشم‌گیری بر میزان تنفس میکروبی خاک در سطوح بالای شوری داشت و از کاهش تنفس میکروبی در اثر شوری، جلوگیری کرد.

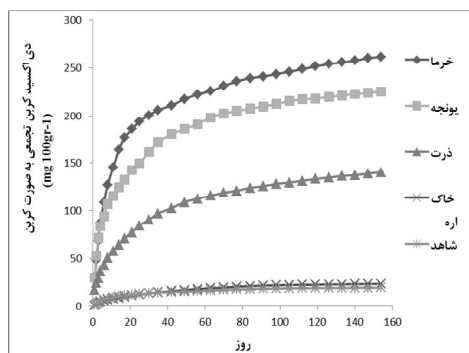
آلی افزوده شده به خاک در هر عمقی از خاک در اوایل دوره با سرعت بیشتری انجام می‌شود، که احتمالاً به دلیل وجود مواد سهل‌التجزیه در مواد آلی می‌باشد، ولی به مرور زمان به دلیل کاهش این مواد سرعت تجزیه کاهش می‌یابد (کولینس و همکاران، 1990). بیشترین میزان دی‌اکسیدکربن متصاعد شده به صورت تجمعی پس از گذشت 157 روز از تیمار 3 درصد کربن آلی از منبع ضایعات میوه خرما و بدون گچ مصرفی حاصل شد که برابر با 296/34 گرم کربن بود (شکل 6). کمترین میزان تنفس میکروبی از تیمارهای شاهد و 1/5 و 3 درصد کربن آلی از منبع خاک اره بدست آمد. با افزایش میزان کربن آلی از 1/5 به 3 درصد به جز در خاک اره میزان تنفس میکروبی افزایش چشم‌گیری داشت (شکل‌های 5، 7، 8، 9، 10). با افزایش میزان مصرف گچ میزان تنفس میکروبی کاهش یافت. ونگ و همکاران (2009) در بررسی اثر گچ و مواد آلی بر میزان تنفس میکروبی در یک خاک شور و سدیمی کمترین میزان تنفس میکروبی را در خاک بدون مواد آلی و بیشترین میزان آن را در تیمارهای حاوی مواد آلی گزارش نمودند. ابوت و مرفی (2003) گزارش کردند



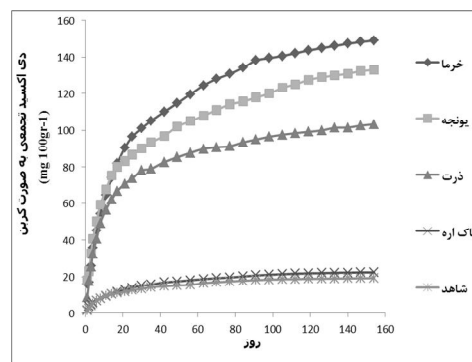
شکل 6- میزان کربن متصاعد شده از تیمارهای حاوی 3 کربن آلی از منابع مختلف و بدون گچ



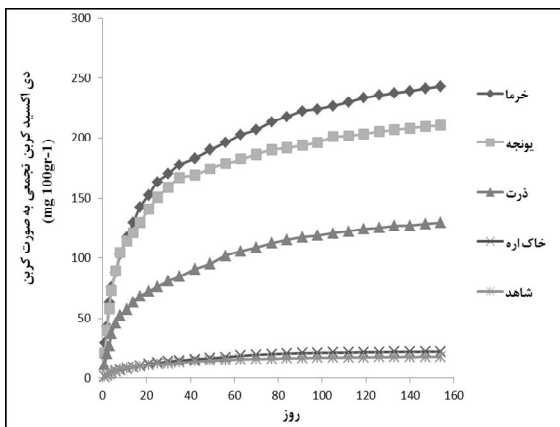
شکل 5- میزان کربن متصاعد شده از تیمارهای حاوی 1/5 درصد از منابع مختلف و بدون گچ



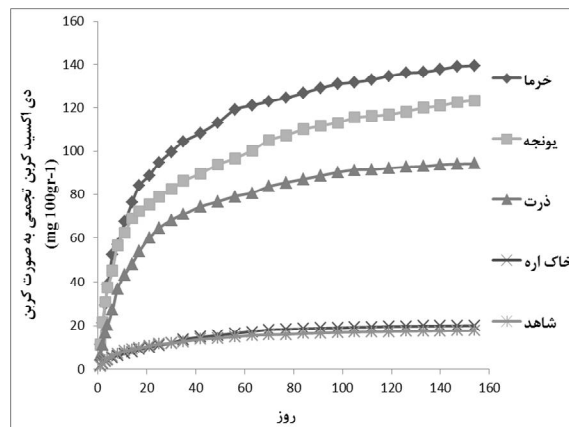
شکل 8- میزان کربن متصاعد شده از تیمارهای حاوی 3 درصد کربن آلی از منابع مختلف و گچ به میزان گچی 50 درصد نیاز گچی



شکل 7- میزان کربن متصاعد شده از تیمارهای حاوی 1/5 درصد کربن آلی از منابع مختلف و گچ به میزان 50 درصد نیاز



شکل 10- میزان کربن متصاعد شده از تیمارهای حاوی 3 درصد کربن آلی از منابع مختلف و گچ به میزان 100 درصد نیاز گچی.



