

## The Effects of Organic Matter, Gypsum and Leaching on Physico-chemical Properties of a Sodic Soil

MOSAYEB VAFAEE<sup>1\*</sup>, AHMAD GOLCHIN<sup>2</sup>, AKRAM SADEGHBEIGI<sup>3</sup>, TAHEREH MANSOURI<sup>4</sup>

1. Former M.Sc. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
  2. Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
  3. Former M.Sc. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
  4. Ph.D. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
- (Received: June, 9, 2017- Revised: Apr. 18, 2018- Accepted: Apr. 23, 2018)

### ABSTRACT

In order to investigate the effects of different levels of gypsum (0, 50 and 100% gypsum requirement), organic matter (1.5 and 3% w/w organic carbon) from different sources (alfalfa residue, corn residue, date waste and saw dust) and leaching on the physico-chemical properties of a sodic soil, a factorial experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomized design with three replicates. The results showed that the application of gypsum improved the sodic soil properties, before and after the leaching. However, the application of organic matter slightly increased sodium adsorption ratio, exchangeable sodium percentage and the percentage of dispersible clay measured before leaching. But after leaching, these characteristics were decreased significantly as compared to the control. The application of organic matter together with gypsum, especially the application of 3% date waste with gypsum, improved the properties of the sodic soil after the leaching more effectively than the application of gypsum and organic matter separately.

**Keywords:** Dispersible clay, Exchangeable sodium percentage, Leaching, Organic Matter, Sodic soil

## اثر مواد آلی، گچ و آبشویی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک خاک سدیمی

مصیب وفایی<sup>۱\*</sup>، احمد گلچین<sup>۲</sup>، اکرم صادق بیگی<sup>۳</sup> و طاهره منصوری<sup>۴</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. استاد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۴. دانشجوی دکتری، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۳)

### چکیده

به منظور بررسی تاثیر سطوح مختلف گچ (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز گچی) و مواد آلی از بقایای گیاه یونجه، ذرت، ضایعات خرما و خاک اره (۱/۵ و ۳ درصد کربن آلی) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک خاک سدیمی یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه به اجرا درآمد. نتایج نشان داد که مصرف گچ سبب بهبود ویژگی‌های خاک سدیمی قبل و پس از آبشویی شد. مصرف مواد آلی قبل از آبشویی نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبدالی و درصد رس قابل انتشار را به صورت ناچیزی افزایش داد ولی پس از آبشویی خاک مقدار این ویژگی‌ها در مقایسه با شاهد بطور معنی‌داری کاهش یافت. اثربخشی مصرف گچ به همراه مواد آلی برای اصلاح ویژگی‌های خاک سدیمی به ویژه در ترکیب با ضایعات خرما به میزان ۳ درصد کربن آلی بیشتر از مصرف جداگانه آن‌ها پس از آبشویی بود.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، خاک سدیمی، رس قابل انتشار، درصد سدیم تبدالی، مواد آلی

### مقدمه

خاک‌های سدیمی که دارای pH، درصد سدیم تبدالی، نسبت جذب سدیم بالا و حاصلخیزی کمی هستند به طور وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان گسترش یافته‌اند (Wong *et al.*, 2010). حدود ۹۵۵ میلیون هکتار از اراضی جهان شور و سدیمی هستند (Pandey *et al.*, 2011; Wong *et al.*, 2010). خاک‌های شور و سدیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نیز از وسعت قابل توجهی برخوردارند به طوری که مساحت خاک‌های با شوری کم و متوسط ۲۵/۵ میلیون هکتار و خاک‌های با شوری زیاد ۸/۵ میلیون هکتار برآورد شده است (Banaei, 2000). مقادیر بالای سدیم سبب تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و کاهش سرعت حرکت آب در خاک، افزایش رواناب سطحی، تقلیل کاربری اراضی، کاهش تهویه و در نهایت کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌گردد (Franzen and Richardson, 2000). برای رفع مشکلات لازم است ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نامناسب خاک‌های سدیمی اصلاح شود. گچ (Amezketta *et al.*, 2005) و مواد آلی (Wong *et al.*, 2005) برخی از اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده در خاک‌های سدیمی

هستند. گچ به دلیل حفظ سطح الکترولیت و بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی و فیزیکی (Keren, 1996)، داشتن قابلیت انحلال متوسط، هزینه کم و سهولت مصرف اغلب برای اصلاح خاک‌های سدیمی استفاده می‌شود (Amezketta *et al.*, 2005). کلسیم ناشی از انحلال گچ جایگزین سدیم تبدالی شده و نتیجه این وضعیت تولید سولفات سدیم محلول بوده که می‌تواند توسط آبشویی از خاک خارج شوند (Muya. and Macharia, 2005; Rengasamy, 1997). مواد آلی با تجزیه تدریجی در خاک و تولید انواع متابولیت‌ها و اسیدهای آلی باعث چسبندگی بیش‌تر ذرات خاک شده و از طرف دیگر با افزایش جزئی گاز دی‌اکسید-کربن موجب افزایش حلالیت ترکیبات معدنی حاوی کلسیم در خاک شده که نتیجه آن افزایش هم‌آوری ذرات رس و افزایش خاکدانه‌سازی و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود (Barral *et al.*, 2007; Udayasoorian *et al.*, 2009). Hanay, *et al.* (2004) بیان نمودند که تأثیر ماده آلی به تنهایی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های سدیمی ناچیز بوده و افزایش مقدار آن بر بعضی از ویژگی‌های خاک مانند نسبت جذب سدیم و مقدار رس قابل انتشار اثر منفی دارد. Wong *et al.* (2009) در خصوص اصلاح خاک‌های شور و سدیمی توسط مواد آلی نتیجه گرفتند که افزودن ماده آلی

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان همدان و در غرب شهرستان ملایر قرار دارد (۳۴°۲۴' عرض شمالی و ۴۸°۳۶' طول شرقی با ارتفاع ۱۶۷۰ متر از سطح دریا). خاک مورد مطالعه با نام علمی Typic Calcixerepts و رژیم حرارتی مزیک ( Soil Survey Staff, 1999)، پس از هوا خشک شدن و آماده‌سازی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله هدایت الکتریکی (Carter and Gregorich, 2008)، واکنش خاک (McLean, 1982)، مقدار کاتیون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم محلول (Lanyon and Heald 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی اولیه خاک به روش جایگزینی با استات سدیم و استات آمونیوم (Bower and Hatcher 1966) و کربن آلی بقایای گیاهی به روش والکلی و بلاک (Page et al., 1982)، نیتروژن کل به روش (1982) Bremner and Mulvaney اندازه‌گیری شد. برخی مشخصات خاک مورد مطالعه در جدول (۱) بیان شده است.

این مطالعه به منظور بررسی اثر گچ و مواد آلی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک خاک سدیمی، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۷ تیمار و ۳ تکرار در گلخانه به اجرا درآمد. تیمارهای مورد مطالعه شامل سه سطح کاربرد گچ (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز گچی) و چهار نوع بقایای آلی (بقایای یونجه، ضایعات خرما (میوه خشک و نامرغوب خرما)، ذرت و خاک اره) با نسبت‌های C:N متفاوت (جدول ۲) بود. بقایا پس از اندازه‌گیری کربن آلی به میزان ۱/۵ و ۳ درصد کربن آلی از هر کدام از چهار بقایا و یک سطح هم بدون کاربرد کربن آلی بود که در مجموع نه سطح بود. این مواد به گلدان‌های آزمایشی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر اضافه گردید.

باعث افزایش نسبت جذب سدیم در این خاک‌ها شد. بسیاری از پژوهشگران تکنولوژی ترکیب مواد آلی و معدنی را به‌عنوان بهترین تیمارهای اصلاح‌کننده ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در خاک‌های سدیمی معرفی نموده‌اند (Sahin et al., 2002; Chaum et al., 2011). اصلاح خاک‌های شور و سدیمی از طریق آبشویی نیز توسط برخی از محققان انجام شده است (Anapali et al., 2001; Akhtar et al., 2003; Amari et al., 2008). پس از کاربرد گچ در یک خاک شور و سدیمی و آبشویی آن مشاهده کردند که نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدالی خاک کاهش یافت.