شکل 9- میزان کربن متصاعد شده از تیمارهای حاوی 1/5 درصد کربن آلی از منابع مختلف و گچ به میزان 100 درصد نیاز گچی 100 درصد نیاز گچی.

نتیجه گیری

معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش اما هدایت هیدرولیکی به طور معنی‌داری افزایش یافت به طوری که نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدلی در بسیاری از تیمارها به ترتیب به زیر 13 و 15 درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که مواد آلی با سرعت تجزیه کم، مثل خاک اره، تأثیر چندانی بر ویژگی‌های خاک سدیمی در کوتاه مدت نداشت و بر عکس مواد آلی که سریع تجزیه می‌شوند مثل ضایعات میوه خرما تأثیر شدیدی بر ویژگی‌های خاک سدیمی داشت. ضایعات میوه خرما علی‌رغم دارا بودن نسبت C:N زیاد، نسبت به یونجه و ذرت دارای سرعت تجزیه بالاتری بود که میزان کربن متصاعد شده از ضایعات میوه خرما این مطلب را به درستی نشان داد. با توجه به نتایج بدست آمده تیمار 3 درصد کربن آلی از منبع ضایعات میوه خرما همراه با گچ به میزان 100 درصد نیاز گچی برای اصلاح خاک‌های سدیمی مشابه توصیه می‌شود.

نتایج این پژوهش نشان داد پس از کاربرد گچ و مواد آلی و با افزایش زمان خواباندن، ویژگی‌های خاک سدیمی بهبود می‌یابد. مصرف گچ باعث کاهش معنی‌دار pH، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبدلی، و رس قابل انتشار و هدایت هیدرولیکی خاک شد. استفاده از گچ همراه با ضایعات آلی به منظور اصلاح ویژگی‌های مورد مطالعه خاک سدیمی مفیدتر از مصرف جداگانه هر کدام از آنها بود به شرطی که در پایان کاربرد گچ و مواد آلی عمل آبخوبی صورت گیرد. در غیر این صورت استفاده از مواد آلی بدون آبخوبی ممکن است باعث افزایش شدت ویژگی‌های نامناسب در خاک سدیمی شود. چنانچه بعد از افزودن گچ و مواد آلی و خواباندن خاک به مدت 2 ماه آبخوبی صورت گیرد می‌توان میزان سدیم تبدلی خاک را به مقدار معنی‌داری کاهش داد و آن را به یک خاک غیر سدیمی تبدیل کرد. بعد از آبخوبی، pH، درصد سدیم تبدلی، نسبت جذب سدیم و رس قابل انتشار به طور

فهرست منابع:

1. Abbott, L.K., and Murphy, D.V. 2003. Soil biological fertility: a key to sustainable land use in agriculture. Published by Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
2. Ahmad, S., Ghafour, A., Qadir, M. and Aziz, M. 2006. Amelioration of a calcareous saline-sodic soil by gypsum application and different crop rotations. International Journal of Agriculture and Biology 8(1): 142-146.
3. Akhtar, M. S., Steenhuis, T. S., Richards, B. K. and McBride, M. B. (2003) Chloride and lithium transport in large arrays of undisturbed silt loam and sandy loam soil columns. Vadose Zone Journal. 2, 715-727.