Yazdanpanah and Mahmoodabadi (2011) در مطالعه‌ای پس از افزودن گچ و مواد آلی و آبشویی در یک خاک شور و سدیمی در استان کرمان گزارش کردند که مواد آلی مانند تفاله پسته نسبت به مواد معدنی دارای توانایی بیشتری برای تخلیه نمک‌های مضر از خاک هستند و ترکیب مواد اصلاحی آلی و معدنی کارآیی آبشویی را بهبود بخشید. (2010) Ghaneie Motlagh et al پس از بررسی چند ماده اصلاحی از جمله گچ، اسید سولفوریک و گوگرد بر روی خصوصیات خاک-های سدیمی نشان دادند که کاربرد گچ و اسید سولفوریک مقدار کاتیون کلسیم را افزایش و سدیم را کاهش می‌دهد. اگرچه تأثیر مواد آلی بر ویژگی‌های خاک‌های متأثر از نمک در کشورهای مختلف کم و بیش مورد بررسی قرار گرفته است اما در ایران تأثیر مواد آلی با مختلف C:N به تنهایی و همراه با گچ بر ویژگی‌های خاک‌های سدیمی ناشناخته است، لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مواد آلی با نسبت‌های مختلف C:N به تنهایی و توأم با کاربرد گچ بر ویژگی‌های یک خاک سدیمی قبل و پس از آبشویی انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های نمونه خاک مورد مطالعه

شن	سیلت رس	بافت	pH	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	آهک (%)	کربن آلی (%)	نسبت جذب سدیم	CEC (cmolckg <sup>-1</sup> )
۲۳/۹	۳۶/۴	Clay	۸/۹۵	۳/۹۳	۱۷/۶۸	۰/۱۹۸	۳۰/۵۲	۲۲/۲۱

جدول ۲. مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، نسبت C:N در بقایای آلی مورد مطالعه

مواد آلی	بقایای یونجه	بقایای ذرت	ضایعات خرما	خاک اره
کربن آلی %	۳۹/۲۹	۴۴/۱۵	۴۶/۹	۴۹/۴۸
نیتروژن %	۲/۵۲	۰/۹۸۵	۰/۴۸۰	۰/۱۱۲
نسبت C:N	۱۵/۵۹	۴۴/۸۳	۹۵/۷۶	۴۴۱/۷۸

$$SAR = \frac{Na}{0.5[Ca+Mg]^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

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

$$ESP = \frac{100(-0.0126+0.01475 \times SAR)}{1+(-0.0126+0.01475 \times SAR)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر (Kemper and Rosenau, 1986). هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت و با استفاده از قانون داریسی تعیین گردید (Klute and Dirksen, 1986). درصد رس قابل انتشار با استفاده از روش Rengasamy, et al (1984) تعیین گردید. تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام پذیرفت.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از آبخوبی در جدول (۳) و پس از آبخوبی در جدول (۴) نمایش داده شده است.

پس از اعمال تیمارها نمونه‌های خاک به مدت دو ماه در رطوبت ظرفیت زراعی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خوابانیده شدند. سپس از گلدان‌ها نمونه خاک تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تیمار شده، اندازه‌گیری شد سپس خاک باقیمانده در گلدان‌ها مورد آبخوبی قرار گرفت. دفعات آبخوبی خاک تنها یک بار و حجم آب مورد استفاده معادل حجم خاک مورد شست و شو بود که مقدار آب مورد استفاده برای آبخوبی برای همه گلدان‌ها یکسان بود. نیاز گچی از رابطه ۱ (Barzegar, 2008). محاسبه شد:

$$GR = \frac{ESP_i - ESP_f}{CEC} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن GR: معادل نیاز گچی که برابر با ۱۰۱/۲۲ میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک بود.  $ESP_f$ : درصد سدیم تبادلی مورد انتظار که در این آزمایش ۸ در نظر گرفته شد،  $ESP_i$ : درصد سدیم تبادلی اولیه و CEC ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک بر حسب میلی‌اکی‌والان در صد گرم خاک است. اندازه‌گیری سدیم، کلسیم و منیزیم در عصاره گل اشباع (Lanyon and Heald 1982) با دستگاه فلیم فتومتر و دستگاه جذب اتمی و نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادلی (Robbins, 1984) با استفاده از روابط (۲) و (۳) به دست آمد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک سدیمی قبل از آبخوبی

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم تبادلی	رس قابل انتشار (%)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)
گچ	۲	۵۷۸/۱۵**	۳۷۹/۱۸**	۵۳۴۷۲/۲۰**	۰/۳۰**
کربن آلی	۸	۱۱/۱۷**	۸/۰۳**	۲۵/۲۸**	۰/۳۷**
اثر متقابل کربن آلی و گچ	۱۶	۲/۳۶**	۲/۰۴**	۱/۱۷۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴**
خطا	۵۴	۱/۰۵	۰/۶۸	۱/۲۱	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات	-	۴/۱۱	۳/۱۶	۲/۸۱	۴/۷۷

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک سدیمی پس از آبخوبی

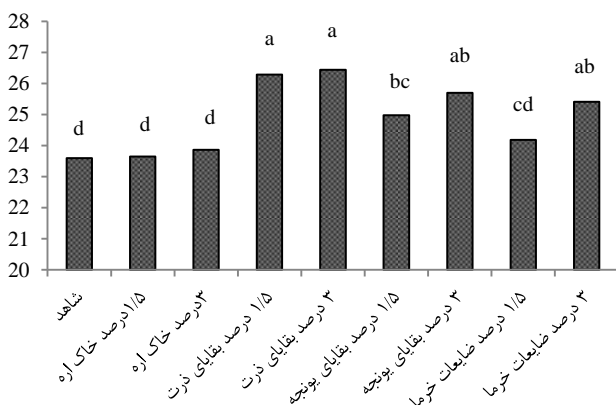
میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم تبادلی	رس قابل انتشار (%)	هدایت هیدرولیکی اشباع (m.day-1)
گچ	۲	۱۶۱۷/۳۲**	۱۳۶۱/۶۸**	۵۳۱۵۷/۴۹**	۸/۱۵۹**
کربن آلی	۸	۲۱/۹۴**	۱۷/۸۰۴**	۵۱/۰۲۳۲**	۰/۳۶۸**
اثر متقابل کربن آلی و گچ	۱۶	۱/۹۳*	۱/۰۱*	۱۳/۱۰**	۰/۰۳۳۶**
خطا	۵۴	۱/۰۴	۰/۷۹	۱/۳۵	۰/۰۰۸۳
ضریب تغییرات	-	۶/۶۲	۴/۷۸	۴/۴۵	۱۲/۰۷

\*\* و \*\*\* به ترتیب معنی‌داری سطح یک و پنج درصد، ns: عدم معنی‌داری

خاک قبل از آبخوبی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد گچ نسبت جذب سدیم را قبل از آبخوبی کاهش داد. مصرف گچ به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی باعث

نسبت جذب سدیم قبل از آبخوبی خاک نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر گچ، کربن آلی و اثر متقابل گچ با کربن آلی بر نسبت جذب سدیم عصاره اشباع

نداشت. در هر نوع و مقدار کربن آلی، با افزایش مقدار گچ نسبت جذب سدیم خاک، قبل از آبشویی، کاهش یافت و در هر مقدار گچ و نوع کربن آلی، با افزایش مقدار کربن آلی نسبت جذب سدیم خاک افزایش یافت. کمترین مقدار نسبت جذب سدیم از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز گچی بدون کربن آلی به‌دست آمد این تیمار نسبت جذب سدیم خاک را از ۲۹/۱۲ در تیمار شاهد به ۱۷/۷۸ کاهش داد (جدول ۵). مواد آلی از یک طرف با کمپلکس کردن یون کلسیم و رسوب دادن آن باعث کاهش مقدار کلسیم محلول خاک و افزایش نسبت جذب سدیم شده و از طرف دیگر با افزایش مقدار دی‌اکسید کربن هوای خاک باعث افزایش حلالیت کربنات کلسیم موجود در خاک و افزایش غلظت یون کلسیم محلول خاک و کاهش نسبت جذب سدیم می‌شود و تأثیر نهایی آن بر نسبت جذب سدیم حاصل برآیند این دو فرآیند است (Hanay et al., 2004). Wong et al. (2009) در ارتباط با اصلاح خاک‌های شور و سدیمی به‌وسیله مواد آلی نتیجه گرفتند که افزودن ماده آلی باعث افزایش نسبت جذب سدیم در این خاک‌ها شد.

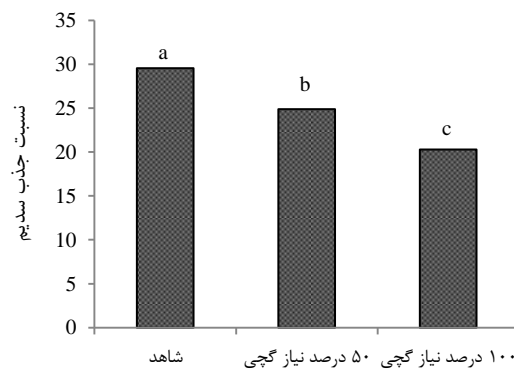


شکل ۲. تأثیر کربن آلی بر نسبت جذب سدیم قبل از آبشویی خاک

آبشویی خاک، مقدار نسبت جذب سدیم کاهش یافت. مصرف کربن آلی سبب کاهش نسبت جذب سدیم پس از آبشویی خاک شد و بیشترین مقدار کاهش نسبت جذب سدیم پس از آبشویی از مصرف ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد نسبت جذب سدیم را ۱۶/۸۳ درصد کاهش داد (شکل ۴).

Yazdanpanah and Mahmoodabadi (2011) گزارش نمودند که آبشویی خاک‌های شور و سدیمی پس از افزودن گچ و تفاله پسته موجب شسته شدن مقادیر زیاد سدیم از خاک شد و کاهش نسبت جذب سدیم خاک گردید. در هر مقدار کربن

بیشترین کاهش در نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک شد، به طوری که مقدار کاهش آن نسبت به تیمار شاهد، ۳۱/۳۲ درصد بود (شکل ۱). دلیل کاهش نسبت جذب سدیم در اثر کاربرد گچ را می‌توان به حل شدن تدریجی گچ و ورود یون کلسیم به محلول خاک و جایگزین شدن با سدیم تبادلی خاک دانست. تأثیر گچ در کاهش نسبت جذب سدیم توسط محققان زیادی به اثبات رسیده است (Oster and Jayawardane, 1998; Franzen and Richardson, 2000; Bednarz et al., 2007). Rasouli, et al (2013) پس از کاربرد گچ در سه مقدار ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز گچی در یک خاک سدیمی واقع در استان فارس افزایش عملکرد گندم و کاهش نسبت جذب سدیم و واکنش خاک را گزارش کردند با افزودن بقایا نسبت جذب سدیم در تمامی تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. بیشترین مقدار افزایش در نسبت جذب سدیم عصاره اشباع از مصرف ۳ درصد کربن آلی از بقایای ذرت حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۲/۰۴ درصد افزایش داشت (شکل ۲). نسبت جذب سدیم در تیمار خاک آره تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد

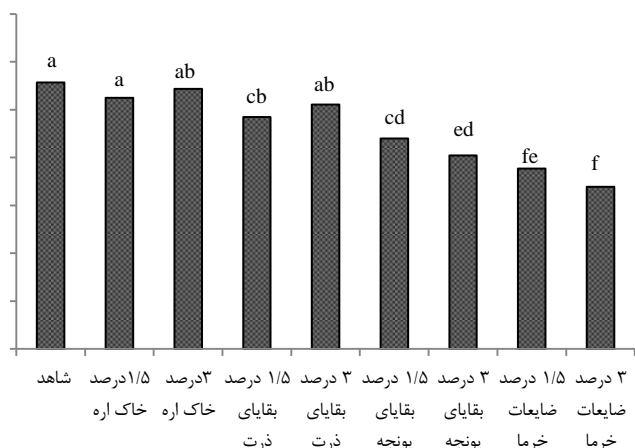


شکل ۱. تأثیر گچ بر نسبت جذب سدیم قبل از آبشویی خاک

#### نسبت جذب سدیم پس از آبشویی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر گچ، کربن آلی و اثر متقابل آن‌ها بر نسبت جذب سدیم خاک پس از آبشویی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل گچ با کربن آلی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مصرف گچ نسبت جذب سدیم پس از آبشویی خاک را کاهش داد. مصرف گچ به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی باعث بیشترین مقدار کاهش در نسبت جذب سدیم خاک پس از آبشویی شد به طوری که مقدار این کاهش نسبت به تیمار شاهد ۵۷/۱۱ درصد بود (شکل ۳). Lebron et al (2002) گزارش نمودند که پس از کاربرد گچ و

موجب تسریع عمل آبشویی و خروج نمک‌های مضر از خاک می‌شود و مصرف هم‌زمان مواد آلی و گچ این ویژگی را بهبود می‌بخشد. کاربرد مواد اصلاحی هنگامی مؤثر است 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 (Conway, 2001; Ahmad et al., 2006).



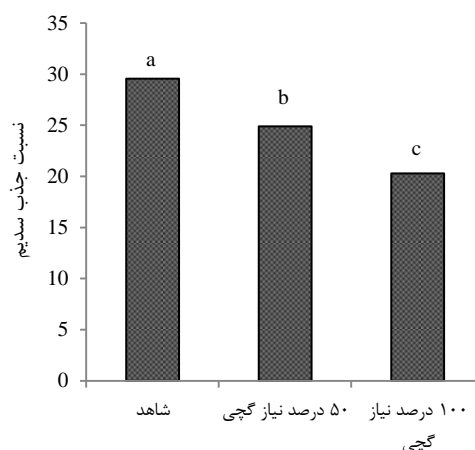
شکل ۴. تأثیر کربن آلی بر نسبت جذب سدیم پس از آبشویی خاک

افزودن مواد آلی به خاک‌هایی با مقدار سدیم بالا، باعث افزایش درصد سدیم تبادلی خاک شد. Tejada et al. (2006) نشان دادند که با مصرف کمپوست چغندر قند به عنوان ماده اصلاح‌کننده در یک خاک سدیمی علی‌رغم افزایش ماده آلی خاک، به دلیل افزایش درصد سدیم تبادلی خاک، پایداری ساختمان خاک کاهش و مقدار فرسایش‌پذیری آن افزایش یافت. کمترین مقدار درصد سدیم تبادلی خاک از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز گچی و فاقد اصلاح‌کننده آلی به‌دست آمد و این تیمار نسبت جذب سدیم عصاره اشباع خاک را از ۲۹/۴۱ در تیمار شاهد به ۱۹/۸۴ کاهش داد (جدول ۵). Makoi and Ndakidemi (2007) گزارش کردند که در سال اول تیمارهای کود دامی، گچ و ترکیب کود دامی و گچ، درصد سدیم تبادلی خاک را به ترتیب ۳۰/۴، ۳۰/۳ و ۳۰/۴ درصد کاهش دادند و در سال دوم این مقادیر به ترتیب ۷۹/۸، ۶۹/۱ و ۸۶/۶ درصد بودند.

#### درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر گچ و کربن آلی و اثر متقابل آن‌ها بر درصد سدیم تبادلی خاک پس از آبشویی در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل گچ و کربن آلی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مصرف گچ درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک را کاهش داد. مصرف گچ به‌اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی باعث بیشترین مقدار کاهش در

آلی به استثنای بقایای ذرت، با افزایش مقدار کربن آلی نسبت جذب سدیم خاک کاهش یافت. مؤثرترین تیمار در کاهش نسبت جذب سدیم پس از آبشویی، تیمار ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما توأم با ۱۰۰ درصد نیاز گچی بود که نسبت جذب سدیم خاک را از ۲۹/۹۲ در تیمار شاهد به ۹/۳۶ کاهش داد (جدول ۶). مواد آلی با بهبود وضعیت ساختمان خاک

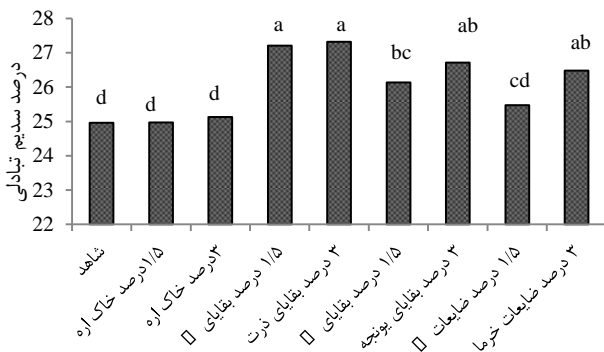


شکل ۳. تأثیر سطوح گچ بر نسبت جذب سدیم پس از آبشویی خاک

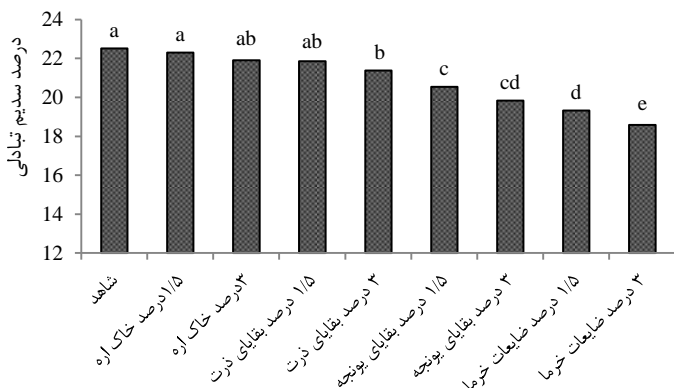
#### درصد سدیم تبادلی قبل از آبشویی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر گچ، کربن آلی و اثر متقابل گچ با کربن آلی بر درصد سدیم تبادلی قبل از آبشویی خاک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مصرف گچ درصد سدیم تبادلی خاک را قبل از آبشویی خاک را کاهش داد؛ که مصرف گچ به‌اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی باعث بیشترین مقدار این کاهش در درصد سدیم تبادلی خاک شد به‌طوری‌که آن را نسبت به تیمار شاهد ۲۵/۲۰ درصد کاهش داد (شکل ۵). با مصرف گچ، تخلیه سدیم از خاک افزایش و درصد سدیم تبادلی کاهش می‌یابد (Singh and Bajwa, 1991; Rasouli, et al. 2013) پس از کاربرد گچ در سه مقدار ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز گچی در یک خاک سدیمی واقع در استان فارس افزایش عملکرد گندم و کاهش سدیم تبادلی و واکنش خاک را گزارش کردند. با مصرف مواد آلی درصد سدیم تبادلی خاک در تمامی تیمارها نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین مقدار افزایش درصد سدیم تبادلی خاک عصاره اشباع از مصرف ۳ درصد کربن آلی بقایای ذرت حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۸/۶۳ درصد افزایش داشت (شکل ۶). علت افزایش نسبت جذب سدیم را می‌توان به کمپلکس کردن یون کلسیم توسط آنیون‌های آلی نسبت داد. Udayasoorian et al. (2009) گزارش کردند که

(Bernal, 2008) مؤثرترین تیمار در کاهش درصد سدیم تبادلی خاک پس از آبشویی، تیمار ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما توأم با گچ به میزان ۱۰۰ درصد نیاز گچی بود که مقدار سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک را از ۲۹/۹۹ درصد در تیمار شاهد به ۱۱/۱۳ درصد کاهش داد (جدول ۶). نتایج این پژوهش نشان داد که پس از مصرف گچ و مواد آلی در خاک سدیمی و خوابانیدن خاک به مدت دو ماه تنها از طریق آبشویی می‌توان مقدار سدیم تبادلی را تا حد مطلوبی کاهش داد. Wong (2005) *et al* گزارش کردند که با افزودن ماده آلی و گچ به ویژه در ترکیب با یکدیگر، درصد سدیم تبادلی خاک کاهش می‌یابد. Yazdanpanah and Mahmoodabadi (2011) گزارش کردند که آبشویی خاک‌های شور و سدیمی پس از افزودن گچ و اسید سولفوریک به همراه ترکیبات آلی مانند کود گاوی و تغال پسته موجب کاهش ۷۳/۶ تا ۹۰/۶ درصدی در درصد سدیم تبادلی خاک شد و تغال پسته اثر مطلوب‌تری در کاهش درصد سدیم تبادلی خاک داشت.



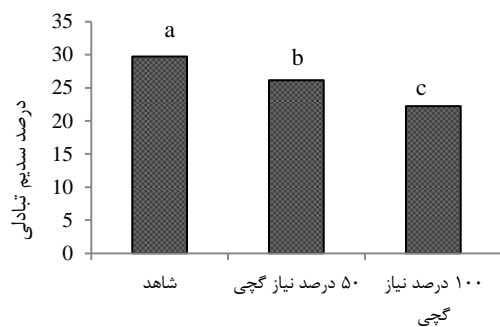
شکل ۶. تأثیر کربن آلی بر درصد سدیم تبادلی قبل از آبشویی خاک



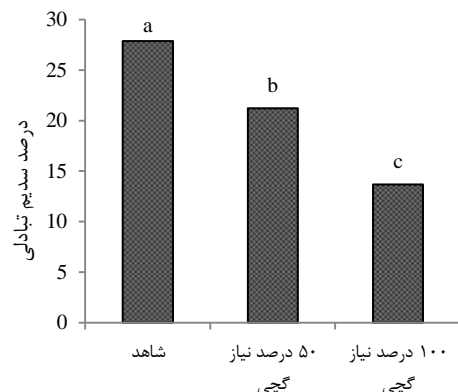
شکل ۸. تأثیر کربن آلی بر درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک

درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل گچ با کربن آلی معنی‌دار نبود (جدول ۳). مصرف گچ درصد رس قابل‌انتشار قبل از آبشویی خاک را کاهش داد و مصرف آن به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی

درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک شد به طوری که آن را نسبت به تیمار شاهد ۵۰/۹۳ درصد کاهش داد (شکل ۷). Lebron *et al* (2002) گزارش نمودند که پس از کاربرد گچ و آبشویی ستون‌های خاک درصد سدیم تبادلی کاهش یافت. با مصرف گچ کاتیون کلسیم با سدیم تبادلی جایگزین شده و باعث تشکیل سولفات سدیم محلول در خاک می‌شود که بوسیله آبشویی از خاک خارج شده که نتیجه این امر کاهش درصد سدیم تبادلی خاک می‌باشد. مصرف کربن آلی سبب کاهش درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک شد و بیشترین مقدار کاهش درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک از مصرف ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۷/۴۵ درصد کاهش نشان داد (شکل ۸). مواد آلی از طریق تولید  $CO_2$  و در نتیجه افزایش انحلال گچ، باعث تولید یون کلسیم شده و بدین ترتیب از ورود سدیم به مکان‌های تبادلی جلوگیری بعمل آمده و درصد سدیم تبادلی خاک کاهش می‌یابد (Qadir *et al.*, 2001; Walker and



شکل ۵. تأثیر گچ بر درصد سدیم تبادلی قبل از آبشویی خاک



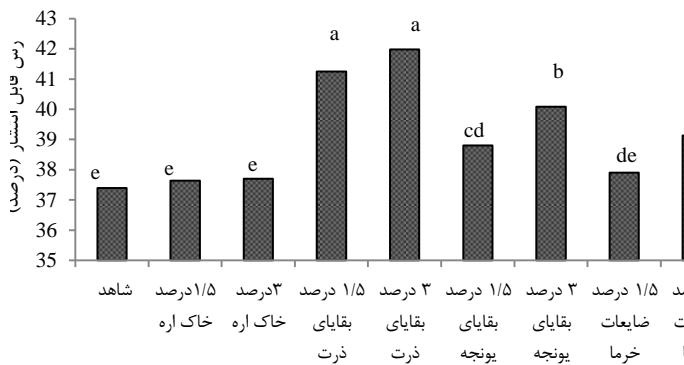
شکل ۷. تأثیر گچ بر درصد سدیم تبادلی پس از آبشویی خاک