4. Amezqueta, E., Aragues, R. and Gazol, R. 2005. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum, and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal*. 97(3): 983-989.
5. Ammari, T. G., Tahboub, A. B., Saoub, H. M., Hattar, B. I. and Al-Zubi, Y. A. 2008. Salt removal efficiency as influenced by phyto-amelioration of salt-affected soils. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 6(3/4): 456-460.
6. Banaei, M. H. 2000. Soil resources and use potentiality map of Iran. Soil and Water Research Institute. Tehran, Iran (In Persian).
7. Barral, M. T., Buján, E., Devesa, R., Iglesias, M. L. and Velasco-Molina, M. 2007. Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Science of the Total Environment*. 378(1): 174-178.
8. Barzegar, A. R., Nelson, P. N., Oades, J. M. and Rengasamy, P. 1997. Organic matter, sodicity, and clay type: Influence on soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*. 61(4): 1131-1137.
9. Barzegar, A.R. 2008 Salt affected soils: Diagnosis and Productivity. 2nd Edition, Shahid Chamran University.
10. Bednarz, C. W., Nichols, R. L. and Brown, S. M. 2007. Within-boll yield components of high yielding cotton cultivars. *Crop Science*. 47(5): 2108-2112.
11. Bower, C.A., and Hatchea, J.T. 1966. Simultaneous determination of surface area and cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 525-527.
12. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen total. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 9: 595-624.
13. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. *Soil Sampling and Methods Analysis*. 2nd Edition. Canadian Society of Soil Science Publisher. 823p.
14. Chaum, S., Pokasombat, Y., and Kirdmanee, C. 2011. Remediation of salt-affected soil by gypsum and farmyard manure importance for the production of Jasmine rice. *Aust. J. Crop Sci.* 5: 458-465.
15. Chorom, M., and Rengasamy, P. 1997. Blue arrow e-Alerts. *Australian Journal of Soil Research*. 35: 1. 149-162.
16. Collins, H. P., Elliott, L. F. and Papendick, R. I. 1990. Wheat straw decomposition and changes in decomposability during field exposure. *Soil Science Society of America Journal*. 54(4): 1013-1016.
17. Conway, T. 2001. Plant materials and techniques for brine site reclamation (No. 26). *Plant Materials Technical Note*.
18. Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z. and Naidu, R. 2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*. 625: 320-335.
19. Eltaif, N. I. and Gharaibeh, M. A. 2008. Impact of alum on crust prevention and aggregation of calcareous soil: laboratory studies. *Soil Use and Management*. 24(4): 424-426.
20. Franzen, D. W. and Richardson, J. L. 2000. Soil factors affecting iron chlorosis of soybean in the Red River Valley of North Dakota and Minnesota. *Journal of Plant Nutrition*. 23(1): 67-78.
21. Gharaibeh, M. A., Eltaif, N. I. and Shra'ah, S. H. 2010. Reclamation of a calcareous saline sodic soil using phosphoric acid and by product gypsum. *Soil Use and Management*. 26(2): 141-148.
22. Hanay, A., Buyuksonmez, F., Kiziloglu, F.M., and Canbolat, M.Y. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. *Compost Science and Utilization*. 12: 175-179.

23. Handayanto, E., Cadisch, G. and Giller, K. E. 1995. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. *Plant and Soil*. 176(1): 149-160.
24. Hussain, N., Hassan, G., Arshadullah, M. and Mujeeb, F. 2001. Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soil. *International Journal Agriculture Biology*. 14 (3): 319-322.
25. Jalali, M. and Ranjbar, F. 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma*. 153(1): 194-204.
26. Kausar, M. A., & Muhammed, S. 1972. Comparison of biological and chemical methods for reclaiming saline-sodic soils. *Pakistan Journal Science Research*. 24: 252-261.
27. Keren, R., 1996. Reclamation of sodic-affected soils. In: Agassi, M. (Ed.), *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*. New York, Marcel Dekker, pp. 353–374.
28. Klute, A. and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods*. (methodsofsoilan1). 687-734.
29. Lanyon, L. E. and Heald, W. R. 1982. Magnesium, calcium, strontium, and barium. Pp.247-262. In: Page, A. L. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Guilford Rd., Madison, WI 53711, USA.
30. Lebron, I., Suarez, D. L. and Yoshida, T. 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal*. 66(1): 92-98.
31. Loveland, P. and Webb, J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research*. 70(1): 1-18.
32. Makoi, J. H., & Ndakidemi, P. A. 2007. Reclamation of sodic soils in northern Tanzania, using locally available organic and inorganic resources. *African Journal of Biotechnology*. 11(2): 6(16).
33. McNeal, B. L., Norvell, W. A. and Coleman, N. T. 1966. Effect of solution composition on the swelling of extracted soil clays. *Soil Science Society of America Journal*. 30(3):313-317.
34. Nelson, P. N. and Oades, J. M. 1998. Organic matter sodicity and soil structure. In: *sodic solis: Distribution, Processes, Management and Environmental Consequences*. (Eds M. E. Sumner and R. Naidu) Oxford University Press, New York.
35. Nelson, P. N., Baldock, J. A., Clarke, P., Oades, J. M. and Churchman, G. J. 1999. Dispersed clay and organic matter in soil: their nature and associations. *Australian Journal of Soil Research*. 37: 289-316.
36. Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis. Part. 2*: 539-579.
37. Qadir, M., Ghafoor, A. and Murtaza, G. 2001. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agricultural Water Management*. 50(3): 197-210.
38. Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D. and Sahrawat, K. L. 2007. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in Agronomy*. 96: 197-247.
39. Qadir, M., Steffens, D., Yan, F. and Schubert, S. 2003. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation and Development*. 14(3): 301-307.
40. Rengasamy, P., Greene, R. S. B., Ford, G. W. and Mehanni, A. H. 1984. Identification of dispersive behaviour and the management of red-brown earths. *Soil Research*. 22(4): 413-431.
41. Rietz, D. N. and Haynes, R. J. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 35(6): 845-854.