#### رس قابل انتشار قبل از آبشویی خاک

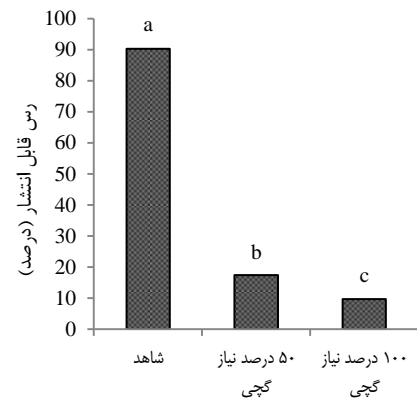
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر گچ، کربن آلی بر درصد رس قابل انتشار قبل از آبشویی خاک در سطح آماری یک

(Jayawardane, 1998) کاربرد کربن آلی سبب افزایش درصد رس قابل انتشار نسبت به تیمار شاهد شد که علت آن را می توان به کاهش غلظت یون کلسیم در محلول خاک نسبت داد. بیشترین مقدار افزایش درصد رس قابل انتشار از مصرف ۳ درصد کربن آلی از منبع بقایای ذرت بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۹/۷۱ درصد افزایش داشت (شکل ۱۰). مواد آلی می تواند باعث کاهش یا افزایش مقدار رس قابل انتشار شود. بدین صورت که آنیون های آلی با افزایش بار منفی ذرات رس و همچنین مواد آلی با کمپلکس کردن کاتیون کلسیم و کاتیون های چند ظرفیتی مانند آلومینیوم و در نتیجه کاهش فعالیت آن ها در محلول خاک، انتشار رس ها را افزایش می دهند (Nelson and Oades, 1998).

باعث بیشترین مقدار کاهش در درصد رس قابل انتشار شد به طوری که مقدار این کاهش نسبت به تیمار شاهد ۸۹/۳۰ درصد بود (شکل ۹). گچ با کاهش واکنش خاک، افزایش غلظت الکترولیت در محلول خاک، حذف یا کاهش غلظت یون های کربنات و بی کربنات و در نتیجه جلوگیری از رسوب یون کلسیم به صورت کربنات کلسیم، نقش مثبتی در کاهش درصد رس قابل انتشار دارد (Eltaif and Gharaibeh, 2008). (Franzen and Richardson به نقش متعدد گچ در اصلاح و بهبود ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های سدیمی از جمله کاهش درصد رس قابل انتشار اشاره نمودند. گچ با افزایش شوری خاک باعث همآوری ذرات خاک و افزایش پایداری خاکدانه ها شده و از انتشار رس جلوگیری می کند (Oster and



شکل ۱۰. تأثیر کربن آلی بر رس قابل انتشار قبل از آبرویی خاک



شکل ۹. تأثیر گچ بر رس قابل انتشار قبل از آبرویی خاک

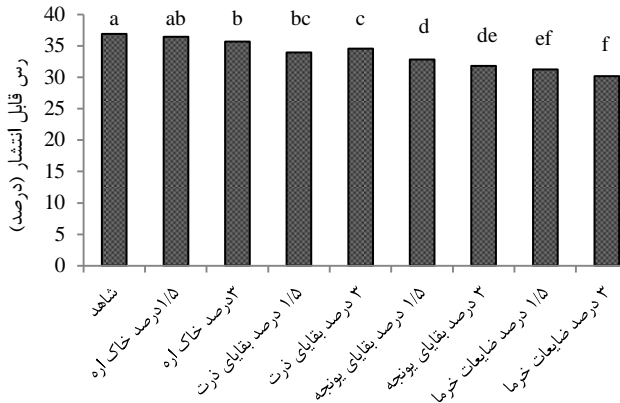
عمل آبرویی باعث کاهش درصد سدیم تبادلی و در نهایت کاهش درصد رس قابل انتشار در خاک می شوند. در هر نوع و مقدار کربن آلی با افزایش مقدار مصرف گچ درصد رس قابل انتشار پس از آبرویی خاک، کاهش یافت و در هر مقدار مصرف گچ و نوع کربن آلی به استثنای بقایای ذرت، با افزایش مقدار کربن آلی درصد رس قابل انتشار کاهش یافت. در هر مقدار گچ، با افزایش کربن آلی از بقایای ذرت درصد رس قابل انتشار افزایش غیر معنی داری یافت. مؤثرترین تیمار در کاهش درصد رس قابل انتشار پس از آبرویی، تیمار ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما توأم با ۱۰۰ درصد نیاز گچی بود که اختلاف معنی داری با تیمار ۱/۵ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما توأم با ۱۰۰ درصد نیاز گچی نداشت. این دو تیمار درصد رس قابل انتشار را پس از آبرویی از ۹۱/۱۳ درصد در تیمار شاهد به ترتیب به ۲/۱۳ و ۲/۸۳ درصد کاهش دادند (جدول ۶). از دلایل اصلی کاهش درصد رس قابل انتشار پس از آبرویی می توان به کاهش درصد سدیم تبادلی پس از آبرویی اشاره نمود. یک رابطه مثبت و معنی داری بین درصد رس قابل انتشار و درصد

### رس قابل انتشار پس از آبرویی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر سطوح گچ، کربن آلی و اثر متقابل گچ با کربن آلی بر درصد رس قابل انتشار پس از آبرویی خاک در سطح آماری یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). مصرف گچ باعث کاهش درصد رس قابل انتشار پس از آبرویی خاک شد و بیشترین مقدار کاهش در درصد رس قابل انتشار پس از آبرویی از مصرف گچ به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی حاصل شد به طوری که مقدار این کاهش نسبت به تیمار شاهد ۹۴/۷۲ درصد بود (شکل ۱۱). (Jalali and Ranjbar, 2009) با کاربرد گچ در خاک های شور و سدیمی نشان دادند که درصد سدیم تبادلی پس از اعمال آبرویی به طور معنی داری کاهش یافت که نتیجه آن کاهش درصد رس قابل انتشار بود. مصرف کربن آلی سبب کاهش درصد رس قابل انتشار پس از آبرویی خاک شد و بیشترین مقدار کاهش درصد رس قابل انتشار از مصرف ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۱۸/۲۵ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱۲). مواد آلی با بهبود ساختمان خاک و تسریع در



گچ با ماده آلی در خاک‌های سدیمی نسبت به کاربرد ماده آلی به تنهایی پراکنش رس را به مقدار بیشتری کاهش داد.



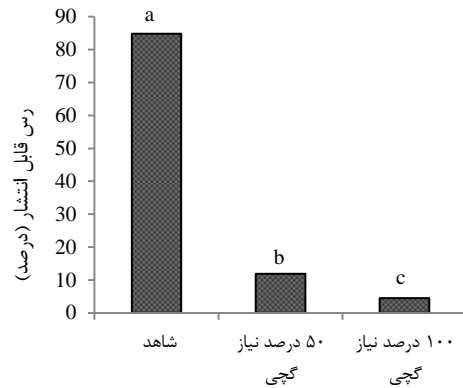
شکل ۱۲. تأثیر کربن آلی بر رس قابل انتشار پس از آبشویی خاک

مقدار گچ و نوع کربن آلی، به جز خاک اره با افزایش مقدار کربن آلی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها افزایش یافت به طوری که بیشترین مقدار افزایش در میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از مصرف ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما توأم با مصرف گچ به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی بدست آمد که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را در تیمار شاهد از ۰/۱۱۲ به ۱/۰۱۳ میلی‌متر افزایش داد (جدول ۵). Wong *et al.* (2005) گزارش کردند که کاربرد ترکیبات معدنی حاوی کاتیون‌های چند ظرفیتی به همراه مواد آلی باعث ایجاد خاکدانه‌های پایدار گردید. مواد آلی با تجزیه تدریجی در خاک سبب تولید انواع متابولیت‌ها و اسیدهای آلی می‌شود که از یک طرف باعث افزایش چسبندگی ذرات خاک شده و از طرف دیگر با افزایش جزئی گاز دی‌اکسید کربن باعث افزایش حلالیت ترکیبات معدنی کلسیم‌دار در خاک می‌شود که نتیجه آن هم‌آوری ذرات رس، پایداری خاکدانه‌ها و افزایش مقدار خاکدانه‌های بزرگتر است (Barral *et al.*, 2007).

#### هدایت هیدرولیکی اشباع پس از آبشویی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر گچ، کربن آلی و اثر متقابل گچ با کربن آلی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پس از آبشویی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مصرف گچ سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پس از آبشویی شد. بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع از مصرف گچ به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد ۶/۲ برابر افزایش نشان داشت (شکل ۱۵). گچ با افزایش هدایت الکتریکی خاک سبب هم‌آوری ذرات خاک شده و از انتشار آن‌ها جلوگیری می‌کند و این امر مانع از تشکیل سله

سدیم تبدالی خاک وجود دارد به طوری که با کاهش درصد سدیم تبدالی، درصد رس قابل انتشار کاهش می‌یابد (Nelson *et al.*, 1999) Wong *et al.*, (2005) گزارش کردند که کاربرد توأم



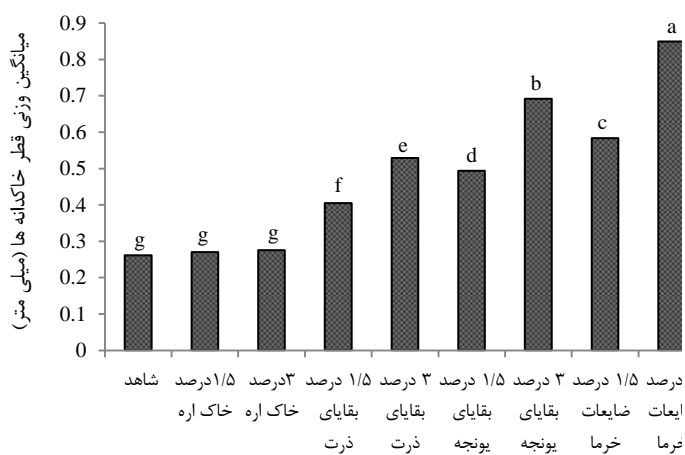
شکل ۱۱. تأثیر گچ بر رس قابل انتشار پس از آبشویی خاک

#### میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها قبل از آبشویی خاک

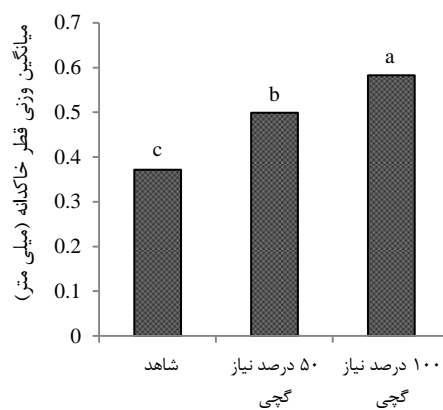
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف گچ، کربن آلی و اثر متقابل گچ با کربن آلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها قبل از آبشویی خاک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مصرف گچ سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد و بیشترین مقدار افزایش از مصرف گچ به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی حاصل شد به طوری که مقدار این افزایش نسبت به تیمار شاهد ۵۶/۶۶ درصد بود (شکل ۱۳). افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در اثر کاربرد گچ به دلیل هم‌آوری رس‌ها از طریق جایگزینی کاتیون کلسیم به جای سدیم تبدالی و افزایش غلظت الکترولیت و تشکیل و پایداری دسته‌های رس می‌باشد (Lebron *et al.*, 2002). کاتیون کلسیم به دلیل ظرفیت بالا و شعاع آبشویی کم عامل مهمی در افزایش هم‌آوری خاکدانه‌ها است (Oster and Jayawardene, 1998). مصرف کربن آلی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را افزایش داد بیشترین مقدار افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از مصرف ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۲۴/۷۳ درصد افزایش داشت (شکل ۱۴). حضور مواد آلی فعالیت موجودات زنده خاک مانند قارچ‌ها را تشدید نموده و جمعیت آن‌ها را افزایش می‌دهد که نتیجه آن افزایش خاکدانه‌سازی است. حضور ریشه و هیف قارچ‌ها برای تشکیل خاکدانه‌های بزرگ لازم و ضروری بوده و از آن‌ها به عنوان مواد پیونددهنده موقتی یاد می‌شود (Tisdall and Oades, 1982). در هر نوع و مقدار کربن آلی با افزایش مقدار گچ میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، قبل از آبشویی افزایش یافت. همچنین در هر

هیدرولیکی اشباع خاک پس از آبخوبی، تیمار ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما توأم با مصرف گچ به اندازه ۱۰۰ درصد نیاز گچی بود که مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را از ۰/۲۱ به ۱/۸۲۴ متر بر روز افزایش داد (جدول ۶). 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 افزایش این ویژگی در اثر مصرف توأم مواد آلی و گچ می‌تواند افزایش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک از یک‌طرف و افزایش پایداری خاکدانه‌ها از طرف دیگر باشد. همچنین پس از آبخوبی نسبت جذب سدیم کاهش یافت که می‌تواند با کاهش رس قابل‌انتشار باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک شده باشد. (Baldock, et al (1994) گزارش کردند که کاربرد توأم کاه و کلش گندم همراه با گچ باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در مقایسه با کاربرد جداگانه هر یک از این مواد شد. (Yu., et al (2014) پس از کاربرد سطوح مختلف گچ و آبخوبی بر روی یک خاک سدیمی افزایش خلل و فرج خاک و افزایش هدایت هیدرولیکی را با افزایش کاربرد گچ و افزایش آبخوبی گزارش کردند.

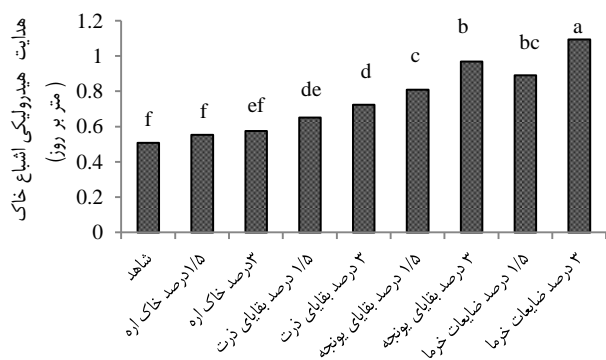
سطحی می‌شود از طرف دیگر اضافه کردن گچ پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داده و به حفظ و پایداری تخلخل‌های درشت خاک کمک می‌کند که نتیجه همه این موارد افزایش هدایت هیدرولیکی خاک‌های سدیمی است (Qadir et al., 2001). مصرف کربن آلی سبب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد. بیشترین مقدار افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پس از آبخوبی، از مصرف ۳ درصد کربن آلی از منبع ضایعات خرما حاصل شد که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را نسبت به تیمار شاهد ۱۱۵/۲۱ درصد افزایش داد (شکل ۱۶). علت افزایش هدایت هیدرولیکی خاک با افزودن مواد آلی، افزایش پایداری خاکدانه‌ها بود. افزودن مواد آلی و معدنی نظیر گچ و سولفات آلومینیوم با پیوند رس‌ها به یکدیگر و ایجاد خاکدانه‌های پایدار، از انتشار رس‌ها جلوگیری کرده و باعث افزایش هدایت هیدرولیکی خاک می‌شوند (Rietz and Haynes, 2003; willson., et al 2001). در هر نوع و مقدار کربن آلی با افزایش مقدار گچ هدایت هیدرولیکی اشباع خاک پس از آبخوبی افزایش یافت. همچنین در هر مقدار گچ و کربن آلی به‌جز خاک اره با افزایش مقدار کربن آلی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک افزایش یافت. مؤثرترین تیمار در افزایش هدایت