42. Robbins, C. W. (1984). Sodium adsorption ratio-exchangeable sodium percentage relationships in
43. Sahrawat, K. L. 1984. Effects of temperature and moisture on urease activity in semi-arid tropical soils. *Plant and Soil*. 78(3): 401-408.
44. Sharma, D. K., Singh, A., Sharma, P. C., Dagar, J. C. and Chaudhari, S. K. 2016. Sustainable Management of Sodic Soils for Crop Production: Opportunities and Challenges. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*. 8(2): 109-130.
45. Silvertooth, J. C and Norton. E. R. 2000. Evaluation of a calcium-based soil Conditioner in irrigated Cotton.
46. Tejada, M. and Gonzalez, J. L. 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil and Tillage Research*. 91(1): 186-198.
47. Toth, G., Montanarella, L. and Rusco, E. 2008. Updated map of salt affected soils in the European Union. In: Toth, G., Montanarella, L., & Rusco, E (Eds), *Threats to soil quality in Europe*, office for the official publication of the european communities, Luxembourg, pp. 61-74.
48. Tripathi, S., Kumari, S., Chakraborty, A., Gupta, A., Chakrabarti, K. and Bandyopadhyay, B. K. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biology and Fertility of Soils*. 42(3): 273-277.
49. Udayasoorian, C., Sebastian, S.P., and Jayabalakrishnan, R.M. 2009. Effect of amendments on problem soils with poor quality irrigation water under sugarcane crop. *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci*. 5: 618-626.
50. Vance, E. D., Brookes, P. C. and Jenkinson, D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry*. 19(6): 703-707.
51. Walker, D. J. and Bernal, M. P. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresources Technology*. 99: 396-403.
52. Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
53. Willson, T. C., Paul, E. A. and Harwood, R. R. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology*. 16 (1): 63-76.
54. Wong, V. N., Dalal, R. C. and Greene, R. S. 2008. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and Fertility of Soils*. 44(7): 943-953.
55. Wong, V. N., Dalal, R. C. and Greene, R. S. 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: a laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*. 41(1): 29-40.
56. Wong, V. N., Greene, R. S. B., Dalal, R. C. and Murphy, B. W. 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use and Management*. 26(1): 2-11.
57. Yazdanpanah, N. and Mahmoodabadi, M. 2011. Time monitoring of leachate quality during reclamation process of saline-sodic soil using soil column. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 1(1): 1-20. (In Persian).

Effect of Incubation Times, Gypsum, Organic Carbon, and Leaching on Some Properties of a Sodic Soil

M. Vafae, A. Golchin, and S. Shafiei¹

M.Sc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan;

E-mail: Vafae.mosayeb67@gmail.com

Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan;

E-mail: agolchin2011@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft;

E-mail: saeid55@gmail.com

Received: September, 2017 and Accepted: March, 2019

Abstract

Sodic soils are widely spread in arid and semiarid regions. To use sodic soils for crop production, reclamation of physico-chemical properties of these soils is necessary. To study the effects of different levels of gypsum (0, 50 and 100% of gypsum requirement) alone and with three levels of organic carbon (0, 1.5 and 3% w/w) from different sources (alfalfa and corn residue, saw dust and date fruit waste) on some properties of a sodic soil, a factorial experiment was conducted with 27 treatments and three replications using a completely randomized design. After application of gypsum or gypsum+ organic matter to the sodic soil, the physico-chemical properties of it were measured every 15 days. The studied soil was leached at the end of the incubation time. The results showed that the physicochemical characteristics of the sodic soil improved with the increase in incubation time. Before performing leaching treatment, the application of gypsum equal to gypsum requirement had the greatest impact on decreasing SAR, ESP, and dispersible clay (DC). Maximum microbial respiration rate was obtained from the application of 3% organic carbon from date fruit waste. The application of organic materials + gypsum had the greatest impact on improvement of sodic soil behaviors after leaching. The addition of organic matter caused some characteristics of sodic soil to become undesirable before leaching. After leaching, pH, SAR, ESP, DC and hydraulic conductivity (HC) decreased in all treatments. The treatment of gypsum at the rate of 100% gypsum requirement + 3% organic carbon from date fruit waste was the most effective reclamation treatment for the sodic soil. The organic materials + gypsum had the maximum reclamation effect on sodic soils, when the soils had been leached two months after incubation.

Keywords: Dispersible clay, Exchangeable sodium percentage, Salt leaching, Microbial respiration, Organic waste.

¹ Corresponding author: Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science, University of Jiroft