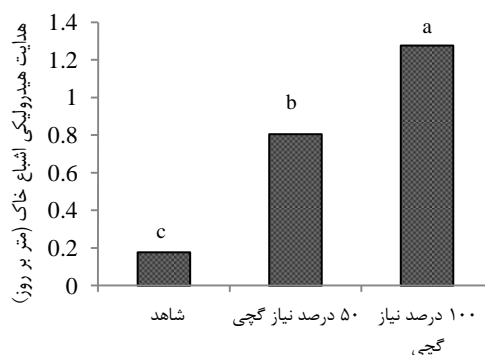
شکل ۱۴. تأثیر کربن آلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها قبل از آبخوبی خاک



شکل ۱۳. تأثیر گچ بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها قبل از آبخوبی خاک



شکل ۱۶. اثر کربن آلی بر هدایت هیدرولیکی پس از آبخوبی خاک



شکل ۱۵. تأثیر گچ بر هدایت هیدرولیکی پس از آبخوبی خاک

جدول ۵. اثرات متقابل سطوح گچ و نوع و مقدار کربن آلی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک سدیمی قبل از آبشویی

گچ	مواد آلی	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم تبدالی	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)
بدون گچ	بدون ماده آلی	۲۹/۱۲a	۲۹/۴۱a	۰/۱۲۲p
	۱/۵ درصد ضایعات خرما	۲۹/۶۰a	۲۹/۱۸a	۰/۵۱j
	۳ درصد ضایعات خرما	۲۸/۸۰a	۲۹/۷۳a	۰/۶۸۳ed
	۱/۵ درصد بقایای یونجه	۲۹/۲۹a	۲۹/۵۵a	۰/۴۲۱lm
	۳ درصد بقایای یونجه	۲۹/۹۰a	۲۹/۹۸	۰/۶۰۲g
	۱/۵ درصد بقایای ذرت	۳۰/۰۵a	۳۰/۱۰a	۰/۳۴۲n
	۳ درصد بقایای ذرت	۳۰/۳۵a	۳۰/۳۱a	۰/۴۳۵kl
	۱/۵ درصد خاک اره	۲۹/۲۵a	۲۹/۵۲a	۰/۱۲۱p
۵۰ درصد گچ	۳ درصد خاک اره	۲۹/۶۰a	۲۹/۷۷a	۰/۱۲۱p
	بدون ماده آلی	۲۳/۸۷e-d	۲۵/۳۴ed	۰/۲۹۲o
	۱/۵ درصد ضایعات خرما	۲۴/۲۰c-e	۲۵/۶۱c-e	۰/۵۹۱-h
	۳ درصد ضایعات خرما	۲۵/۴۱b-d	۲۶/۵۸b-d	۰/۸۵۱b
	۱/۵ درصد بقایای یونجه	۲۴/۸۷b-d	۲۶/۱۵b-d	۰/۵۰۰j
	۳ درصد بقایای یونجه	۲۵/۴۷b-d	۲۶/۶۳b-d	۰/۷۰۳d
	۱/۵ درصد بقایای ذرت	۲۶/۰۵b-c	۲۷/۰۹cb	۰/۴۰۹lm
	۳ درصد بقایای ذرت	۲۶/۱۶b	۲۷/۱۶b	۰/۵۲۵jz
۱۰۰ درصد گچ	۱/۵ درصد خاک اره	۲۳/۹۱e-d	۲۵/۳۷ed	۰/۳۰۴no
	۳ درصد خاک اره	۲۴/۰۷e-d	۲۵/۵۱ed	۰/۳۱۱no
	بدون ماده آلی	۱۷/۷۸i	۱۹/۸۴i	۰/۳۸۱m
	۱/۵ درصد ضایعات خرما	۱۹/۵۶i-h	۲۱/۶۱h	۰/۶۵۲ef
	۳ درصد ضایعات خرما	۲۱/۲۷f-h	۲۳/۱۲fg	۱/۰۱۳a
	۱/۵ درصد بقایای یونجه	۲۰/۷۹g-h	۲۲/۷۱gh	۰/۵۶۰hi
	۳ درصد بقایای یونجه	۲۱/۷۳g	۲۳/۵۳fg	۰/۷۷۰c
	۱/۵ درصد بقایای ذرت	۲۲/۷۸e-f	۲۴/۴۳ef	۰/۴۶۳k
بدون گچ	۳ درصد بقایای ذرت	۲۲/۸۴e-f	۲۴/۴۹ef	۰/۶۲۷fg
	۱/۵ درصد خاک اره	۱۷/۹۱i	۱۹/۹۷i	۰/۳۸۵m
	۳ درصد خاک اره	۱۷/۹۶i	۲۰/۱۰i	۰/۳۹۰m

جدول ۶. اثرات متقابل سطوح گچ و نوع و مقدار کربن آلی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک سدیمی پس از آبشویی

گچ	مواد آلی	نسبت جذب سدیم	درصد سدیم تبدالی	درصد رس قابل‌انتشار	هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر روز)
بدون گچ	بدون ماده آلی	۲۹/۹۲a	۲۹/۹۹a	۹۱/۱۳a	۰/۰۲۱n
	۱/۵ درصد ضایعات خرما	۲۵/۰۹cd	۲۶/۳۳cd	۸۰/۴۳ed	۰/۲۷۴۳l
	۳ درصد ضایعات خرما	۲۴/۰۴d	۲۵/۴۸d	۷۹/۰۷e	۰/۳۰۷l
	۱/۵ درصد بقایای یونجه	۲۵/۶۶b-d	۲۶/۷۸b-d	۸۲/۳۳cd	۰/۲۵۵۷l
	۳ درصد بقایای یونجه	۲۵/۶۶b-d	۲۶/۷۸b-d	۸۰/۳۳ed	۰/۲۹۴l
	۱/۵ درصد بقایای ذرت	۲۶/۷۸bc	۲۷/۶۶bc	۸۴/۱۶bc	۰/۱۵۴۳l-n
	۳ درصد بقایای ذرت	۲۷/۲۹b	۲۸/۰۵b	۸۵/۱۶bc	۰/۱۹۱۷lm
	۱/۵ درصد خاک اره	۲۹/۶۴a	۲۹/۸۰a	۹۰/۵۳a	۰/۰۴۸۴nm
۵۰ درصد گچ	۳ درصد خاک اره	۲۹/۷۷a	۲۹/۸۸a	۸۹/۷۰a	۰/۰۵۹۱nm
	بدون ماده آلی	۲۰/۷۸e	۲۲/۷۰e	۱۲/۴۷g-h	۰/۵۷۶k
	۱/۵ درصد ضایعات خرما	۱۷/۳۳g	۱۹/۵۴h	۱۰/۴۰hi	۰/۸۹۵۷f-i
	۳ درصد ضایعات خرما	۱۶/۹۰g	۱۹/۱۳h	۹/۲۳i	۱/۱۵۲de
	۱/۵ درصد بقایای یونجه	۱۹/۲۲ef	۲۱/۳۰fg	۱۱/۴۳gh	۰/۸۴۵۷g-i
	۳ درصد بقایای یونجه	۱۷/۹۱fg	۲۰/۰۹gh	۱۱/۱۶g-i	۱/۰۲۶ef
	۱/۵ درصد بقایای ذرت	۱۹/۶۹e	۲۱/۷۴ef	۱۲/۲۶f-h	۰/۷۸۲۳fg
	۳ درصد بقایای ذرت	۲۰/۱۱e	۲۲/۱۱ef	۱۲/۸۷fg	۰/۷۳۹jz
۱۰۰ درصد گچ	۱/۵ درصد خاک اره	۲۰/۴۴e	۲۲/۴۰ef	۱۳/۶۰f	۰/۶۰۷۳jk
	۳ درصد خاک اره	۱۹/۸۶e	۲۱/۸۶ef	۱۲/۴۶f-h	۰/۶۲۱۷jk
	بدون ماده آلی	۱۲/۶۹h	۱۴/۸۶jz	۵/۹۳j	۰/۹۲۸۴-h
	۱/۵ درصد ضایعات خرما	۱۰/۱۹jz	۱۲/۱۰ml	۲/۸۳kl	۱/۵۰۴b
	۳ درصد ضایعات خرما	۹/۳۶j	۱۱/۱۳m	۲/۱۳l	۱/۸۲۴a
	۱/۵ درصد بقایای یونجه	۱۱/۴۸hi	۱۳/۵۵jk	۴/۶۱jk	۱/۳۲۰c
	۳ درصد بقایای یونجه	۱۰/۶۷ijz	۱۲/۶۳kl	۳/۸۳j-l	۱/۵۹۱b
	۱/۵ درصد بقایای ذرت	۱۲/۵۹h	۱۴/۷۵ijz	۵/۳۶j	۱/۰۶۴d-f
بدون گچ	۳ درصد بقایای ذرت	۱۳/۲۲h	۱۵/۴۰i	۵/۶۰j	۱/۱۹۷cd
	۱/۵ درصد خاک اره	۱۲/۵۳hi	۱۴/۶۹jz	۵/۱۰j	۱/۰۰۶e-g
	۳ درصد خاک اره	۱۱/۸۵h	۱۳/۹۳jk	۴/۸۱jk	۱/۰۴۶d-f

میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک می‌باشند اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

## نتیجه‌گیری

تأثیر چندانی بر ویژگی‌های خاک سدیمی نداشت و بر عکس مواد آلی که با سهولت بیشتر تجزیه می‌شوند، مانند ضایعات خرما تأثیر بیشتری بر ویژگی‌های خاک سدیمی داشت. مواد آلی و گچ زمانی بیشترین تأثیر را در اصلاح خاک سدیمی دارند که پس از افزودن و خوابانیدن خاک، آبشویی صورت گیرد در این غیر این صورت ممکن است مواد آلی باعث افزایش ویژگی‌های نامطلوب خاک از جمله نسبت جذب سدیم خاک شود. به‌طور کلی با افزودن گچ و مواد آلی و خوابانیدن خاک به مدت ۲ ماه و سپس آبشویی خاک می‌توان شوری و سدیم تبادلی خاک را به مقدار قابل‌توجهی کاهش داد و آن را به یک خاک غیر شور و سدیمی تبدیل نمود.

نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از گچ همراه با مواد آلی جهت اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی مفیدتر از مصرف جداگانه هر کدام از آن‌ها بود و استفاده از گچ به میزان ۱۰۰ درصد نیاز گچی همراه با کاربرد ۳ درصد ماده آلی از منبع ضایعات خرما مؤثرترین تیمار در اصلاح ویژگی‌های خاک سدیمی بود. مواد آلی مختلف اثرات متفاوتی در اصلاح خاک‌های سدیمی دارند. مواد آلی همراه و بدون گچ سبب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گردید که مصرف توأم گچ و مواد آلی سبب تشدید این ویژگی‌ها شد. مواد آلی با سرعت تجزیه کم، مانند خاک اره،

## REFERENCE

- Ahmad, S., Ghafoor, A., Qadir, M. and Aziz, M. A. (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.
- 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.
- Amezket, 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.
- 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. *J. Food Agri. Environ*. 6, 456-460.
- Anapali, O., Shin, V., Otis, T. and Hanay, A. (2001). Defining effective salt leaching regions between drains. *Turkish Journal of Agriculture*. 25, 51-56.
- Baldock, J. A., Aoyama, M., Oades, J. M. and Grant, C. D. (1994). Structural amelioration of a South Australian red-brown earth using calcium and organic amendments. *Soil Research*. 32(3), 571-594.
- Banaei, M. H. (2000). Soil resources and use potentiality map of Iran. Soil and Water Research Institute. Tehran, Iran (In Farsi).
- 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.
- Barzegar, A.R. (2008). *Salt affected soils: Diagnosis and Productivity*. 2nd Edition, Shahid Chamran University.
- 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.
- 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.
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1982). *Nitrogen total. Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. 595-624.
- Carter, M.R. and Gregorich, E. G. (2008). *Soil Sampling and Methods Analysis*. 2nd Edition. Canadian Society of Soil Science Publisher. p. 823
- 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.
- Conway, T. (2001). Plant materials and techniques for brine site reclamation. Plant Materials Technical Note, (26).
- 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.
- 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.
- 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(2), 175-179.
- 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.
- Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. (1986). *Aggregate stability and size distribution*. In *Methods of Soil analyses*. Part 1'. 2nd End. (Ed. A. Klute.) Agron. Monogr. No. 9. Am. Soc. Agron.: Madison, Wis.

- Keren, R., (1996). *Reclamation of sodic-affected soils*. In: Agassi, M. (Ed.), *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*. New York, Marcel Dekker, pp. 353–374.
- 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.
- 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.
- Ghaneie Motlagh G.H., Pashayi Aval A., Khormaly F., and Mosaedy A. (2010). Investigating effect of some amendments on soil chemical properties in a saline-sodic soil. *Watershed Management Research Journal*, 86, 24-31. (In Persian)
- 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.
- 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).
- McLean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 199-224.
- Muya, E. M. and Macharia, P. N. (2005). Irrigation and fertility management technologies for saline-sodic soils of Nguruman irrigation scheme, Kajiado District. In *Soil Science Society of East Africa (SSSEA), Annual Conference, 21, Nairobi (Kenya), 1-5 Dec 2003. Soil Science Society of East Africa*.
- Nelson, P. N. and Oades, J. M. (1998). Organic matter sodicity and soil structure: 51-57.
- 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.
- Oster, J. D and Jayawardane, N. S. (1998). Agricultural management of sodic soils. *Sodic Soil: Distribution. Management and Environmental Consequences*. 12(4), 126-147.
- 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*.
- pandey, V.C., Singh, K., Singh, B., Singh, R.P. (2011). New approaches to enhance ecorestoration efficiency of degraded sodic lands: critical research needs and future prospects. *Ecological Restoration*. 29, 322–325.
- 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.
- Rasouli, F., Pouya, A. K., & Karimian, N. (2013). Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma*, 193, 246-255.
- Rengasamy, P. (1997). Sodic soils, P 265-277. In: R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine and. B.A. Stewart (eds.) *Methods for Assessment of Soil Degradation*. 26.
- 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.
- 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.
- Yu, H., Yang, P., Lin, H., Ren, S. and He, X. (2014). Effects of sodic soil reclamation using flue gas desulphurization gypsum on soil pore characteristics, bulk density, and saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*. 78(4), 1201-1213.
- Robbins, C. W. (1984). Sodium adsorption ratio-exchangeable sodium percentage relationships in a high potassium saline-sodic soil. *Irrigation Science*. 5(3), 173-179.
- Sahin, U., Anapali, O., and Hanay, A. (2002). The effect of consecutive application of leaching water applied in equal, increasing, or decreasing quantities on soil hydraulic conductivity on a saline-sodic soil in the laboratory. *Soil Use Manage*. 8, 152-154.
- Singh, H. and Bajwa, M. S. (1991). Effect of sodic irrigation and gypsum on the reclamation of sodic soil and growth of rice and wheat plants. *Agricultural Water Management*. 20, 163-171.
- Soil Survey Staff, (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making Soil Use Manage*. 8, 152-154.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L. and Hernandez, M. T. (2006). Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(6), 1413-1421.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141–163.
- 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.
- 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. *Biores. Tech*. 99, 396-403.
- 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

- 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.
- Wong, V. N., Greene, R. S., Murphy, B. W., Dalal, R. and Mann, S. (2005). Decomposition of added organic material in salt-affected soils. In Cooperative Research Centre for Landscape

Environments and Mineral Exploration Regional Regolith Symposia (Vol. 10, pp. 333-337).

- Wong, V.N.L., Greene, S.B., Dalal, R.C., Murphy, B.W., (2010). Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use and Management*, 26, 2-11.
- 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 Farsi).